

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK GERİLİM ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatoş ÜRESİN

ŞUBAT 2010

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK GERİLİM ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA ANALİZİ

Elektrik Elektronik Müh. Fatoş ÜRESİN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Elektrik Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.12.2009
Tezin Savunma Tarihi : 03.02.2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sefa AKPINAR
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu çalışmada; topraklama sistemleri, topraklama temel kavramları, topraklama çeşitleri ve topraklama elektrotları incelenerek, IEEE 80-2000 standardı doğrultusunda, bir yüksek gerilim tesisinin topraklama direnci, adım ve temas gerilimlerinin hesaplanması ve grafiksel analizleri geliştirilen MATLAB/Simulink programı ile gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle bu çalışmam esnasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ'a vermiş olduğu destekten dolayı çok teşekkür ederim.

Müdürüm Y. Ercan AKŞAN'a yüksek lisans çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu anlayışı; Yüksel YAVUZ'a bilgi birikimini ve kaynaklarını benimle paylaştığı; Öğretim Görevlisi O. Özdal MENGİ'ye bilgisayar programında yapmış olduğum çalışmalarda bana yol gösterdiği ve kaynaklarını benden esirgmeden paylaştığı için teşekkür ederim.

Son olarak; beni bugüne kadar yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, sevgili annem Binay ÜRESİN'e, babam Rahmi ÜRESİN'e ve kardeşim Kevser ÜRESİN'e bu vesileyle sevgi ve saygılarımı sunarım.

Fatoş ÜRESİN
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Topraklama.....	2
1.2.1. Topraklama ile İlgili Temel Kavramlar.....	3
1.2.1.1. Aktif Kısımlar.....	3
1.2.1.2. Gövde.....	3
1.2.1.3. Toprak.....	3
1.2.1.4. Topraklama.....	3
1.2.1.5. Topraklayıcı.....	4
1.2.1.6. Topraklama İletkeni.....	4
1.2.1.7. Referans Toprak.....	4
1.2.1.8. Toprak Özgül Direnci.....	4
1.2.1.9. Yayılma Direnci.....	5
1.2.1.10. Topraklama Direnci.....	6
1.2.1.11. Topraklayıcı Gerilimi.....	7
1.2.1.12. Potansiyel Sürüklenmesi.....	7
1.2.1.13. Potansiyel Düzenlenmesi.....	7
1.2.1.14. Potansiyel Dengelenmesi.....	7
1.2.1.15. Potansiyel Dengeleme Hattı (Eşpotansiyel kuşaklama).....	7
1.2.1.16. Global Topraklama Sistemi.....	8
1.2.1.17. Topraklayıcıdan Akım Geçmesi.....	8

1.2.1.18.	Potansiyel Dağılımı	9
1.2.2.	İzin Verilen Gerilim Kriterleri	9
1.2.2.1.	Metal-Metal Dokunma Gerilimi	9
1.2.2.2.	Adım Gerilimi	10
1.2.2.3.	Temas Gerilimi	11
1.2.2.4.	Transfer Gerilimi.....	11
1.2.2.5.	Adım ve Temas Gerilim Kriterleri	12
1.2.2.5.1.	Müsaade Edilebilir Maksimum Adım Gerilimi	12
1.2.2.5.2.	Müsaade Edilebilir Maksimum Dokunma Gerilimi	13
1.2.2.6.	Mevcut Elektrik Tesisinin Hesaplanan Temas ve Adım Gerilimleri.....	13
1.2.2.6.1.	Dokunma (Mesh-Göz)Gerilimi	13
1.2.2.6.2.	Adım Gerilimi	16
1.3.	Topraklama Çeşitleri	18
1.3.1.	Koruma Topraklaması.....	18
1.3.2.	İşletme Topraklaması	20
1.3.2.1.	Gerilim Transformatörleri	20
1.3.2.2.	Transformatörlerin Yıldız Noktasının Topraklanması.....	20
1.3.2.2.1.	Transformatörlerin Yıldız Noktalarının Direkt Topraklanması	21
1.3.2.2.2.	Transformatörlerin Yıldız Noktalarının Direnç Üzerinden Topraklanması ...	22
1.3.2.3.	Generatörlerin Yıldız Noktalarının Topraklanması	23
1.3.3.	Yıldırım Topraklaması	23
1.3.3.1.	Yıldırıma Karşı Topraklama Koşullarının Sağlanması.....	25
1.4.	Topraklama Tesisleri	26
1.4.1.	Topraklama Tesisinin Görevi	26
1.4.2.	Şeritle Yapılan Topraklama Tesisleri	27
1.4.3.	Derin Topraklayıcılar	30
1.4.4.	Izgara (Ağ) Topraklama Sistemleri.....	33
1.4.5.	Tabi Topraklayıcılar	34
1.4.6.	Özel Topraklayıcılar	34
1.4.7.	Birleşik Topraklayıcılar	35
1.4.7.1.	Paralel Topraklayıcılar	35
1.4.7.2.	Karma Topraklayıcılar	36
1.4.7.3.	Kombine Topraklayıcılar	36

1.4.7.4.	Toplu veya Yaygın Topraklayıcılar	37
1.5.	Yüksek Gerilim ve Alçak Gerilim Sistemlerinde Topraklama Tesislerinin Birleştirilmesi	37
1.5.1.	Toprak Elektriksel Özellikleri	38
1.5.2.	Topraklama Sisteminin Elektriksel Özellikleri	40
1.5.3.	Topraklama Direnci ve Potansiyel Dağılımı	41
1.5.4.	Topraklama Gerilimi ve Toprak Yüzey Potansiyel Dağılımı	44
1.6.	Topraklama Direncinin Ölçülme Yöntemleri	47
1.6.1.	Ölçüm Yöntemleri	48
1.6.1.1.	Toprak Meggeri ile Ölçme	48
1.6.1.2.	Voltmetre-Ampermetre Yöntemi	50
1.6.1.3.	Wattmetre-Ampermetre Yöntemi	51
1.6.1.4.	Yardımcı Toprak Uçlarının Uygulama Noktalarının Saptanması	52
1.6.2.	Toprak Direnç Hesabı	55
1.6.2.1.	Basit Hesap Yöntemi	56
1.6.2.2.	Schwarz Eşitliği	57
1.6.2.3.	Laurent Topraklama Yöntemi	60
1.6.2.4.	Koch Topraklama Direnci	61
1.6.3.	Topraklama Ağı İletken Kesiti	61
1.6.3.1.	İletken Kesiti ile Akım Taşıma Kapasitesi Arasındaki Bağntı	63
1.6.4.	Dokunma Gerilimlerinin Hesaplanması	64
1.7.	Elektrik Akımının İnsan Vücudu Üzerine Tesiri	67
1.7.1.	Vücut Direnci	67
1.7.2.	Vücut Dışındaki Devrenin Empedansı	68
1.7.3.	Vücuttan Geçen Akımlarda Tehlike Sınırı	69
1.8.	Toprak	70
1.8.1.	Toprak Yapısı ve Rutubeti	71
1.8.2.	Nem Miktarının Arttırılması	73
1.8.3.	Tuz İlavesi	73
1.8.4.	Çimli Humus ve Tarla Toprağı İlavesi	73
2.	YAPILAN ÇALIŞMA VE BULGULAR	74
2.1.	MATLAB Programı ile Topraklama Analizi	74
2.1.1.	Müsaade Edilen Adım ve Dokunma Gerilimlerini Etkileyen Faktörler'in MATLAB/Simulink'te İncelenmesi	74

2.1.1.1.	Yalıtkan Tabakanın Dokunma ve Adım Gerilimine Etkisi.....	79
2.1.1.2.	Arıza Temizleme Süresinin Adım ve Dokunma Gerilimine Etkisi	80
2.1.2.	Maksimum Dokunma ve Göz Gerilimi.....	82
2.1.2.1.	Ağın Göz (Temas) Gerilimi	82
2.1.2.2.	Hesaplanan Adım Gerilimi	88
2.1.3.	Baraj ve Santrallerin Topraklanması.....	91
2.1.4.	MATLAB M-file Programında Bir Şalt Sahasının Topraklama Ağının Hesabının Yapılması	99
3.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR	113
4.	ÖNERİLER	114
5.	KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Yüksek gerilim elektrik tesislerinde işletme personelini ve canlıları tehlikeli temas ve adım gerilimlerine karşı korumak amacıyla bu tesislerin topraklanmasında göz önüne alınacak temel ilkeler Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği ve IEEE 80-2000 standardında belirtilmektedir.

Bu çalışmada topraklama elektrotu, adım ve dokunma gerilimlerinin tanımları ile topraklama sistemlerinde müsaade edilebilir gerilim yükselmelerine açıklık getirilmiştir. Ayrıca topraklama projelerinde izlenecek yollar ile topraklama direncinin ölçümünde uygulanan yöntemler incelenmiştir.

Sonuç olarak bir yüksek gerilim tesisinin topraklama direnci, adım ve temas gerilimlerinin hesaplanması ve grafiksel analizleri geliştirilen MATLAB/Simulink programı ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yazılımla, bir trafo merkezinin topraklama ağı tesisinde; adım ve temas gerilimlerinin müsaade edilebilir sınırlar içerisinde kalması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Topraklama, Adım Gerilimi, Temas Gerilimi, Şalt Sahası

SUMMARY

Grounding Analysis of High Voltage Electrical Systems

In order to protect the operating staff in high voltage electrical systems from dangerous step and touch voltages, the basic principles which are taken into account for the grounding of these substations are examined in detail according to Grounding Regulations in Electric Systems and IEEE 80-2000 standard.

In this study, concepts of grounding electrode, step and touch voltages; and permissible voltage uses in the grounding system are clarified. In addition, the steps to be followed in grounding projects and methods of measuring grounding resistance are discussed.

Consequently, the grounding resistance, step and touch voltages of high voltage substation are calculated and analyzed graphically by means of developed MATLAB program. By using the developed program the aim is to provide the step and touch voltages, at the grid design of grounding system, within permissible voltage limits.

Key Words: Grounding, Step Voltage, Touch Voltage, Electrical Substation

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Toprak özgül direnci ρ nun fiziksel açıklamasını gösteren diyagram	5
Şekil 1.2. Potansiyel düzenleme elektrotları	8
Şekil 1.3. Topraklayıcı etrafındaki potansiyel dağılımı	9
Şekil 1.4. Metal- metal temasta dokunma gerilimi limiti	10
Şekil 1.5. Dokunmanın çeşitlerinin sebep olduğu temel şok durumları	11
Şekil 1.6. Trafo merkezinde transfer potansiyel	12
Şekil 1.7. Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri U_{Tp} ...	17
Şekil 1.8. Topraklama çeşitleri	18
Şekil 1.9. Koruma topraklaması	19
Şekil 1.10. Transformatörün yıldız noktasının doğrudan topraklanması.....	21
Şekil 1.11. Doğrudan topraklı devrede generatör veya trafoların toprak koruması.....	21
Şekil 1.12. Transformatörün yıldız noktasının direnç üzerinden topraklanması	22
Şekil 1.13. Direnç üzerinden topraklı devrede generatör veya trafoların toprak koruması	22
Şekil 1.14. Parafudur kesiti ve devreye bağlantısı	24
Şekil 1.15. Yüksek gerilim tesislerinde parafudur topraklaması	25
Şekil 1.16. En çok kullanılan şerit topraklayıcılar	28
Şekil 1.17. Şerit topraklayıcı.....	30
Şekil 1.18. Çubuk topraklayıcı.....	31
Şekil 1.19. Çubuk Topraklayıcılar	31
Şekil 1.20. Levha topraklayıcı	32
Şekil 1.21. Topraklama ızgarasının şematik görünümü.....	33
Şekil 1.22. Paralel topraklayıcı	36
Şekil 1.23. Kil için toprak direnci ρ ile toprak rutubeti h ilişkisi.....	40
Şekil 1.24. Yarım küre şeklinde bir topraklama elektrodu ve potansiyel dağılımını hesaplamak için gerekli parametreler (ρ =sabit).....	43
Şekil 1.25. Oldukça uzun bir toprak elektrot çubuğu değişim direncinin (R_D), derinliğin fonksiyonu olarak değişim eğrisi	44

Şekil 1.26. Potansiyel aktarım fenomeni, iki örgülü toprak elektrodu için toprak yüzeyi dağılımı	46
Şekil 1.27. Üç ve dört uçlu Toprak Meggeri	49
Şekil 1.28. Voltmetre-Ampermetre yöntemi ile toprak direncinin ölçülmesi	51
Şekil 1.29. Wattmetre-Ampermetre yöntemi ile toprak direncinin ölçülmesi	52
Şekil 1.30. Düşük topraklama dirençli bir merkezde ölçüm sonuçları	54
Şekil 1.31. Yüksek topraklama dirençli bir merkezde ölçüm sonuçları	55
Şekil 1.32. Schwarz eşitliğinin k_1 katsayısı	58
Şekil 1.33. Schwarz eşitliğinin k_2 katsayısı	59
Şekil 1.34. Topraklama ağı	60
Şekil 1.35. Dokunma ve adım gerilimlerinin ölçülmesi	65
Şekil 1.36. Yeryüzünün toprak tabakaları.....	70
Şekil 1.37. Toprağın direncinin tuz, nem ve sıcaklığa göre değişimi	71
Şekil 2.1. Adım ve dokunma gerilimleri hesabı için MATLAB/Simulink de girilen değerler	76
Şekil 2.2. MATLAB/Simulink te kaynak blok parametre giriş ekranı	76
Şekil 2.3. MATLAB/Simulink de malzeme katsayısının hesaplanması	77
Şekil 2.4. Müsaade edilebilir dokunma geriliminin MATLAB/Simulink modellenmesi	77
Şekil 2.5. Müsaade edilebilir adım geriliminin MATLAB/Simulink modellenmesi.....	78
Şekil 2.6. Dokunma ve adım gerilimlerinin vücut ağırlığına ve toprak özgül direncine göre değişimi	79
Şekil 2.7. Adım ve Dokunma gerilimlerinin yalıtkan malzeme özgül direncine göre değişimi	80
Şekil 2.8. Adım ve Dokunma gerilimlerinin sınır değerlerinin arıza temizleme sürelerine göre değişimi	82
Şekil 2.9. Geometrik şekle bağlı faktörler	84
Şekil 2.10. Topraklama ağının geometrik şekline bağlı faktör.....	84
Şekil 2.11. Ağın düzgünlük katsayısının MATLAB/Simulink modellenmesi	84
Şekil 2.12. Ağın geometrik faktörünün MATLAB/Simulink modellenmesi	85
Şekil 2.13. Göz (hesaplanan dokunma) gerilimi denkleminin MATLAB/ Simulink modellenmesi	85
Şekil 2.14. Hesaplanan göz geriliminin ağıdaki iletken açıklığına göre değişimi	86
Şekil 2.15. Ağın geometrik faktörünün ağıdaki iletken açıklığına göre değişimi	86
Şekil 2.16. Ağın geometrik faktörünün iletkenin gömülme derinliğine göre değişimi ...	87

Şekil 2.17. Ağın geometrik faktörünün iletken kesit çapına bağlı değişimi	87
Şekil 2.18. Hesaplanan göz geriliminin topraklama elektroduna göre değişimi	88
Şekil 2.19. MATLAB/Simulink'te adım gerilimi katsayısının modellenmesi	88
Şekil 2.20. Adım gerilimi denkleminin MATLAB/Simulink modellenmesi	89
Şekil 2.21. Adım gerilimi katsayısının ağdaki iletken açıklığına göre değişimi	89
Şekil 2.22. Hesaplanan adım geriliminin ağdaki iletken açıklığına göre değişimi.....	90
Şekil 2.23. Adım gerilimi katsayısının iletkenin gömülme derinliğine bağlı değişimi ...	90
Şekil 2.24. Hesaplanan adım geriliminin iletkenin gömülme derinliğine bağlı değişimi.....	91
Şekil 2.25. HES'lerin MATLAB/Simulink te girilen değerleri	93
Şekil 2.26. Santral binası temel ağı topraklama direnci.....	94
Şekil 2.27. Toprağa çakılmış kazıkların eşdeğer direnci	95
Şekil 2.28. Topraklama ağı ile topraklama kazıklarının karşılıklı direnci.....	96
Şekil 2.29. Topraklama ağı ile topraklama kazıklarının eşdeğer direnci.....	96
Şekil 2.30. İletkenler arası mesafe	97
Şekil 2.31. Eşdeğer direnç katsayı	97
Şekil 2.32. Kuyruk suyuna atılan kontrapua iletkenlerinin eşdeğer direnci	98
Şekil 2.33. Trafo merkezine ait topraklama projesi	100
Şekil 2.34. Adım ve temas gerilimlerinin iletken açıklığı ve topraklama elektrotuna bağlı değişimi.....	105

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Özgül toprak direnci 100 Ω .m (kil, humus)olan bir zemindeki yayılma direnci değerleri, topraklayıcı boyutları	5
Tablo 1.2. Toprak iletkeni bulunan hava hattı direklerinde direktten geçen yıldırım akımları	26
Tablo 1.3. Topraklayıcıların cinslerine göre yayılma dirençleri	37
Tablo 1.4. Topraklama tesisinin yapılabilmesi için koşullar	38
Tablo 1.5. Çeşitli toprak ve beton cinslerine göre toprak direnci	39
Tablo 1.6. Topraklama iletkenlerinin 40 ⁰ C ortam sıcaklığı için malzeme iletkenliği ...	64
Tablo 1.7. Topraklama iletkenlerinin kimyasal özellikleri	64
Tablo 1.8. Yüksek gerilim tesislerinde veya yakınında dokunma gerilimlerinin ölçülmesi	66
Tablo 1.9. Uygulanan akımların insan vücudundaki etkileri	67
Tablo 1.10. Ayakkabı, elbise ve alet izolasyonların elektrik dirençlerini vermektedir	69
Tablo 1.11. Toprak çeşitlerinin özgül dirençleri	72
Tablo 1.12. Toprak çeşitlerinin özgül direnç değerlerinin kaba ortalaması.....	73
Tablo 2.1. Dokunma ve Adım gerilimlerinin vücut ağırlığına ve yalıtkan malzemelerin özgül direncine göre değişimi.....	78
Tablo 2.2. Müsaade edilen adım ve temas gerilimlerinin arıza temizlenme sürelerine göre değişimi	81

SEMBOLLER DİZİNİ

HES	: Hidroelektrik Santrali
$IEEE$: The Institute of Electricians and Electronics Engineers
MCM	: Amerikan Ölçü Birimi (Kesit)
$TCAP$: Birim Hacim Başına Isıl Kapasite
$TEİAŞ$: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TM	: Trafo Merkezi
A	: Topraklama ağının alanı
A_k	: Topraklama iletkeni kesiti
C_s	: Yüzey tabakası katsayısı
D	: Paralel şebeke iletkenleri arasındaki ortalama mesafe
d	: İletken çapı
E_m	: Göz gerilimi
E_s	: Adım gerilimi
E_{sm}	: Müsaade edilen adım gerilimi
E_t	: Dokunma gerilimi
E_{tm}	: Müsaade edilen dokunma gerilimi
h	: Topraklama ağının derinliği
h_o	: Referans şebeke derinliği
I_k	: Bir fazlı toprak kısa devre akımı
I_{GR}	: Topraklama ağından akacak en büyük hata akımı
I_{kt}	: Toprak kısa devre akımı
I_T	: Şok temas akımı
I_{KEE}''	: Çift toprak kısa devre akımı
I_{K3}''	: Üç fazlı kısa devre akımı
K	: Yansıtma katsayısı
K_1	: Schwarz 1. katsayısı

K_2	: Schwarz 2. katsayısı
K_S	: Adım gerilimi geometrik faktörü
K_i	: Adım gerilimi düzeltme faktörü
K_m	: Göz gerilimi için mesafe faktörü
k_i	: Izgara geometrisi için düzeltme faktörü
L_C	: Topraklama iletkenlerinin toplam uzunluğu
L_e	: Topraklama kazığı boyu
L_{et}	: Toplam topraklama kazığı boyu
L_t	: Toplam iletken uzunluğu
L_X	: Topraklanacak alanın boyu
L_y	: Topraklanacak alanın eni
L_P	: Topraklama ağının çevresi
n_R	: Alanda kullanılan topraklama kazığı sayısı
r	: Elektrot çapı
R_e	: Topraklayıcı için yayılma direnci
R_f	: İnsan vücut direnci
R_g	: Trafo merkezinin toprak direnci
R_{ga}	: Ayaktan geçiş direnci
R_{ge}	: Elden geçiş direnci
R_k	: Şebeke hat direnci
R_M	: Topraklama ağı ile toprak kazığı arasındaki eşdeğer direnç
R_O	: İşletme topraklaması direnci
T_a	: Ortam sıcaklığı
T_m	: Müsaade edilen maksimum sıcaklık
T_S	: Kısa devrenin temizlenme süresi
T_{CAP}	: Isıl kapasite faktörü
T_m	: Arıza esnasında izin verilen en büyük iletken sıcaklığı
T_r	: Malzeme sabitleri için referans sıcaklık

U_{FN}	: Faz-nötr gerilimi
U_{FF}	: Faz-faz gerilimi
U_{tk}	: Topraklayıcı gerilimi
V^*	: Potansiyel dağılımın relatif değeri
V_E	: Topraklama potansiyeli
ρ	: Topraklama özgül direnci
ρ_s	: Yüzeyi kaplayan maddenin özgül direnci
ρ_e	: Çakıl özgül direnci
Z	: Hata akımı toplam empedansı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yüksek gerilim tesislerinde işletme personeli, alçak gerilim tesislerinde ise hem işletme personeli hem de çeşitli alçak gerilim makineleri ve cihazları kullanan şahıslar, bir izolasyon hatası halinde daima tehlikeli temas veya adım gerilimine maruz kalabilirler ve her an hayatları tehlikeye girebilir. Enerji tesislerinde yapılan topraklama tesislerinin görevi ise, böyle bir izolasyon hatası meydana geldiğinde, arızalı fazdan geçen hata akımının yardımı ile hata akım devresini kesmek veya bu akımların insan hayatını tehlikeye sokacak bir yoldan geçmelerini önlemek yahut da hata gerilimlerinin tehlikeli sınır değerlerin altında kalmasını sağlamaktır.

Bu sebeplerden dolayı bir yüksek gerilim trafo merkezi kurulmaya başlanmasındaki ilk ve en önemli adım topraklama sisteminin tasarlanmasıdır. Yüksek gerilim sistemlerinde topraklama ağı ile birlikte topraklama iletkenlerinden ve topraklama çubuklarından yararlanılır.

Topraklama sisteminde topraklayıcı olarak; çubuk, levha, şerit topraklayıcılar ile topraklama ağları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Topraklama sisteminde kullanılan topraklama çeşitleri ise; koruma topraklaması, işletme topraklaması ve yıldırım topraklamasıdır.

Topraklama sisteminin tesisinde dikkat edilecek önemli etkenlerden biride topraklama elektrotunun her noktasının toprakla temas etmesini sağlamaktır.

Topraklama direncinin hesabı mümkün olmasına rağmen, elde edilen sonuçların mevcut durumu tam olarak uygunluğu toprak öz direncinin kullanılan değerin gerçeğe uyup uymamasına bağlıdır. Toprağın tamamen homojen olmamasından dolayı; öz direnç toprağın nem derecesine bağlıdır.

Bu tezin ilk bölümünde, topraklama ile ilgili temel kavramlar açıklanacak ve topraklama sisteminde kullanılan toprak ve topraklayıcı çeşitleri hakkında bilgi verilecektir. Ayrıca yüksek gerilim trafo merkezlerinde topraklama sistemlerinin amacı olan canlıları tehlikeli gerilimlere karşı korumak için izin verilen adım ve temas gerilimleri Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği ve IEEE 80-2000 standardı referans alınarak hesaplanacaktır.

1.2. Topraklama

Toprak, sonsuz büyüklükte iletken bir kitledir ve bütün elektrik tesislerinin bulunduğu binalar veya açık hava tesislerini sinesinde taşır. Arızasız bir şekilde, işletmesinde toprak üzerinden önemsiz derecede küçük akımlar geçer. Eğer elektrik tesislerinde bir motor isteyerek veya bir hata sonucunda toprak bir iletkenin bağlantı haline gelirse tesisin bu noktası ile toprak aynı potansiyeli alır. Bundan başka simetrik olmayan şebeke hatalarında toprak üzerinden büyük akımların geçmesi beklenebilir. Toprakta geçen akımın bir kısmı arıza yerinde bulunan bir kimsenin üzerinden geçerse, bu kişinin hayatı tehlikeye girebilir. Toprakta geçen kaçak akımlar ayrıca yangına da sebep olabilirler. Toprağın kendi direnci 0,05 Ohm/km gibi gayet küçük bir değerdir. Fakat toprak üzerinden geçen akımın değerini tayin eden devre direnci, toprak ile temas haline gelen noktalardaki geçiş veya yayılma direncidir. Bazı hallerde bu temas, bir izolasyon hatası sonucunda tesadüfi olarak meydana gelir. Bazı hallerde ise, özel olarak toprağa yerleştirilen bir topraklayıcı elektrot üzerinden toprak ile temas sağlanır; buna topraklama denir. Bunlarda aranan en önemli özellik, toprak geçiş (veya yayılma) direncinin mümkün olduğu kadar küçük olmasıdır. Toprak üzerinden geçen hata akımının değeri, ayrıca şebekenin yıldız noktasının durumuna bağlıdır. Elektrik şebekelerinde topraklama tesisleri, bir arıza halinde kısa devre akımlarının insan hayatını tehlikeye sokmayacak yoldan geçmelerini sağlar. Bu bakımdan, güvenilir bir topraklamanın elde edilmesi için bunun iyi hesaplanması ve şartlara uygun bir şekilde tesis edilmesi gerekir.

Elektrik sistemlerinin devamlılığı ve insan hayatını güvenceye almak için elektrik sistemlerinde, gerilim altındaki kısımlar yalıtılır. Toprağa karşı yalıtımda, çeşitli sebeplerle, her zaman bozulma ve delinme (yalıtkanın yalıtkanlığının delinmesi) şeklinde hata meydana gelmesi kaçınılmazdır. Topraklama, meydana gelebilecek bu çeşit bir 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 eşpotansiyel 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 tehlikede söz konusu olmayacaktır. Bu sistemde statik elektrik de oluşmayacağından statik elektrik kaynaklı yangın riski ortadan kalkacaktır.

1.2.1. Topraklama ile İlgili Temel Kavramlar

Burada elektrik sistemlerinde adı geçen ve yeri geldikçe bahsedilecek bazı temel kavramlar tanımlanacaktır.

1.2.1.1. Aktif Kısımlar

İşletme bakımından gerilim altında bulunan ve işletme akım devresine ait olan sargı vb gibi iletken kısımlardır.

1.2.1.2. Gövde

İşletme araçlarının her an dokunulabilen, aktif kısım olmayan fakat bir hata halinde gerilim altına girebilen madeni ve iletken kısımlardır.

1.2.1.3. Toprak

Dünyanın tabii yapısını teşkil eden maddedir. Bunun elektrik direnci çok küçük olup yaklaşık 0,05 Ohm/km'dir [11]. Genellikle bu direnç değeri ihmal edilir. Nemle karışık, killi, kumlu, humuslu toprak veya nemle birlikte toprak, kum çakıl, taş veya bunların karışımıdır.

1.2.1.4. Topraklama

Bir elektrik devresinin bir bölümünün ulaşılabilir iletken kısımları açıkta olan elektrik cihazlarının veya elektrik tesisatının iletken kısmının toprağa bağlanmasıdır.

1.2.1.5. Topraklayıcı

Yeraltında toprağa gömülen, toprakla iletken arasında bir bağlantı kuran iletken malzemelerdir. Bunlar levha, çubuk veya şerit şeklinde olur.

1.2.1.6. Topraklama İletkeni

Bir elektrik tesisatının çıplak iletken kısımlarının veya açıktaki iletken kısımlarının toprak elektrodu ile bağlantısını sağlayan veya toprak elektrodlarını birbirine bağlayan iletkenidir.

Topraklama iletkenlerinin mekanik dayanım ve korozyona karşı dayanıklılık bakımından en küçük kesitleri aşağıda verilmiştir.

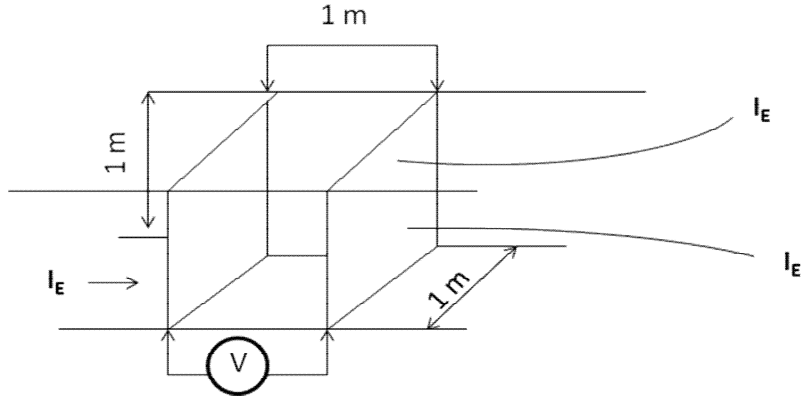
- Bakır 16 mm²
- Alüminyum 35 mm²
- Çelik 50 mm²

1.2.1.7. Referans Toprak

Topraklayıcıdan yeteri kadar (yaklaşık 20 m) uzakta bulunan ve topraklayıcı ile herhangi bir nokta da belirgin bir gerilim meydana gelmeyen toprağın belirli bir bölgesidir.

1.2.1.8. Toprak Özgül Direnci

Dünyanın tabii yapısını oluşturan maddenin, yani toprağın özgül elektrik direnci olup, Ohm-metre dir. Bir metreküp toprağın iki karşı yüzeyi arasında ölçülen dirençtir. Şekil 1.1 de fiziksel açıklaması gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Toprak özgül direnci ρ nun fiziksel açıklamasını gösteren diyagram [10]

1.2.1.9. Yayılma Direnci

Topraklayıcı ile referans toprağı arasındaki geçiş direncidir. Bir topraklayıcının yayılma direnci, özgül toprak direnci ile topraklayıcının boyutları ve düzenleme biçimine bağlıdır. Özgül toprak direnci (ρ) 100 $\Omega \cdot m$ olan bir zemindeki yayılma direnci değerleri, topraklayıcı boyutlarına göre Tablo 1.1 de verilmektedir.

Tablo 1.1. Özgül toprak direnci 100 $\Omega \cdot m$ (kil, humus) olan bir zemindeki yayılma direnci değerleri, topraklayıcı boyutları [11]

Topraklayıcı cinsi	LEVHA		ÇUBUK			
	Üst kenarı toprağın 1m altında		Üst ucu toprağın 0,8m altında			
Topraklayıcı ölçüleri	0,5m*1m	1m*1m	1m	2m	3m	5m
Yayılma direnci	35	25	70	40	30	20

Yayılma direnci topraklayıcının şekline, boyutlarına ve toprağın özgül direncine bağlıdır. Bazı elektrot şekilleri için yayılma dirençleri aşağıdaki hesap yöntemi ile belirlenir.

ρ_e : Toprağın özgül direnci (Ωm)

l : Çubuk boyu (m)

d : Çubuk çapı (m)

çubuk topraklayıcı (derin topraklayıcı) için yayılma direnci

$$R_E = (\rho_e / 2\pi.l)\ln(4l / d) \quad (1.1)$$

l : Şerit veya halka topraklayıcı uzunluğu (m)

$D=l/\pi$ Halka topraklayıcının çapı

d İletken kalınlığı veya şerit kalınlığının yarısı (m)

olmak üzere

Şerit topraklayıcı yayılma direnci

$$R_E = (\rho_E / \pi.l)\ln(2l / d) \quad (1.2)$$

Halka topraklayıcı yayılma direnci

$$R_E = (\rho_E / \pi^2 D)\ln(2\pi D / d) \quad (1.3)$$

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

Gözlü topraklayıcı yayılma direnci

$$R_E = (\rho_E / 2D) + \rho_E / l \quad (1.4)$$

yaklaşık ifadeleri ile bulunur.

1.2.1.10. Topraklama Direnci

Bir topraklama tesisi ile bundan yeteri kadar uzakta bulunan referans toprak arasında ölçülen direnç değeridir. Bu değer topraklama barasından başlayarak, topraklama iletkeni ve barasının dirençleri, topraklama elektrotlarının yüzeyi ile toprak arasındaki geçiş direnci, topraklayıcıdaki yayılma direnci ve referans toprak noktasından sonraki toprak bölümünün direncinden oluşur.

1.2.1.11. Topraklayıcı Gerilimi

Bir topraklayıcı veya topraklama tesisi üzerinden akım geçmesi halinde topraklayıcı ile referans toprağı arasında meydana gelen gerilimdir. Bu gerilim, gerilim altında bulunan topraklayıcı ile bundan yaklaşık olarak 20m uzaklıktaki referans toprağı arasında ölçülür.

1.2.1.12. Potansiyel Sürüklenmesi

Bir topraklama tesisinin yükselen potansiyelinin, bu tesise bağı bir iletken yolu ile uzak bir bölgeye taşınması olayıdır.

1.2.1.13. Potansiyel Düzenlenmesi

Bir topraklama tesisinin potansiyel dağılımını, adım ve dokunma gerilimlerini küçültmek için, topraklama tesisi çevresine düzenleyici elektrotlar yerleştirilmesi ile potansiyel dağılımına etki etmektir.

1.2.1.14. Potansiyel Dengelenmesi

İletken kısımlar arasında potansiyel farklarının ortadan kaldırılmasıdır. Koruma iletkenleri ile iletken yapı kısımları arasında ya da yapı bölümleri arasında potansiyel farklılıklarının giderilmesi amacı ile yapılan düzenlemelerdir.

1.2.1.15. Potansiyel Dengeleme Hattı (Eşpotansiyel kuşaklama)

Potansiyel dengelemesini sağlamak amacı ile kullanılan bağlantı iletkenleridir.

1.2.1.16. Global Topraklama Sistemi

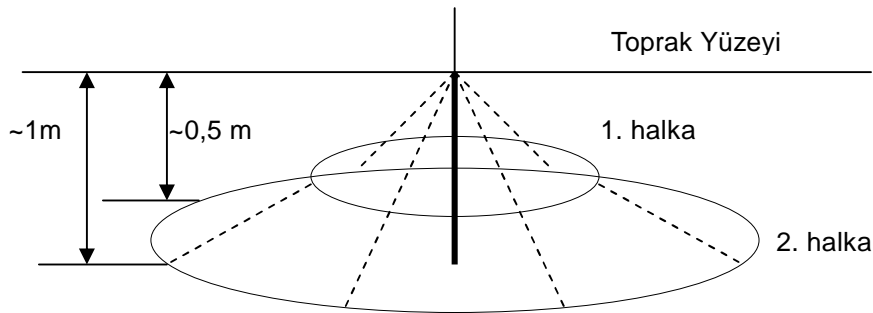
Yerel topraklama tesislerinin birbirlerine bağlanması ile elde edilen topraklama sistemidir. Böyle sistemler toprak arıza akımının bölünmesine yol açarak, topraklama sisteminde topraklama geriliminin küçültülmesini sağlar.

1.2.1.17. Topraklayıcıdan Akım Geçmesi

Bir topraklayıcıdan (topraklama elektrodundan) toprağa akım aktığı zaman, topraklayıcıdan itibaren çevreye doğru akım yayılması meydana gelir. Bu yayılma topraklayıcı çevresindeki potansiyelin yükselmesine yol açar. Toprak içinde eşpotansiyel noktaları birleştiren eğrilerin bir potansiyel çadırı veya konisi meydana getirdiği düşünülür. Topraklayıcı çevresindeki potansiyel değişimi, referans toprak ile topraklayıcıya doğru değişik noktalar arasındaki gerilim ölçülerek bulunur.

Şekil 1.2’de bir çubuk elektrot çevresindeki, gerçek değerlere göre çizilmiş, potansiyel dağılımı gösterilmiştir. Elektrota yakın noktalarda potansiyel, hızla değişmektedir.

Adım gerilimleri, elektrot çevresinde yüksek olacaktır. Potansiyel değişimin yumuşatılması maksadı ile elektrot çevresine potansiyel düzenleme elektrotları yerleştirilir.

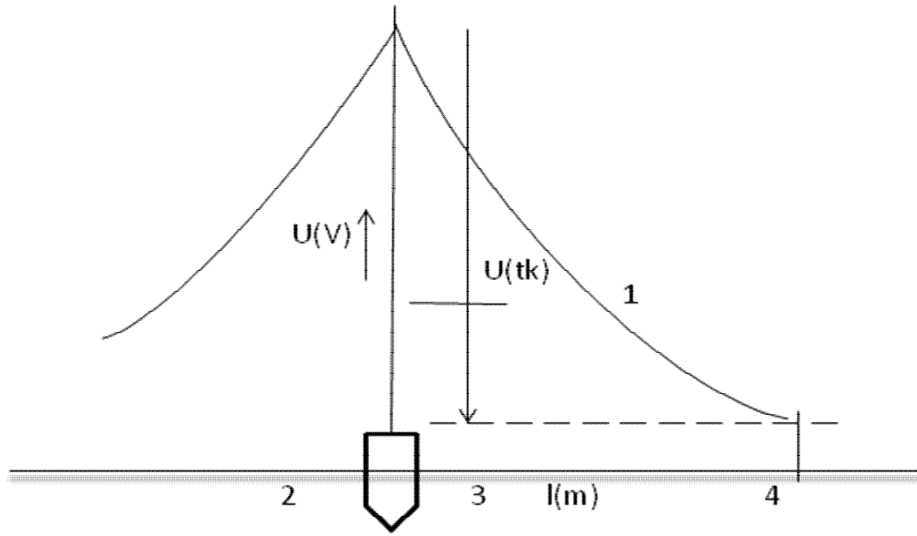


Şekil 1.2. Potansiyel düzenleme elektrotları [7]

1.2.1.18. Potansiyel Dağılımı

Topraklanmış bir işletme aracında bir hata sonucu olarak bir gövde kısa devresi baş gösterdiğinde, referans toprağından itibaren ölçülmek üzere söz konusu işletme aracına doğru potansiyel dağılımasıdır.

Örnek olarak bir trafo merkezinde yalıtım hatası sonucu oluşan arıza akımı veya yıldırım darbesi isabet etmesi durumunda toprağıın h kadar altına gömülü topraklama ağının referans toprağına göre meydana getirdiğı potansiyel dağılımı için Şekil 1.3 örnek alınabilir.



Şekil 1.3. Topraklayıcı etrafındaki potansiyel dağılımı [2]

$U(v)$ - Gerilim eksen, $l(m)$ - Mesafe eksen U_{tk} -topraklayıcı gerilimi

- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1. potansiyel dağılımı | 2. toprak |
| 3. topraklayıcı | 4. referans toprak |

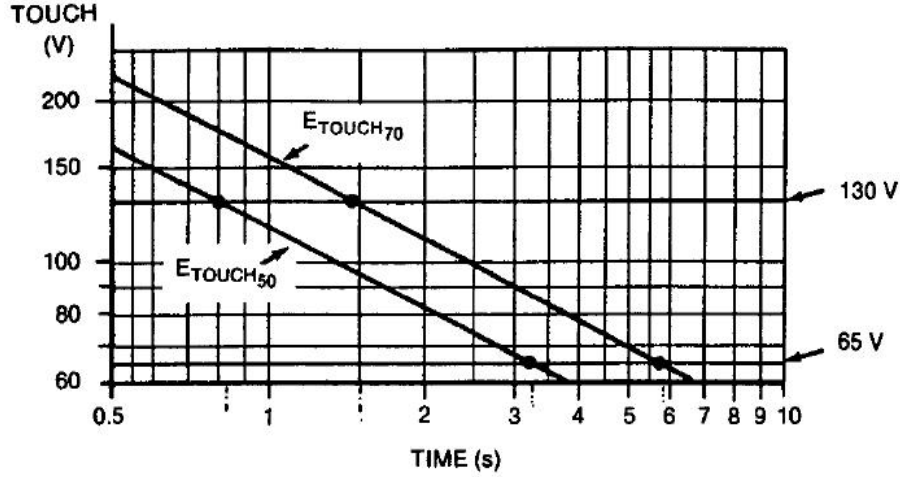
1.2.2. İzin Verilen Gerilim Kriterleri

1.2.2.1. Metal-Metal Dokunma Gerilimi

Şalt sahalarında potansiyel farkı olan iki cihaz ya da yapı arasında insan vücudunun (el- el ya da el- ayak) teması ile köprü görevi görmesidir.

Şalt sahalalarında en kötü dokunma gerilimi, genelde maksimum ulaşma mesafesi olduğu noktalarda el ile ayak arasında ki potansiyel farkta görülür. Bu durumda akım metalden metale doğru akacağından dolayı sadece vücudun iç direnci etkili olmaktadır.

Şekil 1.4 de verilen metal-metal temasta dokunma gerilimleri zaman eğrisi dikkate alınmalıdır.



Şekil 1.4. Metal- metal temasta dokunma gerilimi limiti [18]

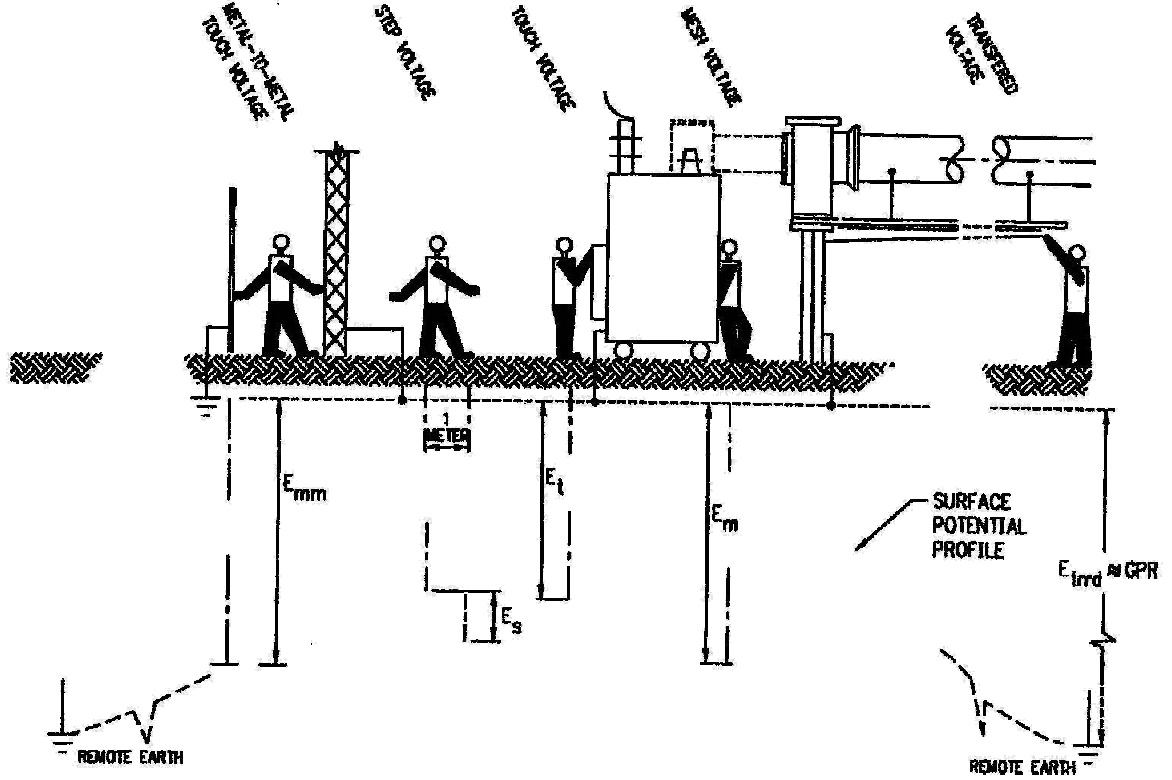
$$(E_{touch-70})E_{dokunma-70} = I.R_b \quad (1.5)$$

$$0,157/\sqrt{t_s} \cdot 1000 \Rightarrow 157/\sqrt{t_s} \quad (1.6)$$

1.2.2.2. Adım Gerilimi

Herhangi bir topraklanmış nesneye temas etmeksizin, bir kişinin iki ayağı arasında ki 1m mesafede oluşan yüzeydeki potansiyel farkı, adım gerilimi olarak tanımlanır. Alçak gerilim tesislerinde önemli olmamasına rağmen, yüksek gerilim tesislerinde insan ve hayvan hayatı bakımından önemli bir tehlike kaynağı olabilir. Örneğin bir açık hava tesisinde bir yalıtım hatası yüzünden toprağa bir hata akımı geçerse ve topraklayıcı ile referans toprağı arasında meydana gelen potansiyel alanına bir insan girerse bir adım

gerilimine maruz kalır ve vücudundan bir akım geçer. Şekil 1.5 da çeşitli dokunma gerilimlerinin sebep olduğu temel şok durumlarına görsel örnekler verilmiştir.



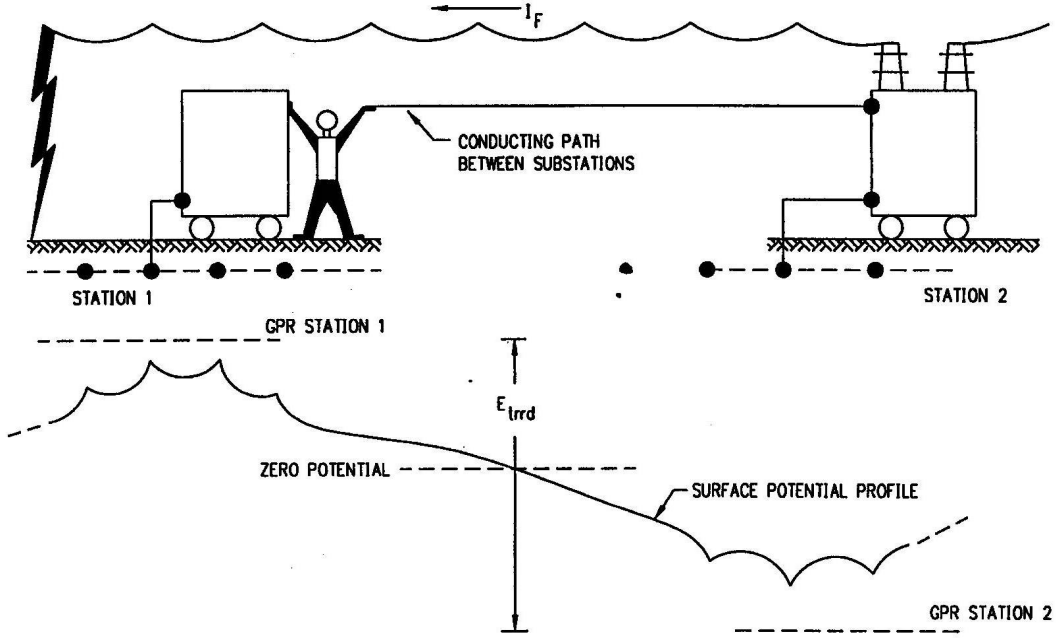
Şekil 1.5. Dokunmanın çeşitlerinin sebep olduğu temel şok durumları [18]

1.2.2.3. Temas Gerilimi

Topraklayıcı ve hata geriliminin insan tarafından köprülenen kısmına temas gerilimi denir. Bu gerilimden dolayı akan akımın yolu elden ele veya elden ayağa doğrudur. Genel olarak gövde kısa devresi olan cihaza dokunan veya yalıtım düzlemi üzerinde duran bir kişi temas gerilimine maruz kalır.

1.2.2.4. Transfer Gerilimi

Temas geriliminin özel bir hali olup, bir gerilimin uzaktaki bir şalt sahasına taşınması ile oluşur.



Şekil 1.6. Trafo merkezinde transfer potansiyel [18]

1.2.2.5. Adım ve Temas Gerilim Kriterleri

Bir topraklama tesisinin güvenli olup olmadığı hesaplanan mümkün azami dokunma ve adım gerilimlerinin müsaade edilen azami dokunma ve adım gerilimleri ile mukayesesi ile anlaşılır.

Sistem enerjisiz kalmadan ve hata temizlenmeden önce, canlının güvenliği için belirlenmesi gereken bazı kriterler vardır, bu kriterlerin hesabı şu şekilde olur;

1.2.2.5.1. Müsaade Edilebilir Maksimum Adım Gerilimi

$$E_{step} = (R_B + 2R_f)I_B \quad (1.7)$$

50 kg ağırlığındaki bir canlı için [12];

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) 0,116 / \sqrt{t_s} \quad (1.8)$$

70 kg ağırlığındaki bir canlı için [12];

$$E_{step70} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \cdot 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (1.9)$$

1.2.2.5.2. Müsaade Edilebilir Maksimum Dokunma Gerilimi

$$E_{touch} = (R_B + R_f / 2) \cdot I_B \quad (1.10)$$

50 kg ağırlığındaki bir canlı için [12];

$$E_{touch50} = (1000 + 1,5C_s \rho_s) 0,116 / \sqrt{t_s} \quad (1.11)$$

70 kg ağırlığındaki bir canlı için [12];

$$E_{touch70} = (1000 + 1,5C_s \rho_s) 0,157 / \sqrt{t_s} \quad (1.12)$$

E_{step} : adım gerilimi (V)

E_{touch} : dokunma gerilimi (V)

ρ_s : yüzeyi kaplayan maddenin öz direnci (Ωm)

t_s : kısa devrenin temizlenme süresi (sn)

R_f : ayakların topraklama şebekesi ile paralel direnci (Ohm)

R_B : insan vücudu direnci (1000 Ohm)

1.2.2.6. Mevcut Elektrik Tesisinin Hesaplanan Temas ve Adım Gerilimleri

1.2.2.6.1. Dokunma (Mesh-Göz) Gerilimi

Bir topraklama ağında, gözün orta noktasından ölçülen, topraklama ağı ile toprak yüzeyi arasındaki potansiyel farkı olarak veya referans toprağa göre ağın iletkenlerindeki potansiyel artışının yüzde olarak ifadesine göz potansiyeli denir.

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_g \cdot K_i \cdot I_G}{l_M} \quad (1.13)$$

E_M : Göz gerilimi (V)

ρ : Toprak özdirenci (Ωm)

K_g : Göz gerilimi için mesafe faktörü,

K_i : Izgara geometrisi için düzeltme faktörü

I_G : Toprak çevresi ve topraklama ağı arasında akan maksimum ağ akımı (A)

$$L_M = L_C + L_R \quad (m) \quad (1.14)$$

$$K_g = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi \cdot (2n-1)} \right) \right] \quad (1.15)$$

D : Paralel şebeke iletkenleri arası toplam mesafe (m)

h : aklama ağı iletkenlerinin gömüldüğü derinlik (m)

Ağın çevresi boyunca ya da ağın köşelerinde topraklama çubuğu varsa, ayrıca hem çevresi boyunca hem de ağ alanının her yerinde topraklama çubukları varsa $K_{ii} = 1$ 'dir. Ağda hiç topraklama çubuğu yok veya birkaç topraklama çubuğu var ve bunlar da çevresinde ya da köşelerinde yerleştirilmemiş ise;

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \quad (1.16)$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (1.17)$$

$h_0 = 1m$ ızgara referans derinliği

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \quad (1.18)$$

$$n_a = \frac{2L_C}{L_P} \quad (1.19)$$

$n_b = 1$ (kare ağ için)

$n_c = 1$ (kare ve dikdörtgen için)

$n_d = 1$ (kare, dikdörtgen ve L şekilli ağ için)

aksi durumlarda;

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4\sqrt{A}}} \quad (1.20)$$

$$n_c = \left[\frac{L_X \cdot L_Y}{A} \right]^{0,7A}_{L_X \cdot L_Y} \quad (1.21)$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad (1.22)$$

A : Topraklama ağının kapladığı toplam alan (m^2)

L_P : Topraklama ağının çevresi (m)

L_X : Yatay (x) yönde ağın maksimum uzunluğu (m)

L_Y : Düşey (y) yönde ağın maksimum uzunluğu (m)

D_m : Ağda herhangi iki nokta arasındaki maksimum mesafe (m),

düzensizlik faktörü;

$$K_i = 0,644 + 0,148n \quad (1.23)$$

Hiç topraklama çubuğu yok veya ağa rastgele dağıtılmış sadece birkaç topraklama çubuğu varsa ve bunlar da köşelere yerleştirilmemiş veya ağ çevresi boyunca konulmamış ise,

$$L_M = L_C + L_R \text{ dır.} \quad (1.24)$$

Köşelerde topraklama çubuğunun olması yanı sıra ağın her yerinde ve çevresi boyunca topraklama çubuğu varsa;

$$L_M = L_C + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \quad (1.25)$$

L_r : Her bir topraklama çubuğunun uzunluğu (m)

1.2.2.6.2. Adım Gerilimi

$$E_S = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_G}{L_S} \quad (1.26)$$

$$L_S = 0,75 \cdot L_C + 0,85 \cdot L_R \quad (1.27)$$

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] \quad (1.28)$$

K_S : Geometrik faktör

K_i : Düzeltme faktörü

ρ : Toprak öz direnci

I_G / L_S

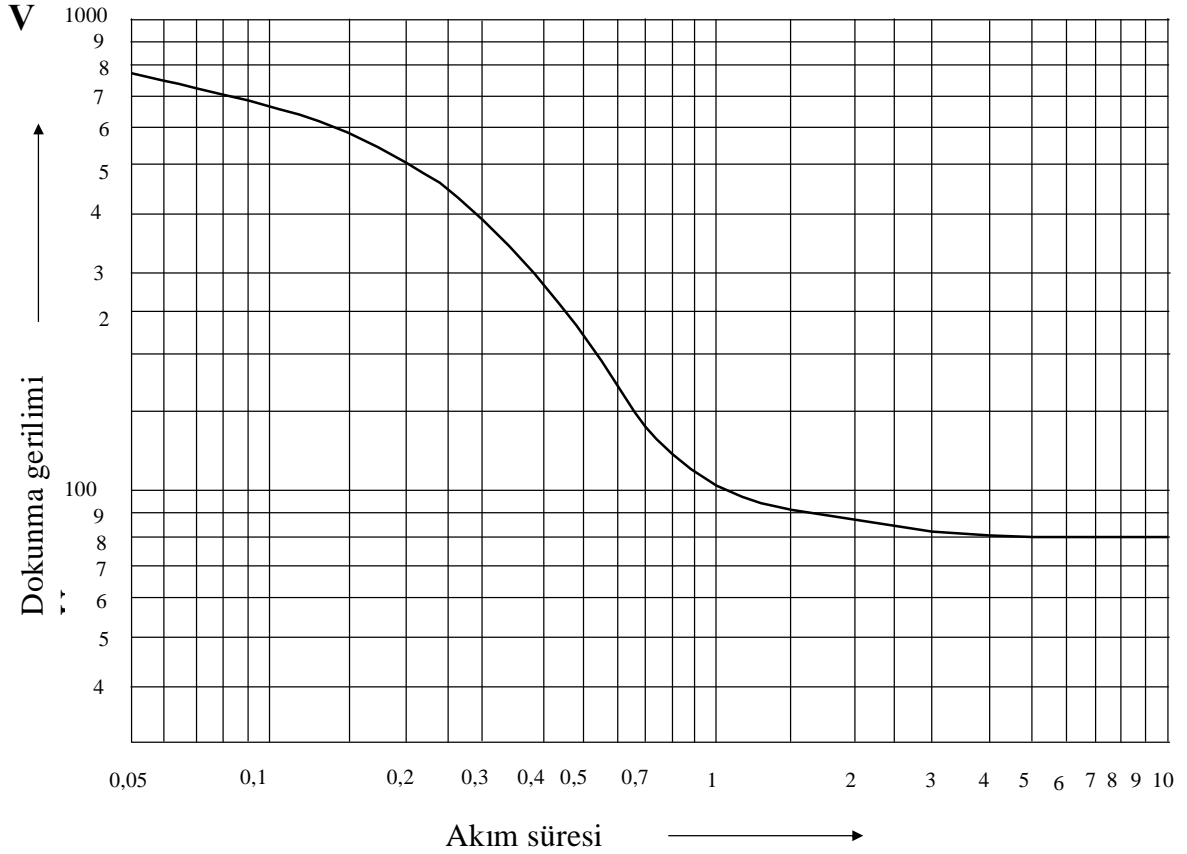
$$C_S = 1 - 0,106 \cdot \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s + 0,09} \right] \quad (1.29)$$

C_s = Malzeme katsayısı

ρ_s = Çakılın özgül direnci

h_s = Çakılın yüksekliği

Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen söz konusu elektrik tesisinin mevcut adım ve dokunma gerilimleri ile izin verilen adım ve temas gerilimleri bulunur. Elde edilen değerler doğrultusunda elektrik tesisinin topraklama sistemine uygun iyileştirme yapılır. Şekil 1.7 de yüksek gerilim şebekelerinde sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri U_{Tp} [19]

Not 1: Bu eğri sadece yüksek gerilim şebekelerindeki toprak hataları için geçerlidir.

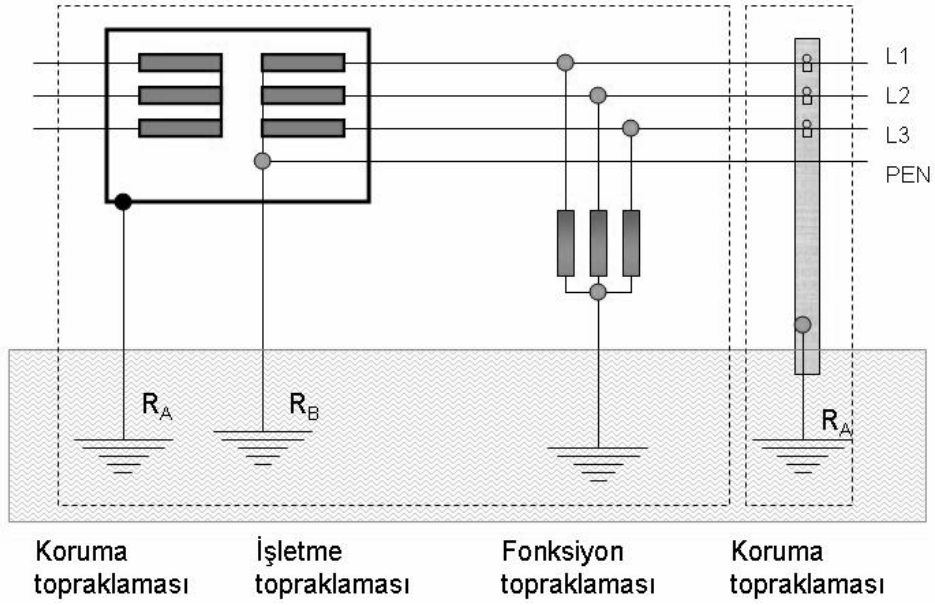
Not 2: Akım, diyagramda verildiğinden daha uzun süre akarsa U_{Tp} değeri için 75 V değeri kullanılabilir.

1.3. Topraklama Çeşitleri

Elektrik tesislerinde yapılan topraklamaların uygulama alanları, amaçları ve etki alanları farklıdır. Şekil 1.8 da topraklama çeşitleri görsel olarak sunulmuştur.

Aşağıda tesislerde kullanılan en önemli topraklamalar açıklanmaktadır

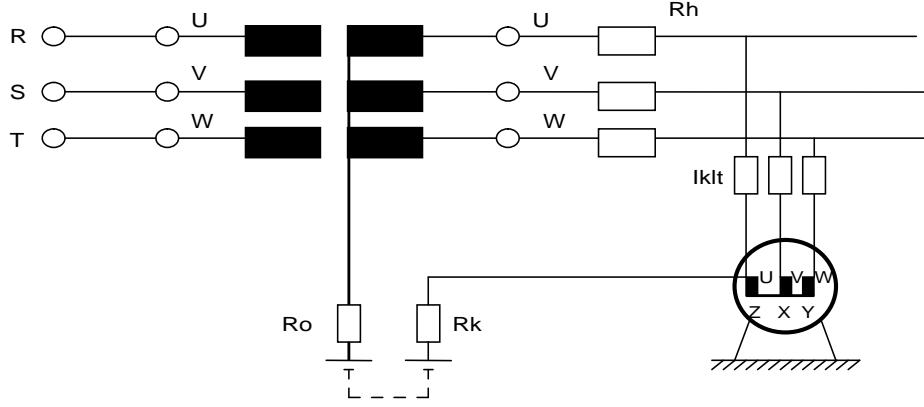
1. Koruma topraklaması
2. İşletme topraklaması
3. Özel topraklamalar



Şekil 1.8. Topraklama çeşitleri [11]

1.3.1. Koruma Topraklaması

Yüksek gerilim tesislerinde insanları yüksek temas gerilimlerine karşı korumak için yapılan topraklamadır. Bu amaçla işletme akım devresine ait olmayan, fakat bir yalıtım hatası durumunda gerilim altında kalabilen ve insanların temas edebilecekleri bütün cihazların ve tesis elemanlarının madeni kısımları, topraklama iletkeni üzerinden bir topraklayıcıya bağlanırlar. Şekil 1.9 da gösterilen yüksek gerilim tesislerinde tehlikeli temas ve adım gerilimlerine karşı koruma sağlamak için en etkin koruma metodu koruma topraklamasıdır.



Şekil 1.9. Koruma topraklaması [11]

R_0 : İşletme topraklaması

I_{klt} : Toprak kısa devre akımı,

K : R fazı ile gövde kısa devresidir.

R_k : Şebeke hat direnci,

Y : Transformör yıldız noktası,

Koruma topraklaması yalıtım hatası, ya direkt ya da endirekt nedenlerden dolayı meydana gelir.

İzolasyon hatasına neden olan direkt nedenler: iletken kopması, aşırı akımdan dolayı izolasyon maddesinin ısınarak elektriki dayanımının azalması, aşırı gerilimde izolasyon maddesinin zorlanarak delinmesi, malzemenin yaşlanması ve nihayet izolasyon maddesinin herhangi bir sebeple izolasyon özelliğini kaybederek kaçak akımların oluşmasıdır.

İzolasyon hatasına neden olan endirekt nedenler: dış etkilerle izolasyonun tahrip olması, atmosferik boşalmalar; yıldırım düşmesinin neden olduğu arklar, havai hat izolatörlerinin kirlenmesi sonucu üzerlerinden kaçak akımların geçmesi ya da gerilim atlamaları, izolatörlerin dış nedenlerle kırılması.

Yüksek gerilim tesislerinde koruma topraklamasının yapıldığı teçhizatlar:

- Elektrik motorları, cihazlar ve tesisler
- Trafo merkezlerinde kapı, merdiven, fens telleri gibi madeni aksanlar.
- Alçak, orta ve yüksek gerilim kablolarının madeni kılıf ve aksesuarları
- Trafo merkezlerinde, trafo rayları
- Yüksek gerilim merkezlerinde teçhizatın mesnet yapısı
- Direkt gövdesi
- Yüksek gerilim hatlarının koruma telleri
- Trafo merkezlerinde kumanda cihazlarının madeni kısımları, kumanda kolları,

- Trafo merkezlerinde madeni kapılar, kapaklar, koruma ızgaraları
- Trafo merkezlerinde madeni tesis hücreleri

1.3.2. İşletme Topraklaması

Elektrik tesislerinde işletme akım devresine ait bir noktanın topraklamasına işletme topraklaması denir. Cihazların ve tesislerin normal işletmeleri için bu topraklama gerekir. Orta ve yüksek gerilim şebekelerinde işletme topraklaması ülkenin yönetmeliklerine göre değişmektedir. Ülkemizde orta gerilim şebekeleri direnç üzerinden topraklanmaktadır. İşletme topraklaması, işletme akım devresinin toprağa karşı potansiyelinin belirli bir değerde bulundurulmasını sağlar bu sebepten dolayı yüksek gerilim şebekelerinin ise direkt olarak topraklanması yoluna gidilmektedir. İşletme topraklaması topraklanan noktayı toprak potansiyelinde tutar. Gerilim altında bulunan tesis kısımlarının işletme topraklanmasına bağlanması ile bu kısımlar sürekli ya da geçici olarak topraklanırlar ve bu sayede aşırı gerilimler önlenir ya da sınırlandırılmış olur.

Koruma topraklaması üzerinden yalnız hata halinde akım geçtiği halde işletme topraklaması üzerinden arızasız durumlarda da bir akım geçebilir ve parafudurda bir atlama olduğu zaman toprağa karşı büyük bir gerilim altında kalabilir.

Yüksek gerilim tesislerinde işletme topraklaması yapılan teçhizatlar ve topraklanacak olan noktaları:

1.3.2.1. Gerilim Transformatörleri

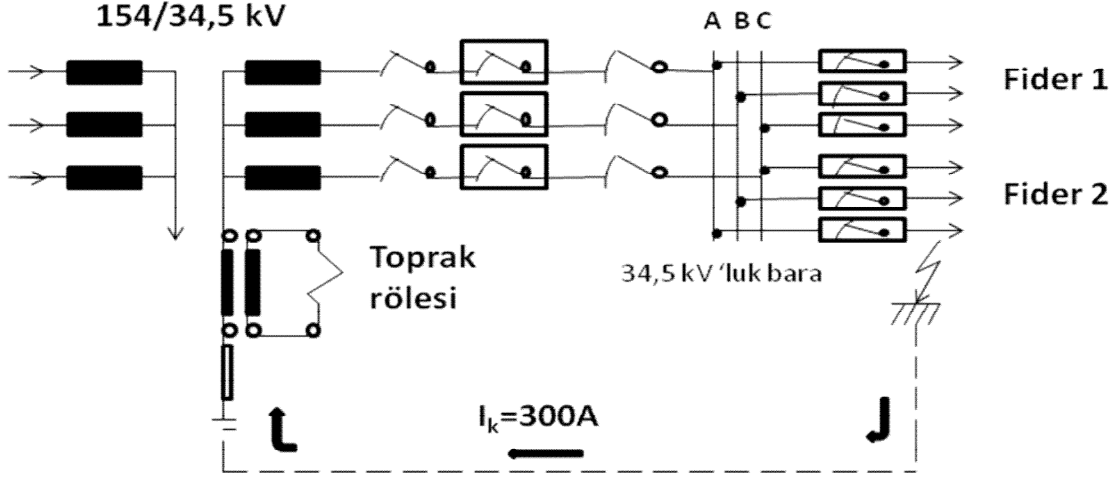
Üst gerilim sargıları ya da kondansatörleri topraklanır; gerilim transformatörlerin yüksek gerilim tarafındaki yıldız noktasının topraklanması, yıldız noktasını toprak ile aynı potansiyelde tutmayı ve bir toprak hatası durumunda gerilim ölçümünün doğru yapılmasını sağlar.

1.3.2.2. Transformatörlerin Yıldız Noktasının Topraklanması

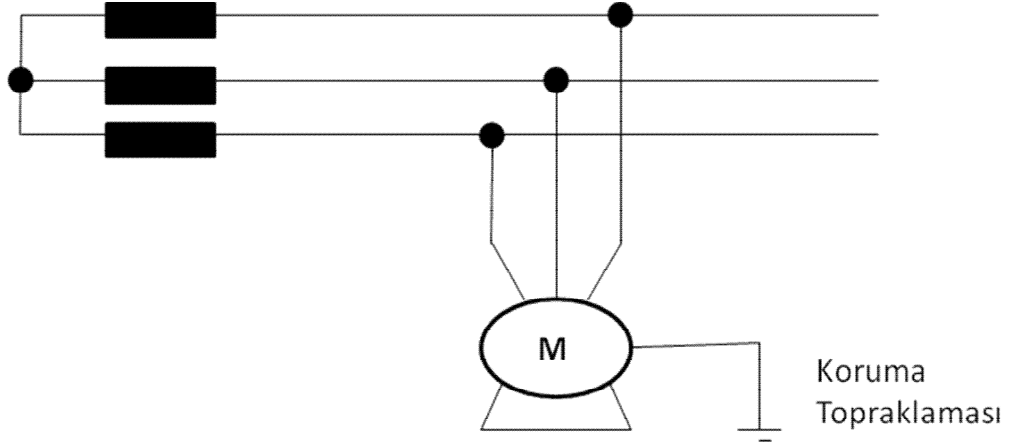
Transformatörlerin yıldız noktaları direkt ya da direnç üzerinden topraklanır

1.3.2.2.1. Transformatörlerin Yıldız Noktalarının Direkt Topraklanması

Şekil 1.10 de gösterilen transformatörün yıldız noktasının doğrudan topraklanması bir kutuplu bir toprak kısa devre durumu halinde hatasız faz iletkenlerinin toprağa karşı faz arası gerilim değerini almasına engel olmak için yapılır.



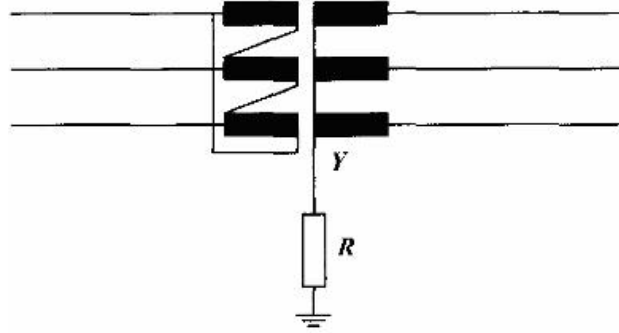
Şekil 1.10. Transformatörün yıldız noktasının doğrudan topraklanması [11]



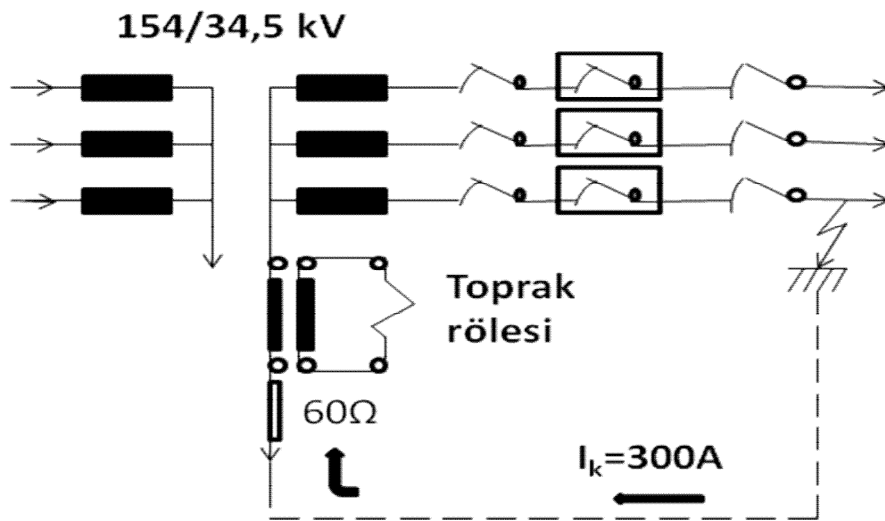
Şekil 1.11. Doğrudan topraklı devrede generatör veya trafoların toprak koruması [11]

1.3.2.2.2. Transformatörlerin Yıldız Noktalarının Direnç Üzerinden Topraklanması

Toprak kısa devre akımını sınırlandırmak amacı ile transformatörlerin yıldız noktası bir ohmik direnç üzerinden topraklanır. Direnç üzerinden gerçekleştirilen işletme topraklamasında, koruma ve işletme topraklamaları birleştirilebilir. Hesaplamalar müsaade edilen adım ve dokunma gerilimine göre gerçekleştirilir. Arıza başlangıcındaki geçici rejimin daha çabuk sönmesi ve rezonans etkisi yapmaması gibi nedenlerden dirençli topraklama reaktans bobinine göre daha fazla üstünlük gösterir.



Şekil 1.12. Transformatörün yıldız noktasının direnç üzerinden topraklanması [11]



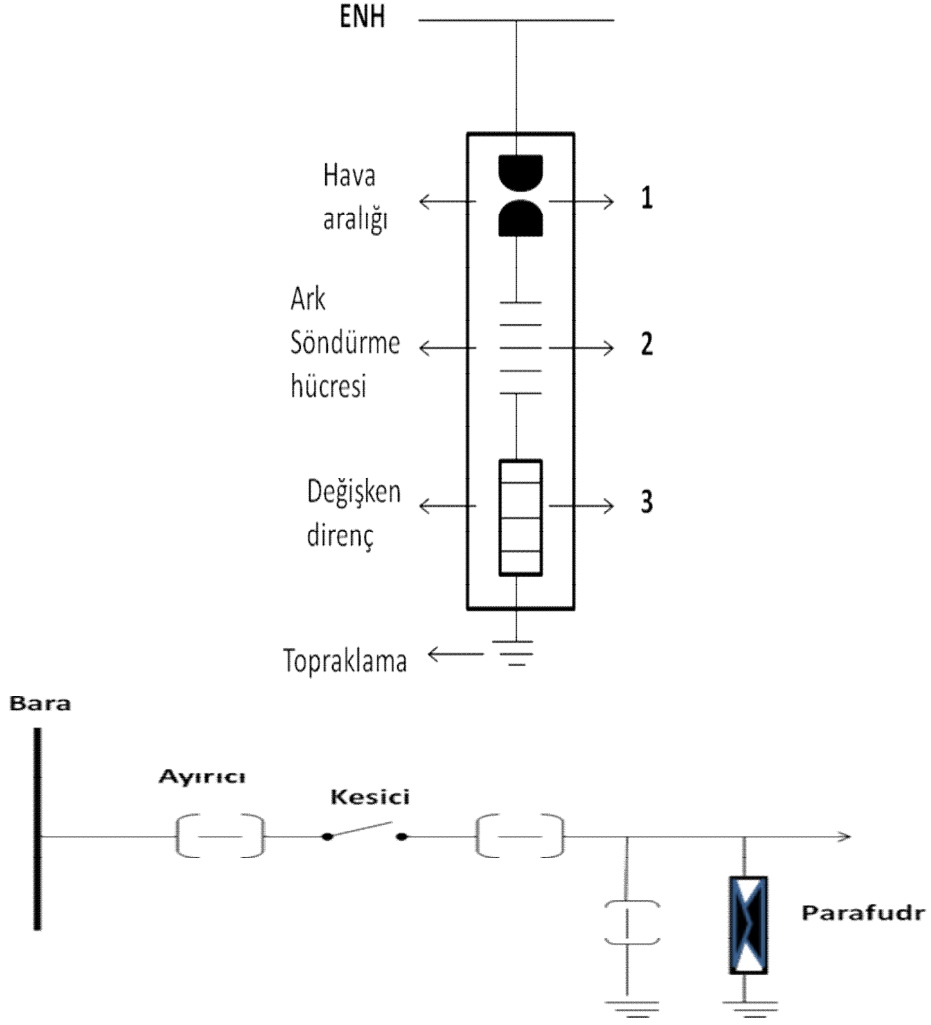
Şekil 1.13. Direnç üzerinden topraklı devrede generatör veya trafoların toprak koruması [11]

1.3.2.3. Generatörlerin Yıldız Noktalarının Topraklanması

Generatörlerin stator sargılarında baş gösterecek olan gövde kısa devrelerine karşı etkili biçimde korunmaları için yıldız noktası, yüksek ohm'lu bir bobin üzerinden topraklanır. Stator sargısının yıldız noktası ile toprak arasına yerleştirilen bu reaktif direnç, bir gövde kısa devresi halinde geçecek olan toprak akımının 10-20 A gibi zararsız bir değerle sınırlandırılmasını sağlar.

1.3.3. Yıldırım Topraklaması

Elektrik tesislerinde yıldırıma karşı korunmak için, parafudurların topraklama uçları ile açık hava tesislerinde yıldırımın düşmesi ihtimali olan bütün madeni kısımlar, mesela hava hatlarının koruma iletkenleri, madeni veya beton direkler özel bir topraklayıcı üzerinden topraklanır; buna yıldırım topraklaması denir. Yıldırım topraklaması da bir nevi koruma topraklamasıdır. Bu nedenle iki topraklama birbirine bağlanır. Yıldırım topraklamasının amacı, elektrik düşmesinin neden olduğu aşırı gerilim dalgasının işletme araçlarına zarar vermeden toprağa iletilmesi ve binalara düşen yıldırımın insan hayatına zarar vermeden toprağa atılarak zararsız hale getirilmesidir.

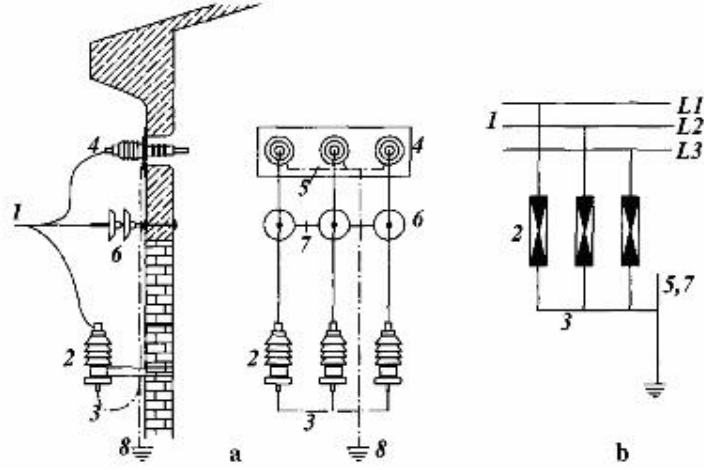


Şekil 1.14. Parafudur kesiti ve devreye bağlantısı [11]

Şekil 1.14 te kesiti ve devreye bağlantısı gösterilen parafudur emniyet supabı gibi çalışır. Aşırı gerilim dalgalarını toprağa akıtır. Parafudur bir direnç ile buna seri bağlı bir ark söndürme eklatöründen ibarettir. Şekil 1.15 da yüksek gerilim tesisinde toprağa bağlantısı gösterilen parafudurlar koruyacağı yüksek gerilim cihazına en yakın yere bağlanmalıdır. Parafudurlar, havai hat sonlarına ve trafo girişlerine her faza birer adet bağlanırlar.

Topraklanmış bir tesis kısmına bir yıldırım düştüğünde geçen yıldırım akımının etkisi ile meydana gelen darbe geriliminin yüksekliği;

1. Yıldırım akımının zamana bağlı olarak değişimine yani artış hızına ve süresine
2. Yıldırım akımının tepe değerine
3. Topraklama durumuna, yani topraklayıcının cinsine, yapılışına ve darbe yayılma direncine bağlıdır



Şekil 1.15. Yüksek gerilim tesislerinde parafudur topraklaması [2]

a: parafudur topraklamasının yapılışı

b: üç fazlı prensip bağlama şeması

1. faz iletkenleri

2. bağlama şeması

3. parafudur topraklaması

4. geçit izolatörü

5. geçit izolatörü topraklaması

6. gergi izolatörü

7. gergi izolatörü topraklaması

1.3.3.1. Yıldırıma Karşı Topraklama Koşullarının Sağlanması

Elektrik tesislerinin topraklanmış bölümlerine (toprak iletkenleri, demir ve beton direkler, topraklama iletkeni toprağa kadar indirilmiş ağaç direkler, açık hava tesislerindeki dayanaklar) yıldırım düştüğünde, topraklanmış tesis bölümleri ile işletme gereği gerilim altında bulunan bölümler arasında atlama (geri atlama) olabilir.

Darbe topraklama direnci R_{da}

$$R_{da} \leq \frac{U_{da}}{I_{da}} \quad (1.30)$$

Bağıntısını sağlayacak değerde ise, genel olarak geri atlamalar beklenmez. Burada:

R_{da} : Direk Dayanak topraklama tesisinin darbe topraklama direnci

U_{da} : Yalıtkanın darbe dayanım gerilimi,

I_{da} : Direk ya da dayanaktan geçen yıldırım akımının tepe değeri.

Yıldırım akım şiddetleri üzerine fikir edinmek için Tablo 1.2 hava hattı direklerinden geçen bazı yıldırım akım değerleri verilmiştir. İkinci sırada da tüm yıldırım

düşmelerinin yüzde kaçında bu akım değerlerinin üzerine çıkılmadığı belirtilmiştir. Bir direğe düşen tüm yıldırımların %95'inde bu direktten geçen yıldırım akımlarının şiddeti 40 kA'ı aşmamaktadır.

Tablo 1.2. Toprak iletkeni bulunan hava hattı direklerinde direktten geçen yıldırım akımları [11]

I_{da} (kA)	20	30	40	50	60
Bir direğe düşen tüm yıldırım akımlarının % si olarak aşılmayan değerler	80	90	95	98	99

Transformatör istasyonlarının yıldırıma karşı topraklanması: Havai hatların koruma iletkenleri mümkün olduğu kadar faz iletkenlerinin üstünde olarak istasyona kadar getirilir ve tesisin topraklama tesisi ile bağlanır.

1.4. Topraklama Tesisleri

Bu bölümde yaygın olarak kullanılan topraklayıcılardan bahsedilecektir. Elektrik tesisinin bulunduğu toprağın durumuna ve topraklayıcı olarak kullanılan malzemenin cinsine göre çeşitli topraklayıcılar kullanılırlar. Topraklayıcıların geometrik şekilleri, kullanılan malzemenin cinsi ve toprağa gömülme derinliği bakımından bir çok çeşitleri vardır. Topraklayıcının seçiminde ve düzenlenmesinde yayılma direnci dikkate alınır.

1.4.1. Topraklama Tesisinin Görevi

Yüksek gerilim tesislerinde ekseriya işletme personeli, alçak gerilim tesislerinde ise hem işletme personeli hem de çeşitli alçak gerilim makineleri ve cihazları kullanan şahıslar, bir izolasyon hatası halinde daima tehlikeli temas veya adım gerilimine maruz kalabilirler ve her an hayatları tehlikeye girebilir. Enerji tesislerinde yapılan topraklama tesislerinin görevi ise, böyle bir izolasyon hatası meydana geldiğinde, arızalı fazdan geçen hata akımının yardımı ile hata akım devresini kesmek veya bu akımların insan hayatını tehlikeye sokacak bir yoldan geçmelerini önlemek yahut da hata gerilimlerinin tehlikeli sınır değerlerin altında kalmasını sağlamaktır. Topraklama tesisinin yukarıda üç

madde halinde sayılan görevi şu şekilde açıklanabilir. Tesisin yıldız noktasının direkt topraklanmış olduğu ve şebekeye bağlı olan cihazında topraklandığı kabul edilsin. Söz konusu cihazda bir izolasyon hatası sonucunda bir gövde teması (yada gövde kısa devresi) meydana gelirse devreden büyük bir akım geçer. Bu akımın etkisi ile yüksek gerilim tesislerinde sigorta veya güç anahtarı kısa zamanda devreyi keserek tehlikeli hata gerilimini ortadan kaldırır. Bu durumda söz konusu cihaza temas eden canlının hayatı da korunmuş olur.

Bu durumda yapılan topraklamalar sayesinde hata akımı şiddetlendirilir ve kısa devre akımı mertebesine çıkan bu hata akımlarının etkisi ile devrenin aşırı akıma karşı koruma cihazları(örnek olarak sigorta...)yardımı ile kesilmesi sağlanır.

Eğer tesisin yıldız noktası topraklanmamışsa ve korunması söz konusu olan cihaz da bir topraklama tesisi ile donatılmış ise, bir faz iletkenin cihazın gövdesi ile temas etmesi halinde, alçak gerilim tesislerinde pratik olarak bir akım geçmez; buna karşılık yüksek gerilim tesislerinde küçük bir kapasitif akım geçer. Böyle bir tesiste bir eli ile söz konusu cihaza dokunan bir şahıs ayakları ile de çıplak zemin üzerinde durursa, topraklama tesisi bu şahıs tarafından köprülenir ve insanın gövde direnci topraklama tesisine paralel bağlanmış olur. Bu durumda insan hayatının tehlikeye düşmemesi için hata akımı insan üzerinden değil topraklama tesisinden geçmelidir; başka bir deyişle, insan tarafından köprülenen kısımda meydana gelen gerilim düşümü tehlikeli temas gerilimi sınırının altında kalmalıdır. Bu da topraklama direncinin çok küçük olması ile mümkündür.

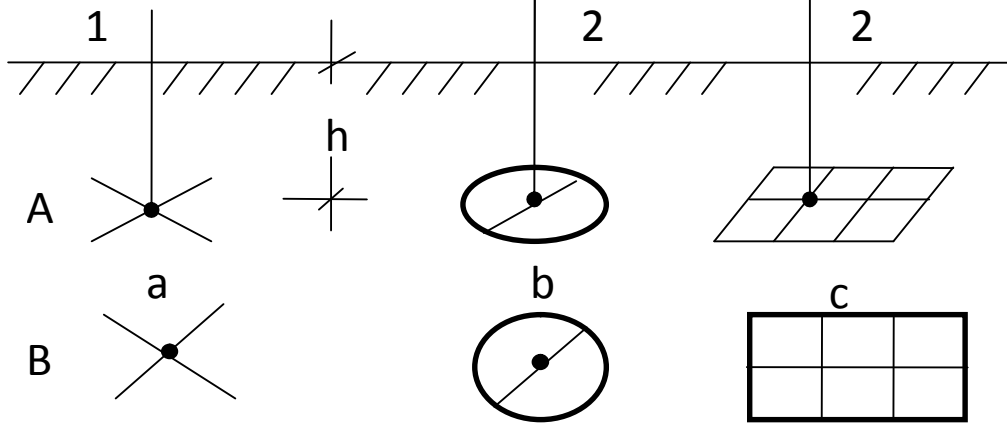
Bu açıklamalar da söz konusu olan topraklama, canlıların hayatını elektrik akımına karşı koruma ile ilgilidir.

1.4.2. Şeritle Yapılan Topraklama Tesisleri

Şerit topraklayıcılar da zemin koşulları elverişli ise 0,5 ile 1 metre derinliğe döşenmelidir. Bu topraklayıcılar, yeryüzüne paralel olarak gömülürler. Birden fazla şerit kullanılacaksa (yıldız topraklayıcıda olduğu gibi) kol açıları birbirine ifna etkisinden dolayı 60^0 nin altında olmaması gerekir.(en çok altı kol).

Şeritle yapılan topraklama tesisleri yüzey topraklayıcılar olarak da adlandırılır. Şerit topraklayıcılar üzerinde büyük adım gerilimlerinin oluşmaması için topraklayıcının bulunduğu toprak yüzeyi en az 10cm çakıl ile örtülmelidir.

En basit şerit topraklayıcı, boylu boyuna döşenen bir şeritten ibarettir. Bunun yayılma direnci, birinci mertebeden şeridin uzunluğuna bağlıdır. Bunun için yalnız yassı çelik şerit kullanılır.



Şekil 1.16. En çok kullanılan şerit topraklayıcılar [2]

- A perspektif görünüş B plan görünüş
a Dört kollu yıldız topraklayıcı,
b Halka topraklayıcı,
c Gözlü topraklayıcı,
1 Zemin, toprak 2 topraklama iletkeni,
h Gömülme derinliği

Şekil 1.16'de en çok kullanılan şerit topraklayıcıların yapıları gösterilmiştir. Topraklayıcılar en çok yıldız, halka, gözlü veya bunların kombinasyonu şeklinde yapılır. Daha az yer kaplarlar ve boylu boyuna gömülen şerit topraklayıcıya göre daha az kazma ve toprak işçiliğine ihtiyaç gösterirler; ancak bunların yayılma dirençleri daha büyüktür.

Yıldız topraklayıcıda kol sayısını artırmakla yayılma direncini azaltmak her zaman mümkün olmaz; çünkü kolların birbirine karşılıklı olarak tesir etmesi sonucu olarak, çok kollu yıldız topraklayıcılarda yayılma direnci artabilir bu sebepten dolayı iki, üç ya da en uygunu dört kollu yıldız topraklayıcı kullanılır; altı kollu yıldız topraklayıcıya da müsaade edilebilir; daha çok kollu topraklayıcının kullanılması uygun olmaz. Kollar arasındaki açılar eşit olmalıdır.

Yıldız topraklayıcılar daha ziyade direk topraklamasında kullanılırlar.

Şerit topraklayıcının boyu, istenen yayılma direncine göre tayin edilir

L uzunluğunda ve h derinliğine gömülmüş bir şerit iletken için R direnci iyi bir yaklaşıkla:

$$R = \frac{\rho}{\pi d} \ln \frac{L}{(Dh)^{1/2}} \quad (1.31)$$

şerit dikdörtgen kesit ise;

$$D = \frac{2b}{\pi} \text{ den hesaplanır (b uzun kenar)} \quad (1.32)$$

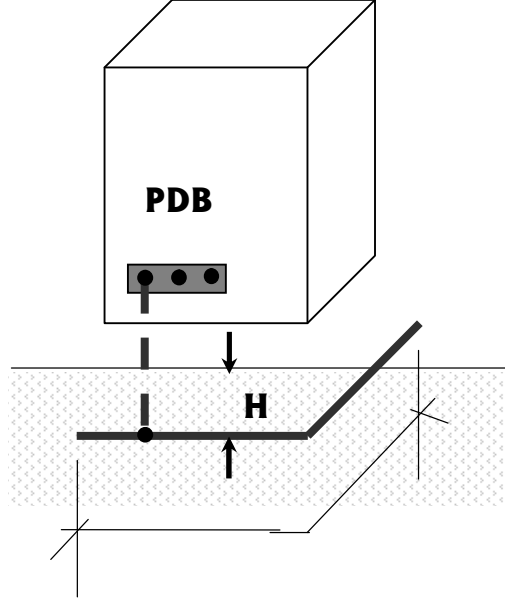
Şekil 1.17 de gösterilen şerit topraklayıcı yeryüzüne döşenmiş ise çapı D olan şeridin, D/2 yarıçapında ekseni boyunca kesildiği, kesme yüzeyi toprak olacak şekilde bir yarım eksen boyunca toprak içine gömüldüğü kabul edilsin, bu durumda şerit topraklayıcının yayılma direnci:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d} \quad \text{olur } d = \frac{2b}{\pi} \text{ alınmalıdır.} \quad (1.33)$$

$\rho = 100 \Omega \cdot m$, $L = 10m$, $b = 0,08m$ için hesaplanan direnç $22,13 \Omega$ bulunur. Halbuki aynı değerler 1m derine gömülmüş aynı iletken için;

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{L}{(Dh)^{1/2}} \quad (1.34)$$

formülünden hesaplanırsa 12Ω luk bir yayılma direnci elde edilir. Görülüyor ki şerit iletkeni toprağa gömmek çok iyi bir sonuç vermektedir.



Şekil 1.17. Şerit topraklayıcı [11]

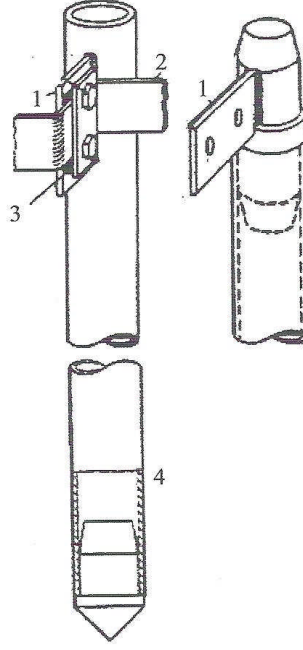
1.4.3. Derin Topraklayıcılar

Levha, kazık, boru, köşebent (köşe demiri) ile yapılan topraklama tesisleri ise derin topraklayıcı olarak kabul edilirler. Bunlar da toprağa olabildiğince dik (düşey) olarak çakılmalıdır. Üst uçları toprağın en az 0,5 m altında kalmalıdır.

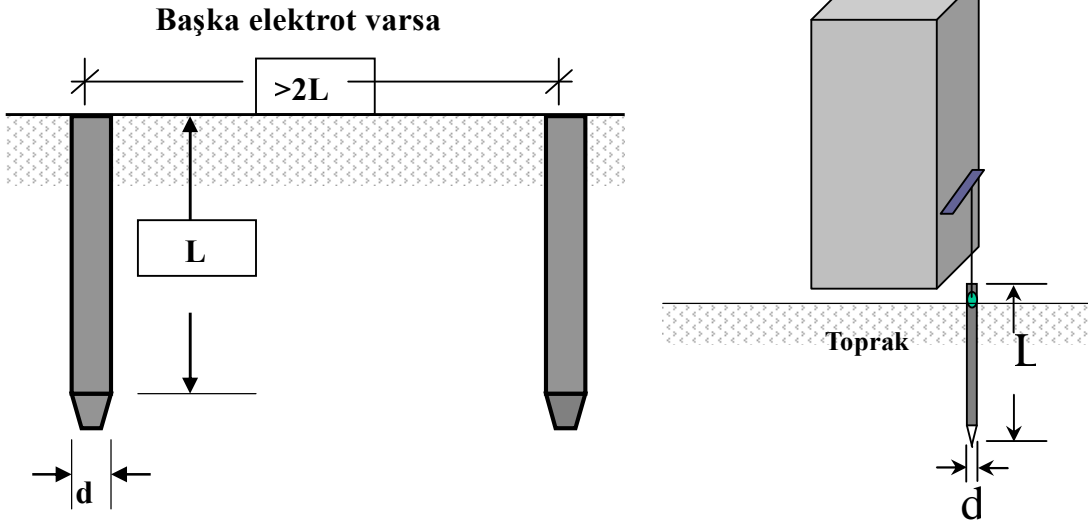
Şekil 1.19 ve Şekil 1.18 de gösterilen çubuk topraklayıcıların çapı, yayılma direnci üzerine çok az etkisi olur; bundan dolayı boru çapı veya profil kesiti mekanik dayanıma ve korozyon olaylarına göre belirlenir. Korozyon olayı daha çok çubuk uzunluğuna bağlıdır. Çubuk topraklayıcılar yere gömülmeyip çakılarak zemine yerleştirildiklerinden dolayı, bunlar toprak ile daha iyi temas ederler ve bunun sonucu yayılma dirençleri küçük olur. Çubukların üst uçlarına topraklama iletkenleri, kelepçe veya kaynak ile bağlandıktan sonra zift veya protolin ile kapatılmalıdır.

Toprağın alt kısımlarının çubuk özgül direnci eğer daha küçük ise topraklayıcı kullanmak veya mevcut sisteme ilave etmek faydalı sonuçlar verebilir.

Bir topraklama tesisinde topraklama direncinin düşürülmesinin en uygun yolu paralel elektrot kullanmaktır. Kullanılacak olan paralel elektrot, levha ise aralarında en az 3m mesafe bırakılacaktır. Derin topraklayıcılar arasında ki bu mesafe ise elektrot uzunluğunun en az iki katı açıklık sağlanmalıdır.



Şekil 1.18. Çubuk topraklayıcı [2], 1 Bağlama ucu, 2 Topraklama iletkeni, 3 Kurşun tabaka, 4 Boru topraklayıcısının ucu



Şekil 1.19. Çubuk Topraklayıcılar [11]

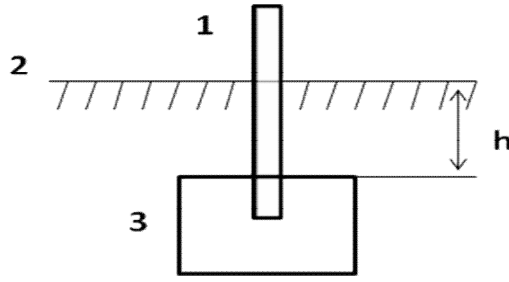
Bu elektrotlar için yapılacak hesaplamalar şerit elektrotlar gibidir. Bu elektrotlarda yayılma direnci:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad (1.35)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

Şekil 1.20 de gösterilen levha topraklayıcı geçmiş yıllara göre önemini kaybetmiş durumdadır. Levha topraklayıcıda belirli bir yayılma direncini elde edebilmek için başka cins topraklayıcılara göre daha fazla malzemeye ihtiyaç vardır. Bunun nedeni ise; topraklayıcı levhanın şeritlere ayrıldığı kabul edilirse, bunlar karşılıklı olarak akımın toprağa geçmesine engel olurlar. Bu nedenle topraklayıcı levhaya tarak şekli vermekle aynı yayılma direnci sağlandığı halde daha az malzeme kullanılır.

Levha zemine dik olarak yerleştirilir. Paralel olarak yerleştirilecek olursa sadece üst yüzeyi etkili olur. Toprağın çökmesi durumunda levhanın altı boşlukta kalabilir.



Şekil 1.20. Levha topraklayıcı 1. topraklama iletkeni 2. zemin toprak 3. levha topraklayıcı [2]

Yatay ya da düşey gömülü bir levhanın direnci:

$$R = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{r}{2,5h + r}\right) \quad (1.36)$$

şeklinde verilmektedir.

h : levhanın merkezinin toprak yüzeyine uzaklığı

r : plakamın yarıçapı

Pratikte çıkarılan sonuçlar veren formül:

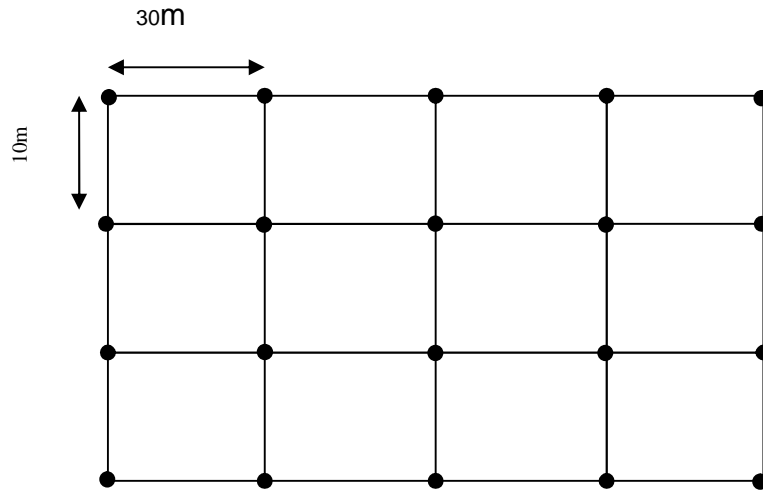
$$R = \left(\frac{\rho}{4}\right) \left(\frac{\pi}{A}\right)^{1/2} \quad (1.37)$$

A: plakanın her iki yüzünün alanının toplamıdır.

1.4.4. Izgara (Ağ) Topraklama Sistemleri

Büyük elektrik tesislerinde ve şalt sahalarında her cihaz için ayrı ayrı topraklama yapmak hem pahalı, hem de birbirlerine karşı potansiyel farklar doğurur. Ayrıca bu elektrotlar arasında gerilim sürüklenmesi oluşur.

Bu potansiyel farkları sıfıra indirmek, gerilim sürüklenmesinin de önlenmesi için bütün tesisin altına kaplayacak bir bakır plaka yerleştirmekle mümkün olurdu. Eğer levha zemine paralel olarak yerleştirilirse bunun ancak üst yüzeyi etkili olur. Nedeni toprağın çökmesiyle levhanın altı boşlukta kalabilir. Genellikle bu plaka ya da levhanın zemine dik olarak yerleştirilmesi tavsiye edilir. Bir yüksek gerilim istasyonunun yaklaşık $10000m^2$ olduğu düşünülürse, bu kadar alanı kaplayacak bir plakanın yapılması ve toprağın altına dikey yerleştirilmesi çok pahalıdır ve pratikte imkânsızdır. Buna alternatif olarak tesisin altına ızgara topraklayıcı sisteminin kurulmasıdır.



Şekil 1.21. Topraklama ızgarasının şematik görünümü [2]

Şekil 1.21 de görüldüğü gibi ızgara topraklaması şalt sahası boyunca belli aralıklarla enine ve boyuna yerleştirilen şerit veya bakır iletkenlerden meydana gelir. Izgaradaki dış çerçevede kullanılan iletkenler ekran (şilt) görevi yapacağından kullanılacak olan iletken kesitinin bir üst kesiti alınmalıdır. Izgaranın mekanik kuvvetini

arttırmak, daha uygun akım dağılımını sağlamak ve cihazların bağlantısında kolaylık temin etmek için enine şeritler yerleştirilmelidir. Enine şeritler kestikleri boyuna şeritlere Cadwell kaynağı ile bağlanmalıdır.

İklim koşulları dikkate alınarak sürekli olarak nemli kalacak ve donma olmayacak bir gömülme derinliği seçilmelidir ki bu nedenle ızgara topraklaması en az 80cm derine döşenmelidir. Potansiyel dağılımı dengelemek adım ve temas gerilimlerini düşürebilmek ve de maliyeti düşürebilmek için ızgaranın belirli bölgelerine, genellikle dış kısımlarına uygun kazıklar çakılır.

Santrallerin temel yapımında kullanılan demir kafes sistemleri en az iki noktadan şalt sahası topraklama ızgarasına bağlanmalıdır. Ayrıca betona gömülü çelik aksam boru ve cebri borularda bağlanmalıdır. Santrallerde tanklar, kablo rafları, çelik merdiven ve kapılar, boru ve aksamaları gibi her türlü çelik ve metaller topraklama sistemine bağlanmalıdır.

1.4.5. Tabi Topraklayıcılar

Daha önce anlatılan topraklayıcılar suni topraklayıcıdır. Bunlar dışında tabi topraklayıcılarda vardır. Tabi topraklayıcıların en önemli tipi, madeni boru ile yapılmış su borusu şebekesidir.

İkincisi kabloların madeni kılıflarıdır. Bunlarda yalnız yeraltına döşenmiş kurşun kılıflı ve çelik takviyeli kuvvetli akım kabloları söz konusudur.

Üçüncüsü ise yüksek gerilimli havai hatlardaki topraklama iletkenleridir. Bunlar her direkte kullanıldığından bağlama tesisinde tabi topraklayıcı olarak ta görev yaparlar.

1.4.6. Özel Topraklayıcılar

Düzenleyici topraklayıcı bu tip topraklayıcılara örnek olarak verilebilir. Bu tür topraklayıcıların kullanım nedeni; topraklayıcı civarında potansiyeli yakınlaştırarak temas ve adım gerilimlerinin küçülmesini sağlamaktır.

1.4.7. Birleşik Topraklayıcılar

İstenildiği kadar küçük bir yayılma direnci elde etmek için bazen çeşitli tip topraklayıcıların birbirine paralel bağlanması gerekir. Aşağıda farklı tip topraklayıcıların paralel bağlanması ile elde edilen topraklayıcı sistemleri anlatılmaktadır.

1.4.7.1. Paralel Topraklayıcılar

Aynı geometrik yapıda olan topraklayıcılar paralel bağlanarak paralel topraklayıcı elde edilir. Bunların arasında yeteri kadar uzaklık olması halinde bunların birbirine karşı etkisi meydana gelmez. Paralel bağlı topraklayıcıların yayılma direnci $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ise toplam yayılma direnci:

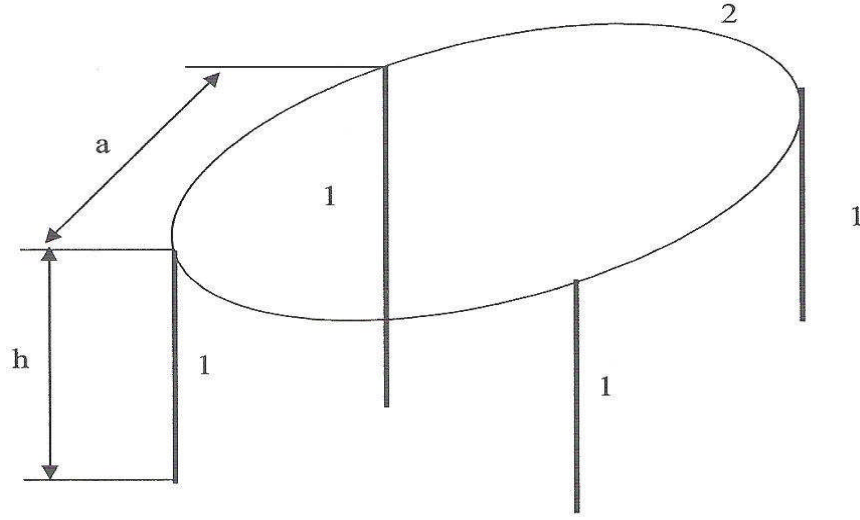
$$R_{toplam} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n} \quad (1.38)$$

formülü ile hesaplanır.

Topraklayıcıların yayılma dirençleri eşit ise n sayıdaki paralel topraklayıcıların toplam direnci

$$R_{toplam} = \frac{R}{N} \quad (1.39)$$

Çubuk topraklayıcılarda, topraklayıcılar arasındaki a uzaklığı; h çubuk uzunluğunun 2-3 katı ise, bu durumda topraklayıcıların karşılıklı etkisi söz konusu olmaz. Eğer kuraklık veya don sebebi ile çubuğun bütün uzunluğu etkili olmazsa, a aralığı etkili olan çubuk uzunluğunun iki katı olarak alınır. Levha topraklayıcılarda $a=3m$ olmalıdır



Şekil 1.22. Paralel topraklayıcı [2], 1- Birey topraklayıcılar, 2- Paralel bağlama h- Topraklayıcıların uzunluğu, a- Topraklayıcılar arasındaki uzaklık

1.4.7.2. Karma Topraklayıcılar

Geometrik bakımından farklı yapıdaki topraklayıcıların paralel bağlanmasına karma topraklama denir. Yüksek gerilimli açık hava bağlama tesislerinde bir normal gözlü topraklayıcı bulunduğu gibi buraya giren ve çıkan hava hatlarına ait toprak iletkenleri, kabloları ait kurşun kılıf ve çelik zırh, demir yolu rayları, madeni su boruları ve benzeri gibi tabii topraklayıcılarıdır.

1.4.7.3. Kombine Topraklayıcılar

Yüzey ve derin topraklayıcıların paralel bağlanması ile kombine topraklayıcılar elde edilir. Gözlü şebekelerde bu tip topraklayıcılar kullanılır ve bu şebekenin düğüm noktalarına çubuk topraklayıcılar bağlanır.

Topraklayıcıların gömüldükleri derinliğe göre bunlara yüzey veya derin topraklayıcı denir. Şerit topraklayıcılar ve 3m derinliğe kadar inen çubuk topraklayıcılar yüzey topraklayıcılarıdır. Daha derinlere kadar inen topraklayıcılar derin topraklayıcılarıdır. Bütün imkânlardan yararlanmak şartıyla yüzey topraklayıcılarla gereken yayılma direnci elde edilemezse, bu takdirde zemin suyuna daha düşük özgül direnci olan zemin tabakalarına ulaşıncaya kadar derine inilir. Bundan başka zeminin

hemen altında yüzey topraklayıcılar yerleştirmek için yeteri kadar yer olmazsa, bu durumda derin topraklayıcı uygulanır. Parçalardan meydana gelen çubuk topraklayıcılarla çok uygun bir şekilde derin topraklayıcı yapılabilir. Derin topraklayıcıların yayılma direnci daima küçüktür. Yalıtılmış topraklama iletkeni kullanılmak şartıyla derin topraklayıcılarla adım gerilimini düşürmek mümkündür. Buna karşılık temas gerilimi yüzey topraklayıcılarla sağladığı ölçüde küçültülmez. Zemin yüzeyinde olduğu gibi iklim şartlarına bağlı olarak zemin özgül direncindeki değişmelerde burada söz konusu olmaz.

1.4.7.4. Toplu veya Yaygın Topraklayıcılar

Çubuk veya levha topraklayıcılara toplu, şerit topraklayıcılara da yaygın topraklayıcı denir. Topraklayıcıların bu şekilde sınıflandırılması yayılma direncinin ölçülmesiyle ve de yıldırım akımının toprağa verilmesi bakımından önemlidir. Toplu topraklayıcı az yerde ihtiyaç gösterir ve malzeme ihtiyacı oldukça küçüktür. Buna karşılık yaygın topraklayıcının kullanılabilmesi için büyük bir alanın var olması şarttır. Malzeme ihtiyacı da büyüktür. Fakat yaygın topraklayıcı ile küçük yayılma direnci sağlamak daha kolaydır. Yıldırım akımının toprağa verilmesi bakımından 10 m uzunluğunda çubuk topraklayıcılar ve 20 m'den uzun şerit topraklayıcılar yaygın topraklayıcı sınıfına girerler.

Tablo 1.3. Topraklayıcıların cinslerine göre yayılma dirençleri [11]

Topraklayıcının cinsi	Şerit yada örgülü iletken				Çubuk yada boru				Levha	
	10 m	25 m	50 m	100 m	1 m	2 m	3 m	5 m	0,5x1 m	1x1 m
Yayılma direnci	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

1.5. Yüksek Gerilim ve Alçak Gerilim Sistemlerinde Topraklama Tesislerinin Birleştirilmesi

Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğinde [3] madde 11-a'ya göre, bir yüksek gerilim tesisinde, toprak hatası esnasında, alçak gerilim şebekesinde veya tüketim tesislerinde tehlikeli dokunma gerilimleri ortaya çıkmaz ise iki sistemin topraklaması

birleştirilebilir. YG de meydana gelen hata sonucu oluşan potansiyel yükselmesi, alçak gerilim tesislerinde, tablo 1.4. de verilen değerlerden küçük olmalıdır.

Bu koşulların yerine getirilememesi durumunda YG ve AG topraklama tesisleri mutlaka ayrılmalı; 50 kV'un altındaki işletme gerilimli tesislerde YG ve AG sistemleri topraklayıcıları arasındaki uzaklık en az 20m olmalıdır.

YG tesislerinin içinde bulunan AG işletme araçlarının gövdeleri koruma iletkeni yolu ile YG topraklama tesisine bağlanır.

Tablo 1.4 Topraklama tesisinin yapılabilmesi için koşullar [19]

Alçak gerilim Sistem (Şebekesinin) tipi ¹⁾	Hata süresi	Ortak topraklama sistemi için koşullar ^{2), 3)}	
		Dokunma gerilimi açısından	Zorlanma gerilimi açısından
TT ⁴⁾	$t_F \leq 5 \text{ s}$	Uygulanmaz	$U_E \leq 1200 \text{ V}$
	$t_F > 5 \text{ s}$		$U_E \leq 250 \text{ V}$
TN ⁵⁾		Bir yüksek gerilim topraklama tesisinin dışındaki alçak gerilim tesislerinin beslenmesi durumunda ortak $U_E \leq U_{Tp}$ ⁶⁾	Uygulanmaz
		$U_E \leq X \cdot U_{Tp}$ ⁷⁾	

X katsayısı için uygun değer 2 dir, özel durumlarda deneyimler, X değerinin 5'e kadar alınabildiğini göstermektedir.

1) AG koruma iletkeni YG topraklama tesisine bağlı IT sistemleri, çoğunlukla sanayi tesislerinde kullanıldığından Madde 11-b'de dikkate alınmıştır. Diğer IT sistemleri göz önünde bulundurulmamıştır.

2) Ortak topraklama tesisinin topraklama gerilimi U_E dir.

3) Transformatör merkezi potansiyelinin sürüklenmiş potansiyel tarafından etkilendiği (örneğin komşu tesislere bağlanmış kablo zırhları vasıtasıyla) dikkate alınmalıdır.

4) AG malzemelerinin yalıtkanlık dayanımı dikkate alınmalıdır.

5) İnsanların güvenliği için dokunma gerilimi dikkate alınmalıdır.

6) AG şebekesinin PEN iletkeni ile YG topraklama tesisi arasındaki bağlantı sadece transformatör merkezinde yapılmıştır.

7) PEN iletkeninde ortaya çıkabilecek gerilimleri sınırlamak için, AG şebekesinin PEN iletkeni, birçok noktada toprak ile bağlanmıştır.

1.5.1. Toprak Elektriksel Özellikleri

Toprağın elektriksel özellikleri toprak direnci ρ ile tanımlanır. Toprak direncinin değerinin belirlenmesi aşağıda belirtilen iki ana maddeden dolayı oldukça karmaşıktır.

- Toprağın yapısı homojen değildir, farklı malzemelerden oluşan tabakalar halindedir.
- Belli bir tip toprağın direnci sabit değildir, rutubet oranına göre farklılık gösterir

Toprak direncinin, özellikle ρ 'nun hesaplanması toprak özellikleri hakkında yeterli bilgi sahibi olmayı gerektirir. Direnç-değer aralığının geniş olması oldukça önemli bir sorun oluşturmaktadır. Uygulamaların birçoğunda toprak yapısı homojen kabul edilmekte ve toprak analizlerine ve ölçümlerine dayanılarak ρ için ortalama bir değer alınmaktadır. Toprak direncinin hesaplanmasında bazı teknikler kullanılmaktadır ve hesaplamalarda kullanılan toprak tabakaları arasındaki akım dağılımının tesisatın bütünü için de geçerli olması gerekir.

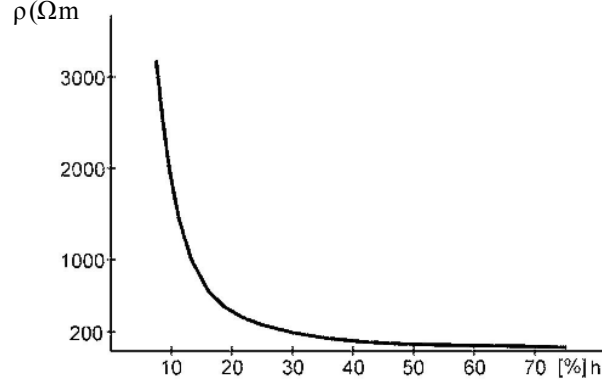
Sonuç olarak; yapılan ölçümlerin doğru yorumlanması son derece önemlidir. Toprak direnci ρ değeri hakkında bilgi edinilemediği takdirde bu değer genellikle $\rho=100\Omega\text{m}$ olarak kabul edilir. Ancak Tablo 1.5'de belirtildiği gibi gerçek değer çok farklı olabilir, bu nedenle tesisatın kabulünde topraklamanın servis ömrü boyunca iklim şartlarında meydana gelecek değişikliklerin de dikkate alınması son derece önemlidir.

Tablo 1.5. Çeşitli toprak ve beton cinslerine göre toprak direnci [10]

TOPRAK TİPİ	Toprak direnci ρ (Ωm)	
	Aralık değerler	Ortalama değerler
Çamurlu toprak	2--50	30
Kil kerpiç	2-200	40
Çökelti ve kum-kil toprağı,humus	20-260	100
Kum ve kumlu toprak	50-3,000	200 (rutubet)
Turba	>1,200	200
Çakıl	50-3000	1000 (rutubet)
Kayalık ve taşlı toprak	100-8000	2000
Beton:1 ölçü çimento+3 ölçü kum	50-300	150
1 ölçü çimento+5 ölçü çakıl	100-8000	400

Toprak direncinin saptanmasında söz konusu olan diğer bir problem, iklim şartlarına göre kuru çöl alanlardan fazla yağmurlu bölgelere kadar %80'e varan oranda büyük değişkenlik gösteren rutubet miktarıdır. Toprak direnci bu parametreye bağlı

olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir. Kil toprağı için direnç ve rutubet ilişkisi Şekil 1.23'de gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi %30'dan yüksek rutubet değerlerinde toprak direncinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Ancak, toprak kuru olduğunda, örneğin h değeri %20'nin altındaki durumlarda direnç çok hızlı bir şekilde yükselmektedir.



Şekil 1.23. Kil için toprak direnci ρ ile toprak rutubeti h ilişkisi [11]

Avrupa gibi ılıman iklim bölgelerinde, toprak direncinin toprak rutubetine bağlı olması nedeniyle mevsimlere bağlı olarak toprak direncinde değişiklik meydana gelecektir. Avrupa için toprak direncinin rutubete bağımlılığı yaklaşık olarak bir sinüs eğrisi şeklindedir. Şubat ayında en yüksek, Ağustos ayında en düşük değere ulaşmakta, ortalama değer ise Mayıs ve Kasım aylarında rastlamaktadır. Ortalama değer Şubat ayında yaklaşık %30 daha yüksek, Ağustos ayında yaklaşık %30 daha düşük olmaktadır.

Buzlanma veya donma etkisinin kuru toprak özelliği göstereceği, direncin yükselme eğilimine gireceği hatırdta tutulmalıdır.

Bu sebeplerden dolayı toprak direnç hesaplamaları ve toprak elektrotlarının planlanması ancak belli bir doğruluk çerçevesinde yapılabilmektedir.

1.5.2. Topraklama Sisteminin Elektriksel Özellikleri

Topraklama elektriksel özellikleri iki bölüme ayrılır.

- Topraklama direnci
- Toprak elektrotunun konfigürasyonu

Topraklama direnci, toprak gerilimi V_E ile toprak akımı arasındaki ilişkiyi belirlemekte, toprak elektrotunun yerleşimi ise topraktan geçen akım nedeniyle oluşan toprak yüzeyindeki potansiyelin dağılımını belirlemektedir. Temas ve adım potansiyellerini belirleyen toprak yüzeyindeki potansiyel dağılımı, elektrik şoklarına karşı korunma açısından üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Bu konular şu şekilde tartışılabilir.

- R_D değişim direnci, toprak elektrodu ile referans toprak arasındaki toprağın direnci
- Toprak elektrodu ile topraklama iletkeninin metal kısımlarına ait R_L direnci

R_L direnci genel olarak R_D değişim direncinden çok daha küçüktür. Bu nedenle, genellikle topraklama direncinin, R_D değişim direncine eşit olduğu tahmin edilir. Topraklama direnci genelde “değişim direnci” anlamında kullanılır.

Elektrik tedarikçisi tarafından yapılan toprak bağlantısı, tesisatta bulunan toprak ile paralel gözükebilir ve şebeke ve harmonik frekanslardaki empedansın daha düşük olduğu akla gelebilir. Ancak, bu bağlantının mevcut olup olmadığı ve özellikleri tesisatçının kontrolü dışındadır, bu sebeple topraklama sisteminin tasarımında dikkate alınması gerekir ve kendi içerisinde fonksiyonel olarak yeterli olması beklenir.

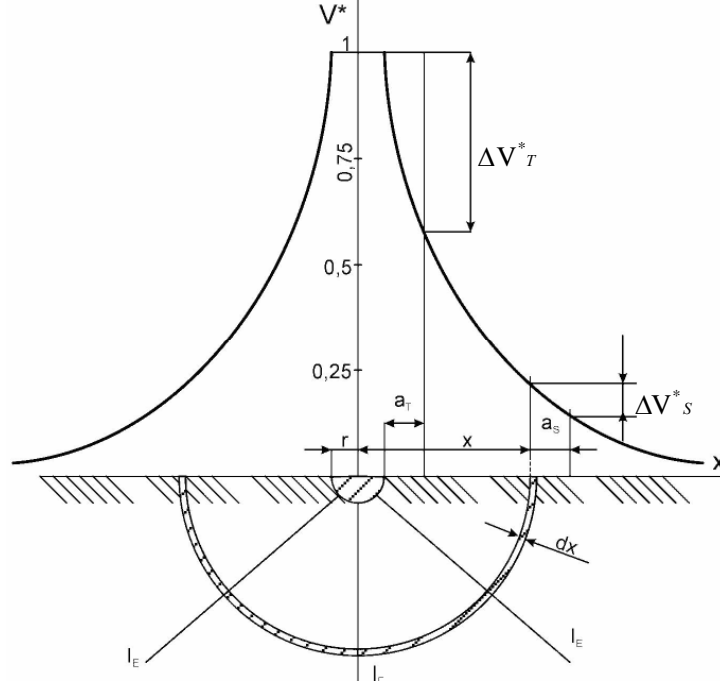
1.5.3. Topraklama Direnci ve Potansiyel Dağılımı

AC devrelerde esas itibarıyla dikkate alınması gereken empedans, belli bir çalışma frekansında topraklama sistemi ile referans toprak arasındaki Z_E topraklama empedansıdır. Topraklama sisteminin reaktansı, topraklama iletkeni ile toprak elektrotunun metal kısımlarının reaktansıdır. Düşük frekanslarda besleme frekansı ve ilgili harmonikler-reaktansı, topraklamanın direncine kıyasla genellikle ihmal edilmektedir, ancak yıldırım etkileri gibi yüksek frekanslarda dikkate alınması zorunludur. Bu nedenle, düşük frekanslarda, topraklama empedansı Z_E 'nin değişim direnci R_D 'ye eşit ve neticede yaklaşık olarak topraklama direnci R 'ye eşit olduğu kabul edilmektedir:

$$Z_E = R_D = R \quad (1.40)$$

Bir toprak elektrotunun topraklama direnci R , toprak özdirenci ρ ve aynı zamanda elektrot geometrisine bağlıdır. Düşük R değerleri için elektrot metalinden toprağa geçen akım yoğunluğunun düşük olması gerekir; örneğin, akımın geçtiği toprak hacmi mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır. Toprağa geçen akım, geçer geçmez yayılmaya başlar ve akım yoğunluğu azalır. Şayet elektrot fiziksel olarak ufak örneğin bir nokta kadar ise etkisi büyük olur. Elektrot plaka şeklinde uygulamada özellikle matematiksel formülasyonu çok karmaşık olan komplike olduğu takdirde akım dağılması sadece kenarlarda olacağından söz konusu etki çok daha azalacaktır. Dolayısıyla; çubuk, boru veya yel şeklindeki elektrotların değişim direnci, örneğin, yüzey alanı eşit olan plaka şeklindeki bir elektrota kıyasla çok daha düşüktür. Hatta DC ve AC sistemlerde ortaya çıkan korozyonun akım yoğunluğundaki artışa paralel olarak yükseldiği literatürde ayrıntılı olarak yer almaktadır. Düşük akım yoğunluğu elektrot ömrünü uzatmaktadır.

Topraklama direnci hesaplamaları genellikle toprağın belli bir direnç değerine sahip, sınırsız ve homojen olduğu varsayılarak yapılmaktadır. Topraklama direnci için kesin formülasyonlar ortaya konulabilir ancak örgülü elektrotların kullanıldığı durumlarda bu formüllerin faydası sınırlıdır. Direnç değerinde söz konusu olabilecek küçük bir yanlışlık bile örgülü elektrotun fiili direnç değerini önemli ölçüde etkileyebilir ve toprak direncinin istenilen hassasiyete saptanması genellikle çok zordur. Bu nedenle, topraklama direncinin kesin bir şekilde teorik olarak formüllendirilmesi sadece basit yapılardaki toprak elektrotları için, toprak gerilimi ile toprak potansiyel dağılımı ve toprak akımı arasındaki ilişkileri göstermek için kullanılmaktadır. Geniş kapsamlı uygulamalar ve örgülü toprak elektrotları için yaklaşık değerler alınmaktadır.



Şekil 1.24. Yarım küre şeklinde bir topraklama elektrodu ve potansiyel dağılımını hesaplamak için gerekli parametreler ($\rho = \text{sabit}$) [10]

r Elektrot çapı

x Elektrot merkezine olan mesafe

a_T, a_S Sırasıyla temas ve adım mesafeleri

V^* Potansiyel dağılımın relatif değeri

$\Delta V^*_T, \Delta V^*_S$ Sırasıyla temas ve adım gerilimleri

Toprak zemin yüzeyine yarımküre şeklindeki bir toprak elektrotunun temel elektriksel özelliklerini gösterir bir model Şekil 1.24’de görülmektedir. Böyle bir elektrota geçen toprak akımının toprağa göre radyal bir yol izlediği kabul edilmektedir. Yarımküre yüzeyinin ve toprağın yarımküre şeklindeki tüm kesitlerinin (d_x) eş-potansiyele sahip olduğu kabul edilmektedir ve akım doğrultuları, bu nedenle söz konusu yüzeylere dik durumdadır. Bu şartlar altında; dx kalınlığında, x yarıçapında ve yarımküre şeklindeki elektrotun direnci aşağıda verilmektedir (ρ sabit kabul edilmiştir):

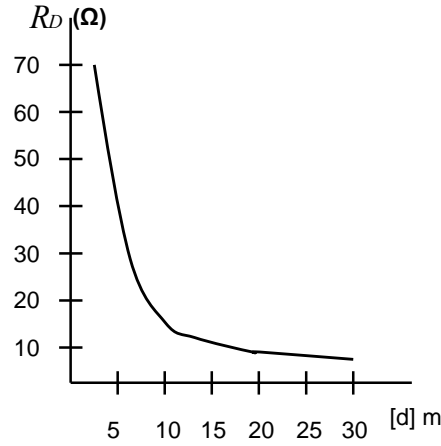
$$dR = \frac{\rho}{2\pi x^2} dx \quad (1.41)$$

yarım küre elektrotun bütününün direnci ise:

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \int_r^\infty \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (1.42)$$

denklemleri ile verilmektedir.

Toprak direnci önemli ölçüde elektrotun toprak içerisine hangi derinlikte gömüldüğüne bağlıdır. Bunun nedeni, toprak derinliğine göre rutubet miktarının yükselmesi ve daha kararlı olmasıdır. Yüzeğe yakın toprak tabakaları mevsim ve kısa dönemli iklim değişikliklerinden etkilenmekte buzlanabilmektedir. Bu problem çubuk şeklindeki bir toprak elektrotu için Şekil 1.25’de gösterilmiştir. Çubuk elektrot derinliğinin artmasına paralel olarak topraklama direncindeki hızlı azalma açıkça görülmektedir. Ancak, jeolojik nedenlerden dolayı elektrotların istenilen derinlikte yerleştirilmeleri, örneğin yüzeğe yakın kayalıklar, engeller veya geniş alan gerektiren elektrot sistemleri nedeniyle her zaman mümkün olmayabilir.



Şekil 1.25. Oldukça uzun bir toprak elektrot çubuğu değişim direncinin (R_D), derinliğin fonksiyonu olarak değişim eğrisi [10]

1.5.4. Topraklama Gerilimi ve Toprak Yüzey Potansiyel Dağılımı

Elektrik şokundan korunmak açısından, akım geçmekte olan bir topraklama sistemindeki topraklama gerilimi ve aynı zamanda toprak yüzey potansiyelinin dağılımı

çok önemli parametrelerdir. Temel ilişkilere ait açıklamalarda Şekil 1.24'de verilen toprak modeli kullanılmıştır.

İçerisinden I_E akımı geçmekte olan toprak elektrotunun ortasından, x mesafedeki herhangi bir noktanın potansiyeli aşağıdaki denklem ile formüle edilebilir:

$$V_x = \frac{\rho I_E}{2\pi x} \quad (1.43)$$

relatif değer:

$$V_x^* = \frac{V_x}{V_E} \quad (1.44)$$

V_E , topraklama potansiyeline eşit olan (referans toprak potansiyelinin sıfır olduğu kabul edilerek) topraklama gerilimidir. Topraklama potansiyeli aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$V_E = I_E R_E = \frac{\rho I_E}{2\pi r} \quad (1.45)$$

toprak yüzeyinde iki nokta arasındaki potansiyel farkı: noktaların biri x mesafesinde ve diğeri $x+a_s$ mesafesindedir. a_s mesafesi 1m'ye eşit kabul edilmiştir ve adım potansiyeli ΔV_S olarak gösterilmektedir. Diğer bir ifade; ΔV_S bu pozisyonda ayakta duran bir insanın iki ayağı arasındaki toprak yüzey potansiyelidir.

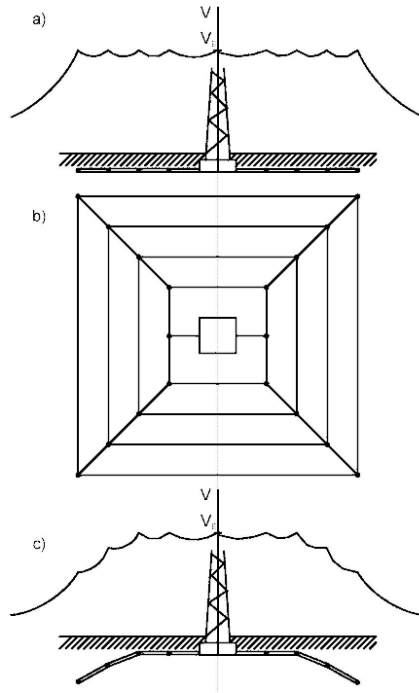
$$V_S = \frac{\rho I_E}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a_s} \right) \quad (1.46)$$

relatif değer

$$V_S^* = \frac{V_S}{V_E} \quad (1.47)$$

olmaktadır $x \geq r$ dir.

Topraklama direnci topraklama gerilimini belirler, toprak elektrotunun konfigürasyonu da toprak yüzeyindeki potansiyel dağılımı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Doğal olarak, konfigürasyon aynı zamanda topraklama direncini de etkilemektedir, örgülü elektrot daha geniş bir toprak hacmi ile temasta olduğu için bu nedenle direnç ve konfigürasyonun birlikte dikkate alınması gerekmektedir. Örgülü elektrotun geniş alan kaplaması nedeniyle derine gömülmesi gerekmez, fakat yüzeye yakın toprak rutubetindeki değişimlerden etkileneceği dikkate alınmalıdır. Örgü içerisindeki uzun çubuklar, dikey olarak yerleştirilerek direnç kararlığı artırılabilir.



Şekil 1.26. Potansiyel aktarım fenomeni, iki örgülü toprak elektrodu için toprak yüzeyi dağılımı [10], a) Örgülü düzlem elektrodu b) Elektrot planı c) Son iki parçası daha derine yerleştirilmiş elektrot

Örgülü elektrotlarda, toprak elektrotundan geçen akım nedeniyle gerilim yükselmesine maruz kalan yüzey alanı büyüktür. Örgülü elektrot alanı boyunca bir “eş potansiyel” oluşmakta, fakat Şekil 1.26’de gösterildiği gibi kenarlarda bir potansiyel farkı meydana gelmektedir. Temas potansiyeli söz konusu olmamakla birlikte (elektrot herhangi bir metal parçadan bir metreden fazla uzakta olduğundan) tehlikeli derecede

adım gerilimleri meydana gelebilir. Bu durumun önlenmesi için örgülü toprak elektrotunun dış kısımlarının daha derinlere yerleştirilmesi gerekir.

1.6. Topraklama Direncinin Ölçülme Yöntemleri

Topraklama sisteminin genellikle dirençli, kapasitif ve indüktif bileşenlerden oluşan bir empedansı vardır. Topraklama sisteminin dirençli bileşeni işletme frekansında (50 Hz), kapasitif ve indüktif bileşenleri de yüksek frekansta (yıldırım boşalması, iletim frekansları vb.) etkinliklerini gösterir.

Toprak direncinin önceden hesabı mümkün değildir. Fakat elde edilen sonuçların doğruluğu, birinci derecede toprağın özgül direnci için kabul edilen değer gerçeğe uyup uymamasına bağlıdır. Toprak hiçbir zaman homojen olmadığından özgül direnç belirli toprak kesimlerinde çok farklı değerler alabilir. Ayrıca özgül direnç, toprağın rutubet derecesine çok bağlıdır; bu ise mevsimin yağışlı veya kurak olmasına göre değişir. Sıcaklığın ve nem miktarının artması ile toprak özgül direnci ters orantılıdır. Bu nedenle toprak özgül direncinin ölçümü için en uygun zaman toprağın kuru olduğu dönemdir. Bu dönemde yapılacak ölçümde toprak özgül direnci en yüksek değerini alır. Buda Türkiye'nin yağış alma dönemleri göz önüne alındığında temmuz-ağustos aylarıdır. Topraklama direncinin ölçümündeki amaçlar kısaca:

- Topraklama sisteminin gerçek direncinin saptanması
- Yapılan hesapların denetlenmesi
- Topraklama sisteminde gerilim yükselmesinin ve bütün bir alan boyunca gerilim değişiminin belirlenmesi
- Topraklama sisteminin yıldırım boşalmalarına karşı koruma etkisinin belirlenmesi
- Radyo frekansı ile uygunluğunun sağlanması
- Alan içerisinde yapılacak binaların koruma projelerinin hazırlanması için gerekli verilerin elde edilmesi
- Topraklama direnç değerinin yüksekliği durumunda alınacak ek tedbirlerin saptanması

Topraklama sistemlerinin karakteristikleri toprağa gömülü elektrotların düzenine, kapladığı alana ve toprağın bileşimine bağlıdır.

Topraklama direnç sınırlar değerleri:

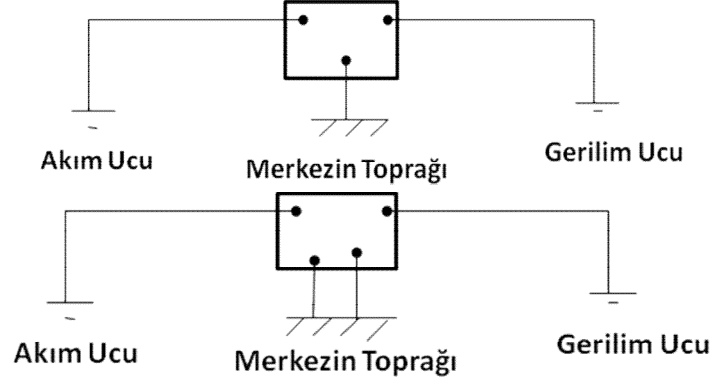
İşletme topraklaması	<2 Ohm
Koruma topraklaması koruma düzeneğine bağlı olarak;	
Dengelenmiş şebekelerde	<2 Ohm
Trafo merkezlerinde direklerde	<4 Ohm
AG ve YG bağlama tesisleri birleştirildiğinde	<1 Ohm
Parafudur topraklama direnci	<5 Ohm

1.6.1. Ölçüm Yöntemleri

- Toprak Meggeri ile ölçme
- Voltmetre-Ampermetre yöntemi ile ölçme
- Wattmetre-Ampermetre yöntemi ile ölçme

1.6.1.1. Toprak Meggeri ile Ölçme

Şalt ya da trafo merkezlerinin toprak dirençleri ölçümünde kullanılan bu basit sistem üç uçlu Megger ya da dört uçlu Megger kullanılarak yapılır. Üç uçlu Megger kullanılıyorsa Şekil 1.27’de da görüldüğü gibi uçlardan biri merkezin toprağına, diğer ikisi de ölçüme yardımcı olacak toprağına bağlanır. Dört uçlu Megger kullanıldığı zamanda Şekil 1.27 ’de görüldüğü gibi uçlardan ikisi merkezin toprağına diğer iki uçta ölçüme yardımcı olacak toprağına bağlanır. “Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğı” Ek-N de [3] toprak özgül direncinin ölçümünde, dört uç yönteminin yapılmasını belirtmiş ve uçlar arasında ki mesafenin olduğu Wenner metodunu tavsiye etmiştir



Şekil 1.27. Üç ve dört uçlu Toprak Meggeri [3]

Her iki durumda da devre akımı merkezin toprağı ve toprağa bağlanan akım ucu yolu ile ölçü aletinin akım devresinden akar. Ölçü aletinin gerilim devresi ise merkezin toprağı ile aletin toprağa bağlı diğer gerilim ucu arasına bağlanır. Meggerin dıştaki iki ucundan akım akıtılır ve içerdeki uçlar sayesinde gerilim düşümü prensibine göre toprak direnci ölçülür. Üç uçlu Megger kullanılması durumunda ölçü aleti ile merkezin toprağı arasındaki bağlantının direnci ayrıca ölçülür ve deney değerinden çıkarılır. Akım ucunun yüksek dirençli olması ölçü aletinin hassasiyetini düşürür ancak okumanın doğruluğunu etkilemez.

Wenner-4 uç metodu toprak özgül direncinin ölçümünde en çok kullanılan ölçüm yöntemidir. Kazıkların çok derine çakılmadan toprağın alt tabakaları hakkında bilgi verir. Bu metoda ölçüm kazıkları eşit mesafelerle (a), eşit derinliklere gömülür (b). Bunun dışında toprak kazıklarının direnci ölçüm sonuçlarını ihmal edilecek oranda etkiler.

Wenner metodu için görünen özgül direnç hesabı:

$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (1.50)$$

Burada

ρ_a = Görünen toprak öz direnci Ωm

R = direnç Ω

a = bitişik elektrotların mesafesi m

b = elektrotların derinliği m

Bu ölçüm şeklinin aşağıda sıralanan durumlarda kullanılması uygun değildir:

- Ölçümü yapılacak merkezin topraklaması uzakta direnci düşük bir topraklamaya bağlıysa,
- İndüksiyon ya da kaçak akımlar nedeni ile doğan gerilim yükselmeleri önemli düzeylerdeyse,
- Topraklamanın direnci Megger'den okunabilecek en küçük değerden daha küçükse,
- Deney için kullanılan kablolar birbirine paralel ve en kısa kablonun direnci, ölçülecek topraklamanın direncinden büyükse

Bu gibi durumlarda Voltmetre- Ampermetre yöntemini kullanmak daha doğru sonuçlar verir.

1.6.1.2. Voltmetre-Ampermetre Yöntemi

Şekil 1.28 de Voltmetre-Ampermetre yöntemi ile toprak direncinin ölçümünde, merkez ile yardımcı toprak uçları arasında paralel toprak kesitlerinin olmaması ve bu bağlantıların genel doğrultuları arasında 91^0 'den büyük açılarının olması durumunda uygulanır.

Merkezin topraklama direnci:

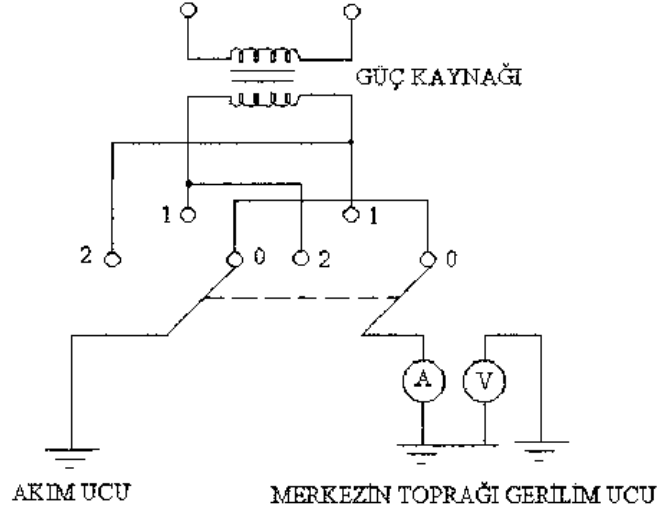
E_T Ölçülen gerilim yükselmesi

I_T Deney akımı

R Merkezin topraklama direnci

K_1 Yardımcı toprak uçlarının yeteri kadar uzağa yerleştirilmemesinden gelen ölçü hatasını düzeltmek için kullanılan çarpan

$$R = K_1 \frac{E_T}{I_T} \quad (1.51)$$



Şekil 1.28. Voltmetre-Ampermetre yöntemi ile toprak direncinin ölçülmesi [3]

Gerilim devresinin toprak ucunun direnci yüksek ise Voltmetrede ölçülen değer aşağıdaki düzeltme çarpanları ile çarpılmalıdır.

$$K_2 = \frac{R_{ölçüaleti} + R_{toprakucu}}{R_{ölçülen}} \quad (1.52)$$

Rölçü aygıtı: Voltmetrenin iç direnci

Rtoprak ucu: Yardımcı topraklama elektrotunun direnci

1.6.1.3. Wattmetre-Ampermetre Yöntemi

Merkezin topraklama iletkenleri ile yardımcı toprak bağlantılarının kısmen ya da tamamen paralel olması durumunda bu yöntemin kullanılması uygun olur.

Bu yöntem Şekil 1.29 görüldüğü gibi Voltmetre-Ampermetre yöntemindeki devreye bir Wattmetre'nin eklenmesi ile elde edilir.

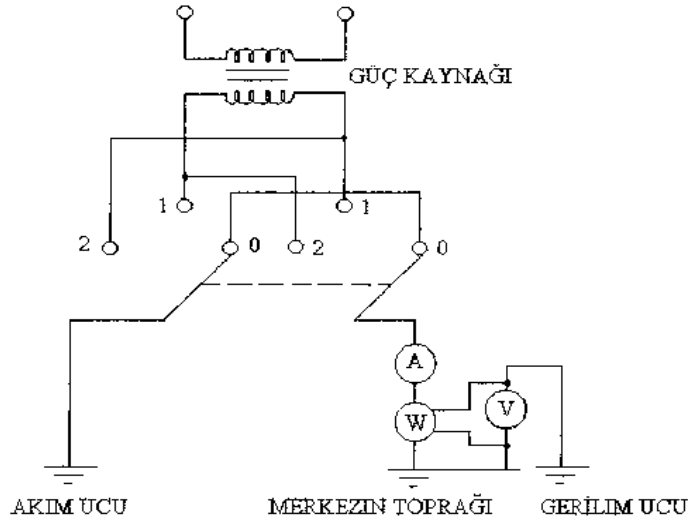
$$R = K_1 \frac{P_t}{I_t^2} \quad (1.53)$$

R Topraklama sisteminin direnci

P_t Ölçülen güç

I_t Deney akımı

K_1 Yardımcı toprak elektrotlarının birbirine yakınlığı nedeniyle doğan hatayı düzelten çarpandır.



Şekil 1.29. Wattmetre-Ampermetre yöntemi ile toprak direncinin ölçülmesi [3]

1.6.1.4. Yardımcı Toprak Uçlarının Uygulama Noktalarının Saptanması

Yardımcı toprak elektrotları merkezin topraklamasından ve birbirlerinden yeterince uzağa yerleştirilmelidirler. Büyük merkezlerde yardımcı toprak elektrotlarının daha kısa uzaklıklara konması ve deney sonuçlarının düzeltilmesi daha kolaydır.

Bunun için aşağıdaki yol tavsiye edilir.

- Merkezin kapladığı alan saptandıktan sonra aynı alana eşit dairenin yarıçapı hesaplanır. Bu yarıçapın yarısı merkezin ölçmeye esas eşdeğer yarıçapı (r) olarak tanımlanır. Yardımcı toprak elektrotlarının, alanın merkezine ve birbirlerine olan uzaklıkları $5r$ 'den az olmamalıdır.

Elektrotların gerekli uzaklıklara yerleştirilmesinden gelen hatayı düzeltmek için ölçülen topraklama direnci aşağıdaki çarpan ile çarpılmalıdır.

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{X_{ab}}\right) - \left(\frac{r}{X_{sa}} + \frac{r}{X_{sb}}\right)} \quad (1.54)$$

Bu denklemde:

r : Merkezin ölçmeye esas eşdeğer yarıçapını,

X_{sa} : Birinci elektrot ile alanın merkezi arasındaki uzaklığı ($X_{sa} > 5r$),

X_{sb} : İkinci elektrot ile alanın merkezi arasındaki uzaklığı ($X_{sb} > 5r$),

X_{ab} : İki yardımcı elektrot arasındaki uzaklığı ($X_{ab} > 5r$) gösteriyor.

- İki yardımcı elektrotun arasındaki alandan ya da bunlardan biri ile merkezin toprağı arasındaki alandan herhangi bir boru, ray, kablo ya da toprak iletkenli enerji nakil hattı geçmemelidir. Böyle bir durumda ölçme işlemi yapılma zorunluluğı varsa yardımcı elektrotlar bu gibi tesislerden en az 150m uzağına yerleştirilmelidir.
- Yardımcı elektrotların yerleşim yerlerinin uygunluğundan emin olmak için ölçme elektrot yerleri değiştirilerek en az bir kere tekrarlanmalıdır.
- Alanın merkezi ile yardımcı elektrotlar arasına çekilen iki hattın arasındaki açı mümkünse 90^0 'den büyük olmalıdır. Bu durum gerçekleştirilmezse hatlar arasındaki karşılıklı empedans hesaba katılmalıdır.
- Harici devrelerin indüksiyon etkilerinden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Bu nedenle gerilim iletkeninin doğrultusu, büyük akım taşıyan hatlar ile paralel olmamalıdır.
- Merkez ile akım ucu arasındaki hatta doğan indüksiyon ölçüm sonuçlarını etkilemez.
- Aşırı indüksiyon yoksa, akım ve gerilim elektrotlarının işlevleri aralarında değiştirilebilir. İlk ölçmede akım elektrotu olarak kullanılan elektrot, gerilim elektrotu; gerilim elektrotu olarak kullanılan elektrotta da akım elektrotu alınarak ikinci bir ölçme yapılır ve bütün düzeltmelerden sonra toprak direncinin iki değeri arasındaki fark %10'dan büyük değilse ortalama değer merkezin topraklama direnci olarak alınabilir. Aradaki farkın çok büyük olması indüksiyon etkisinin dolayısıyla hatanın çok büyük olduğunu gösterir.

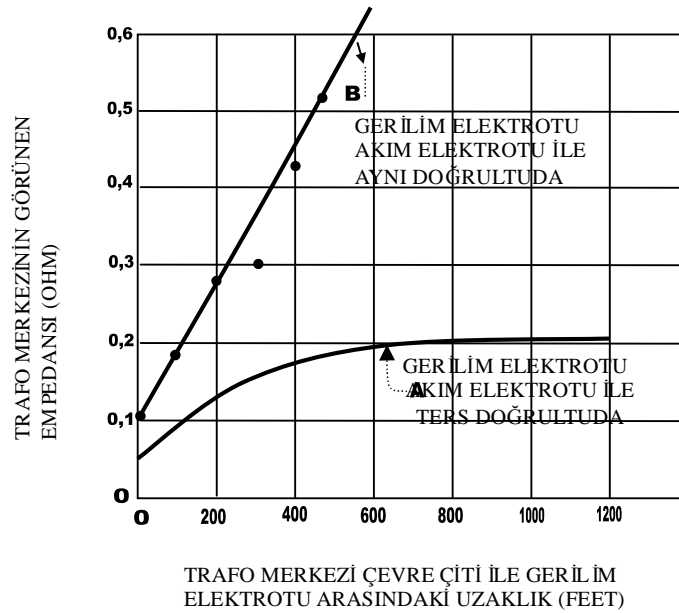
- Merkezin topraklama direncini bulmak için en uygun yol, ölçülecek topraklama sisteminin diğer harici topraklama sistemleri ile olan bağlantılarını çözmek ve yalnız bu merkezin direncini ölçmektir.

Direnci çok düşük bir harici topraklama sistemine bağlı şalt ya da trafo merkezinin direncini ölçebilmek için çok büyük yardımcı elektrot açıklığı (yaklaşık 8 km'den fazla) kullanılmalıdır.

- Akım elektrotu, direnci ölçülecek topraklama sisteminin etkilerinden korunulması için yeterince uzağa yerleştirilmelidir.

Kurumsal olarak; uzaklığın topraklama direncine etkisi sonsuz uzaklığa kadar devam ederse de, bu etki uzaklığın bir üstel işlevi ile ters orantılı değiştiğinden etkinin kolay bir sınırı bulunabilir.

Düşük topraklama dirençli ve geniş bir alanı kaplayan merkezlerin topraklama dirençlerinin ölçümünde gerilim elektrotu merkezden çeşitli uzaklıklara yerleştirilerek her kademe için ölçme yapılır. Bulunan topraklama dirençlerinin uzaklığın işlevi olarak çizilmesi ölçme konusunda bize gerekli bilgileri verebilir.

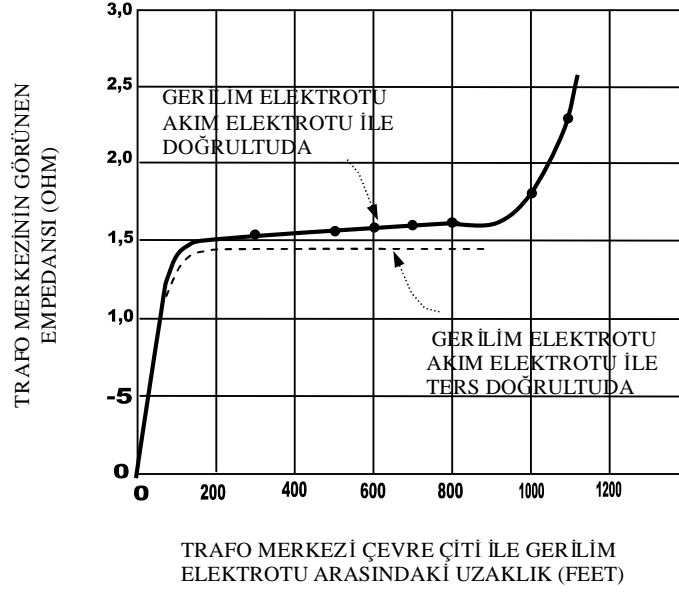


Şekil 1.30. Düşük topraklama dirençli bir merkezde ölçüm sonuçları [3]

Şekil 1.30'de düşük topraklama dirençli bir merkezin ölçüm sonuçları görülmektedir. B eğrisi devrelerin birbirine (kapasitif, indüktif ya da dirençli) etkileri nedeni ile doğan sapmayı gösteriyor. A eğrisi ise gerilim elektrotunun akım elektrotuna

göre ters doğrultuda olması durumuna göre yapılmış deney sonuçlarını vermektedir. Buradan, yaklaşık 200m'den sonra uzaklığın direnç üzerindeki etkisinin pratik olarak kaybolduğu görülüyor.

Bu uzaklıktaki nokta merkezin topraklaması için sonsuz uzaklıktaki bir toprak noktası olarak kabul edilebilir.



Şekil 1.31. Yüksek topraklama dirençli bir merkezde ölçüm sonuçları [3]

Şekil 1.31'de ise topraklama direnci yüksek bir merkezin ölçme sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi devrelerin birbirlerine etkisi hem azdır hem de elektrotların yerinin seçimi bir sorun değildir.

1.6.2. Toprak Direnç Hesabı

İyi bir topraklama tesisi düşük topraklama direnci sağlar. İletim tesisleri ve diğer büyük istasyonlar için topraklama direnci değeri 1ohm ve altıdır. Daha küçük dağıtım istasyonları için bu değer 1 ile 5 ohm arasındır.

1.6.2.1. Basit Hesap Yöntemi

Bu toprak direncinin hesabında ilk adım topraklama ağının alanının ve toprak öz direncinin değerinin belirlenmesi olmalı. Bu hesaplama yönteminde istasyon topraklama direncinin minimum değer aldığı homojen toprakta, yer yüzeyi küre topraklama elektrotu olarak kabul edilecektir:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (1.55)$$

Burada

R_g : Trafo merkezinin toprak direnci Ω

ρ : Toprak öz direnci $\Omega.m$

A : Topraklama ağının alanı m^2

Trafo merkezinin toprak direncinin maksimum değeri; topraklama ağlarını oluşturan iletkenlerin toplam uzunluklarının eklenmesiyle elde edilmiştir:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T} \quad (1.56)$$

L_T : Toplam iletken uzunluğu m

İkinci denklemden topraklama iletkeni uzunluğuna, topraklama kazıklarının toplam uzunluğu da eklenmiştir. Topraklama kazıklarının iletken uzunluğunda önemli bir yeri vardır.

Eşitliğe ikinci bileşenin eklenmesi ile toprak direnci artmıştır. Bu farkın kapatılması için sonsuz uzunlukta topraklama iletkeni döşenmeli ve L_T değeri sonsuza eşitlenmelidir.

Bu eşitliğe iletkenlerin derinliği faktörü de eklenmiştir:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (1.57)$$

h. İletken derinliği

1.6.2.2. Schwarz Eşitliği

Schwarz, homojen toprak içinde yatay toprak ızgarası ve dikey topraklama kazıklarından oluşan sistem için toplam direnci hesaplayan bir denklem geliştirmiştir. Schwarz'ın denkleminde R_1 topraklama iletkenlerinin direncini, R_2 küre yapısına benzetilen topraklama kazıklarının direncini, R_M kazık ile iletken arasındaki karşılıklı direnci vermektedir.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (1.58)$$

R_1 : Ağ iletkeninin toprak direnci Ω .

R_2 : Topraklama çubuklarının topraklama direnci Ω .

R_m : Müşterek toprak direnci (R_1 ile R_2 arasındaki) Ω .

Ağın toprak direnci:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (1.59)$$

ρ : toprak özgül direnci $\Omega.m$

L_c : Topraklama iletkeni uzunluğu m

a' : $\sqrt{a2h}$, h: elektrotun gömülme derinliği m

2a: elektrotun çapı m

A: elektrotlar tarafından çevrelenen alan m^2

k_1, k_2 : schwarz katsayıları

Topraklama kazıklarının direnci:

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_r} \left[\ln\left(\frac{4L_r}{b}\right) - 1 + \frac{2k_1 L_c}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right] \quad (1.60)$$

L_r : her bir kazığın uzunluğu m

$2b$: kazıkların çapı m

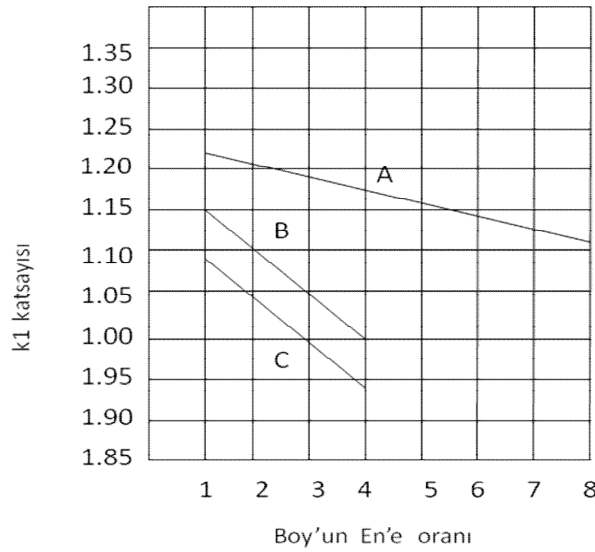
n_R : Alanda kullanılan topraklama kazığı sayısı Adet

Topraklama ağı ile toprak kazığı arasındaki eşdeğer direnç:

$$R_M = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln\left(\frac{2L_c}{L_r}\right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (1.61)$$

Topraklama kazığı ve topraklama ağının birleştirilmiş topraklama direnci, bunların ayrı dirençlerinden daha düşüktür.

Schwarz denkleminde kullanılan k_1 ve k_2 katsayıların diyagramı Şekil 1.32 ve 1.33 de verilmiştir.



Şekil 1.32. Schwarz eşitliğinin k1 katsayısı [18]

Eğri A-derinlik $h=0$

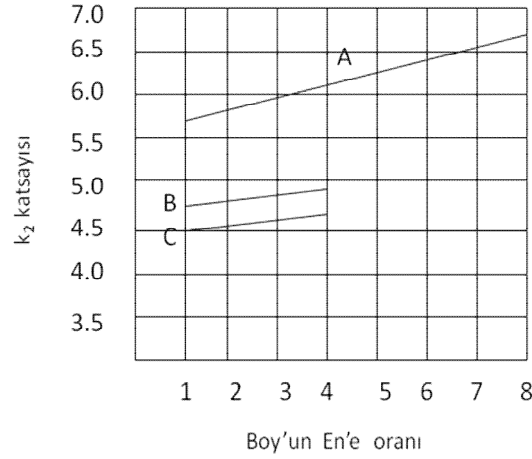
$$\gamma_A = -0,04x + 1,41 \quad (1.62)$$

Eğri B- derinlik $h = \sqrt{A}/10$

$$\gamma_B = -0,05x + 1,20 \quad (1.63)$$

Eğri C- derinlik $h = \sqrt{A}/6$

$$\gamma_C = -0,05x + 1,13 \quad (1.64)$$



Şekil 1.33. Schwarz eşitliğinin k_2 katsayısı [18]

Eğri A-derinlik $h=0$

$$\gamma_A = 0,15x + 5,50 \quad (1.65)$$

Eğri B- derinlik $h = \sqrt{A}/10$

$$\gamma_B = 0,10x + 4,68 \quad (1.66)$$

Eğri C- derinlik $h = \sqrt{A}/6$

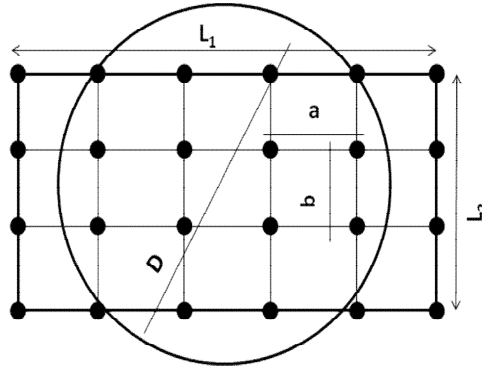
$$\gamma_c = -0,05x + 4,40 \quad (1.67)$$

Trafo merkezinin topraklama alan değerini kullanarak her 3 grafikte belirtilen h değerleri hesaplanır. Daha sonra topraklama iletkenlerinin gömülme derinliği ile bulunan değerler karşılaştırılarak en yakın eğri seçilir.

Topraklama ağındaki uzun kenarın kısa kenara bölümü ile bulunan değerinin belirlenen eğri ile kesiştiği noktadaki y eksenini değeri k_1 ve k_2 katsayılarını verir.

1.6.2.3. Laurent Topraklama Yöntemi

Şekil 1.34 de gösterilen bu yöntemde topraklama ağının geometrik boyutlarından topraklama ağının direnci hesaplanır:



Şekil 1.34. Topraklama ağı [2]

Topraklama ağı direnci R :

$$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{L_T} \quad (1.68)$$

D: Eşdeğer çap (axb / π) m

L_T : Toplam iletken uzunluğu m

ρ : Özgül toprak direnci ohm.m

R: Topraklama direnci ohm

1.6.2.4. Koch Topraklama Direnci

Bu yöntem ile eşdeğer dairesel levha toprak yayılma direnci bulunur. Bu değer “k” düzeltme katsayısı ile çarpılır. Gözlü şebekenin potansiyel ifadesi ve yayılma direnci yaklaşık olarak eşdeğer alandaki levha topraklayıcının potansiyel ifadesi ve yayılma direncine eşit alınır.

Gözlü topraklayıcının direnci:

$$R = \frac{\rho}{2D} * k \quad (1.69)$$

Topraklama ağında, topraklayıcının l_2 genişliği en az l_1 uzunluğunun yarısına eşit olmalıdır.

$$\frac{L_1}{a} < 10 \text{ ise } k=1,3 \quad (1.70)$$

$$\frac{L_1}{a} \geq 20 \text{ ise } k=1,2 \text{ alınır} \quad (1.71)$$

k : koch katsayısı

1.6.3. Topraklama Ağı İletken Kesiti

Hata akımının, topraklama ağının içerisinde farklı kollara ayrılması dikkate alınarak, iletken sıcaklığına göre topraklama yapılır. Topraklama ağındaki bir iletken üzerinden toplam hata akımının % 70'inin geçeceği düşünülür. Akımın diğer kısmının topraklama hattı üzerinden geçeceği varsayılır. Topraklama iletkeni olarak kullanılan malzemelerin erime sıcaklıkları 419–1083 °C arasında olmasına rağmen iletkenlerin

montajı sırasında kullanılan malzemelerin erime sıcaklıkları daha düşük olduğundan kesitin bulunması için kullanılan denklemden izin verilen en büyük sıcaklık olarak montajda kullanılan malzemelerin erime sıcaklıkları esas alınır.

İletkenlerin bir kısa devre esnasında ortaya çıkan ısıdan zarar görmemesi için ;

$$A_k = I \cdot \sqrt{\frac{\frac{t_c \alpha_r \rho_r \cdot 1000}{T_{CAP}}}{\ln \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right]}} \quad (1.72)$$

kesitinde olması gerekir.

A_k : Topraklama iletkeni kesiti (mm²)

I : Kısa devre akımı (A)

t_c : Arıza süresi (sn)

α_r : Referans sıcaklıkta öz direncin ısı katsayısı

ρ_r : Referans sıcaklıkta topraklama iletkeninin öz direnci ($\mu\Omega m$)

T_{CAP} : Isıl kapasite faktörü (J/cm^{3/°C})

T_m : Arıza esnasında izin verilen en büyük iletken sıcaklığı (°C)

T_a : Ortam sıcaklığı (°C)

burada $K_0 = (1/\alpha_r) - T_r$

T_r : Malzeme sabitleri için referans sıcaklık (°C)

Topraklama iletkeninin kesitini belirleyen en önemli faktörler topraklama iletkeni olarak kullanılacak olan malzemenin sabitleridir.

1.6.3.1. İletken Kesiti ile Akım Taşıma Kapasitesi Arasındaki Bağntı

Hata akımı oluştuğunda, olay süresince erimeye dayanabilecek iletken kesitinde ki akım değerini IEEE.80 standardındaki Onderdonk bağıntısı ile buluruz:

$$I = A \left(\frac{\log \left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}{33s} \right)^{1/2} \quad (1.73)$$

I . Hata akımı (A)

A: İletken kesiti (Cmil)

s : Hata akımı süresi (sn)

T_m : İletkenin dayanabileceği max. sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

T_a : Ortam sıcaklığı (40°C)

$$1 \text{ Cmil} = 1,974 \text{ mm}^2$$

Bakır için $T_m = 1083^{\circ}$ alınırsa Onderdonk bağıntısı:

$$I = A / (6.96.s^{1/2}) \quad \text{alınabilir.}$$

Yapılan testlerde Cadweld ek bölgesi 1083°C sıcaklığa dayanabildiğinden aynı formül bu ek içinde geçerlidir. Bu formülden iletken kesitini çekersek:

$$A = 6.96.I.s^{1/2} \quad (1.74)$$

ifadesi bulunur.

Lehim veya gümüş kaynağı ile yapılmış ekin dayanabileceği max. sıcaklığın 450°C olduğu dikkate alındığında IEEE 80 standardına göre Onderdonk bağıntısı:

$$A = 9.12.I.s^{1/2} \quad (1.75)$$

Civatalı ya da sıkıştırmalı ekte ise, ekin dayanabileceği max. sıcaklık IEEE 80 standardına göre 250 °C olduğundan:

$$A = 11.54.I. s^{1/2} \text{ bulunur} \quad (1.76)$$

Tablo 1.6. Topraklama iletkenlerinin 40° C ortam sıcaklığı için malzeme iletkenliği [19]

Malzeme	Malzeme iletkenliği	T_m (°C)
Bakır	%100	1084
Alüminyum	%61	657
Bakır kaplı çelik	%40	1084
Çelik	%10,8	1510
Paslanmaz Çelik	%2,4	1400

Tablo 1.7. Topraklama iletkenlerinin kimyasal özellikleri [19]

Malzeme	Malzeme iletkenliği	α_r	K_0	T_m	ρ_r	T_{CAP}
Bakır	%100	0,00393	234	1084	1,72	3,42
Alüminyum	%61	0,00403	228	657	2,86	2,56
Bakır kaplı Çelik	%40	0,00378	245	1084	4,40	3,85
Çelik	%10,8	0,00160	605	1510	15,90	3,28
Paslanmaz Çelik	%2,4	0,00130	749	1400	72	4,03

1.6.4. Dokunma Gerilimlerinin Hesaplanması

Tesislerde dokunma geriliminin bulunması için prensip şema Şekil 1.35 de verilmiştir. Dokunma gerilimi iç direnci aşağı yukarı 75 kΩ/V olan bir Voltmetre ile bulunur. Dokunma geriliminin direnci, 1 kΩ olan direnç üzerinde ölçülür. Bu dirençle insan vücudunun direnci temsil edilir. Topraklama tesisine bir test gerilimi uygulanması gerekir.

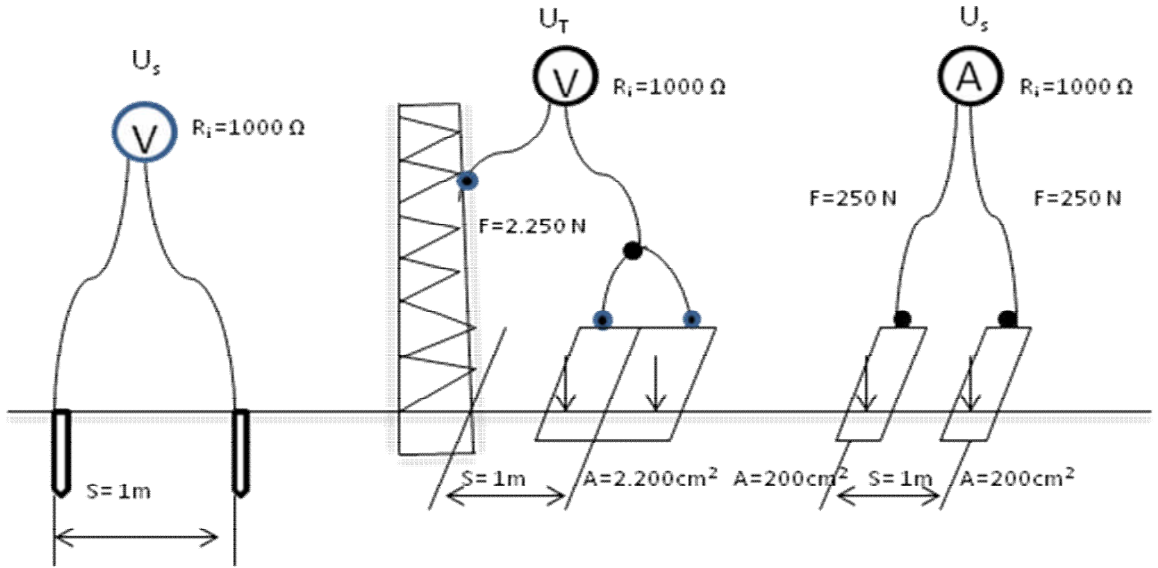
Ayakların temsilinde ölçü elektrotları olarak toplam yüzeyi 400 cm² olan ve toprak yüzeyine toplam 500 N'luk minimum basınç sağlayan levhalar kullanılır. En basit olarak

ölçüyü yapan kişinin kendisi levhalar üzerine çıkabilir. Ayak elektrotları yerine toprağa en az 20cm çakılan kazıklarda kullanılır.

Dokunma gerilimleri, seçilen metal bölümler ile 1m uzaklıktaki toprak yüzeyi arasında ölçülür ve vücut direncinin temsilinde iç direnci $1\text{ k}\Omega$ olan ölçü aletleri kullanılır.

Elektrot olarak:

- 10-20 cm çakılabilen ölçü sondaları (kazıkları)
- 400 cm^2 yüzeyi ve en az 500 N ağırlığı olan ayakları temsilen ayak elektrotları
- Pas veya boya tabakalarını delmeye yarayan sivri elektrotlar.



Şekil 1.35. Dokunma ve adım gerilimlerinin ölçülmesi [8]

Yanlış ölçümleri önlemek için bu kazıkların kullanılması halinde yeraltında döşenen topraklama şeritleri dikkate alınmaz.

Bir tesis bölümünde dokunma gerilimi ölçümü yapılırken, durulan yerde ayak elektrotları dokunulan tesis bölümünden 1 m'lik uzağa konur.

Beton, asfalt ve kuru toprakta, zemin ile elektrot arasına ıslak bez konulur. Voltmetrenin bir ucu el elektroduna, diğer ucu da ayak elektroduna bağlanır.

Topraklama tesisi ile galvanizli irtibatı olan veya hidrant, aydınlatma direği, çitler, çit direkleri ile kapılar gibi uzak potansiyel taşıyan, topraklama tesisi kenarında veya dışında bulunan ayrı duran metal parçalara dikkat etmek gerekir.

Bir topraklama tesisinin topraklama ve dokunma geriliminin mutlaka ölçülmesi gerekmez. Zira bilinen değerlerden (boyutlar, özgül toprak direnci, toprak hata akımı) bulunabilir.

Dokunma gerilimi aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\frac{U_{dson}}{U_{dbo}} = \frac{1}{1 + \frac{R_F}{R_M}} \quad (1.77)$$

U_{dbo} : Boştaki dokunma gerilimi

U_{dson} : 1000 Ω 'luk vücut direnciyle yüklenmeden sonra ölçülen dokunma gerilimi
3000 Ω 'luk vücut direnciyle yüklenmeden sonra ölçülen dokunma gerilimi (Tablo 1.8)

Tablo 1.8. Yüksek gerilim tesislerinde veya yakınında dokunma gerilimlerinin ölçülmesi [19]

Sıra No	Ölçü noktaları	U_{dbo}	U_{dson}	$\frac{U_{dson}}{U_{dbo}}$
1	Taş karolara karşı su borusu	0,26	0	0
2	Bazalt karolara karşı su borusu	0,26	0,15	0,58
3	Beton tabana karşı toprak iletkeni	1,44	0,9	0,62
4	Taş karolara karşı su borusu	0,32	0,2	0,62
5	Toprağa karşı direk (1m)	0,27	0,18	0,67
6	Toprağa karşı direk (2m)	0,43	0,2	0,47
7	Toprağa karşı direk (1m)	0,44	0,3	0,68
8	Betona karşı toprak direk(8m)	1,38	0,7	0,51
9	Bazalt tabana karşı direk(15m)	1,44	0,72	0,5
10	Beton tabana karşı su borusu	0,48	0,37	0,77
11	Tabana karşı su musluğu	113	86,7	0,77
12	Tabandaki ızgaraya karşı su borusu	123	97,9	0,8
13	Durulan yere karşı hidrant	103	82,3	0,8
14	Tabana karşı su musluğu (çamaşır m.)	97,8	86,7	0,89
15	220 kV kablo kanalı	113	85	0,75
16	110 kV kablo kanalı	91	36,1	0,4
17	Tesis çitine karşı demiryolu rayı	218	209	0,96

1.7. Elektrik Akımının İnsan Vücudu Üzerine Tesiri

Arızasız bir yüksek gerilim şebeke işletmesinde toprak üzerinden gayet küçük akımlar geçer; bu akımlar daha ziyade kapasitif olup her üç faz hattının toprağa karşı kapasitesinin eşit olduğu kabul olunursa, her üç faza ait bu kapasitif akımların toplamı toprakta sifıra eşit olur. Buna karşılık bir faz ile toprak arasında bir temas meydana gelirse oldukça büyük bir toprak akımı geçer. Eğer insan vücudu bu toprak akımının devresi üzerinde veya buna paralel olarak bulunursa, insan vücudundan da bir akım geçer. İnsan vücudundan geçen akımın şiddeti, insan vücudu tarafından köprülenen gerilime bağlı olduğu gibi insan vücudunun direnci ile temas noktalarındaki (iki el, iki ayak veya bir el ve bir ayak) geçiş dirençlerinin toplamına bağlıdır. Tehlikeli temas veya adım gerilimlerine karşı koruma maksadı ile tesis edilen topraklamanın yapılışı, şu halde insan vücudundan geçen akımın insan sağlığı üzerine olan tesirine bağlıdır. 50 Hz'lik alternatif akımla insanlar üzerinde yapılan deneylere göre elde edilen sonuçlar Tablo 1.9'da gösterilmiştir. Bu deneylerde temas gerilimine iki el ile veya bir el ve bir ayak ile temas edilmiştir.

Tablo 1.9. Uygulanan akımların insan vücudundaki etkileri [2]

50Hz'lik akım şiddeti	İnsan vücudundaki tesirler
1 mA	His edilebilir.
2.....4 “	Parmaklarda sinirler titreşir.
5.....7 “	Kolda hafif kramp hissedilir.
10...15 “	Tutulan cisim henüz bırakılabilir.
19....22 “	Çok acı duyulur, tutulan cisim bırakılamaz.
30 “	Şiddetli acı duyulur, eller çalışmaz olur.
50....100 “	Ölümlerle sonuçlanır.
1.....10 A	Yanmalar baş gösterir.

1.7.1. Vücut Direnci

İnsan vücudunun direnci, farklı gerilimdeki iki nesne ya da ortamla temasta bulunan bölümlerin yüzeyine ve niteliğine bağlıdır. Direnç ayrıca kişinin yapısına,

derinin durumuna, bütünlüğüne, kalınlığına, nemine ve uygulanan gerilimin büyüklüğüne bağlıdır.

İç dokular vücudun iki ucu arasında hemen hemen birkaç yüz ohm'luk bir direnç gösterir. Ancak derinin gösterdiği direnç bin ohm'a ulaşır. Deri çok kuru ve dokunma yüzeyi küçükse bu değer onbin ohm'a çıkabilir. Belirli bir değer üzerindeki gerilimler deride yerel delinmelere yol açarak bu koruyucu etkinin büyük bir bölümü ortadan kaldırılabılır. Bu durum 220 V'un üzerindeki gerilimlerde çok sık rastlanır.

Vücut direncine kabul edilebilir bir değer biçilmesi oldukça güçtür ve değer çoğunlukla klasik biçimde yönetmeliklerle belirlenir. 1000 ohm'luk değer nemli ortamlarda rastlanan çok kötü koşulları yeterince temsil eder. 5000 ohm'luk değer ise çoğunlukla daha az kritik olan alçak gerilim sistemlerinde düşünülebilir.

1.7.2. Vücut Dışındaki Devrenin Empedansı

Vücudun, elektrik ile iyi bağlantılı metal nesnelere, gerilim kaynağı ve belirli gerilimdeki diğer bir nokta ile tam teması durumunda; vücudun kendi direncine eklenecek hemen hemen hiçbir empedans yoktur.

Vücuda giren akımın ayaklardan ayakkabı tabanları üzerinden aktığı durumda toprak üzerinde duran iki ayak, küçük bir topraklama elektrotuna benzetilebilir. Eğer toprağın özgül direnci ρ ise bu elektrotun direnci 2ρ olacaktır; yani 100 ohm.m özgül dirençli bir arazide 200 ohm.m. Çarpılma tehlikesinin büyük olduğu yerlerde yalıtkan tabanların kullanılması yararlı olur.

Doğal ve yapay toprakları kolayca üç bölümde toplayabiliriz:

- Bu gruptaki toprakların direnci vücut direncinin yanında çok küçüktür ve ona seri girer, öyle ki vücut dokunma anında gerilimin hemen hemen tümüne dayanmak durumunda kalır (çiğnenip sıkıştırılmış toprak; nemli beton, nemli döşemelikler, vb.)
- Bu gruptakiler ise kullanılan gerilimler için yalıtandır, öyle ki gerilimin çok küçük bölümü vücut üzerindedir (kuru ağaç, yalıtkan kaplamalar, vb.)
- Direncin ilave edilen toprak ya da kaplama tarafından artırıldığı ve şebekenin büyük olduğu ara durumlarda; uygulanan gerilimlerin ve delinme tehlikelerinin göz önüne alınması gerekir. Vücut tarafından çekilen akım önsel olarak daima ihmal edilebilir (kuru, taşlı topraklar, kuru beton, vb.)

Tablo 1.10. Ayakkabı, elbise ve alet izolasyonların elektrik dirençlerini vermektedir [8]

AYAKKABILAR		
Taban cinsi	Ayakkabıların durumu	Direnç
İnce deri	Taban delik, kuru	130 MΩ
	Tamamen ıslak	455 MΩ
Kalın deri	Kullanılmış kuru ayakkabı	80 MΩ
	Tamamen ıslak,kısmen yanlar ıslak	182 Ω
Naylon	Kuru	∞
	Yanlar ıslak	1050 Ω
İnce deri dikişli	Kuru	1,05 MΩ
	Taban su ile hafifçe ıslanmış	0,26 MΩ
	Aynısı, fakat iç kısımda ıslak	0,07 MΩ dan
	Taban 15 dk suda kalmış ve iç kısım ıslak	200 Ω a kadar
Krep taban 1 yıl kullanılmış	Kuru	∞
	Taban ıslak	∞
	Aynısı, fakat ayakkabıların taban çevresi ıslak. Ölçmeler 1 saat boyunca yapılmış	0,29 MΩ dan 0,088 MΩ a kadar
Plastik madde profil	Kuru	0,01...0,1 MΩ
Deri	Rutubetli	100
	Kuru elbise	0,01...0,1 MΩ
	Çok terli elbise	1000-2000 Ω
	Islanmış bölgeler	0
	İzoleli aletler	01-10 MΩ

1.7.3. Vücuttan Geçen Akımlarda Tehlike Sınırı

Tehlike temel olarak vücuttan geçen akımın değerine, geçiş süresine ve geçtiği organların yapısına bağlıdır. Değişkenler çok fazladır ve iyi tanımlanmış tehlike sınırları vermek olanaksızdır.

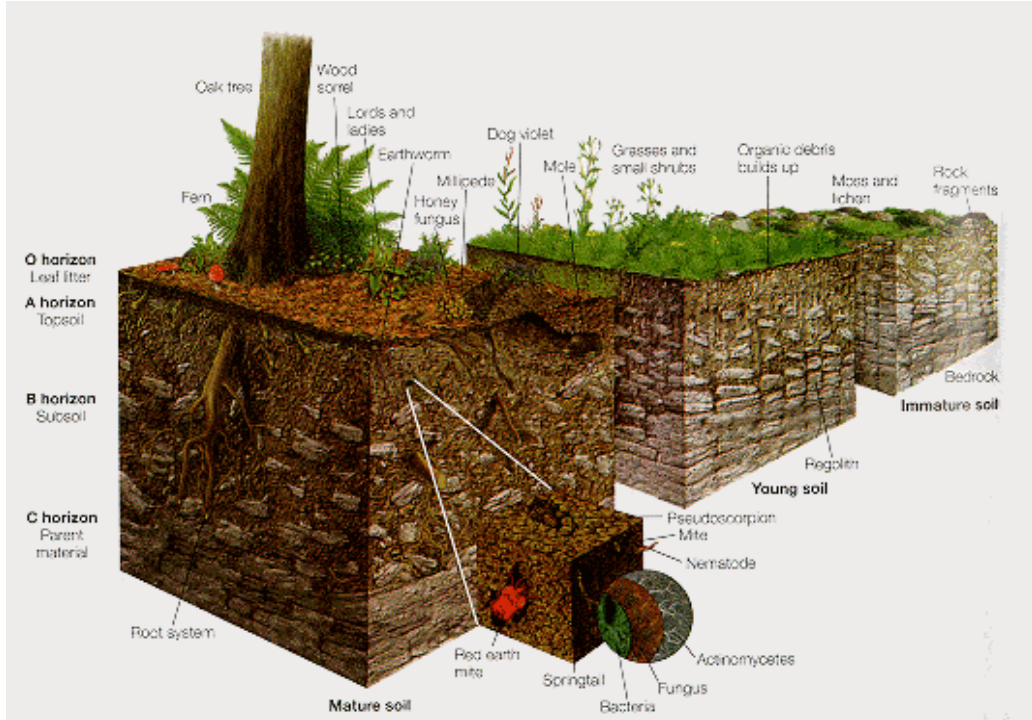
Hatırlanacağı gibi vücudun duyarlılık sınırı mA düzeyindedir. Kasılma başlangıcı 10-15mA dolayındadır ve 1 sn süreli 100mA'in üzerindeki akımlarda kalp kasılmalarına rastlanabilir. Eğer akım kısa sürede kesilmezse 10 mA düzeyinde sağlanmış olan güvenlik genellikle ortadan kalkar. Kazalar genellikle, çok sayıdaki rastlantının birleşmesini gerektirir. Arızaların hızla temizlenmesi pratikte ayrıca bu birleşme olasılığını en aza indirmeye yarayan etkili bir yöntemdir.

1.8. Toprak

Toprak, dünyadaki karasal ortamların yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayan, çeşitli kayaç ve minerallerin çevresel faktörlerin etkisiyle ayrışması sonucu oluşan, içerisinde inorganik ve organik materyaller ile birlikte belirli oranlarda hava ve su bulunduran, bitkilere tutunma yeri ve besin kaynağı olan üç boyutlu ve canlı bir doğal varlıktır. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere topraklar, başlı başına bir ekosistem olup, son derece karmaşık bir yapıya sahiptirler. Toprakların arz yüzeyindeki kalınlığı ise sadece 1,5–2,0 metre olup, dünyanın yarıçapının 6378 km olduğu göz önüne alınacak olursa, söz konusu bu derinliğin sadece % 0,00003'ünü kapsayan toprak derinliğinin dikkate alınmayacak kadar az olduğu anlaşılacaktır [15].

Topraklar, çeşitli kayaç ve minerallerin doğal faktörlerin (toprak yapan faktörler: iklim, bitki örtüsü, ana materyal-kayaç ve mineraller, topografya, zaman) etkisi altında ayrışması ve ayrışan bu materyallerin yeni bileşiklere dönüşmesi sonucu oluşmuş doğal ve canlı varlıklardır.

Şekil 1.36 da yeryüzünün toprak tabakaları gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi her tabakanın farklı bir yapısı vardır.

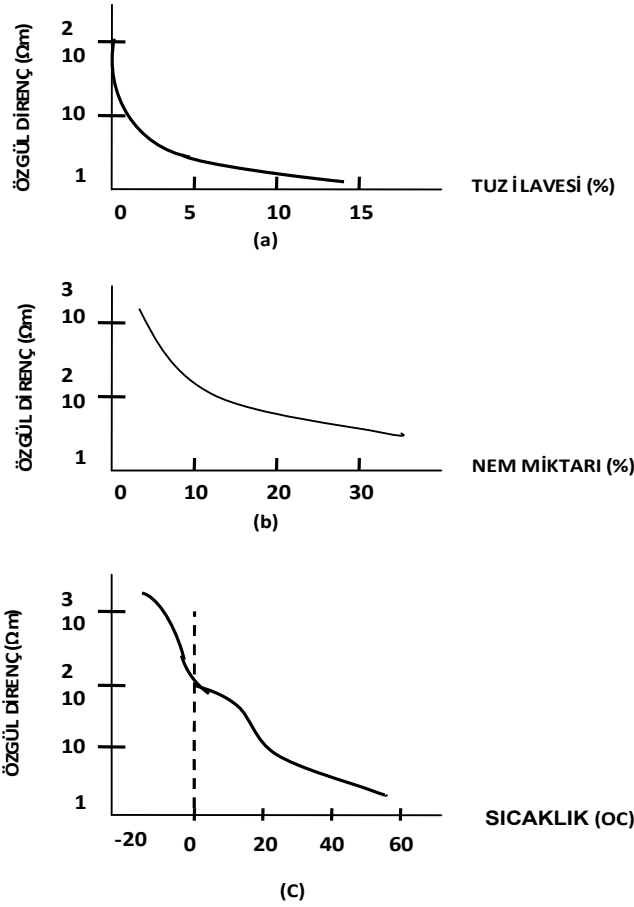


Şekil 1.36. Yeryüzünün toprak tabakaları

1.8.1. Toprak Yapısı ve Rutubeti

Bir topraklama sistemi projelendirilirken öncelikle toprak yapısı incelenmelidir. İnsanların ve hayvanların bulunduğu alanlarda toprağa geçiş direncinin mümkün olduğunca küçük tutulması önemli ve hayatidir. Topraklama direncinin mümkün olduğu kadar küçük olması, atmosferik elektrik boşalmalarında yıldırımdan korunma tesislerinde meydana gelecek yan atlamaları ve tehlikeleri azaltacağından bu hususa önem verilmelidir.

Şekil 1.37' de görüldüğü gibi toprağın iletkenliği temel olarak nem oranına bağlıdır. Mevsim koşullarının yüzeysel katmanların özgül direnci üzerindeki etkisi ortalama 1-2m düzeyindeki bir derinliğe kadar etkilidir. Bir metre derinlikteki toprakta nemli kış ile kuru yaz oranındaki değişme oranı 1'e 3 (bazen daha da fazla) düzeyinde olabilir. Bu etki küçük elektrotlarda büyüklere oranla daha hissedilir.



Şekil 1.37. Toprağın direncinin tuz, nem ve sıcaklığa göre değişimi [17]

Toprağın tanecikliği, toprağın nem tutuculuğunu ya da elektrotlarla olan temasını etkileyerek önemli rol oynar

Tablo 1.11. Toprak çeşitlerinin özgül dirençleri [3]

Toprağın Cinsi	Özgüldirenç (ohm.m)
Bataklık	1–30
Balçık, mil	20-100
Humuslu	10-150
Nemli turbo	5-100
Killi kumlar	50-500
Silisli kumlar	200-300
Çıplak taşlı toprak	1500-3000
Gevşek kalkerler	100-300
Sıkışık kalkerler	1000-5000
Çatlak kalkerler	500-1000
Kumtaşı	2000-3000
Granit	>50000
Buzulaş	>50000
Çimenle kaplı taşların	300-500
Bulunduğu toprak	

Topraklama direncinin azaltılması için mümkünse aşağıdaki toprak tiplerinden biri seçilmelidir.

1. Islak bataklık zemin.
2. Kil, balçıklı toprak, sürülebilir toprak, killi toprak, az miktarda kum ile karışık killi toprak veya balçık.
3. Değişik oranlarda kum ile karışık kil veya balçık, çakıl ve taşlar.
4. Rutubetli ve ıslak kum.
5. Kuru kum, çakıllı tebeşir, kireçtaşı, granit ve çok taşlı zeminler ve genç kayaların zemine çok yakın olduğu alanlardan kaçınılmalıdır.

Aşağıdaki tabloda özgül direnç değerlerinin ortalaması veriliyor:

Tablo 1.12. Toprak çeşitlerinin özgül direnç değerlerinin kaba ortalaması [11]

Toprağın niteliği	Özgül direncin ortalama değeri (ohm.m)
Ekilebilir bitek araziler, Nemli sıkılaştırılmış topraklar	50
Ekilebilir verimsiz araziler, Çakıllı kum, kaba dolma topraklar	500
Çıplak taşlı topraklar Kuru kum Su geçirmez kayalar	3000

1.8.2. Nem Miktarının Arttırılması

Elektrodun etrafındaki toprağın nemi, ırmak veya yeraltı suları ile arttırılır. Amacına en elverişli olanlar rutubet miktarının toprak ağırlığının % 15–25 ine kadar yükseltilmesi ile elde edilir ve bu halde geçiş direnci yarı yarıya indirilmiş olur.

1.8.3. Tuz İlavesi

Yukarıda tarif edilmiş maksada en elverişli nemlilik miktarı; su ağırlığının $\frac{1}{2}$ si oranında tuz ilave edilecek olursa (bu tuz ilavesi toprak ağırlığının %0,1'i oranında olacaktır) geçiş direnci %20 oranında azalmış olur. Sofra, kaya ve bakır sülfat tuzları için rakamlar geçerlidir. Suyun tesiri ile tuz, elektrot civarından akıp gittiğinden yukarıdaki hesaplar neticesinde çıkan tuz miktarının üç misli doğrudan doğruya elektrodun yanına yedek olarak depo edilmelidir. Göz önüne alınan topraktan yağmur veya kar erimesi neticesinde kuvvetli yeraltı su akımları geçmesi muhakkak sayılırsa tuz ilavesi hiçbir işe yaramayacaktır.

1.8.4. Çimli Humus ve Tarla Toprağı İlavesi

Bu yöntem; taşlı, kayalı, çakıllı zeminlerde kullanılmak için çok elverişlidir. Kükürtlü olduğu için kok kömürü kullanmak yasaktır. Odun kömürü ilavesi çok faydalıdır. Elektrodun kurşun veya çinko kaplaması gibi tedbirler, toprak direnci üzerinde hiçbir tesir yapmaz. Yalnız paslanma tehlikesine karşı gelir.

2. YAPILAN ÇALIŞMA VE BULGULAR

2.1. MATLAB Programı ile Topraklama Analizi

“MATLAB” programı (MATrix LABoratory’nin ilk üç harfleri alınarak isimlendirilmiştir) mühendislik uygulamalarının, hesaplamalarının ve simülasyonlarının çoğunun gerçekleştirildiği matris ve matematiksel tabanlı kompleks bir programdır. Her türlü grafiksel sonuçlar istenilen tarzda alınabildiği için kullanım alanı çok geniştir. Bu çalışmada MATLAB.R2009a versiyonu kullanılmıştır.

Müsaade edilen ve hesaplanan dokunma ve adım gerilimlerini etkileyen faktörleri incelerken MATLAB/Simulink kullanılmıştır.

Simulink, bir dinamik sistemin modellenmesi için blok şemalar sunar. Bir sistemin modellenmesinde kullanılan blok elemanları doğrudan Simulink Blok kütüphanesinden seçilir.

Bir Blok kütüphanesinde ne türden blok elemanları olduğunu anlamak için fare ile çift tıklamak yeterlidir. Bu elemanlardan modelimiz için gerekli olanlar fare ile sürüklenerek çalışma ortamına taşınır. Çalışma ortamında yapılmak istenen model için gerekli elemanlar taşındıktan sonra bu elemanlar uygun biçimde bağlantı yerlerinden birbirlerine bağlanır. Model oluşturma penceresindeki menüden Simulation/Start komutu seçilerek modelin Simulasyonu çalıştırılır

2.1.1. Müsaade Edilen Adım ve Dokunma Gerilimlerini Etkileyen Faktörler’in MATLAB/Simulink’te İncelenmesi

IEEE 80-2000 standardı; topraklama ağında kullanılacak iletkenlerin toplam uzunluğunun, kesitinin, çubukların sayısının, çapının, boyutunun, ağdaki göz ayısının, göz boyutunun ve ağ kurulacak alanın boyutunun müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimini etkilemediğini göstermiştir. 50 ve 70 kg ağırlığındaki insanlar için formül (2.1), (2.2), (2.3) ve (2.4) de hesabı verilen müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimi, direkt olarak kurulacak alanın toprağının öz direnci ve şok akım süresi ile orantılıdır. Eğer yüzey tabakası kullanılırsa, bu tabakanın özelliklerine de bağlıdır.

$$E_{Touch-50} = (1000 + 1,5.C\rho_s) 0,116 / \sqrt{t_s} \quad (2.1)$$

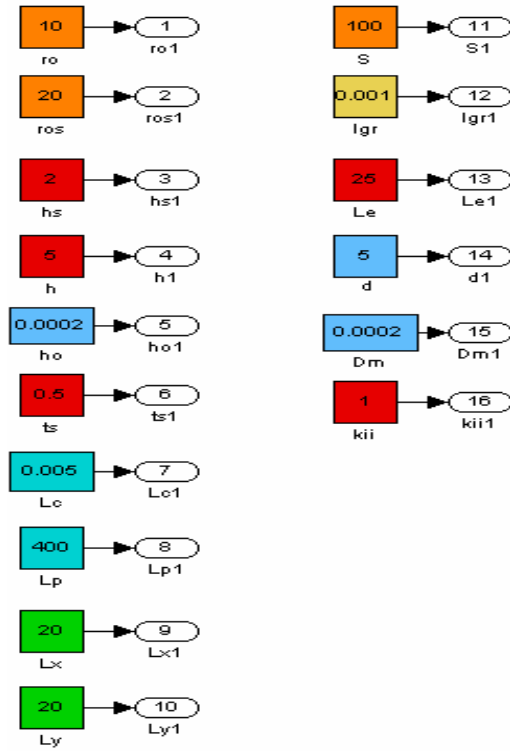
$$E_{Touch-70} = (1000 + 1,5.C\rho_s) 0,157 / \sqrt{t_s} \quad (2.2)$$

$$E_{Step-50} = (1000 + 6.C\rho_s) 0,116 / \sqrt{t_s} \quad (2.3)$$

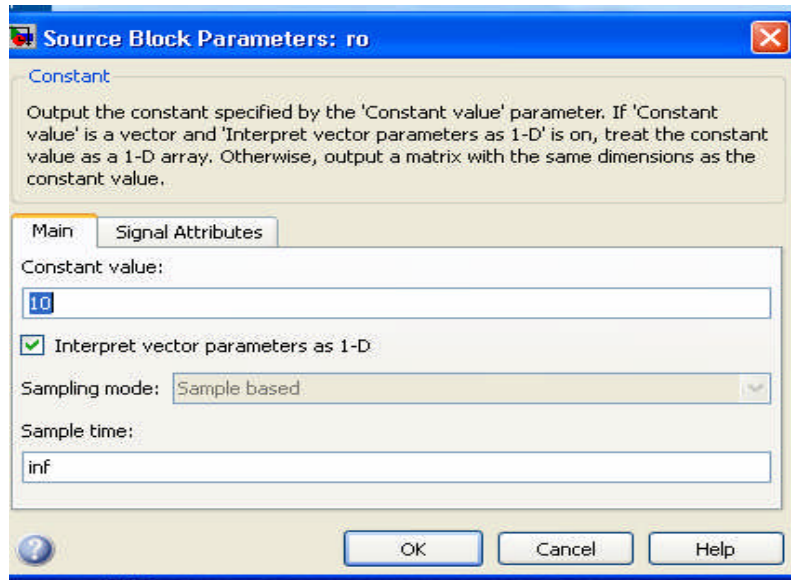
$$E_{Step-70} = (1000 + 6.C\rho_s) 0,157 / \sqrt{t_s} \quad (2.4)$$

Vücut ağırlığına göre adım ve dokunma gerilimlerinin müsaade edilebilir maksimum değerleri oluşturulan MATLAB/Simulink devre şemasından elde edilmiştir. Elde edilen değerler şekil 2.6. ve Tablo 2.1. de incelenmiş olup 70 kg lık bir kişi için adım ve dokunma gerilimlerinin müsaade edilen değerinin 50 kg'lık bir kişinin müsaade edilen maksimum değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

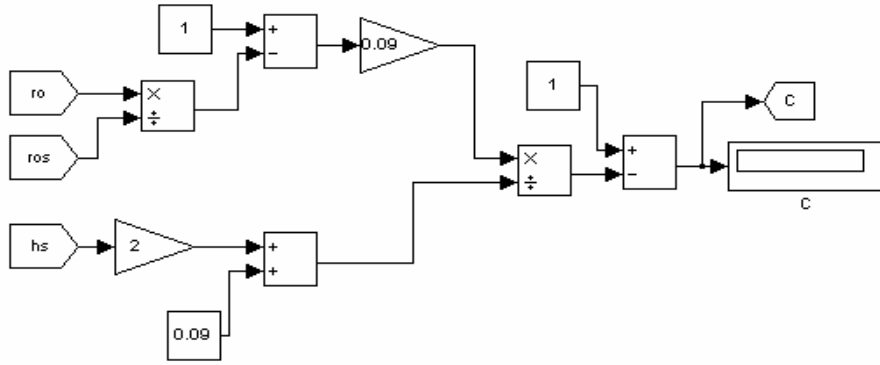
Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da oluşturulan müsaade edilen dokunma ve adım gerilimlerinin MATLAB/Simulink devre şemasının çalışması için gerekli olan değerler, Şekil 2.1'de gösterilen şemadaki kutularının her birinin seçilerek Şekil 2.2'deki kaynak blok parametre giriş ekranından değerlerin girilmesiyle elde edilir. Müsaade edilen adım ve dokunma gerilimleri için gerekli olan malzeme katsayısının hesabı Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Adım ve dokunma gerilimleri hesabı için MATLAB/Simulink de girilen değerler

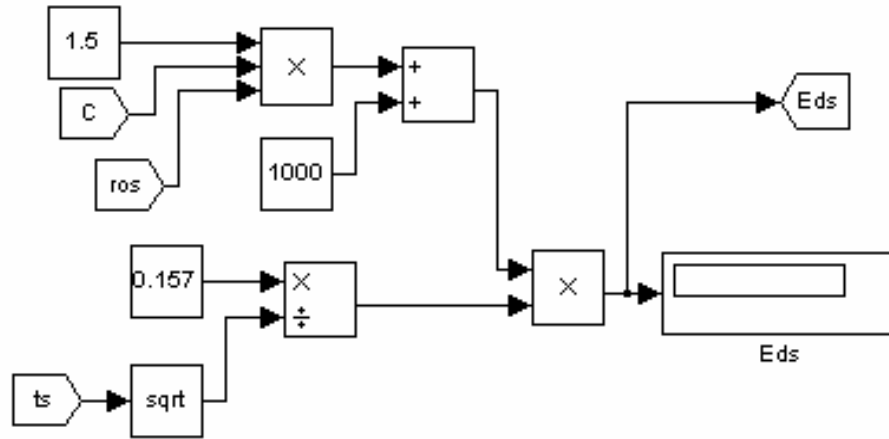


Şekil 2.2. MATLAB/Simulink te kaynak blok parametre giriş ekranı

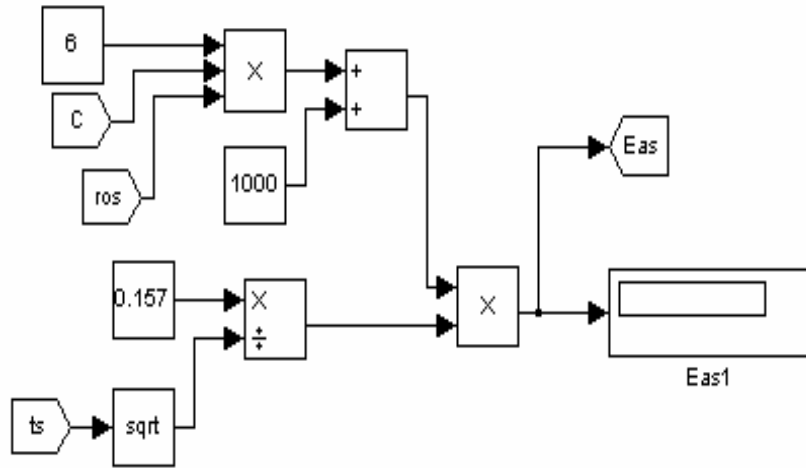


Şekil 2.3. MATLAB/Simulink de malzeme katsayısının hesaplanması

$$C = 1 - \frac{0,09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0,09} \quad (10.5)$$



Şekil 2.4. Müsaade edilebilir dokunma geriliminin MATLAB/Simulink modellenmesi

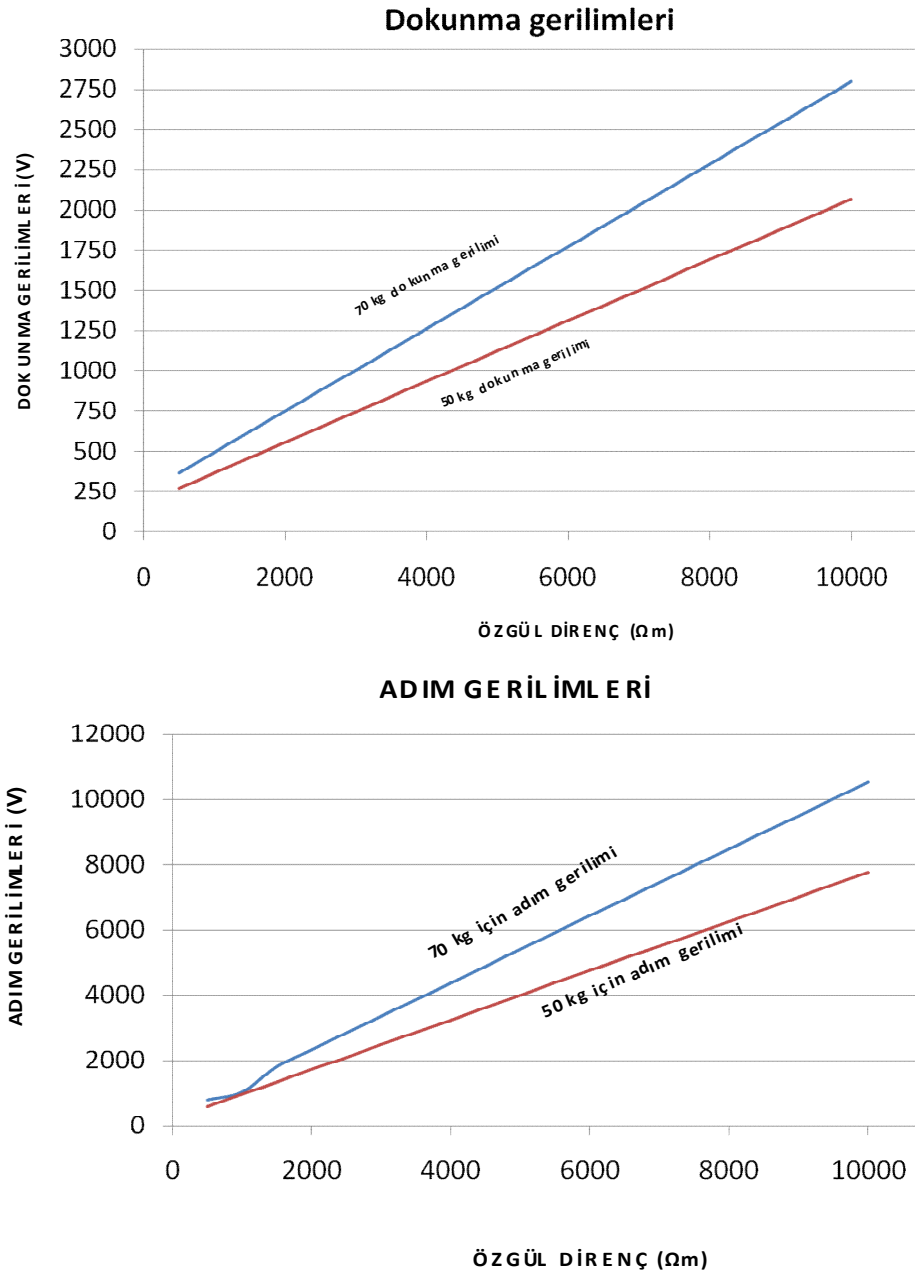


Şekil 2.5. Müsaade edilebilir adım geriliminin MATLAB/Simulink modellenmesi

Yapmış olduğum çalışmada, dokunma ve adım gerilimlerinin, vücut ağırlığına ve yalıtkan malzemelerin özgül direncine göre değişiminden elde edilen veriler Tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1. Dokunma ve Adım gerilimlerinin vücut ağırlığına ve yalıtkan malzemelerin özgül direncine göre değişimi

ρ_s	$E_{Touch-70}$	$E_{Touch-50}$	$E_{Step-70}$	$E_{Step-50}$
500	365,5	270	795,89	588,05
1000	493,6	364,7	1038,28	966,62
1500	621,7	459,3	1820,66	1345,2
2000	749,8	554	2333,04	1723,77
2500	877,9	648,6	2845,42	2102,35
3000	1006	743,3	3357,8	2480,92
4000	1262	932,6	4382,56	3238
5000	1518	1122	5407,32	3995,22
6000	1775	1311	6432,08	4752,37
7000	2031	1500	7456,8	5509,52
8000	2287	1690	8481,6	6266,67
9000	2543	1879	9506,37	7023,81
10000	2799	2068	10531,13	7781

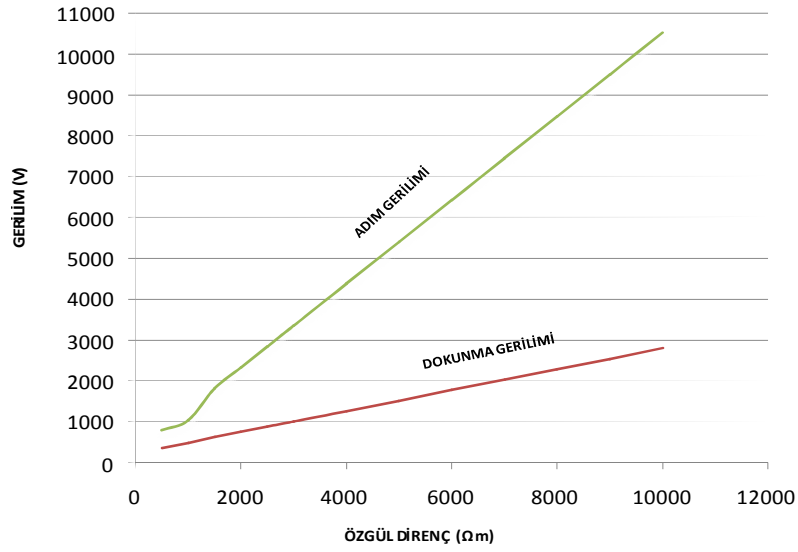


Şekil 2.6. Dokunma ve adım gerilimlerinin vücut ağırlığına ve toprak özgül direncine göre değişimi

2.1.1.1. Yalıtkan Tabakanın Dokunma ve Adım Gerilimine Etkisi

Yüzeye döşenen yalıtkan malzeme özgül direncinin müsaade edilen maksimum adım ve dokunma gerilimleri değerlerine etkisi Şekil 2.7. ve Tablo 2.1 de görüldüğü gibi oldukça fazladır. Yalıtkan malzemenin seçiminde özgül direnci büyük olanlar avantaj sağlamaktadır. Ancak bu durum yalıtkan tabakanın suyu emerek toprağa iletmesine engel

olmamalıdır. MATLAB/Simulink şemasında görülen ρ_s e Tablo 2.1 deki değerleri verilerek müsaade edilen maksimum dokunma ve adım gerilimleri bulunmuştur. Şekil 2.7 den de görüldüğü gibi yalıtkan malzemenin özgül direnci arttıkça müsaade edilen adım ve dokunma gerilimlerinin değerleri de yükselmektedir.



Şekil 2.7. Adım ve Dokunma gerilimlerinin yalıtkan malzeme özgül direncine göre değişimi

2.1.1.2. Arıza Temizleme Süresinin Adım ve Dokunma Gerilimine Etkisi

İnsan vücudundan tehlike olmadan akacak akım miktarı süreye bağlıdır. IEEE 80'de dokunma ve adım gerilimi için, 50 kg veya 70 kg ağırlığındaki insanlar için zaman bazında ağın üst değerleri hesaplanmaktadır. Vücuttan geçen akımın 0,03 ile 3 s arasında kesilmesi kaydıyla akım-zaman formülü;

$$I_{70kg} = \frac{0,157}{\sqrt{t}} = \frac{0,157}{\sqrt{3}} = 90,6mA \quad (2.6)$$

$$I_{50kg} = \frac{0,116}{\sqrt{t}} = \frac{0,116}{\sqrt{3}} = 67mA \quad (2.7)$$

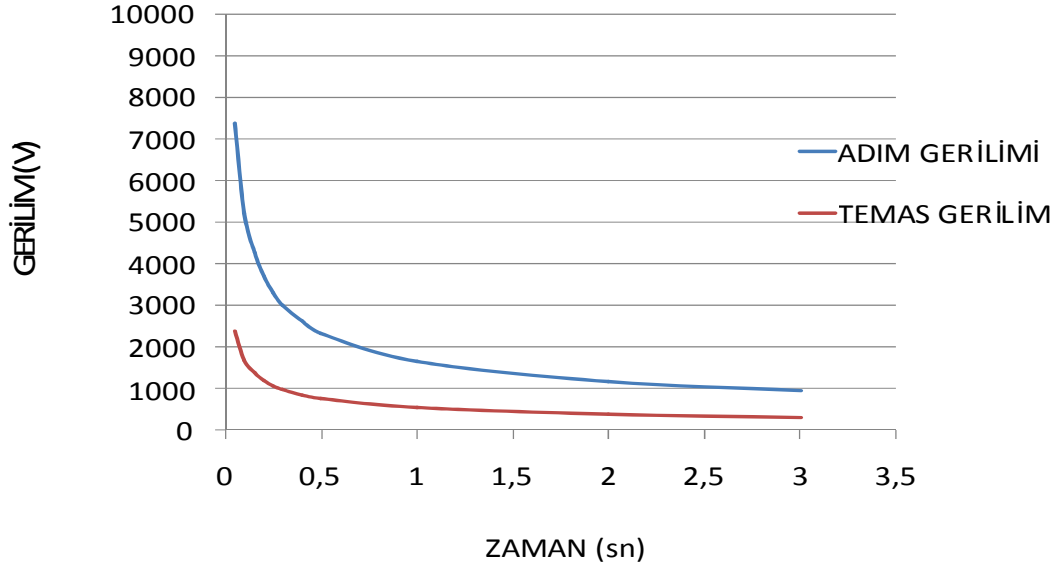
Bu değerler insan kalbine zarar verebilecek, beyinde kalıcı hasar yaratabilecek 105 mA' in altında olduğundan; hesaplamalar da 70 kg ağırlığındaki insan kullanılması tercih edilir.

MATLAB/Simulink Şemasında t e verilen 0,03 sn ile 3 sn aralığındaki arıza temizleme sürelerinde dokunma ve adım gerilimlerinin müsaade edilebilir değerleri Tablo 2.2. ve Şekil 2.8. deki gibidir. Şekil 2.8'den de görüldüğü gibi arıza temizlenme süresi arttıkça adım ve dokunma gerilimlerinin müsaade edilebilir değerleri azalmaktadır. Yüksek gerilim tesislerinde çalışan personelin can ve mal güvenliği açısından arıza temizlenme süresi büyük önem taşımaktadır.

Yapmış olduğum çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 2.2 de belirtilmiştir.

Tablo 2.2. Müsaade edilen adım ve temas gerilimlerinin arıza temizlenme sürelerine göre değişimi

Zaman (sn)	Adım Gerilimi (V)	Temas Gerilimi (V)
0,03	9524,6	3060,98
0,05	7377,7	2371,02
0,1	5216,8	1676,57
0,15	4259,5	1368,9
0,2	3688,86	1185,5
0,25	3299,42	1060,35
0,3	3011,9	967,97
0,4	2608,4	838,28
0,5	2333,04	749,78
1	1649,7	530,18
2	1166,5	374,9
3	952,46	306,1



Şekil 2.8. Adım ve Dokunma gerilimlerinin sınır değerlerinin arıza temizleme sürelerine göre değişimi

2.1.2. Maksimum Dokunma ve Göz Gerilimi

2.1.2.1. Ağın Göz (Temas) Gerilimi

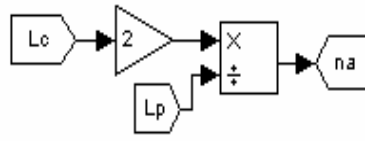
IEEE 80-2000 Standardına göre; topraklama ağında kullanılacak iletkenlerin toplam uzunluğu, kesiti, çubukların sayısı, göz boyutu ve ağ kurulacak alanın boyutu hesaplanan maksimum dokunma ve adım gerilimlerini etkilemektedir.

Göz gerilimi; ağın fiziki olarak serilme alanına ve toprak direncine bağlı olarak değişir. Şekil 2.13 de verilen yatay iletkenler arası açıklık (D) küçüldükçe; buna bağlı olan ağın geometrik faktörü de küçülmekte, bununla doğru orantılı olarak Şekil 2.12 den de görüldüğü gibi ağın göz gerilimi de küçülmektedir.

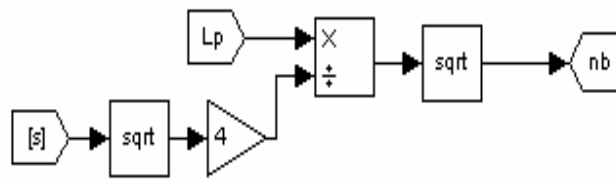
Topraklama ağının geometrik şeklinden kaynaklanan katsayının hesabı;

n_a, n_b, n_c, n_d geometrik şekle bağlı faktörler

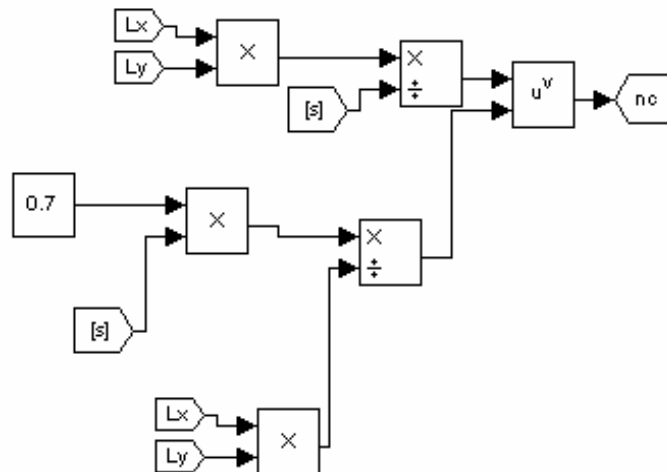
$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} \quad (2.8)$$



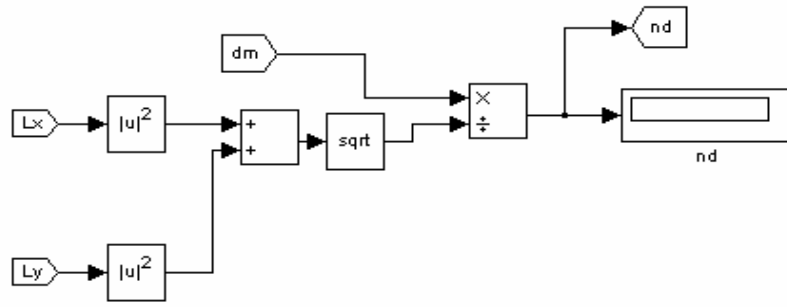
$$n_b = 1 \text{ ağ kare ise; değil ise } n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{S}}} \quad (2.9)$$



$$n_c = 1 \text{ ağ kare ve dikdörtgen ise; değil ise } \left[\frac{L_x \cdot L_y}{S} \right]^{\frac{0.7 \cdot S}{L_x \cdot L_y}} \quad (2.10)$$

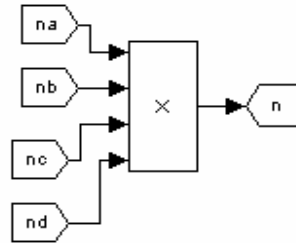


$$n_d = 1 \text{ ağ; kare, dikdörtgen ve L ise, değil ise } n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad (2.11)$$



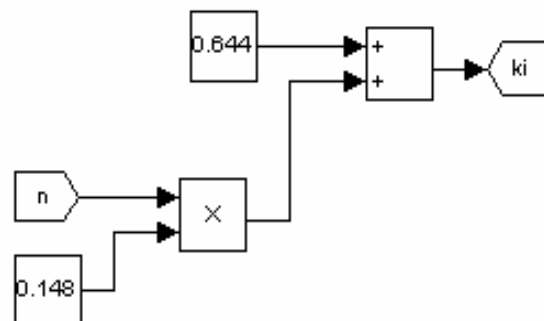
Şekil 2.9. Geometrik şekle bağlı faktörler

n : topraklama ağının geometrik şekline bağlı faktör



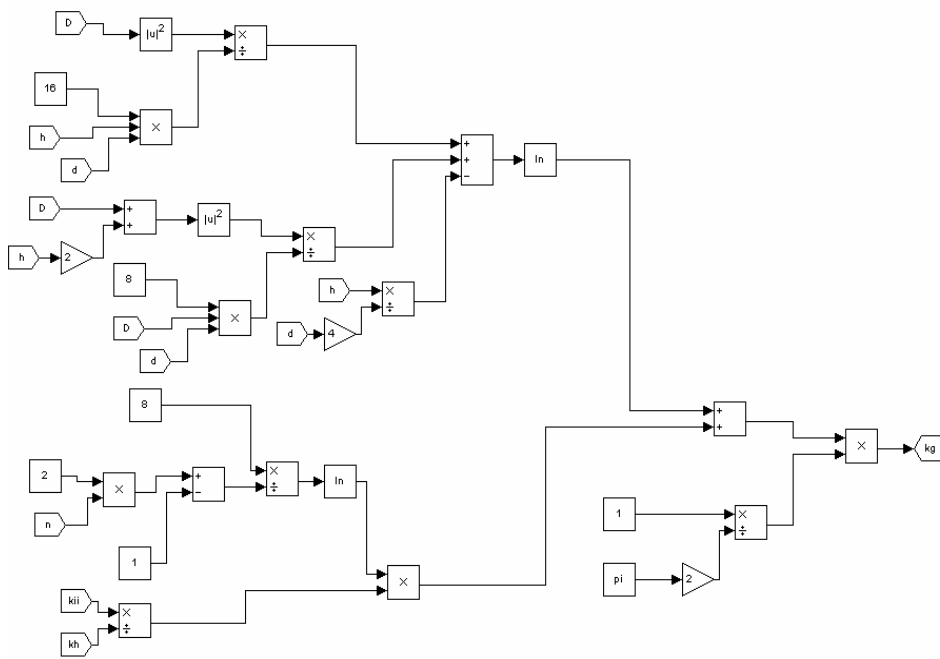
Şekil 2.10. Topraklama ağının geometrik şekline bağlı faktör

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$



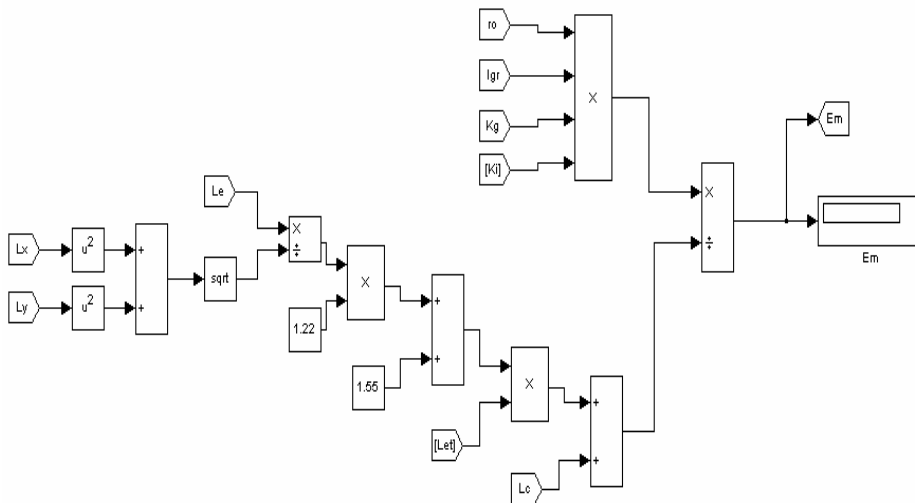
Şekil 2.11. Ağm düzgünlük katsayısının MATLAB/Simulink modellenmesi

$$k_i = 0,644 + 0,148n \quad (2.12)$$



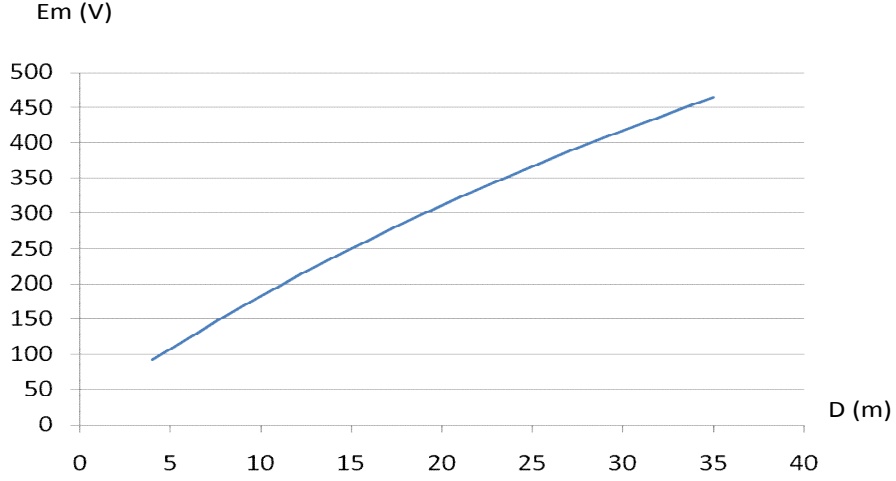
Şekil 2.12. Ağın geometrik faktörünün MATLAB/Simulink modellenmesi

$$K_g = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d_c} + \frac{(D + 2h)^2}{8 \cdot D \cdot d_c} - \frac{h}{4d_c} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (2.13)$$

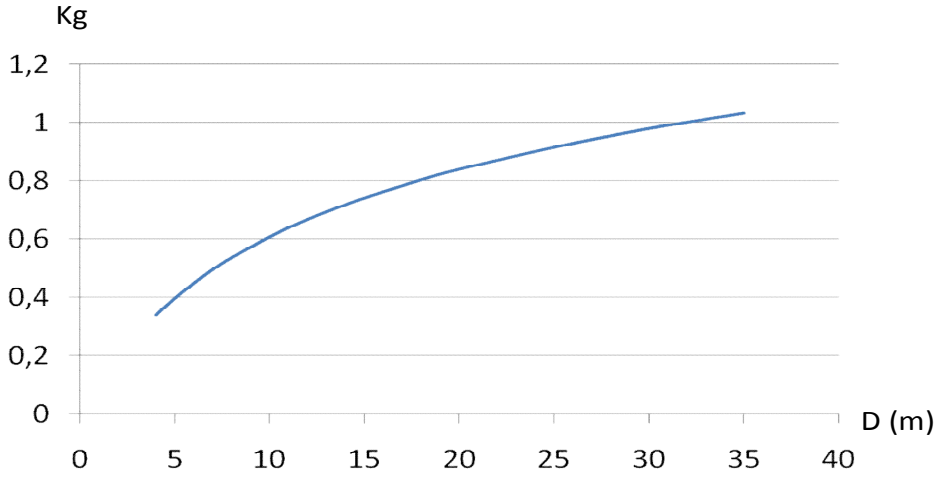


Şekil 2.13. Göz (hesaplanan dokunma) gerilimi denkleminin MATLAB/Simulink modellenmesi

Şekil 2.9, şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de oluşturulan Simulasyonlar, Şekil 2.12’de verilen ağın geometrik faktörünün Simulasyonu ve Şekil 2.13’de oluşturulan göz gerilim denkleminin Simulasyonu için gerekli değerlerin elde edilmesini sağlar.

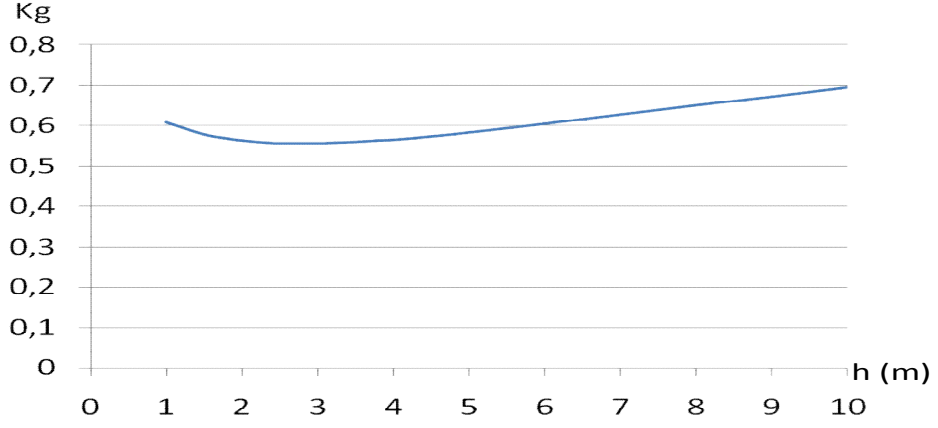


Şekil 2.14. Hesaplanan göz geriliminin ağdaki iletken açıklığına göre değişimi



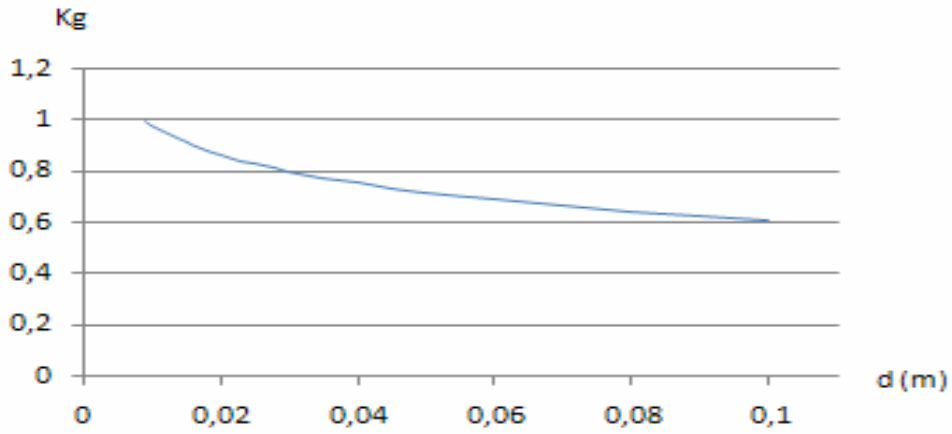
Şekil 2.15. Ağın geometrik faktörünün ağdaki iletken açıklığına göre değişimi

Şekil 2.15’den de görüldüğü gibi ağdaki iletken açıklığı arttıkça ağdaki geometrik faktörü de artmaktadır, Şekil 2.14 de görüldüğü gibi buna paralel olarak değişen ağın göz gerilimide artış göstermektedir.



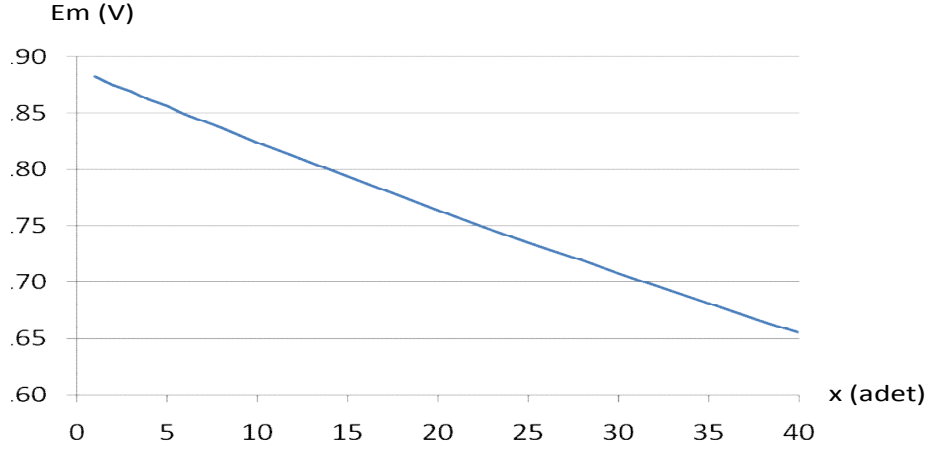
Şekil 2.16. Ağın geometrik faktörünün iletkenin gömülme derinliğine göre değişimi

Şekil 2.16'dan da görüldüğü gibi iletkenin gömülme derinliğinin 0,5m ile 2,5m arasında olması tercih edilir.



Şekil 2.17. Ağın geometrik faktörünün iletken kesit çapına bağlı değişimi

Şekil 2.17'den de görüldüğü gibi iletken kesit çapının artması ağın geometrik faktörünü azaltmaktadır.

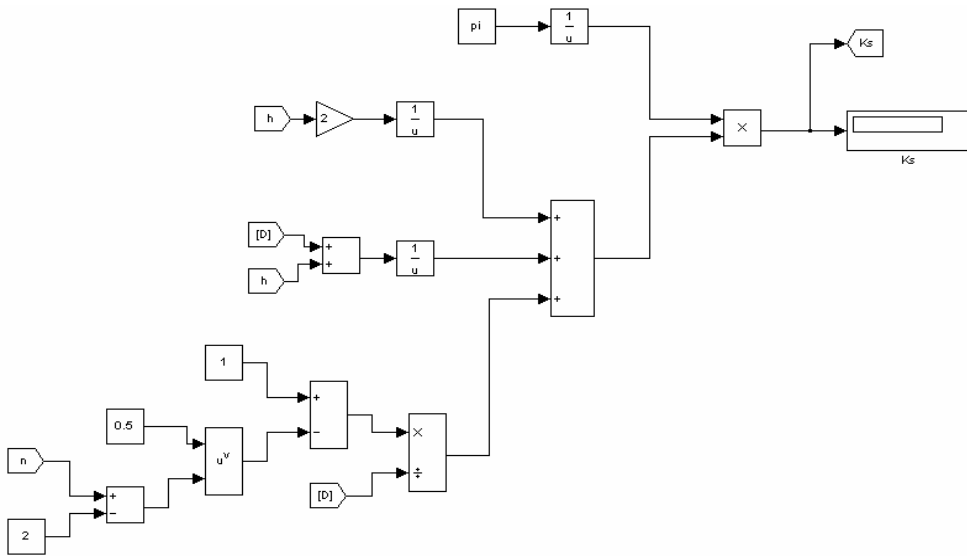


Şekil 2.18. Hesaplanan göz geriliminin topraklama elektroduna göre değişimi

Şekil 2.18'den de görüldüğü gibi ağdaki elektrot sayısı arttıkça hesaplanan göz gerilimi azalmaktadır ve izin verilen dokunma gerilimine eşit olma ya da daha küçük olma olasılığı artmaktadır.

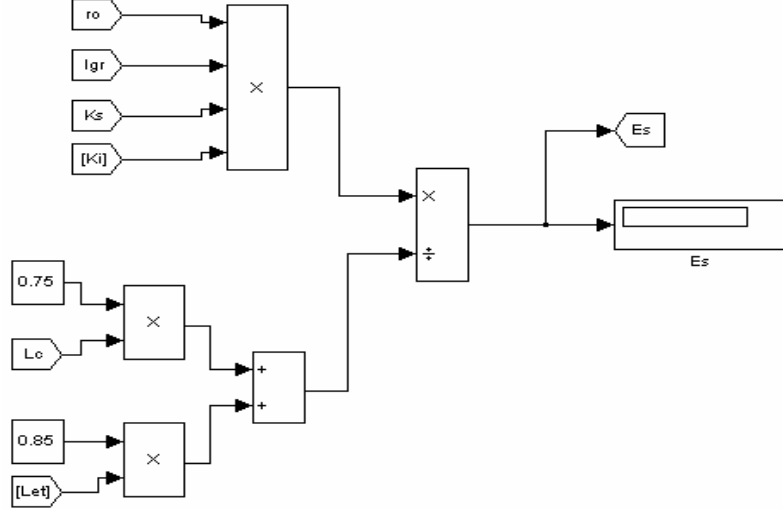
2.1.2.2. Hesaplanan Adım Gerilimi

Hesaplanan adım gerilimi; adım gerilimi katsayısı ve toprak özdirenci ile doğru orantılı; toplam iletken uzunluğuyla ters orantılı değişir.



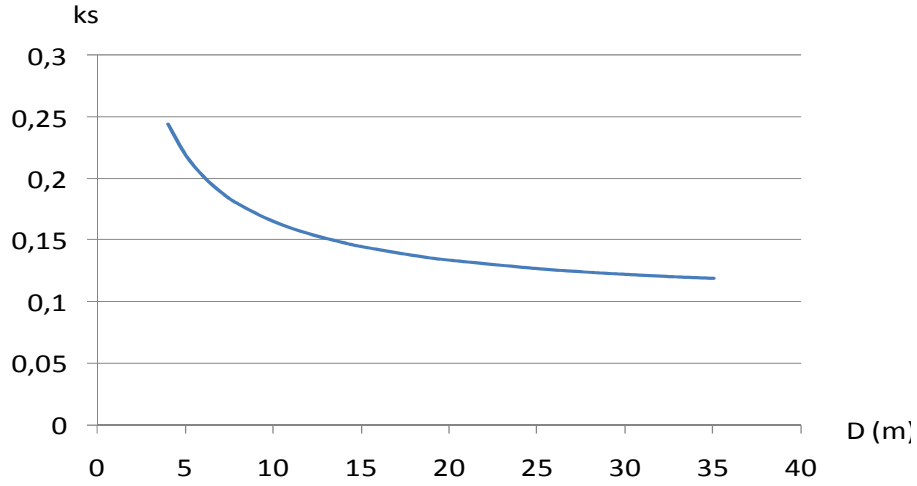
Şekil 2.19. MATLAB/Simulink'te adım gerilimi katsayısının modellenmesi

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right) \quad (2.14)$$

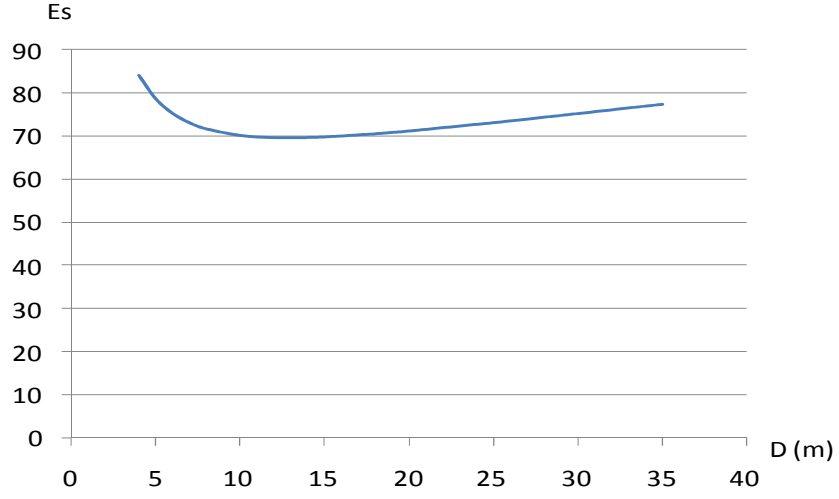


Şekil 2.20. Adım gerilimi denkleminin MATLAB/Simulink modellenmesi

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_{GR} \cdot K_s \cdot K_i}{0,75 \cdot L_c + 0,85 \cdot L_{et}} \quad (2.15)$$

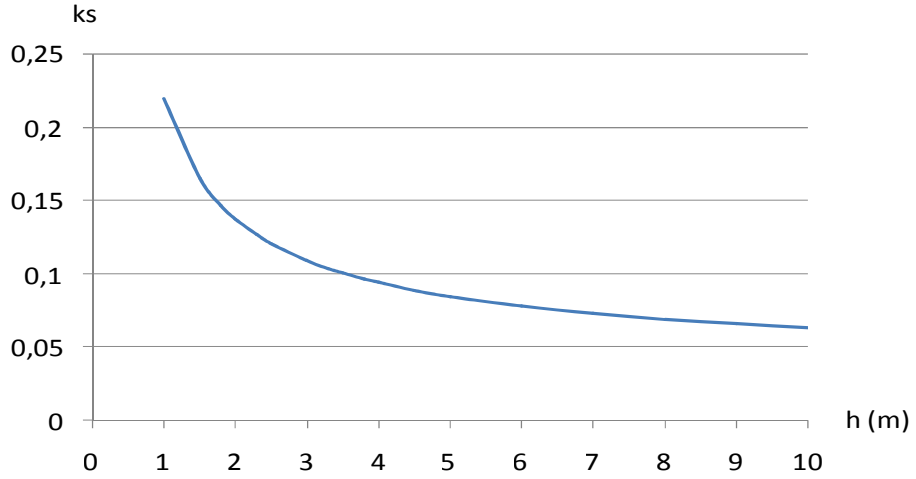


Şekil 2.21. Adım gerilimi katsayısının ağdaki iletken açıklığına göre değişimi



Şekil 2.22. Hesaplanan adım geriliminin ağıdaki iletken açıklığına göre değişimi

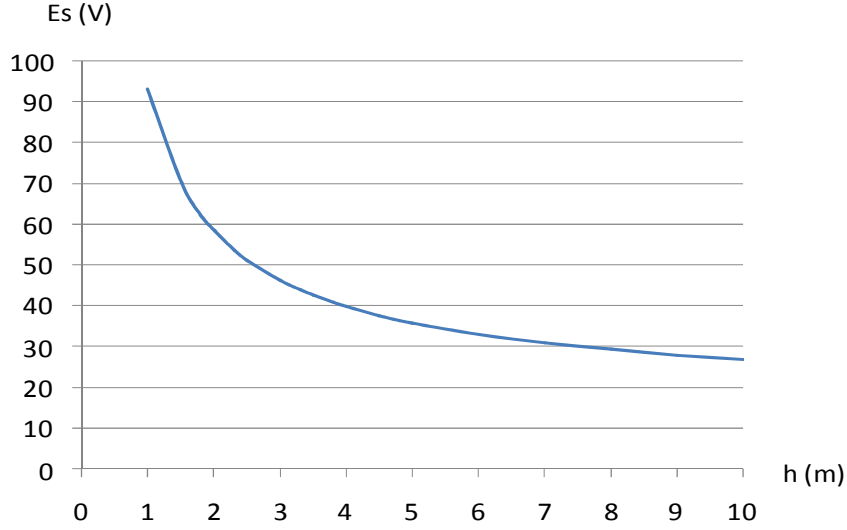
Şekil 2.21 de görüldüğü gibi yatay iletkenler arası mesafe adım gerilimi katsayısını, Şekil 2.22 de buna bağlı olarak hesaplanan adım gerilimini de etkilemekte olduğu görülmektedir.



Şekil 2.23. Adım gerilimi katsayısının iletkenin gömülme derinliğine bağlı değişimi

Şekil 2.23 de adım gerilimi katsayısını ve buna bağlı olarak hesaplanan adım gerilimi, iletkenin gömülme derinliğinden ters orantılı olarak etkilediği görülmektedir.

Topraklama iletkeni derine gömülürse adım gerilimi azalır bu durum Şekil 2.24 de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Hesaplanan adım geriliminin iletkenin gömülme derinliğine bağlı değişimi

2.1.3. Baraj ve Santrallerin Topraklanması

Hidrolik santraller genellikle dağlık ve kayalık arazilerde kurulurlar. Bu arazilerde toprak özgül direncinin değeri yüksektir. Ancak hidroelektrik santrallerin bu gibi zorlukları giderebilecek birtakım olanakları vardır. Kuyruk suyuna veya göle 1000 veya 1500m uzunluğunda topraklama iletkeni yerleştirmek bu olanakların başında gelmektedir. Ayrıca göl suyu bir tür topraklama elektrodu gibi davranır ve kısa devre akımını üzerine alarak toprağa iletir. Yapılan hesaplarda göldeki bir hektarlık su kitlesinin 1mm² bakır iletkenin direncine karşılık geldiği görülmüştür. Hidrolik santrallerde; santral binasının temelini sürekli ıslak olması, temel betonuna ve bununla zemin kayası arasına yerleştirilecek topraklama ağı için önemli bir avantaj sağlar.

Santral duvarlarından bir metre taşacak biçimde hesaplanan bir topraklama ağı santralin mümkünse temel zemini ile temel betonu arasına yerleştirilmelidir. Ağın boyuna bantları arasındaki mesafe trafo merkezlerinde de olduğu gibi adım ve dokunma gerilimlerine göre belirlenir. Bu bantlardan generatörün boyuna yatay eksenine gelecek olanın dış çerçeveye bağlandığı uçlardan yukarıya doğru çıkarılır. Duvar betonu içerisinden

yukarı çıkan bu iletkenler santralin çeşitli katlarında yine duvarlara yerleştirilen topraklama kutularına gelirler. Bu kutularda ufak bakır lama baralar vardır, ağdan gelen ve topraklanması gereken tüm aygıtlara yine beton içinden giden iletkenler bu baralara bağlanır. Santral topraklama ağı büyük tesislerde en az dört noktadan şalt sahasının ağına bağlanmalıdır. Santral temelleri ve özellikle türbin temellerindeki beton demir kafes sistemi kesinlikle birkaç noktadan topraklama ağına bağlanmalıdır. Ayrıca betona gömülü büyük kesitli çelik aksan boru ve cebri boru salyangozda topraklama ağına irtibatlanmalıdır. Bunlar hem topraklama direncini düşürür, hem de gerilim ayarlamasını yapar. Tahmini olarak bunların etkisi hesaplanan direnç değerini % 20–30 arttırır.

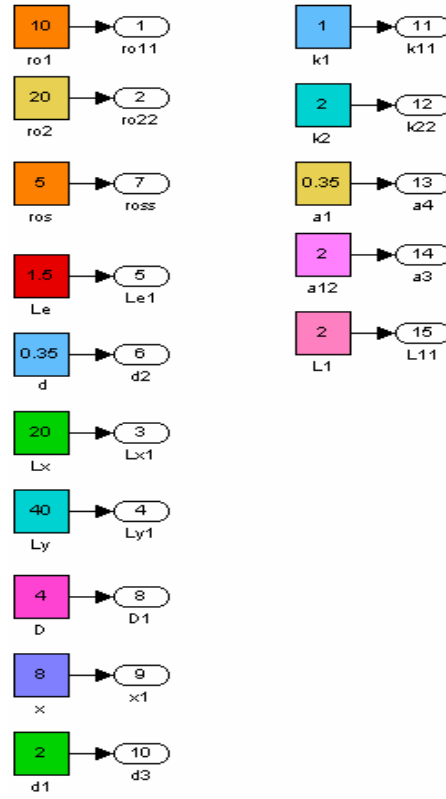
Santral topraklama ağından şalt sahası ağına bağlantılar yapıldıktan sonra santral ya da şalt sahasından baraja bir ya da birkaç topraklama iletkeni çekilir. Bu iletkenler cebri boruların hemen yanından ve onları içine alacak şekilde gitmelidir. Bir ya da birkaç iletkende cebri boruların ortasından gitmelidir. Dıştan giden iletkenler daha çok cebri borular aracılığı ile gerilim sürüklenmesine karşı ekran görevi göreceklerinden küçük kesitte (50-70 mm^2 Cu) ve toprak yüzeyine çok yakın (10-20cm) gömülebilir.

Baraj topraklaması ile santral ya da şalt topraklama ağının esas bağlantısını ortadaki iletken yapacaktır. Bu sebepten iletken, genel ağ iletkeni kesitinde ve ağ derinliğinde olmalı; cebri borular bu iletkene baştan ve sondan bağlandığı gibi her iki genişleme parçası arasında kalan cebri boru bölümleri de ayrıca bu iletkene bağlanmalıdır. Varsa denge bacası dört karşılıklı noktadan bu iletkene ya da santral veya şalt sahası ağına bağlanmalıdır.

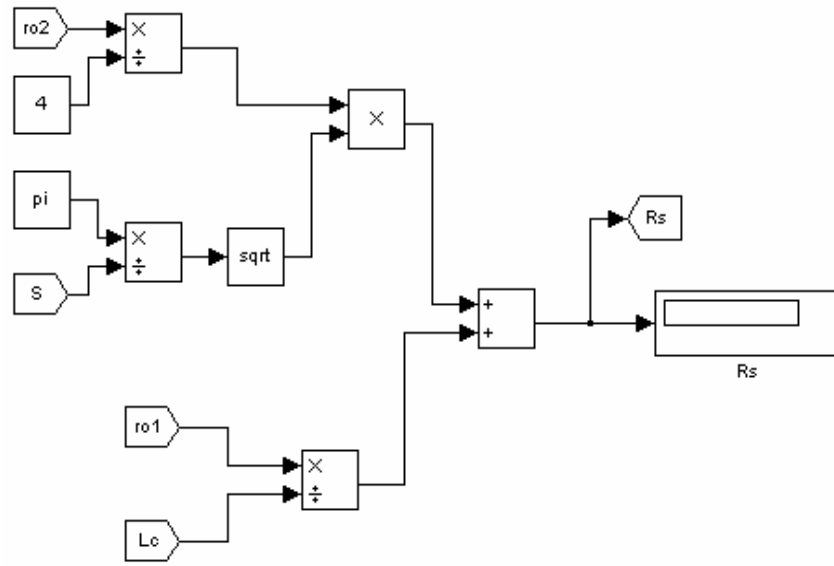
Cebri borular boyunca baraja gelen iletkenler baraj galerilerindeki aygıt ve demir merdivenlere, dolu savak kapakları motor çelik aksam ve diğer aygıtlara, kret üzerindeki aydınlatma direklerine ve en önemlisi giriş ağız kapak yataklarına (kapakların içinde kaydığı yataklar) bağlanmalıdır. Bu yataklar göl suyu içerisinde bulunacaklarından bir tür suya daldırılmış topraklama elektrot görevi görecekler ve sistemin genel direncinin düşürülmesinde önemli rol oynayacaklardır.

Santral ağı, şalt sahası ağı, baraja giden bantlar ve topraklama ağı dirençleri ayrı ayrı hesaplanır ve koşul bağlanarak dizgenin gerilim yükselmesini verecek topraklama direnci bulunur. Bu dirence göre kabul edilebilir değer üzerinde bir elektrot gerilimi çıkarsa, kuyruk suyuna 1500m'yi geçmemek koşulu ile ağ iletkeni kesitinde bir iletken yerleştirilir ve bu iletkenin yayılma direnci hesaplanarak yukarıdaki dirençlere koşul sokulur.

Bulunan direnç yeterli değilse bu sefer göle bir ya da iki iletken yerleştirilir. Ancak kuyruk suyuna ve göle iletkenler montaj tamamlandığında salınmalıdır. Santral işletmeye açılacağı zaman (göl, cebri borular ve emme boruları su altında) topraklama dizgenin direnci ölçülür ve bundan sonra ne kadar topraklama iletkeni gerektiği saptanır.



Şekil 2.25. HES'lerin MATLAB/Simulink te girilen değerleri



Şekil 2.26. Santral binası temel ağı topraklama direnci

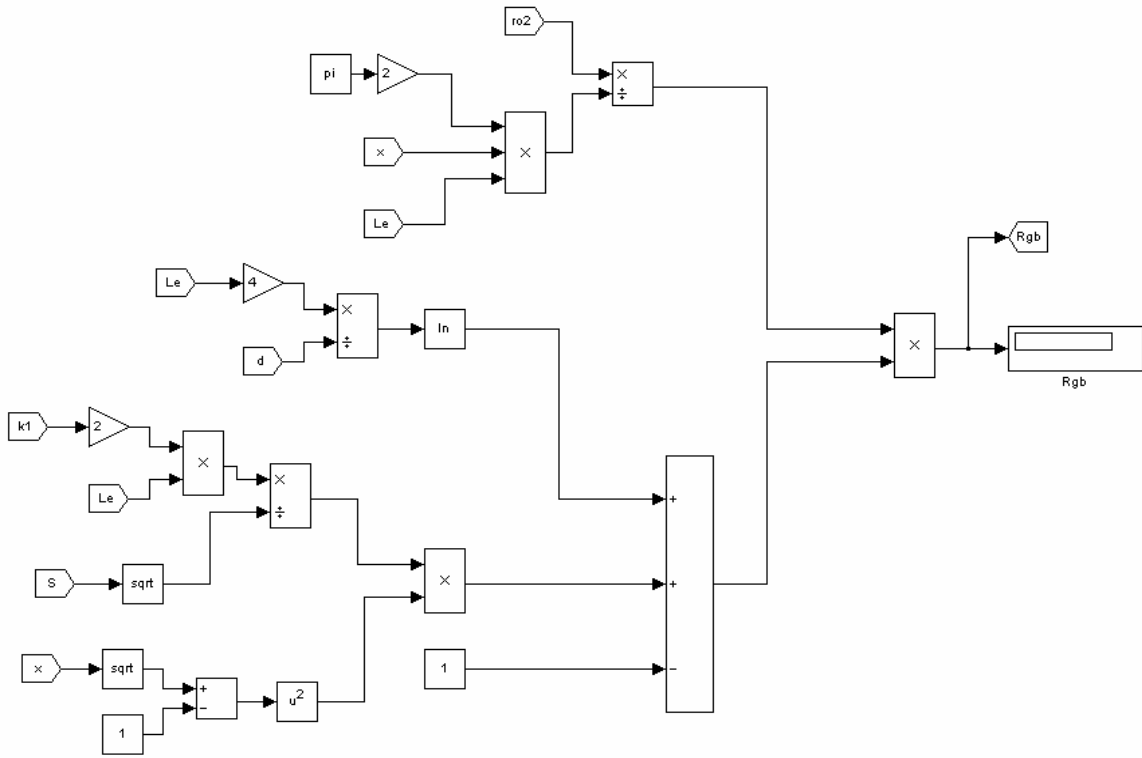
$$R_s = \frac{\rho_2}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho_1}{L_C} \quad (2.16)$$

ρ_1 : santral ağ iletkeninin gömüldüğü betonun öz direnci (Ωm)

ρ_2 : santral temelinin oturacağı kayalık zeminin özgül direnci (Ωm)

A : topraklama temel ağı sahası (m^2)

L_C : temel ağı toplam iletken uzunluğu (m)



Şekil 2.27. Toprağa çakılmış kazıkların eşdeğer direnci

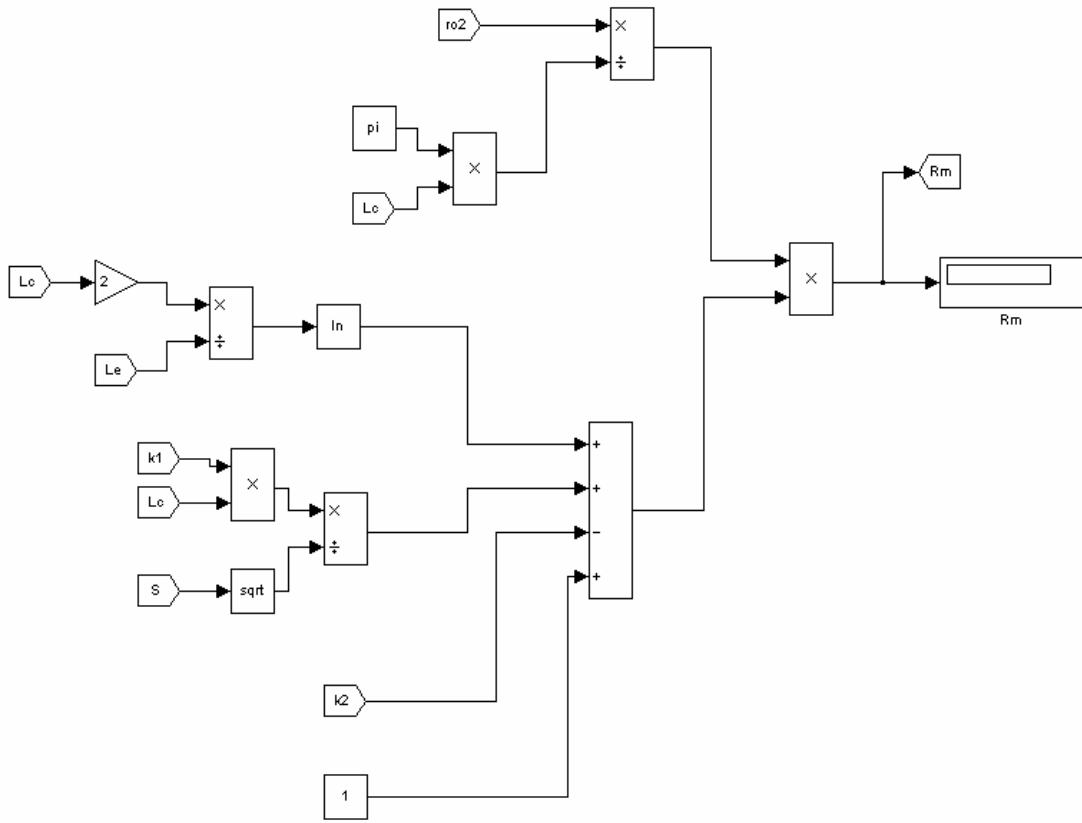
$$R_{gb} = \frac{\rho_2}{2\pi \cdot x \cdot L_e} \left(\ln \frac{8L_e}{d} - 1 + \frac{2 \cdot k_1 \cdot L_e}{\sqrt{A}} (x - 1)^2 \right) \quad (2.17)$$

x : topraklama kazıklarının toplam sayısı adet

L_e : Topraklama kazığının boyu m

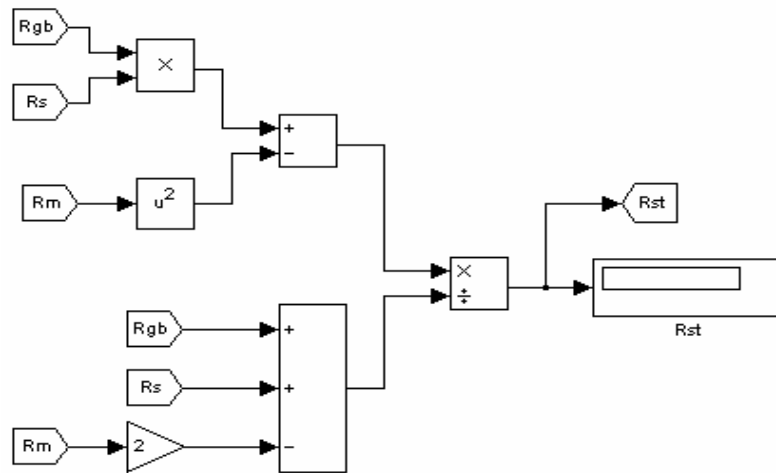
d : topraklama kazığının çapı m

k_1, k_2 : Gerçek ağıma kare biçimli ağımdan sapma durumuna bağlı katsayı



Şekil 2.28. Topraklama ağı ile topraklama kazıklarının karşılıklı direnci

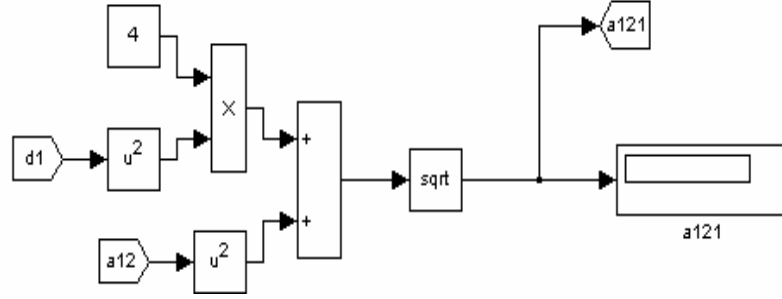
$$R_m = \frac{\rho}{\pi \cdot L_c} \left(\ln \frac{2 \cdot L_c}{L_e} + k_1 \frac{L_c}{\sqrt{S}} - k_2 + 1 \right) \quad (2.18)$$



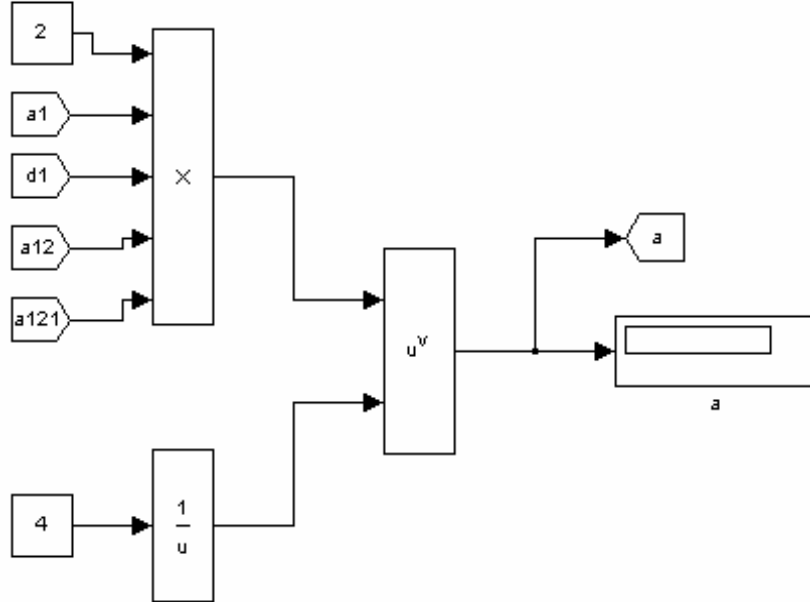
Şekil 2.29. Topraklama ağı ile topraklama kazıklarının eşdeğer direnci

$$R_{ST} = \frac{R_{gb} \cdot R_{ST1} - R_m^2}{R_{gb} + R_{ST1} - 2R_m} \quad (2.19)$$

Şekil 2.25 de gösterilen şemadaki parametrelere mevcut değerler girilerek, Şekil 2.29 da hesaplanması amaçlanan topraklama ağı ile topraklama kazıklarının eşdeğer direnci için gerekli olan santral binası temel ağı topraklama direnci hesabı Şekil 2.26 da, toprağa çakılmış kazıkların eşdeğer direnci Şekil 2.27 de, topraklama ağı ile topraklama kazıklarının karşılıklı direnci Şekil 2.28 de verilmiştir.



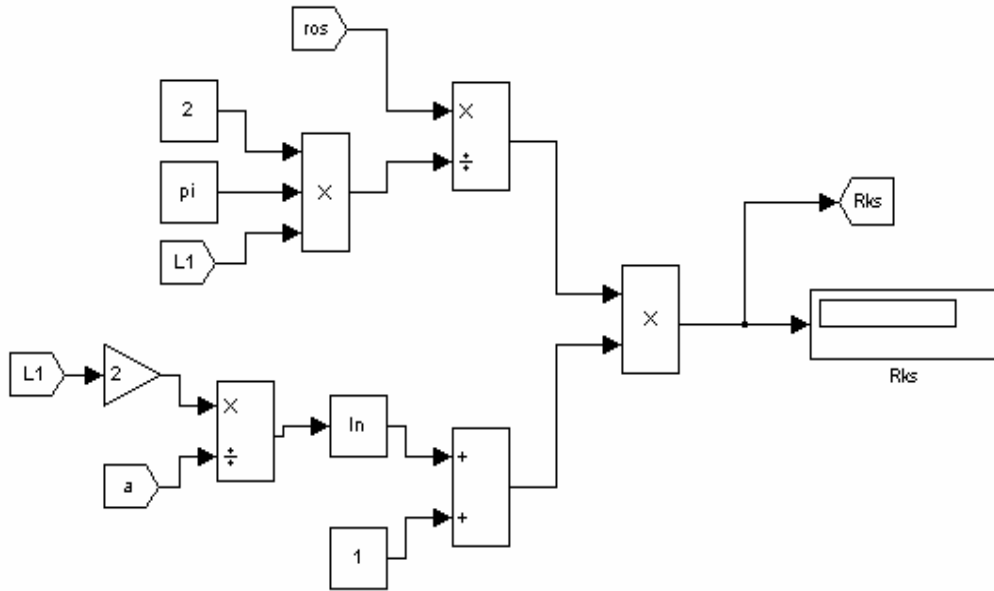
Şekil 2.30. İletkenler arası mesafe



Şekil 2.31. Eşdeğer direnç katsayı

- L : iletken uzunluğu m
 a_1 : örgülü bakır iletkenin çapı m
 a_{12} : iletkenler arası mesafe m
 d : iletkenin gömülme derinliği m
 ρ : telin atıldığı suyun özgül direnci Ωm

Şekil 2.31 de kuyruk suyuna atılan kontrapua iletkenlerinin eşdeğer direncinin hesabı için gerekli eşdeğer direnç katsayısının Simulink şeması, Şekil 2.30 da ise eşdeğer direnç katsayısının hesaplanabilmesi için gerekli olan iletkenler arası mesafenin Simulink şeması oluşturulmuştur.



Şekil 2.32. Kuyruk suyuna atılan kontrapua iletkenlerinin eşdeğer direnci

$$R_{ks} = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} - 1 \right) \quad (2.20)$$

Şekil 2.32 de, bir hidroelektrik santralinde eşdeğer direncin hesaplanabilmesi için gerekli olan kuyruk suyuna atılan kontrapua iletkenlerinin eşdeğer direncinin MATLAB/Simulink te oluşturulan şeması verilmiştir.

Eşdeğer direnç:

$$\frac{1}{R_{es}} = \frac{1}{R_{ST}} + \frac{1}{R_{KS}} \quad (2.21)$$

2.1.4. MATLAB M-file Programında Bir Şalt Sahasının Topraklama Ağının Hesabının Yapılması

Bu çalışmada örnek bir yüksek gerilim trafo merkezi projesi ele alınarak, hazırlanan MATLAB M-file programında, bu trafo merkezinin topraklama ağına ait karakteristik bilgiler girilerek topraklama ağına ait müsaade edilebilir maksimum adım ve temas gerilimleri hesaplanır.

Ağın adım ve temas gerilimi hesabında oluşturulan iç döngüde iletken açıklığı, D 10 m den başlayarak her döngüde $E_m \leq E_{ds}$ 5 m'ye kadar düşebilir. Toprak öz direncinin düşük olduğu bölgelerde 10 m değiştirilerek daha büyük bir iletken açıklığıyla döngü başlatılabilir. İletken açıklığı 5m'ye kadar azalmış olmasına rağmen $E_m \leq E_{ds}$ eşitliği sağlanamıyorsa, ilk durumda 4 adet alınan kazık sayısı 30'a kadar her döngüde 1 adet artmak şartıyla değişir. Kazık sayısının değiştiği dış döngüde $E_m \leq E_{ds}$ şartı aranır.

Hazırlanan programda topraklama kazığının boyu, $L_e=2,5$ m kabul edildiğinde; iki kazık arası mesafe en az $2xL_e$ olması gerektiğinden, topraklama ağındaki iletken açıklığını minimum 5m seçtik.

Örnek trafo merkezi için hesaplamada kullanılacak olan veriler;

ρ : Topraklama özgül direnci- 360 ohm.mt

ρ_s : Çakıl özgül direnci -2000 ohm.mt

t_s : Kısa devrenin temizlenme süresi – 1,00 sn

R_f : İnsan vücut direnci – 1000 ohm

K: Yansıtma Katsayısı – $(\rho - \rho_e)/(\rho + \rho_e)$

I_k : Faz toprak kısa devre akımı 31,5 kA

I_{GR} :Topraklama ağından akacak en büyük hata akımı 20 kA

h : Topraklama ağının derinliği – 0,7 mt

h_o : Referans şebeke derinliği – 1mt

d : İletkenin çapı – 0,0126m

D : Paralel şebeke iletkenleri arasındaki ortalama mesafe –mt

L_c : Topraklama iletkenlerinin toplam uzunluğu –mt

L_e : Topraklama kazığı boyu – 2,5 mt

L_{et} : Toplam topraklama kazığı boyu –mt

L_t : Topraklama ağındaki iletkenlerin ve kazıkların etkin boyu -mt

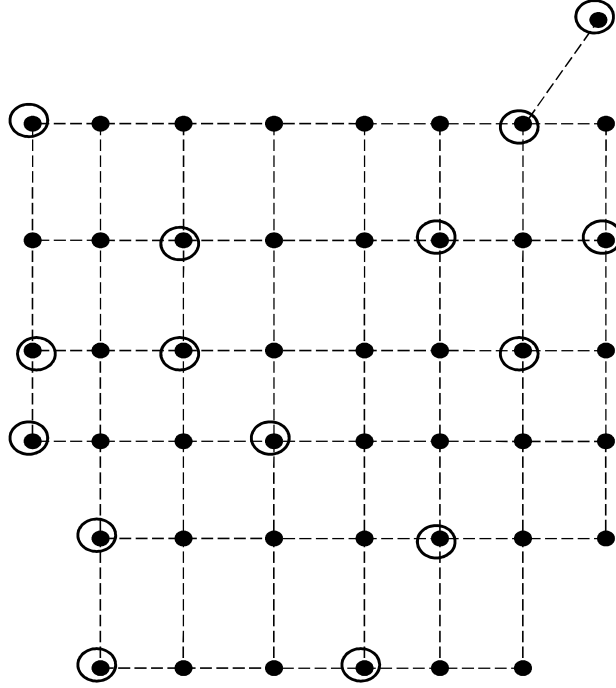
L_x : Topraklanacak olan alanın boyu - 52 mt

L_y : Topraklanacak olan alanın eni – 67 mt

A : Topraklama ağının alanı – 3103 mt²

L_p : Topraklama ağının çevresi – 238 mt

Şekil 2.33 de, örnekte programı yapılan trafo merkezinin topraklama ağı verilmiş olup, trafo merkezinin mevcut topraklama elektrotları ile göz aralığı gösterilmiştir.



Şekil 2.33. Trafo merkezine ait topraklama projesi

```
% clear all
% clc

% ekrandan değerleri girmeyi tercih edersek

% ro=input('ro=');
% ros=input('ros=');
% hs=input('hs=');
% h=input('h=');
% ho=input('ho=');
% ts=input('ts=');
% Lx=input('Lx=');
% Ly=input('Ly=');
% Igr=input('Igr=');
% Le=input('Le=');
% d=input('d=');
% kii=input('kii=');

%eyer verileri otomatik girmek istersek;
ro=360;
ros=2000;
hs=0.10;
h=0.7;
ho=1;
ts=0.5;
Lx=52;
Ly=67;
Igr=20000;
Le=2.5;
d=0.0126;
kii=1;

Ana program;
```

```

c=1-((0.09*(1-(ro/ros)))/(2*hs+0.09));
Eds=(1000+(1.5*c*ros))*(0.157/(sqrt(ts)));
Eds
Eas=(1000+(6*c*ros))*(0.157/(sqrt(ts)));
Eas
Kh=sqrt(1+(h/ho));
S=Lx*Ly;
Lp=2*Lx+2*Ly;
Dm=sqrt((Lx*Lx)+(Ly*Ly));
xi=[ ];
Emi=[ ];
Esi=[ ];
for x=4:1:30
x
xi=[xi x];
Let=Le*x;
Di=[ ];
For D=10:-1:5
D
a=Lx/D;
b=Ly/D;
Lc=((a+1)*Lx)+((b+1)*Ly);
na=2*(Lc/Lp);
nb=sqrt(Lp/(4*sqrt(S)));
nc=((Lx*Ly)/S)((0.7*S)^((0.7*S)/(Lx*Ly)));
nd=Dm/(sqrt((Lx^2)+(Ly^2)));
n=na*nb*nc*nd;
Ki=0.644+0.148*n;
Kg=(1/(2*pi))*(log(((D^2)/(16*h*d))+((D+2*h)^2/(8*D*d))-
(h/(4*d)))+(kii/Kh)*log(8/(pi*(2^n-1))));
Ks=(1/pi)*((1/(2*h))+1/(D+h))+1/D*(1-0.5^(n-2));
Em=(ro*Igr*Kg*Ki)/(Lc+(1.55+1.22*(Le/(sqrt((Lx^2)+(Ly^2)))))*Let);
Es=(ro*Igr*Ks*Ki)/(0.75*Lc+0.85*Let);

```

Em

Es

Di=[Di D];

İf(Em<=Eds)

break

else

end

end

if(Em<=Eds)

break

end

Emi=[Emi Em];

Esi=[Esi Es];

x

end

R=ro*((1/(Lc+Let))+1/(sqrt(20/S))*(1+(1/(1+h*sqrt(20/s)))));

%Çizimler

subplot(411)

plot(xi,Emi);grid

xlabel('x')

ylabel('Em')

subplot(412)

plot(xi,Esi);grid

xlabel('x')

ylabel('Es')

subplot(413)

plot(Di,Emi(1:length(Di)));grid

xlabel('D')

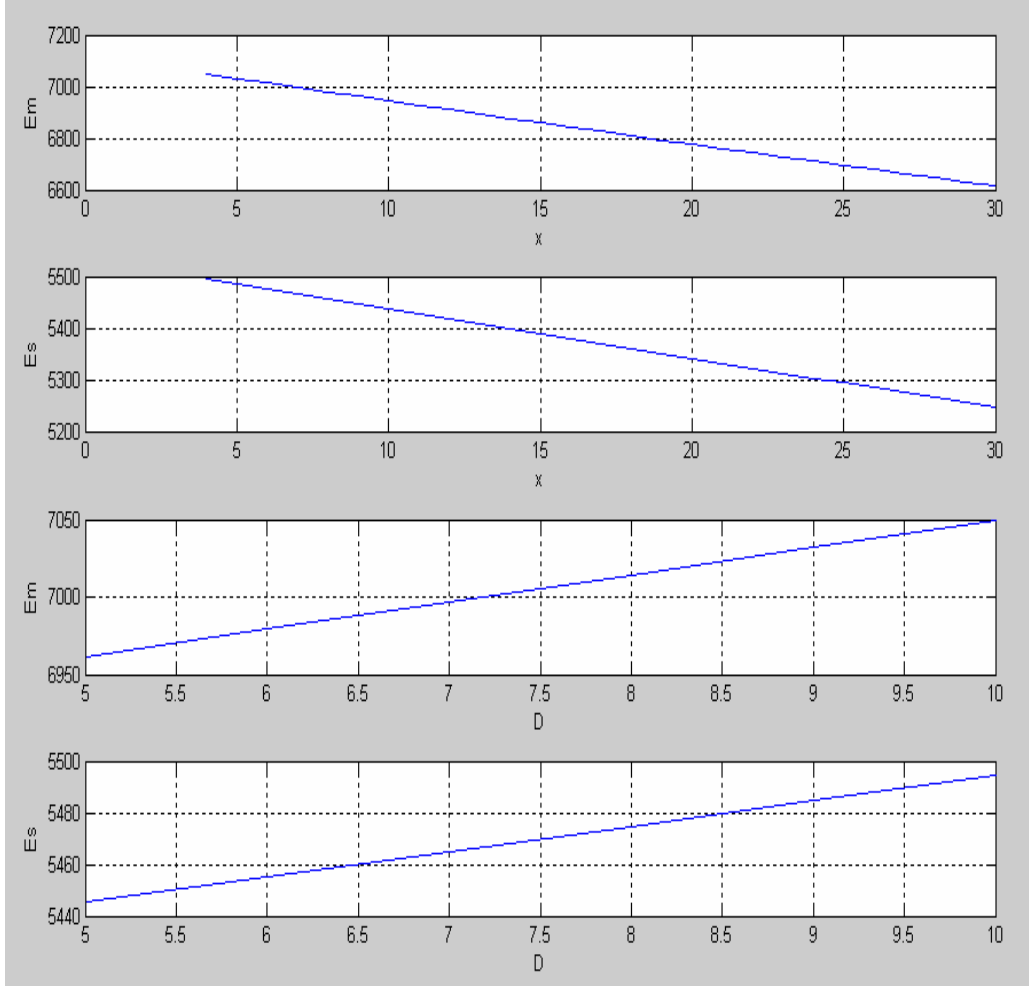
```
ylabel('Em')
```

```
subplot(414)
```

```
plot(Di,Esi(1:length(Di)));grid
```

```
xlabel('D')
```

```
ylabel('Es')
```

Şekil 2.34. Adım ve temas gerilimlerinin iletken açıklığı ve topraklama elektrotuna bağlı değişimi

Şekil 2.34 de elde edilen grafiklerde yazılan program sonucu elde edilen dokunma gerilimi ve adım gerilimlerinin, ağıdaki iletken açıklığına ve topraklama elektrodu sayısına göre değişimi gösterilmektedir.

HES'lerin topraklama ağı ile topraklama kazıklarının eşdeğer direncinin MATLAB M-file ile hesabı;

```
clear all
clc
ro1=0.1;
ro2=0.2;
s=5;
Lc=10;
```

d=0.1;

$R_s = (r_0/4) * \sqrt{\pi/s} + (r_0/L_c)$

$R_{gb} = r_0 / (2 * \pi * L_e) * (\log(4 * L_e / d) - 1 + 2 * k_i * L_e / (\sqrt{A})) * (\sqrt{x} - 1)^2$

$R_m = r_0 / (\pi * L_c) * (\log(2 * L_c / (L_e)) + k_1 * (L_c / (\sqrt{s})) - k_e + 1)$

$R_{st} = (R_{gb} * R_s - R_m^2) / (R_{gb} + R_{sc1} - 2 * R_m)$

HES'lerin kuyruk suyuna atılan kontrapua iletkenlerinin eşdeğer direncinin MATLAB-M.file ile hesabı;

clear all

clc

L1=0.1;

a1=0.2;

a12=10;

d1=1;

ros=0.002;

$a_{12us} = \sqrt{4 * d_1^2 + a_{12}^2}$

$a = (2 * a_1 * d_1 * a_{12} * a_{12us})^{(0.25)}$

$R_{ks} = (ros) / (2 * \pi * L_1) * (\log(2 * L_1 / (a_1)) - 1)$

MATLAB Programı Sonucu Elde Edilen Sayısal Değerler

Eds = 538.8723

Eas=1.6845e+003

x = 4	D = 10	Em = 1.2373e+004	Es = 5.5019e+003
	D = 9	Em = 1.1395e+004	Es = 5.4531e+003
	D = 8	Em = 1.0380e+004	Es = 5.4177e+003
	D = 7	Em = 9.3245e+003	Es = 5.4029e+003
	D = 6	Em = 8.2182e+003	Es = 5.4212e+003
	D = 5	Em = 7.0495e+003	Es = 5.4944e+003
x = 5	D = 10	Em = 1.2316e+004	Es = 5.4836e+003
	D = 9	Em = 1.1346e+004	Es = 5.4366e+003
	D = 8	Em = 1.0341e+004	Es = 5.4028e+003
	D = 7	Em = 9.2928e+003	Es = 5.3897e+003
	D = 6	Em = 8.1939e+003	Es = 5.4096e+003
	D = 5	Em = 7.0318e+003	Es = 5.4845e+003
x = 6	D = 10	Em = 1.2259e+004	Es = 5.4655e+003
	D = 9	Em = 1.1299e+004	Es = 5.4201e+003
	D = 8	Em = 1.0301e+004	Es = 5.3880e+003
	D = 7	Em = 9.2613e+003	Es = 5.3766e+003
	D = 6	Em = 8.1697e+003	Es = 5.3981e+003
	D = 5	Em = 7.0142e+003	Es = 5.4747e+003
x = 7	D = 10	Em = 1.2203e+004	Es = 5.4474e+003
	D = 9	Em = 1.1251e+004	Es = 5.4037e+003
	D = 8	Em = 1.0262e+004	Es = 5.3733e+003
	D = 7	Em = 9.2300e+003	Es = 5.3636e+003
	D = 6	Em = 8.1456e+003	Es = 5.3867e+003
	D = 5	Em = 6.9966e+003	Es = 5.4648e+003

x = 8	D = 10	Em = 1.2148e+004	Es = 5.4295e+003
	D = 9	Em = 1.1204e+004	Es = 5.3874e+003
	D = 8	Em = 1.0224e+004	Es = 5.3587e+003
	D = 7	Em = 9.1990e+003	Es = 5.3506e+003
	D = 6	Em = 8.1217e+003	Es = 5.3753e+003
	D = 5	Em = 6.9792e+003	Es = 5.4550e+003
x = 9	D = 10	Em = 1.2093e+004	Es = 5.4117e+003
	D = 9	Em = 1.1158e+004	Es = 5.3713e+003
	D = 8	Em = 1.0185e+004	Es = 5.3442e+003
	D = 7	Em = 9.1681e+003	Es = 5.3376e+003
	D = 6	Em = 8.0979e+003	Es = 5.3640e+003
	D = 5	Em = 6.9618e+003	Es = 5.4453e+003
x =10	D = 10	Em = 1.2038e+004	Es = 5.3940e+003
	D = 9	Em = 1.1112e+004	Es = 5.3552e+003
	D = 8	Em = 1.0147e+004	Es = 5.3297e+003
	D = 7	Em = 9.1375e+003	Es = 5.3248e+003
	D = 6	Em = 8.0742e+003	Es = 5.3527e+003
	D = 5	Em = 6.9445e+003	Es = 5.4355e+003
x =11	D = 10	Em = 1.1984e+004	Es = 5.3764e+003
	D = 9	Em = 1.1066e+004	Es = 5.3392e+003
	D = 8	Em = 1.0109e+004	Es = 5.3153e+003
	D = 7	Em = 9.1070e+003	Es = 5.3120e+003
	D = 6	Em = 8.0507e+003	Es = 5.3415e+003
	D = 5	Em =6.9273e+003	Es = 5.4258e+003
x =12	D = 10	Em = 1.1930e+004	Es= 5.3590e+003
	D = 9	Em = 1.1020e+004	Es = 5.3233e+003
	D = 8	Em = 1.0071e+004	Es = 5.3010e+003
	D = 7	Em = 9.0768e+003	Es = 5.2992e+003
	D = 6	Em = 8.0273e+003	Es = 5.3303e+003

	D = 5	Em = 6.9102e+003	Es = 5.4162e+003
x =13	D = 10	Em = 1.1877e+004	Es = 5.3416e+003
	D = 9	Em = 1.0975e+004	Es = 5.3075e+003
	D = 8	Em = 1.0034e+004	Es = 5.2867e+003
	D = 7	Em = 9.0467e+003	Es = 5.2865e+003
	D = 6	Em = 8.0041e+003	Es = 5.3191e+003
	D = 5	Em = 6.8932e+003	Es = 5.4066e+003
x =14	D = 10	Em = 1.1824e+004	Es = 5.3244e+003
	D = 9	Em = 1.0931e+004	Es = 5.2918e+003
	D = 8	Em = 9.9971e+003	Es = 5.2726e+003
	D = 7	Em = 9.0169e+003	Es = 5.2739e+003
	D = 6	Em = 7.9810e+003	Es = 5.3080e+003
	D = 5	Em = 6.8762e+003	Es = 5.3970e+003
x =15	D = 10	Em = 1.1772e+004	Es = 5.3072e+003
	D = 9	Em = 1.0886e+004	Es = 5.2762e+003
	D = 8	Em = 9.9603e+003	Es = 5.2585e+003
	D = 7	Em = 8.9873e+003	Es = 5.2613e+003
	D = 6	Em = 7.9580e+003	Es = 5.2970e+003
	D = 5	Em = 6.8594e+003	Es = 5.3874e+003
x =16	D = 10	Em = 1.1720e+004	Es = 5.2902e+003
	D = 9	Em = 1.0842e+004	Es = 5.2607e+003
	D = 8	Em = 9.9238e+003	Es = 5.2445e+003
	D = 7	Em = 8.9578e+003	Es = 5.2488e+003
	D = 6	Em = 7.9352e+003	Es = 5.2859e+003
	D = 5	Em = 6.8426e+003	Es = 5.3779e+003
x =17	D = 10	Em = 1.1669e+004	Es = 5.2733e+003
	D = 9	Em = 1.0799e+004	Es = 5.2453e+003
	D = 8	Em = 9.8875e+003	Es = 5.2306e+003

	D = 7	Em = 8.9286e+003	Es = 5.2364e+003
	D = 6	Em = 7.9124e+003	Es = 5.2750e+003
	D = 5	Em = 6.8259e+003	Es = 5.3684e+003
x =18	D = 10	Em =1.1618e+004	Es = 5.2565e+003
	D = 9	Em = 1.0756e+004	Es = 5.2300e+003
	D = 8	Em = 9.8515e+003	Es = 5.2167e+003
	D = 7	Em = 8.8995e+003	Es = 5.2240e+003
	D = 6	Em = 7.8899e+003	Es = 5.2641e+003
	D = 5	Em = 6.8093e+003	Es = 5.3589e+003
x =19	D = 10	Em = 1.1568e+004	Es = 5.2398e+003
	D = 9	Em = 1.0713e+004	Es = 5.2147e+003
	D = 8	Em = 9.8158e+003	Es = 5.2029e+003
	D = 7	Em = 8.8706e+003	Es = 5.2116e+003
	D = 6	Em = 7.8674e+003	Es = 5.2532e+003
	D = 5	Em = 6.7928e+003	Es = 5.3495e+003
x =20	D = 10	Em = 1.1518e+004	Es = 5.2232e+003
	D = 9	Em = 1.0670e+004	Es = 5.1996e+003
	D = 8	Em = 9.7804e+003	Es = 5.1892e+003
	D = 7	Em = 8.8419e+003	Es = 5.1994e+003
	D = 6	Em = 7.8451e+003	Es = 5.2424e+003
	D = 5	Em = 6.7763e+003	Es = 5.3401e+003
x =21	D = 10	Em = 1.1468e+004	Es = 5.2068e+003
	D = 9	Em = 1.0628e+004	Es = 5.1845e+003
	D = 8	Em = 9.7452e+003	Es = 5.1755e+003
	D = 7	Em = 8.8134e+003	Es = 5.1872e+003
	D = 6	Em = 7.8229e+003	Es = 5.2316e+003
	D = 5	Em = 6.7599e+003	Es = 5.3308e+003
x =22	D = 10	Em = 1.1419e+004	Es = 5.1904e+003

	D = 9	Em = 1.0586e+004	Es = 5.1695e+003
	D = 8	Em = 9.7102e+003	Es = 5.1620e+003
	D = 7	Em = 8.7851e+003	Es = 5.1750e+003
	D = 6	Em = 7.8008e+003	Es = 5.2208e+003
	D = 5	Em = 6.7436e+003	Es = 5.3215e+003
x =23	D = 10	Em = 1.1370e+004	Es = 5.1741e+003
	D = 9	Em = 1.0544e+004	Es = 5.1546e+003
	D = 8	Em = 9.6755e+003	Es = 5.1485e+003
	D = 7	Em = 8.7569e+003	Es = 5.1629e+003
	D = 6	Em = 7.7789e+003	Es = 5.2101e+003
	D = 5	Em = 6.7274e+003	Es = 5.3122e+003
x =24	D = 10	Em = 1.1322e+004	Es = 5.1579e+003
	D = 9	Em = 1.0503e+004	Es = 5.1398e+003
	D = 8	Em = 9.6410e+003	Es = 5.1350e+003
	D = 7	Em = 8.7290e+003	Es = 5.1509e+003
	D = 6	Em = 7.7570e+003	Es = 5.1995e+003
	D = 5	Em = 6.7113e+003	Es = 5.3029e+003
x =25	D = 10	Em = 1.1274e+004	Es = 5.1418e+003
	D = 9	Em = 1.0462e+004	Es = 5.1251e+003
	D = 8	Em = 9.6068e+003	Es = 5.1217e+003
	D = 7	Em = 8.7012e+003	Es = 5.1389e+003
	D = 6	Em = 7.7353e+003	Es = 5.1889e+003
	D = 5	Em = 6.6952e+003	Es = 5.2937e+003
x =26	D = 10	Em = 1.1227e+004	Es = 5.1259e+003
	D = 9	Em = 1.0421e+004	Es = 5.1104e+003
	D = 8	Em = 9.5728e+003	Es = 5.1084e+003
	D = 7	Em = 8.6736e+003	Es = 5.1269e+003
	D = 6	Em = 7.7137e+003	Es = 5.1783e+003
	D = 5	Em = 6.6792e+003	Es = 5.2845e+003

x =27	D = 10	Em = 1.1180e+004	Es =5.1100e+003
	D = 9	Em = 1.0381e+004	Es = 5.0959e+003
	D = 8	Em = 9.5391e+003	Es = 5.0952e+003
	D = 7	Em = 8.6462e+003	Es = 5.1151e+003
	D = 6	Em = 7.6923e+003	Es = 5.1678e+003
	D = 5	Em = 6.6633e+003	Es = 5.2753e+003
x =28	D = 10	Em = 1.1133e+004	Es = 5.0942e+003
	D = 9	Em = 1.0341e+004	Es = 5.0814e+003
	D = 8	Em = 9.5056e+003	Es = 5.0820e+003
	D = 7	Em = 8.6189e+003	Es = 5.1032e+003
	D = 6	Em = 7.6709e+003	Es= 5.1573e+003
	D = 5	Em = 6.6475e+003	Es = 5.2662e+003
x =29	D = 10	Em = 1.1087e+004	Es = 5.0785e+003
	D = 9	Em = 1.0301e+004	Es = 5.0670e+003
	D = 8	Em = 9.4724e+003	Es = 5.0689e+003
	D = 7	Em = 8.5918e+003	Es = 5.0915e+003
	D = 6	Em = 7.6497e+003	Es = 5.1469e+003
	D = 5	Em = 6.6317e+003	Es = 5.2571e+003
x =30	D = 10	Em = 1.1041e+004	Es = 5.0629e+003
	D = 9	Em = 1.0262e+004	Es = 5.0527e+003
	D = 8	Em = 9.4393e+003	Es = 5.0559e+003
	D = 7	Em = 8.5649e+003	Es = 5.0798e+003
	D = 6	Em = 7.6286e+003	Es = 5.1365e+003
	D = 5	Em = 6.6161e+003	Es = 5.2480e+003

Yazılan MATLAB programından elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi; D nin 5 ile 10; X in 4 ile 30 aralığında $Em \leq Eds$ eşitliği sağlanamamış olup, trafo merkezinin can ve mal güvenliği için daha güvenli bir hale getirilebilmesi amacıyla tezin sonuç kısmında belirtilen yöntemler uygulanabilir

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, açık şalt sahalarının toprak üstü zeminlerinin izolasyonu, adım ve temas gerilimi yönünden önemli olduğu, adım ve temas gerilimlerinde topraklama iletkeninin baz alınarak hesap yapıldığı, yönetmeliklerde yer alan tehlikeli gerilim seviyesinde ise şalt sahası zemininin üstü ile bu zemin üzerindeki kişi arasındaki gerilimin göz önüne bulundurulduğu anlatılmıştır. Topraklaması yetersiz şalt sahaları zemininde de izolasyonu arttırmak amacıyla çakıl, asfalt gibi izolasyon malzemelerinin kullanılarak (özgül toprak direnci yüksek malzemeler) adım ve temas gerilimlerinin istenilen sınırlar içinde kalmasını sağladığı belirtilmiştir. Topraklama ağında kullanılan iletkenlerin toplam uzunluğu, iletken kesiti, topraklama çubuklarının sayısı, topraklama ağının alanı ve ağdaki göz boyutlarının iyi saptanması adım ve temas gerilimlerini olumlu yönde etkilemektedir.

IEEE 80-2000 standardında toprak özgül direncinin büyük ya da şalt sahası boyutlarının küçük olduğu yerlerde topraklama direncini düşürebilmek için; uzak topraklama sistemlerinin komşu topraklama sistemlerine bağlantısı, topraklama kazıklarının derin gömülmesi ve kuyular açılması, ara bağlantı iletkenleri ve topraklama kazıklarının etrafındaki toprakların işlemden geçirilmesi, çelik hasırların kullanılması, statik kabloların ve sistem nötrünün topraklama sistemine bağlanması, sahadaki metal malzemeleri yardımcı topraklama iletkeni olarak kullanılması ya da diğer topraklama sistemleri ile bağlantıyı sağlanması, uygun olan yerlerde yeterli miktarda düşük toprak özgül dirençli malzemeler kullanarak uydu ağlar kurulması ve ana topraklama ağına bağlanması kullanılabilecek çözüm yöntemleridir.

4. ÖNERİLER

Bu çalışmada geliştirilen programda, toprak elektrot sayısı arttırılarak ve ağır iletken açıklığı azaltılarak toplam iletken uzunluğu arttırılmış ve temas geriliminin müsaade edilen değeri sağlanması amaçlanmıştır. Ancak, bazı tesislerde yüksek gerilim elektrik tesislerinin topraklamasının iyileştirilmesinde, topraklama elektrotu sayısının arttırılması ve ağır iletken açıklığının azaltılması yetersiz kalmaktadır. İşletme personelinin can güvenliğinin sağlanması ve enterkonnekte sisteminin devamlılığı için yeni önlemler geliştirilebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Bakırcıoğlu, K., Topraklama Sisteminin Tasarımı, Yapımı ve Ölçümü EMO Elektrik Mühendisliği Dergisi, 242 (1977) 110-111.
2. Bayram, M., Elektrik Tesislerinde Topraklama, İstanbul, 2000.
3. Güner, E., Yüksek Gerilim Merkezlerinin Topraklanması, EMO Elektrik Mühendisliği Dergisi (1977).
4. Gürsu, B. ve İnce M. C., İki Katmanlı Toprak Modelinde Genetik Algoritmalar İle Toprak Çubuklu ve Çubuksuz Ağ Tasarımı, Journal of Engineering and Natural Sciences Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, (2008) 147-266.
5. Gürsu, B. ve İnce, M. C., Genetik Algoritmalar ile Yüksek Gerilim İstasyonlarında Optimum Topraklama Ağı Tasarımı, Fırat Üni. Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi, (2007) 511-524.
6. Hocaoğlu, M.H. ve Hocaoğlu, A.T., Vücut Direncinin Gerilime Bağımlılığının Topraklama Tesislerinde Müsaade Edilebilir Adım ve Dokunma Gerilimine Etkisi, Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi, Eylül 1999, Bildiriler Kitabı, 395-398.
7. İlisu. İ., Elektrik Tesislerinde Dolaylı Dokunmaya Karşı Koruma ve Topraklama, Elektrik Mühendisleri Odası Meslek İçi Sürekli Eğitim Merkezi, 2005, Ankara.
8. Kaşıkçı, İ., Yüksek Gerilim Elektrik Tesislerinde Topraklama, 2005, İzmir.
9. Laurent, P.G., Topraklama Sisteminin Tasarımı, Yapımı ve Ölçümü, EMO Elektrik Mühendisliği Dergisi (1977).
10. Markiewicz, H. ve Klajn, A., Topraklama Sistemi Hesaplama Ve Tasarım Esasları, Güç Kalitesi Uygulama Klavuzu, (2004)
11. MEGEP, Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Elektrik Elektronik Teknolojisi, Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklama Sistemi, Ankara, 2006.
12. Mürtezaoğlu, K., Yüksek Gerilim İstasyonlarında Topraklama Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
13. Öksüz, H., Gaz İzoleli Sistemlerde Topraklama Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
14. Saraç, H., Topraklamalar, TEİAŞ SETGEM Yayınları, (1991).

15. Sarı, M., Toprak ve Toprak Oluşumu; Anadolu Üniversitesi.<http://www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/IOLTP/1270/unite03.pdf>.18.11.2009.
16. Taylan. N., Elektrik Tesislerinde Topraklama ve Kısa Devre, Ankara, 1974
17. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of Ground Systems, IEEE 81-1983, New York, 1984.
18. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE 80-2000, New York, 2000.
19. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, Ankara, 2001.
20. Uzunoğlu. M., MATLAB, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 2002.
21. www.genisbilgi.com/resimler/cozulmeninyersekilerineetkisi4.jpg. 23. 11. 2009.

ÖZGEÇMİŞ

07.01.1978 tarihinde Afyonkarahisar/DİNAR'da doğdu. Liseyi Trabzon Fatih Süper Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2005 yılı güz döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Ocak 2005'te TEİAŞ 14. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü'nde Elektrik Mühendisi olarak göreve başladı. ÜRESİN iyi derecede İngilizce bilmektedir.