

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE TOPRAKLAMA**  
**UYGULAMALARI**

**Caner DİRLİK**

**KOCAELİ 2013**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


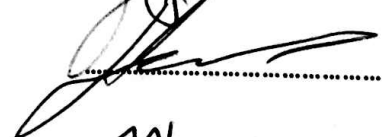

**ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE TOPRAKLAMA**  
**UYGULAMALARI**

**Caner DİRLİK**

**Yard. Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**

**Yard. Doç. Dr. Hasbi İSMAİLOĞLU**  
**Jüri üyesi, Kocaeli Üniversitesi**

**Doç. Dr. Mehmet BAYRAK**  
**Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Nisan 2013**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans programı kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada; endüstriyel yapıların kurulum aşamasında ekipmanları ve insanları en çok koruyacak olan topraklama sistemleri, topraklama temel kavramları, topraklama çeşitleri ve topraklama elektrotları incelenerek, IEEE 80-2000 standardı doğrultusunda, bir yüksek gerilim tesisinin topraklama direnci, adım ve dokunma gerilimlerinin hesaplanması ve grafiksel gösterimi geliştirilen ETAP 7.0.0 programı ile gerçekleştirilmiştir.

Bu fırsatı bana veren değerli danışman hocam Sn. Nuran Yörükeren'e, çalışmalarında yardımcı olan Sn. İsmail Cürgül ve Sn. Yetkin Saner hocalarıma, beni hayatım boyunca destekleyen aileme ve hayatta ki zorlu mücadelelere karşı muvaffak olmanın tek yolunu çalışmak olarak bana öğreten babam Sn. Ahmet Dirlik ve merhum dedem Sn. Hasan Dirlik'e sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Nisan - 2013

Caner DİRLİK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR .....	vii
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	2
1.1. Topraklama .....	2
1.2. Topraklama Çeşitleri .....	3
1.2.1. Koruma topraklaması.....	4
1.2.2. İşletme topraklaması.....	7
1.2.2.1. Yıldız noktası yalıtılmış şebeke .....	7
1.2.2.2. Toprak teması kompanze edilmiş şebekeler .....	8
1.2.2.3. Yıldız noktası direkt veya değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış şebekeler.....	9
1.2.2.4. Toprak teması dengelenmiş ve geçici olarak yıldız noktası değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış şebekeler.....	10
1.2.3. Fonksiyon topraklaması.....	11
1.2.4. Yıldırım topraklaması .....	11
1.2.4.1. Yıldırım boşalmalarına karşı topraklama koşullarının sağlanması .....	13
1.3. Topraklama ile Alakalı Temel Kavramlar .....	15
1.3.1. Toprak.....	16
1.3.1.1. Toprak yapısı ve rutubeti.....	16
1.3.1.2. Nem miktarının arttırılması.....	17
1.3.1.3. Tuz ilavesi.....	18
1.3.1.4. Çimli humus ve tarla toprağı ilavesi.....	18
1.3.2. Referans toprağı.....	18
1.3.3. Topraklama iletkeni .....	19
1.3.4. Topraklayıcılar .....	19
1.3.4.1. Topraklayıcı yapıları .....	19
1.3.4.2. Topraklayıcı konumu.....	20
1.3.5. Toprak özdirenci.....	22
1.3.5.1. Toprak özgül direnç ölçümü .....	23
1.3.6. Yayılma direnci .....	25
1.3.7. Topraklama direnci.....	29
1.3.7.1. Sverak yöntemi.....	29
1.3.7.2. Schwarz yöntemi .....	30
1.3.8. Topraklama gerilimi .....	31
1.3.9. Potansiyel sürüklenmesi.....	32

1.3.10. Potansiyel düzenlenmesi.....	33
1.3.11. Potansiyel dengelenme hattı ve dengelenmesi.....	33
1.3.12. Global topraklama sistemi.....	34
1.3.13. Topraklayıcıdan akım geçmesi.....	35
2. YÜKSEK GERİLİM MERKEZLERİNDE TOPRAKLAMA.....	36
2.1. Mekanik Zorlamalara ve Korozyona Dayanıklılığa Göre Boyutlandırma.....	36
2.2. Isıl Dayanıklılığa Göre Boyutlandırma.....	37
2.3. Dokunma ve Adım Gerilimine Göre Boyutlandırma.....	40
3. YÜKSEK GERİLİM MERKEZLERİNDE TOPRAKLAMA HESABI.....	43
3.1. Tanımlar.....	43
3.1.1. Asimetrik hata akımının etkin değeri.....	43
3.1.2. Hata akımı bölünme katsayısı.....	44
3.1.3. En büyük topraklama ağı akımı.....	45
3.1.4. Simetrik topraklama ağı akımı.....	45
3.1.5. Simetrik toprak hata akımı.....	46
3.2. Kabul Edilebilir Akım Aralığı.....	46
3.2.1. Genlik ve hata süresinin etkisi.....	46
3.3. Kabul Edilebilir Vücut Akımı Sınırı.....	46
3.3.1. Hata Süresi.....	46
3.4. Hatalı Topraklama Devresi.....	47
3.4.1. Vücut direnci.....	47
3.4.2. Hata devresi eşdeğerleri.....	47
3.4.3. İnce yüzey malzeme katmanının etkisi.....	50
3.5. Kabul Edilebilir Gerilim Ölçütleri.....	51
3.5.1. Adım ve dokunma gerilim ölçütleri.....	51
3.6. İletken Boyutlandırmasında Etmenler.....	53
3.6.1. Simetrik akımlar.....	53
4. ÖRNEK ALINAN ENDÜSTRİYEL BİR TESİS İÇİN TOPRAKLAMA HESABI.....	55
4.1. Örnek Çalışma Hesabı.....	56
4.2. Örnek Çalışma Hesabının ETAP 7.0.0 ile Desteklenmesi.....	62
4.3. Örnek Alınan Endüstriyel Tesisteki Belirli Bir Alanın ETAP 7.0.0 İle Topraklama Hesabı.....	67
4.4. Örnek Alınan Endüstriyel Tesiste Bulunan Belirli Bir Alanın Topraklama Hesabı.....	72
4.4.1. Toprak direnci.....	72
4.4.2. Yüzey tabadaki malzeme.....	72
4.4.3. Topraklama ağ direnci.....	72
4.4.4. Maksimum ağ akımı.....	73
4.4.5. Tölere edilebilir dokunma ve adım gerilim hesabı.....	74
4.4.6. Toprak potansiyel yükselmesi ( <i>GPR</i> ).....	74
4.4.7. Topraklama ağ hesabı kontrolü.....	74
4.4.7.1. Mesh gerilim hesabı.....	74
4.4.7.2. Adım gerilim hesabı.....	76
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	79
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	88

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Topraklama sistem çeşitleri.....	4
Şekil 1.2.	Geçiş izolatörlerinin birer birer topraklanması.....	6
Şekil 1.3.	YG sistemlerinde koruma topraklamasına ilişkin örnek canlandırma.....	6
Şekil 1.4.	Yıldız noktası yalıtılmış şebeke.....	8
Şekil 1.5.	Yıldız noktası kompanze edilmiş şebekeler.....	9
Şekil 1.6.	Yıldız noktası, değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış bir şebeke.....	10
Şekil 1.7.	Toprak teması kompanze edilmiş ve geçici olarak yıldız noktası direnç üzerinden topraklanmış şebeke.....	11
Şekil 1.8.	Koruma sistemine yıldırım düşmesi durumunda potansiyel çadırın oluşumu.....	12
Şekil 1.9.	Yüksek gerilim tesislerinde parafudr topraklaması.....	13
Şekil 1.10.	Yeryüzünün toprak tabakaları.....	16
Şekil 1.11.	Toprağın direncinin tuz, nem ve sıcaklığa göre değişimi.....	17
Şekil 1.12.	Üzerinden akım geçen topraklayıcının çevresindeki yeryüzü potansiyelinin değişimi ve gerilimler.....	18
Şekil 1.13.	a) Yıldız b) Halka c) Göz topraklayıcılar.....	20
Şekil 1.14.	Üst ucu toprak yüzeyi ile aynı düzeyde toprağa gömülü galvaniz köşebent bulunan çubuk topraklayıcı.....	22
Şekil 1.15.	Dört sonda yöntemi Megger ile Wenner yöntem ölçümü.....	24
Şekil 1.16.	Schlumberger Yöntemi.....	24
Şekil 1.17.	Küre şeklindeki topraklayıcı.....	26
Şekil 1.18.	Yarım küre topraklayıcı.....	26
Şekil 1.19.	$h$ derinliğe gömülü şerit topraklayıcı.....	27
Şekil 1.20.	Çubuk topraklayıcı.....	27
Şekil 1.21.	Halka topraklayıcı.....	28
Şekil 1.22.	Gözlü topraklayıcı.....	28
Şekil 1.23.	Demir kafes direğin gömülü kısmı.....	32
Şekil 1.24.	Potansiyel sürüklenme örneği.....	32
Şekil 1.25.	Potansiyel düzenlenmesi örneği.....	33
Şekil 1.26.	Bir şalt sahasında topraklama.....	34
Şekil 1.27.	Potansiyel düzenleme elektrotları.....	35
Şekil 2.1.	$t_F$ hata akımının süresine bağlı olarak topraklayıcılar ve topraklama iletkenleri için J kısa devre akım yoğunluğu eğrileri.....	39
Şekil 2.2.	a) Dairesel kesitli, b) Kesit x profilin çevresi çarpımına bağlı olan dikdörtgen kesitli topraklama iletkenleri için $I_D$ sürekli akım eğrileri....	40
Şekil 2.3.	Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri.....	40
Şekil 2.4.	Topraklama tesislerinin yapılması.....	44
Şekil 3.1.	$t_F$ hata süresi içinde hata akımının gerçek değerleri ve $I_F$ , $I_f$ , $D_f$ değerleri arasındaki ilişki.....	43
Şekil 3.2.	YG merkezinde faz-toprak hatası.....	44

Şekil 3.3.	Dokunma gerilimine maruz kalma.....	48
Şekil 3.4.	Thevenin dokunma gerilim devresi.....	48
Şekil 3.5.	Adım gerilimine maruz kalma .....	49
Şekil 3.6.	Thevenin adım gerilim devresi .....	49
Şekil 4.1.	Topraklama hesabı örnekleri için empedanslar .....	56
Şekil 4.2.	L-biçim topraklama ağı. ....	57
Şekil 4.3.	L şeklindeki topraklama ağının iki boyutlu tasarımı .....	65
Şekil 4.4.	L şeklindeki topraklama ağının üç boyutlu tasarımı .....	64
Şekil 4.5.	Hesaplama özeti.....	66
Şekil 4.6.	İki boyutlu göz topraklayıcı çalışma alanı.....	68
Şekil 4.7.	Hesaplama özeti.....	71

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Toprak iletkeni bulunan hava hattı direklerinde direktten geçen yıldırım akımları.....	14
Tablo 1.2. Alternatif akım frekanslarında toprak öz direnci.....	23
Tablo 1.3. $k_1$ ve $k_2$ katsayıları hesaplama tablosu.....	31
Tablo 2.1. Topraklayıcıların mekanik zorlamalara ve korozyona dayanıklı en küçük boyutları.....	37
Tablo 2.2. $k$ ve $\beta$ sayıları.....	38
Tablo 2.3. 300°C den farklı son sıcaklıklarda Şekil 2.1 den alınacak 1, 2 ve 3 değerleri için düzeltme katsayıları. ....	39
Tablo 3.1. Azaltma katsayısı oranları.....	44
Tablo 3.2. Malzeme değişmezleri.....	54
Tablo 4.1. Sistem verileri.....	63
Tablo 4.2. Toprak verileri.....	64
Tablo 4.3. Malzeme Sabitleri.....	65
Tablo 4.4. Topraklayıcı çubuk verileri.....	65
Tablo 4.5. Ağ yapılandırması.....	65
Tablo 4.6. Fiyat bilgisi.....	66
Tablo 4.7. Hesaplanan ağın raporu.....	67
Tablo 4.8. Sistem verileri.....	68
Tablo 4.9. Toprak verileri.....	69
Tablo 4.10. Malzeme Sabitleri.....	69
Tablo 4.11. Topraklayıcı çubuk verileri.....	69
Tablo 4.12. Ağ yapılandırması.....	70
Tablo 4.13. Fiyat bilgisi.....	70
Tablo 4.14. Hesaplanan ağın raporu.....	71
Tablo 4.15. Hata akım süresi 0.5 s ve 1 s için gerilim karşılaştırılması.....	80



## SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

$a$	: Sondalar arası mesafe [m]
$A$	: İletken kesiti [mm <sup>2</sup> ]
$A'$	: Ağın kapladığı alan [m <sup>2</sup> ]
$b$	: Dairesel metal diskin yarıçapı [m]
$C_e$	: Hattın kapasitesi
$C_s$	: Yüzey katmanı indirim katsayısı
$d$	: Halka topraklayıcının çapı [m]
$D$	: Göz topraklayıcının alanına eşit olan daire alanı [m]
$D_f$	: Azalma katsayısı
$E$	: Topraklayıcı
$h$	: Ağın gömülme derinliği [m]
$h_s$	: Yüzey malzemesinin kalınlığı [m]
$H$	: Gömülme derinliği [m]
$I$	: Akım şiddeti [A]
$I_f$	: Simetrik hata akımının etkin değeri [A]
$I_g$	: Simetrik topraklama ağı akımının etkin değeri [A]
$I_{da}$	: Direk ya da dayanaktan geçen yıldırım akımının tepe değeri [A]
$I_B$	: Vücut akımı [A]
$I_C$	: Kapasitif toprak akımı [A]
$I_E$	: Topraklayıcı akımı [A]
$I_G$	: En büyük topraklama ağı akımı [A]
$I_H$	: Harmonik akım [A]
$I_L$	: Paralel söndürme bobinlerinin akımlar toplamı [A]
$I_R$	: Kaçak akım [A]
$I_{RES}$	: Toprak teması artık akımı [A]
$I''_{k1}$	: Tek kutuplu toprak kısa devresinde alternatif başlangıç kısa devre akımı [A]
$J$	: Yeryüzü potansiyeli
$k$	: Akım taşıyan kısmın malzemesine bağlı katsayı
$k_1, k_2$	: Katsayılar
$K$	: Çeşitli malzemelerin öz dirençleri arasında yansıma katsayısı
$K_0$	: Malzeme değişmezi için alınan temel ısı-direnç sıcaklığı [°C]
$L$	: Çubuk topraklayıcının boyu [m]
$L_c$	: Ağdaki yatay iletkenlerin toplam uzunluğu [m]
$L_R$	: Bir çubuğun boyu [m]
$L_T$	: Gömülmüş toplam iletken boyu [m]
$n_R$	: Toplam çubuk sayısı
$R_f$	: Mevcut trafo sistemi topraklaması dahil edilmediği zamanki bir adım da ki toprak direnci [ $\Omega$ ]
$R_g$	: Sistem direnci [ $\Omega$ ]
$R_m$	: İki grup arasındaki karşılıklı direnç [ $\Omega$ ]
$R_{da}$	: Direk dayanak topraklama tesisinin darbe topraklama direnci [ $\Omega$ ]
$R_A$	: Hata devresini etkileyen toplam direnç [ $\Omega$ ]

$R_E$	: Yayılma direnci [W]
$R_I$	: Ağ iletkenleri grubunun toprak direnci [ $\Omega$ ]
$R_2$	: Çubuk grubunun toprak direnci [ $\Omega$ ]
$R_{m(2nhs)}$	: Özdirenci $\rho_s$ [ $\Omega.m$ ] olan sonsuz ortamda 2nhs açıklıkla ayrılmış iki benzer, paralel, eş eksenli levha arasındaki karşılıklı toprak direnci [ $\Omega$ ]
$S_f$	: Hata akımı bölünme katsayısı
$S_B$	: Elektrik şok enerjisine bağlı olan deneysel katsayı
$S1, S2, S3$	: Ana topraklayıcıya bağlanmış olan potansiyel düzenleyici topraklayıcılar
$t$	: Hata akımı süresi [s]
$t_s$	: Vücut akımının etki süresi [s]
$T_a$	: Ortam sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_c$	: İletken üzerinden akan etkin akımın süresi [s]
$T_m$	: En büyük izin verilen sıcaklık [ $^{\circ}C$ ]
$T_r$	: Malzeme değişmezi için temel alınan sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$U$	: Elektrik potansiyeli [V]
$U_{da}$	: Yalıtkanın darbe dayanım gerilimi [V]
$U_{mm}$	: Metal-metal dokunma gerilimi [V]
$U_A$	: Hata devresini etkileyen toplam gerilim [V]
$U_E$	: Topraklama gerilimi [V]
$U_S$	: Adım gerilimi [V]
$U_T$	: Dokunma gerilimi [V]
$U_{P1}$	: P1 noktasındaki potansiyel [V]
$U_{P2}$	: P2 noktasındaki potansiyel [V]
$U_{adım}$	: Mümkün olan en büyük adım gerilimi [V]
$U_{dokunma}$	: Mümkün olan en büyük dokunma gerilimi [V]
$U_{TST}$	: Sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi, eğer kılıf en uzak noktada topraklanmamış ise [V]
$U_{TSTE}$	: Sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi, eğer kılıf en uzak noktada topraklanmış ise [V]
$Z_{TH}$	: İki nokta arasında ki Thevenin teoremi empedansı [ $\Omega$ ]
$2a$	: İletken çapı [m]
$2b$	: Çubuk çapı [m]
$3I_0$	: Sıfır dizin hata akımı [A]
$\rho$	: Toprağın özgül direnci [ $\Omega.m$ ]
$\rho_s$	: Yüzey malzemesi özdirenci [ $\Omega.m$ ]
$\rho_E$	: Toprak özdirenci [W.m]
$\rho_r$	: $T_r$ için temel alınan sıcaklıkta topraklama iletkeninin özgül direnci [ $1/^{\circ}C$ ]
$\theta_i$	: Başlangıç sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$\theta_\phi$	: Son sıcaklık [ $^{\circ}C$ ]
$\beta$	: Akım taşıyan kısmın malzemesine bağlı $0^{\circ}C$ sıcaklıktaki direncinin sıcaklık katsayısının tersi
$\alpha_0$	: $0^{\circ}C$ de ısı-direnç katsayısı [ $1/^{\circ}C$ ]
$\alpha_r$	: $T_r$ için temel alınan sıcaklıkta ısı-direnç katsayısı [ $1/^{\circ}C$ ]

### Kısaltmalar

DA : Doğru akım

- ETKB : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı  
ETTY : Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği  
IEEE : The Institute of Electricians and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)  
*TCAP* : Thermal capacity factor (Birim hacim başına ısı yüklenme) [ $J/(cm^3 \cdot ^\circ C)$ ]  
TM : Trafo merkezi  
YG : Yüksek gerilim

## ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE TOPRAKLAMA UYGULAMALARI

### ÖZET

Endüstriyel sektördeki hızlı gelişmeler tesislerin çoğaltılmasına veya mevcut tesislerin büyümesine yol açmıştır. Yeni yapılan bir tesiste inşaat aşamasında iken elektrik adına yapılan ileriye dönük en önemli uygulamalardan birisi topraklamadır. Yüksek gerilim elektrik tesislerinde işletme personeli ve canlıları tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerine karşı korumak amacıyla bu tesislerin topraklanmasında göz önüne alınacak temel ilkeler Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği ve IEEE 80-2000 standardında belirtilmektedir. Tez içerisinde de topraklamanın amacını, görevini, kavramlarını, çeşitlerini, elemanlarını ve topraklama projesinin hazırlanmasının size aktarılması hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra mevcut bulunduğum şantiyede yaklaşık olarak 80.000 m<sup>2</sup> bir alanın topraklaması yapılmaktadır. Proje üzerindeki çizimlerin şantiye ortamında pratiğe dökülmesi oldukça zordur ve karşınıza çakıl üstüne yapılmış bir temel topraklaması bile çıkabilir. Bu tarz zorluklar da ne yapmanız gerektiği de tez içerisinde sizlere aktarılmıştır. Yapılan bağlantılar veya kaynak işlemleri ileriki zamanlarda korozyona ya da kopmalara yol açabilir bu yüzden uygulanacak metotlar çok önemlidir. Sonuç olarak bir yüksek gerilim tesisinin topraklama direnci, adım ve dokunma gerilimlerinin hesaplanması geliştirilen ETAP 7.0.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen simülasyonla, endüstriyel bir tesise ait elektrik odasının topraklama ağı tasarımında; adım ve dokunma gerilimlerinin müsaade edilebilir sınırlar içerisinde kalması amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Adım Gerilimi, Dokunma Gerilimi, Korozyon, Topraklama

## **INSTALLATION OF GROUNDING SYSTEM IN INDUSTRIAL AREA**

### **ABSTRACT**

Rapid developments in the industrial sector has led to increase the number of facilities or growth of existing facilities. In a new facility, the most important thing at construction phase is grounding. The Grounding of Electrical Installation Regulations (ETTY) and IEEE 80-2000 aim to protect operating people and alives from dangerous toch and step voltage in the high voltage industrial plant. The thesis aimed to describe you what is the purpose of grounding, missions of grounding, types elements and concepts of grounding. As well as we are making electrical grounding for a site area of approximately 80.000 m<sup>2</sup>. It is quite difficult come off in practice the drawings on this project. The thesis also contains what you might do in this type of difficulties. The bad connections and welding works can lead to corrosion so the installation method is very important. As a result, in the industrial plant's grounding measurements are related with step and touch voltage which are relaized with smart software program of ETAP 7.0.0. This simulation software program purpose to calculate tolerable step and touch voltage for the electrical room which exist in the industrial plant.

**Key Words:** Step Voltage, Touch Voltage, Corrosion, Grounding

## **GİRİŞ**

Elektrik şebekelerinde gerilim altındaki bölgelerin yalıtılması tesisin devamlılığı ve insan hayatını korumaya almak için gereklidir. Toprağa karşı yalıtımda, her zaman bozulma ve delinme şeklinde hata meydana gelmesi beklenilmelidir. Topraklama, meydana gelebilecek bir hata durumunda, insan hayatını korumak amacıyla uygulanacak işlemlerden biridir. Topraklama çeşitleri ile ilgili temel bilgiler detaylı bir şekilde tezin genel bilgiler bölümünde, yüksek gerilim merkezlerinde topraklama ağı tasarımı ve boyutlandırılması ise üç ana başlık altında tezin ikinci kısmında verilmiştir.

Topraklamada en önemli sistem eş potansiyel sistemdir. Bu sistemde tüm topraklamalar, tüm metal bölümler eş potansiyel baraları ve potansiyel dengeleyiciler ile birbirine irtibatlanır. İrtibatlandırmada ki amaç tesis içerisinde herhangi iki noktada oluşabilecek gerilim farkını engellemek ve tüm noktalarda eş potansiyel sağlamaktır. Birbirine eş potansiyel oluşturacak şekilde monte edilmiş metal bölümler arasında elektrik akımı oluşmaz çünkü elektrik akımı farklı potansiyellere sahip iki nokta arasındadır. Kaçak anında hiçbir iki nokta arasında potansiyel farkı oluşmayacağından veya tüm noktalarda eşit potansiyel oluşacağından herhangi bir tehlikede söz konusu olmayacaktır. Yüksek gerilim merkezlerinde topraklama hesabının yapılması için IEEE 80-2000 standartları göz önünde bulundurularak tezin üçüncü ve son bölümünde topraklayıcının direnci, adım gerilimi, dokunma gerilimi ve potansiyel artış gerilimi hesapları yapılmıştır. Aynı bölüm içerisinde yapılan hesaplamalar ETAP 7.0.0 programı kullanılarak desteklenmiştir.

## **1. GENEL BİLGİLER**

Elektrik makinelerinde, elektrik cihazlarında ve elektrik tesislerinde meydana gelen bir yalıtım hatası makinelerin, cihazların ve tesislerin, işletme ile doğrudan doğruya ilgisi olmayan madeni ve iletken gövdelerinin, mahfazalarının veya tespit kısımlarının gerilim altında kalmasına sebep olur. Dokunma gerilimi veya adım gerilimi adı verilen bu gibi tehlikeli gerilimler, gerek işletme personeli için ve gerekse bahis konusu elektrik tesisleri ile herhangi bir şekilde temas halinde bulunabilecek olan şahıslar için hayat tehlikesine yol açarlar. İşletme personeli ve elektrik tesisleri ile temas edebilecek olan şahısları dokunma ve adım gerilimlerine karşı korumak için kuvvetli akım tesislerinde topraklama yapılır. Yüksek gerilim sistemlerinde topraklama ağı ile birlikte topraklama iletkenlerinden ve topraklama çubuklarından yararlanır.

Topraklama sisteminde kullanılan topraklama çeşitleri ise; koruma topraklaması, işletme topraklaması ve yıldırım topraklamasıdır. Topraklama sisteminde topraklayıcı (topraklama elektrodu) olarak; çubuk, levha, şerit topraklayıcılar ile topraklama ağları yaygın olarak kullanılmaktadır. Topraklama sisteminde dikkat edilecek önemli etkenlerden biride topraklama elektrotunun her noktasının toprakla temas etmesini sağlamaktır. Toprak tamamen homojen olmadığından dolayı; öz direnç toprağın nem oranına 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 TM (trafo merkezlerinde) topraklama sistemlerinin amacı olan canlıları tehlikeli gerilimlere karşı korumak için izin verilen adım ve dokunma gerilimleri ETTY (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği) ve IEEE 80-2000 (The Institute of Electricians and Electronics Engineers) standardı referans alınarak hesaplanacaktır.

### **1.1. Topraklama**

Enerji üretim, iletim ve dağıtım şebekelerinde insan hayatı ve bazı aygıtların korunması bakımından yapılan en etkili önlemlerden biri topraklamadır.

Topraklamanın yanı sıra sıfırlama, küçük gerilimlerde çalışma veya benzeri uygulamalarda güvenliğin sağlanması bakımından karşılaşılabilecek durumlar olduğu dikkate alınmalıdır. Topraklama işletme akım devresinin bir noktasının veya bir tesisinin akım taşımayan iletken kısımları ile toprak arasında iletken bir bağlantı kurma olarak tanımlanabilir. Toprak, bütün elektrik tesislerinin bulunduğu açık hava tesislerini veya binaları sinesinde taşıyan sonsuz büyüklükteki iletken kitledir. Arızasız bir şekilde, işletmesinde toprak üzerinden önemsiz sayılabilecek derecede küçük akımlar geçer. Eğer elektrik tesislerinde bir motor arıza sonucunda veya isteyerek toprak bir iletkenin bağlantı haline gelirse tesisin bu noktası ile toprak aynı potansiyeli alır. Bunun dışında asimetrik olan şebeke hatalarında toprak üzerinden büyük akımların geçmesi beklenebilir. Topraktan geçen akımın bir kısmının arıza yerinde bulunan bir canlımın üzerinden geçmesi, bu canlımın hayatını tehlikeye sokabilir. Ayrıca işletmede yangına sebep olacak en büyük etkenlerden biriside topraktan geçen kaçak akımlar olabilir. Toprağın kendi direnci 0,05 Ohm/km gibi küçük bir değerdir fakat toprak üzerinden geçen akımın değerini belirleyen devre direnci, toprak ile temas haline gelen noktadaki yayılma veya geçiş direncidir. Bazı durumlarda bu temas, bir yalıtım hatası sonucunda tesadüfi olarak meydana gelir. Bazı durumlarda ise, istenilerek toprağa yerleştirilen bir topraklayıcı elektrot üzerinden toprak ile temas sağlanır; buna topraklama denir. Aranılan en önemli özellik, toprak geçiş direncinin olabildiğince küçük olmasıdır. Toprak üzerinden geçen hata akımının değeri şebekenin yıldız noktasının durumuna da bağlıdır. Elektrik hatlarında topraklama ağları herhangi bir arıza halinde kısa devre akımlarının canlı hayatını tehlikeye sokmayacak yoldan geçmelerini sağlar. Durumun ehemmiyeti bakımından, güvenilir bir topraklamanın elde edilmesi için şartlara uygun bir şekilde tesis edilip çok iyi derece hesaplanması gerekir.

## **1.2. Topraklama Çeşitleri**

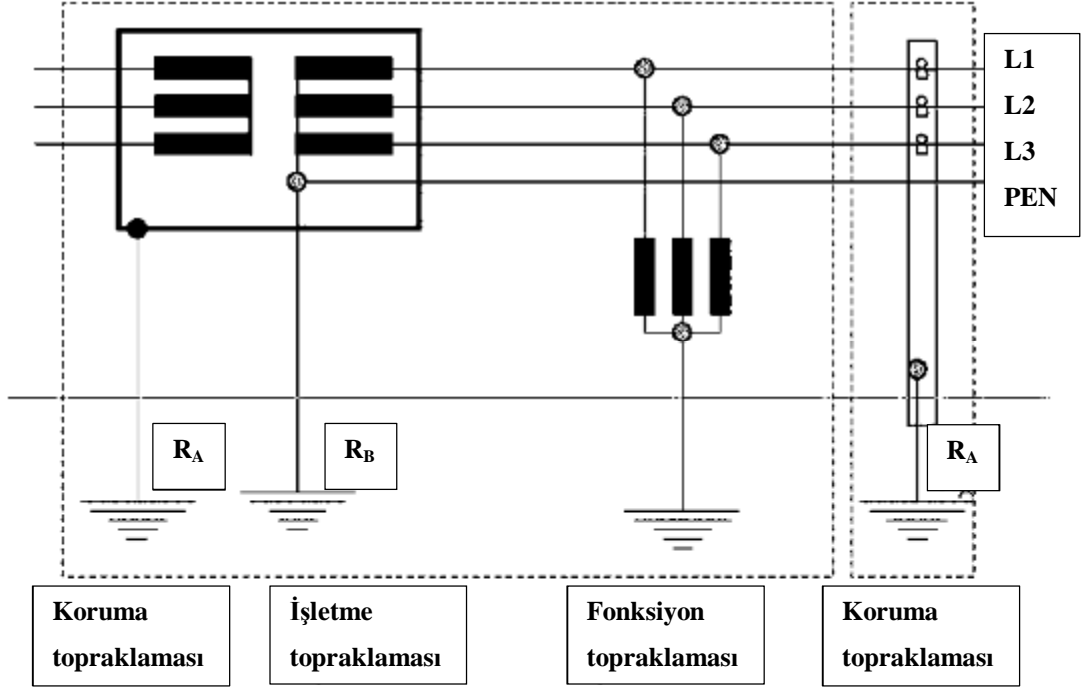
Elektrik tesislerinde yapılan topraklamaların uygulama alanları, amaçları ve etki alanları farklıdır. Şekil 1.1’de topraklama çeşitleri görsel olarak sunulmuştur.

Aşağıda tesislerde kullanılan en önemli topraklamalar açıklanmaktadır.

- Koruma topraklaması,
- İşletme topraklaması,



- Fonksiyon topraklaması,
- Yıldırım topraklaması.



Şekil 1.1. Topraklama sistem çeşitleri [1]

### 1.2.1. Koruma topraklaması

YG (yüksek gerilim) tesislerinde insanları yüksek dokunma 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.

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

İzolasyon hatasına neden olan direkt nedenler iletken kopması, aşırı akımdan dolayı yalıtım maddesinin ısınarak elektriği 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 kırılmasıdır.

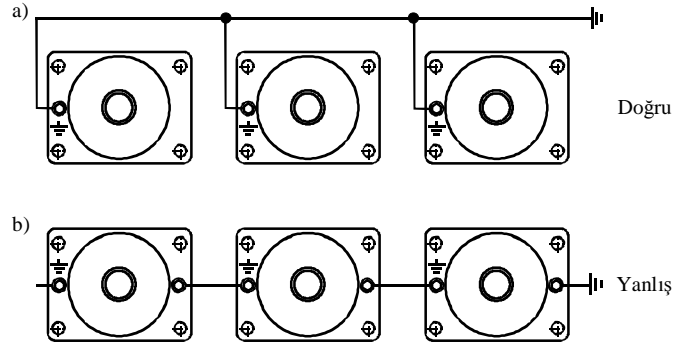
YG tesislerinde koruma topraklaması yapılacak nesnelere:

- Elektrik motorları, cihazlar ve tesisler,
- TM'lerinde kapı, merdiven, fens telleri gibi madeni aksanlar,
- Alçak, orta ve yüksek gerilim kablolarının madeni kılıf ve aksesuarları,
- TM'lerdeki trafo rayları,
- YG merkezlerinde teçhizatın mesnet yapıları,
- Direk gövdesi,
- YG hatlarının koruma telleri,
- TM'lerinde kumanda cihazlarının madeni kısımları, kumanda kolları,
- TM'lerinde madeni kapılar, kapaklar, koruma ızgaraları,
- TM'lerinde madeni tesis hücreleri,
- Gergi zincir izolatörlerinin bağlandıkları duvara gömülü demir kancalar ve demir mesnetler,
- Parafudruların toprak uçları koruma topraklamasına bağlanırlar.
- Geçiş ve mesnet izolatörlerinin saptandıkları sac ve demir mesnetler topraklanmalıdır.

Geçiş izolatörleri için yalıtkan geçiş izolatörü plakası kullanılırsa, bu plakanın topraklanması gerekmez.

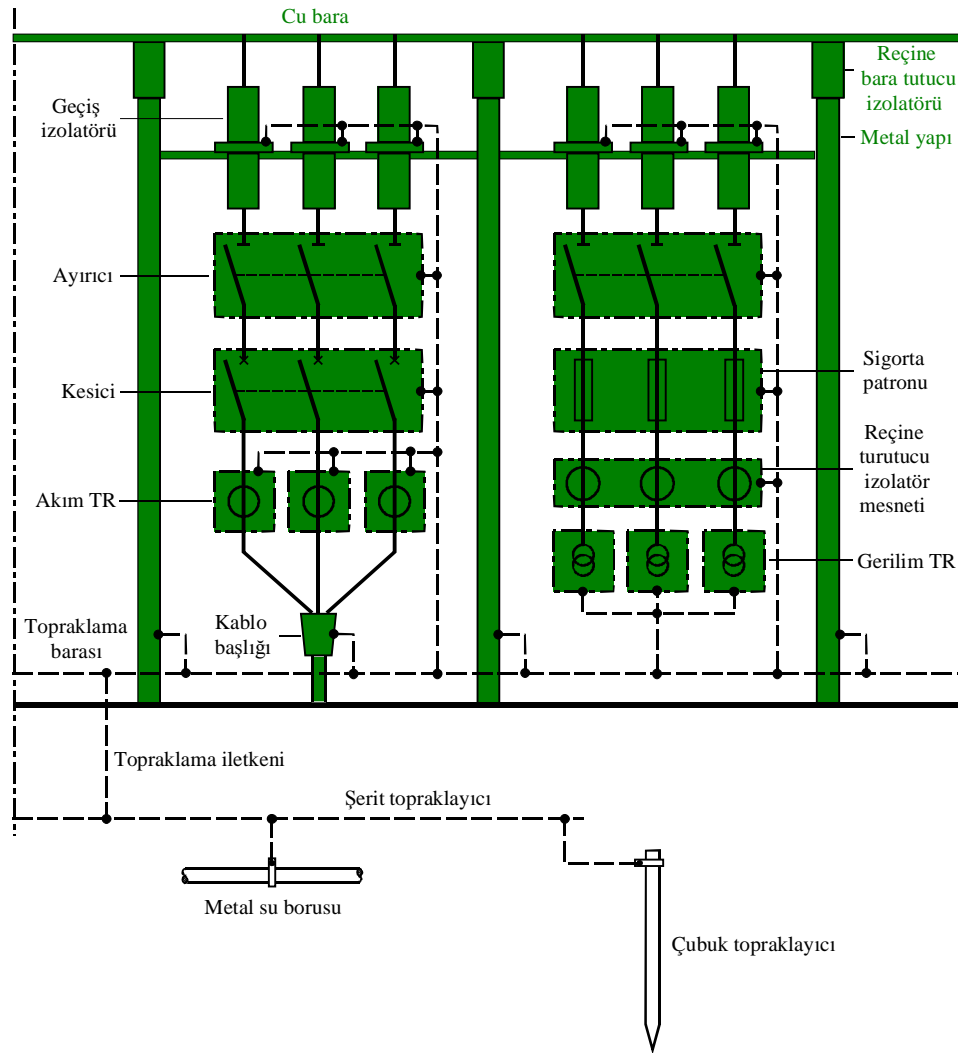
Geçiş ve mesnet izolatörleri gövdelerindeki topraklama civatası ile birer birer topraklanırlar.

Kural olarak, topraklanan metal aksam topraklama yolu olarak kullanılmayacağından, Şekil 1.2'de gösterildiği gibi gövdeden gövdeye geçiş yapılmasına izin verilmez.



Şekil 1.2. Geçiş izolatörlerinin birer birer topraklanması

- Yiğma ve ahşap yapılarıdaki kapılar, pencereler, merdivenler, vb. elektrik aygıtlarının dışında dokunulabilecek metal yapı kısımları, ancak bir hata sonucunda veya ark etkisiyle gerilim altında kalmıyorsa topraklanmazlar.



Şekil 1.3. YG sistemlerinde koruma topraklamasına ilişkin örnek canlandırma

YG bağlama tesislerinde ölçme, uyarı ve kumanda tesisinin metal koruncakları ark etkisinde kalsalar bile topraklanmaları gerekmez.

YG tesislerinde koruma topraklamasına ilişkin, YG merkezleri için bir örnek Şekil 1.3'de canlandırılmıştır. Şekil 1.3'de elektrik aygıtlarının gövdeleri, sac ve demir mesnetler, metal yapı elemanları ana topraklama barasına bağlanarak topraklanmıştır. Topraklayıcı olarak yüzey topraklayıcılar ve derin topraklayıcılar kullanılmıştır.

### **1.2.2. 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 YG 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 YG 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.

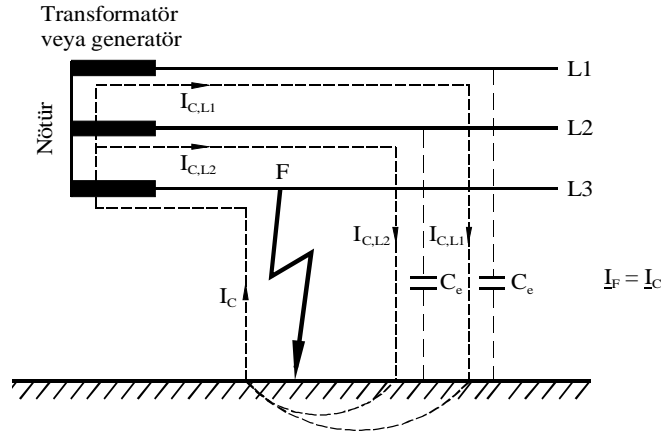
Koruma topraklaması üzerinden yalnız hata halinde akım geçtiği halde işletme topraklaması üzerinden arızasız durumlarda da bir akım geçebilir ve parafudr bir atlama olduğu zaman toprağa karşı büyük bir gerilim altında kalabilir.

YG dağıtım şebekelerinde topraklama şekilleri aşağıda gösterilmiştir.

#### **1.2.2.1. Yıldız noktası yalıtılmış şebeke**

Yıldız noktası yalıtılmış olan üç fazlı şebekelerde, nötr işletme bakımından topraklayıcılara veya topraklanmış tesis bölümlerine bağlanmamıştır.

Yıldız noktası çok büyük empedanslı ölçü ve koruma aygıtları veya parafudr üzerinden toprağa bağlanmışsa, bu şebekeler de yıldız noktası yalıtılmış sayılır.



Şekil 1.4. Yıldız noktası yalıtılmış şebeke [2]

Burada,  $I_F$ = Hata akımı,  $I_C$ = Kapasitif toprak akımı,  $C_e$ = Hattın kapasitesidir.

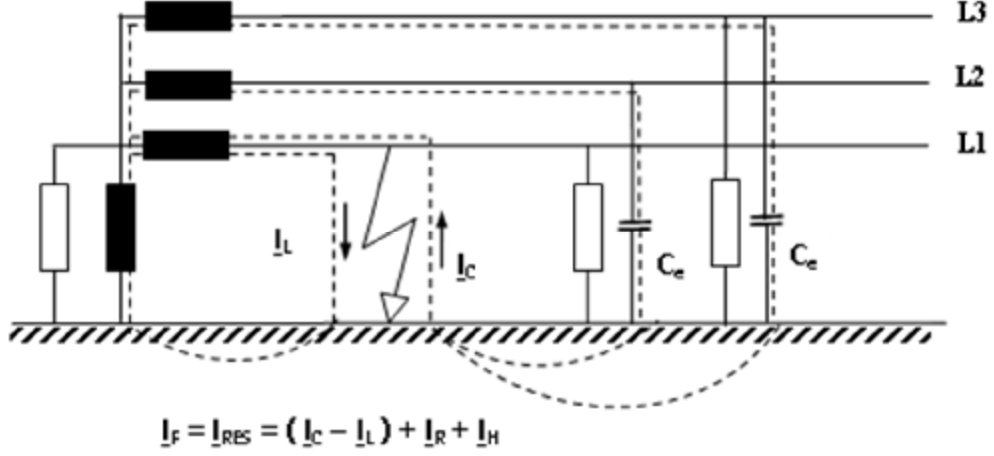
İzole yıldız noktası kullanmak en kolay ve ekonomik yoldur. Çünkü ilave yatırım gerektirmez. Toprak hatası durumunda elektrik cihazları ve oluşan sistemlerin kontrolünün yedekleme ihtiyacı yoktur. Paralel giden kontrol ve haberleşme kabloları ile etkileşim ihtimali düşüktür ama yine de yalıtılmış yıldız noktası, sanayi tesislerindeki uygulamalarda, sadece küçük kapasitif toprak hata akımları için geçerlidir. Kapasitif toprak akımı 1-100 A arasındadır. Şekil 1.4'de gösterilen akış diyagramına göre  $I_C < 35$  A ise toprak arkları bastırabilir.  $35$  A  $< I_C < 100$  A iken arkların bastırılması çok zordur.  $I_C \leq 20$  A ile sınırlı kalmıyorsa çok hızlı çalışan toprak arıza röleleri kullanılmak zorundadır.

#### 1.2.2.2. Toprak teması kompanze edilmiş şebekeler

Bir ya da birden fazla transformatörün ya da yıldız noktasını oluşturan öteki tesis bölümlerinin yıldız noktaları veya orta noktaları söndürme bobinleri üzerinden topraklanmış ve bu düzenlerin endüktansı, şebekenin toprak kapasitesini kompanze edecek biçimde ayarlanmış olan şebekelerdir.

Toprak teması kompanze edilmiş şebekelerin yıldız noktası topraklaması, sanayi tesislerinde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde asıl amaç toprak hata akımı oluştuğunda beslemeyi kesmeden devrenin çalışmasına devam edebilmesidir. Bunun için kapasitif toprak hata akımı ( $I_C$ ) yıldız noktasına uygulanan bir bobin ile

kompanze edilir. Geriye çok küçük bir artık akım ( $I_{RES}$ ) kalır. Bu sistemde ark tehlikesi yoktur.



Şekil 1.5. Yıldız noktası kompanze edilmiş şebekeler [2]

Burada,  $I_{RES}$ =Toprak teması artık akımı,  $I_L$ =Paralel söndürme bobinlerinin akımlar toplamı,  $I_R$ =Kaçak akım,  $I_H$ =Harmonik akımdır.

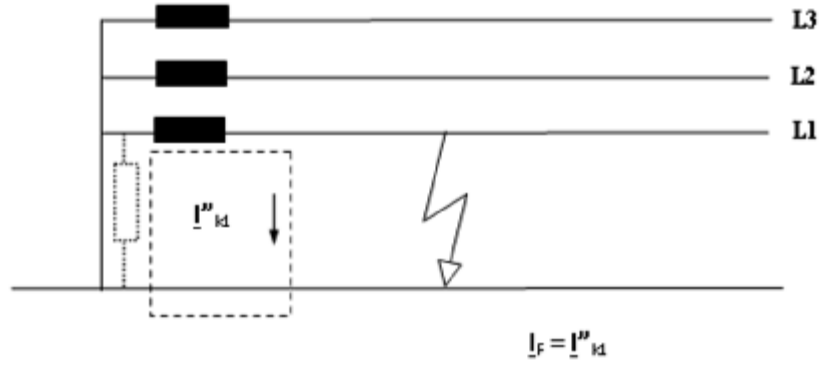
### 1.2.2.3. Yıldız noktası direkt veya değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış şebekeler

Bir ya da birden fazla transformatörün veya yıldız noktasını oluşturan öteki tesis bölümlerinin ya da generatörlerin yıldız noktası, doğrudan doğruya veya akım sınırlayan ohmik direnç ya da reaktans bobini üzerinden topraklanmış olan ve şebekedeki koruma düzeni, herhangi bir noktadaki toprak hatasında otomatik açmayı sağlayacak biçimde yapılmış olan şebekelerdir. Bu tanıma, toprak teması başlangıcında yıldız noktası kısa süreli olarak topraklanan, yıldız noktası yalıtılmış veya kompanze edilmiş şebekeleri de içerir. Bu yöntemde amaç, tek fazlı toprak hatalarında faz kısa devrelerinde olduğu gibi beslemeyi selektif olarak kesmektir.

Bu yöntemle ilgili olarak aşağıdaki önlemlerin alınması gereklidir.

- Toprak hata akımı yüzünden besleme kesileceği için üretimle ilgili yedek makine, yedek besleme veya yedek besleme hattı önlemleri alınmalıdır.
- Her toprak hatası koruma cihazları tarafından izleneceğinden aşırı akım ve diferansiyel koruma için üç fazın da akım trafosu ile donatılması gereklidir.

- Genel olarak yüksek dirençli toprak hataları akımın yükselmesine engel olduğu için sıfır akımla çalışan koruma cihazları tavsiye edilmektedir. Bunu sağlamak için kablo tipi akım trafoları gerekli olmaktadır.
- Düşük empedanslı yıldız toprağı olan sistemlerde, dijital aşırı akım röleleri ile akım trafosunun nominal akımının % 10'u seviyelerindeki akımlarla bile açma işlemi sağlanabilmektedir.
- Yıldız noktası direnç değeri  $t=5-10$  s aralığındaki yüklenmeler için hesaplanır. Hesaplanan direnç değerinin bu süre içinde oluşan toprak hata akımı ısıll yüklerine dayanacak seviyede olması gereklidir.



Şekil 1.6. Yıldız noktası, değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış bir şebeke [2]

Burada,  $I''_{k1}$ : Tek kutuplu toprak kısa devresinde alternatif başlangıç kısa devre akımıdır.

Ülkemizde YG trafolarının nötr topraklama direnci uygulaması ile ilgili dengesiz beslemedeki röle koordinasyonu ve seçicilikte karşılaşılan olumsuzluklar nedeniyle bu konudaki ilgili kurumlarca; toprak akımını sınırlamak amacıyla nötr topraklama direnç değerinin 1000 A (20 Ohm) 5 s. olması kararlaştırılmış olup uygulamalar bu şekilde yapılmaktadır.

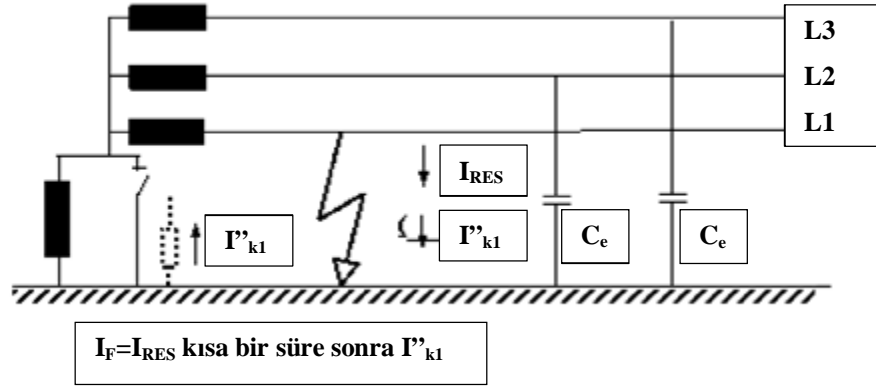
#### 1.2.2.4. Toprak teması dengelenmiş ve geçici olarak yıldız noktası değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış şebekeler

Kendi kendine sönmeyen toprak temasında, yıldız noktası veya işletme akım devresinin bir iletkeni, toprak temasının başlangıcından birkaç saniye sonra kısa

sürekli olarak topraklanan, yıldız noktası yalıtılmış veya kompanze edilmiş şebekelerdir.

Bu yöntem toprak teması kompanze edilmiş şebekeler ve yıldız noktası değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış şebekeler yöntemlerinin karmasıdır. Bir fazlı toprak hatası olduğunda önce rezonans devresi fonksiyonel olacaktır.

Toprak hatası akımları, kendi kendini bastıramayan arklar oluşturursa şalterin kapatılmasıyla düşük empedanslı yıldız modeline dönüştürülür ve otomatik açma gerçekleştirilir. Direncin devreye girişi manuel veya otomatik olabilir.



Şekil 1.7. Toprak teması kompanze edilmiş ve geçici olarak yıldız noktası direnç üzerinden topraklanmış şebeke [2]

### 1.2.3. Fonksiyon topraklaması

Bir iletişim tesisinin veya bir işletme elemanının istenen fonksiyonu yerine getirmesi amacıyla yapılan topraklamadır. Fonksiyon topraklaması, toprağı dönüş iletkeni olarak kullanan iletişim cihazlarının işletme akımlarını da taşır. Bir iletişim tesisinin fonksiyon topraklaması, eskiden kullanılan iletişim tesisi işletme topraklaması ile aynıdır. Fonksiyon topraklaması deyimine, örneğin “yabancı gerilim bileşeni az olan topraklama” gibi adlandırmalar da dahildir.

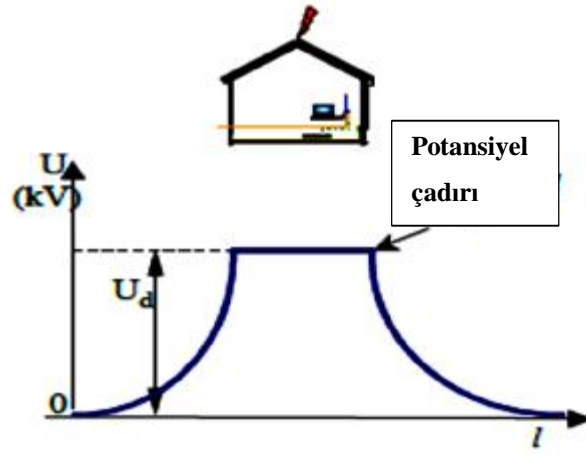
### 1.2.4. Yıldırım topraklaması

Elektrik tesislerinde yıldırıma karşı korunmak için, parafudrların 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.

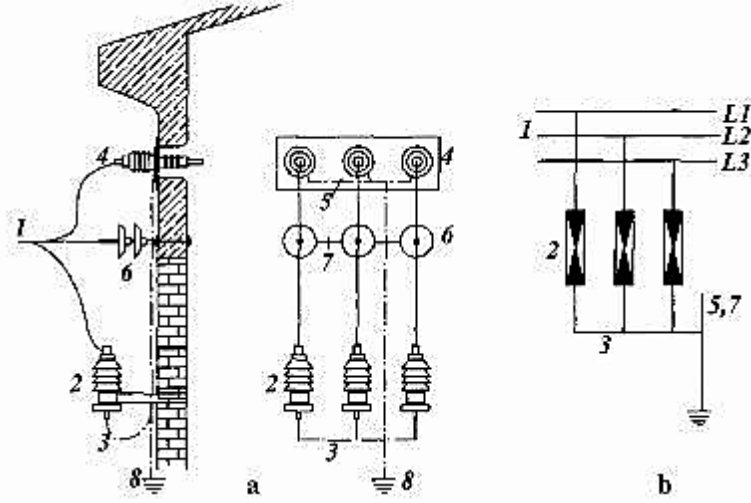
Bir yapıya veya yapının koruma sistemine yıldırım düştüğünde, yıldırım akım şiddetine ve sistemin topraklama direncinin değerine bağlı olarak, 100 kV'lar düzeyinde tepe değere sahip, Şekil 1.8'de gösterildiği üzere darbe karakterinde potansiyel çadırı oluşur.



Şekil 1.8. Koruma sistemine yıldırım düşmesi durumunda potansiyel çadırının oluşumu [3]

Bunun sonucunda, yapı ile dışarıdan gelen iletken tesisat donanımları arasında atlamaların oluşması kaçınılmazdır. Bu atlamalardan kaynaklanacak hasarları azaltmak amacıyla tüm tesisat donanımları ile yapı topraklaması arasına darbe koruma aygıtları (parafudr) yerleştirilmesi gerekmektedir [3].

Parafudr bir direnç ile buna seri bağlı bir ark söndürme eklatöründen ibarettir. Şekil 1.9'da yüksek gerilim tesisinde toprağa bağlantısı gösterilen parafudrlar koruyacağı yüksek gerilim cihazına en yakın yere bağlanmalıdır. Parafudrlar, havai hat sonlarına ve trafo girişlerine her faza birer adet bağlanırlar.



Şekil 1.9. Yüksek gerilim tesislerinde parafudr topraklaması [4]

Burada, a: parafudr topraklamasının yapılışı, b: üç fazlı prensip bağlama şeması, 1.faz iletkenleri, 2.bağlama şeması, 3.parafudr topraklaması, 4.geçit izolatörü, 5.geçit izolatörü topraklaması, 6.gergi izolatörü, 7.gergi izolatörü topraklamasıdır.

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

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

#### 1.2.4.1. Yıldırım boşalmalarına 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  $R_{da}$ ,

$$R_{da} = \frac{U_{da}}{I_{da}} d_e \quad (1.1)$$

bağıntısını sağlayacak şekilde ise geri atlama 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 değeridir.

Yıldırım akım şiddetleri üzerine fikir edinmek için Tablo 1.1'de 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 1.1. Toprak iletkeni bulunan hava hattı direklerinde direktten geçen yıldırım akımları [8]

$I_{da}$ (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. Ülkemizde dağıtım tesislerinin yüksek gerilim tarafının besleme geriliminin büyük çoğunluğu 36 kV gerilim seviyesindedir. Bu bakımdan yıldırım boşalmalarında geri atlama direnci yüksek gerilim 36 kV ve alçak gerilim için de 1 kV ta göre hesaplamak mümkündür. Tablo 1.1'de verilen yıldırım akımlarının en küçük ve en büyük değerlerine göre  $R_{da}$  aşağıda hesaplanmıştır.

- 36 kV anma geriliminde geri atlama direnci,

36 kV anma gerilim değerinde olan tesislerde geri atlama olmaması için parafudrun topraklama direnci, yıldırım akımlarının 20-60 kA değerleri için Denklem (1.1)'e göre,

$$R_{da} = \frac{170}{20} = 8.5 \Omega$$

$$R_{da} = \frac{170}{60} = 2.8 \Omega$$

değerleri arasında olmalıdır.

- 1 kV anma geriliminde geri atlama direnci,

1 kV anma gerilim değerinde olan tesislerde geri atlama olmaması için parafudrun topraklama direnci, yıldırım akımlarının 20-60 kA değerleri için Denklem (1.1)'e göre,

$$R_{da} = \frac{20}{20} = 1 \Omega$$

$$R_{da} = \frac{20}{60} = 0.33 \Omega$$

değerleri arasında olmalıdır.

60 kA en yüksek yıldırım akımına göre, 36 kV anma gerilimi için 2,8  $\Omega$ , 1 kV anma gerilimi için 0,33  $\Omega$  değeri daha güvenli bir topraklama direnci olmaktadır.

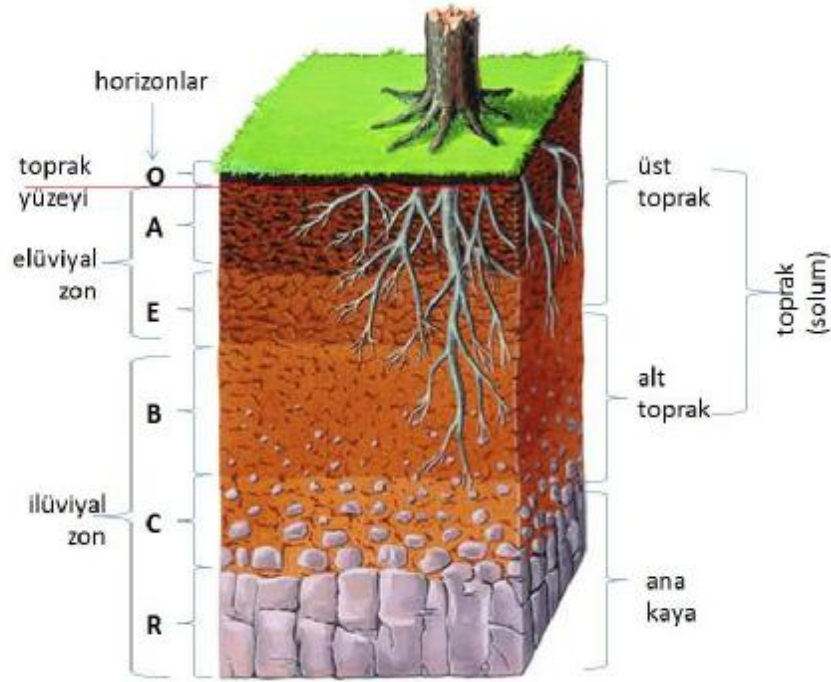
Bir topraklayıcının darbe topraklama direnci bunun  $R_E$  yayılma direncinden farklıdır. Küçük boyutlu topraklayıcılarda (örneğin direk ayaklarında, uzunlukları 10 m'ye kadar olan derin topraklayıcılarda) darbe topraklama direnci yaklaşık yayılma direncine (toprak iletkeninin direktten çözülüp ayrılması durumunda) eşit alınabilir. Uygulamada, darbe topraklama direnci  $R_{da}$  ile  $R_E$  yayılma direnci eşit almanın çok büyük bir sakınca yaratmayacağı böylece belirtilmektedir.

### 1.3. Topraklama ile Alakalı Temel Kavramlar

Burada yüksek gerilim topraklama sistemlerinde adı geçen bazı temel kavramlar detaylı bir şekilde tanımlanacaktır.

### 1.3.1. Toprak

Elektrik potansiyelinin her noktada sıfır olduğu, yeryüzünün doğal yapısını teşkil eden sonsuz büyüklükte ki madde ve yer ifadesidir. Bu madde ve yer ifadesini irdeleyecek olursak, çeşitli kayaç ve minerallerin, yani doğal faktörlerin (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 varlıklar olarak tanımlanır. Bu açıklamadan anlaşılacağı üzere toprak başlı başına bir ekosistem olup son derece karışık bir yapıya sahiptir. Toprakların arz yüzeyindeki kalınlığının ise 1,5 ile 2,0 metre arasında olduğu, dünyanın yarıçapının ise 6378 km olduğu göz önüne alınacak olursa, söz konusu bu derinliğin sadece % 0,00003'ünü kapsayan toprak derinliğinin dikkate alınamayacak kadar az olduğu anlaşılacaktır [5]. Şekil 1.10'da yeryüzünün toprak tabakaları gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere her tabakanın farklı bir yapısı vardır.



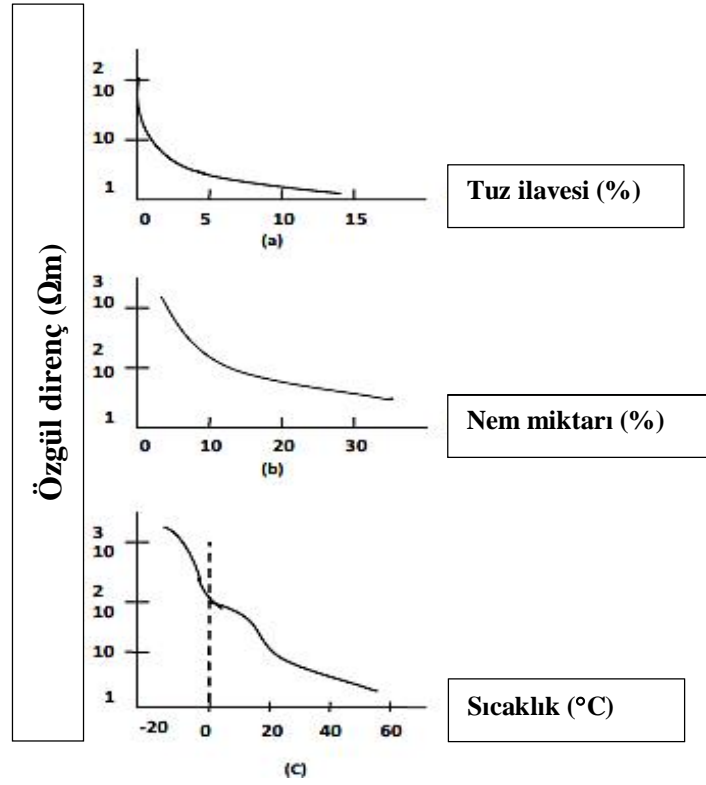
Şekil 1.10. Yeryüzünün toprak tabakaları

#### 1.3.1.1. 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 1.11’de görüldüğü gibi toprağın iletkenliği temel olarak nem oranına bağlıdır. Mevsim koşullarının yüzeysel katmanların özgül direnci üzerindeki etkisi ortalama 1-2 m düzeyindeki bir derinliğe kadar etkilidir. Bir metre derinlikteki toprakta nemli kış ile kuru yaz oranındaki değişim oranı 1’e 3 (bazen daha da fazla) düzeyinde olabilir. Bu etki küçük elektrotlarda büyüklere oranla daha az hissedilir.



Şekil 1.11. Toprağın direncinin tuz, nem ve sıcaklığa göre değişimi [6]

### 1.3.1.2. Nem miktarının artırılması

Elektrotun etrafındaki toprağın nemi, ırmak veya yeraltı suları ile artırılır. 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.

### 1.3.1.3. Tuz ilavesi

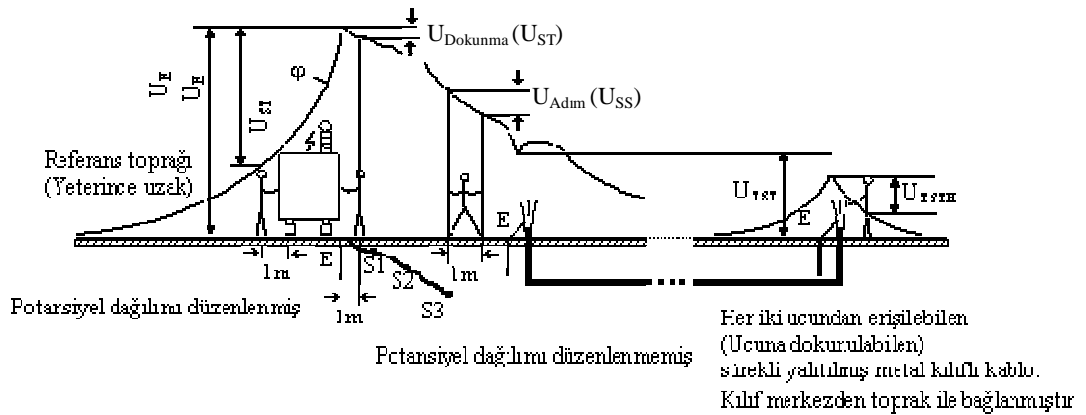
Yukarıda tarif edilmiş maksada en elverişli nemlilik miktarı; su ağırlığının %50'si oranında tuz ilave edilecek olursa geçiş direnci %20 oranında azalmış olur. Sofra, kaya ve bakır sülfat tuzları için bu rakamlar geçerlidir. Suyun tesiri ile tuz, elektrot civarından akıp gittiğinden yukarıdaki hesaplar neticesinde çıkan tuz miktarının üç misli doğrudan doğruya elektrotun 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.

### 1.3.1.4. Çimli humus ve tarla toprağı ilavesi

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

### 1.3.2. Referans toprağı

Topraklayıcıdan yeterince uzak bulunan ve topraklama tesisinin etki alanı dışında kalan yeryüzü bölümüdür. Bu bölümdeki herhangi iki nokta arasında, topraklama akımının neden olduğu gerilim ihmal edilecek kadar küçüktür. Şekil 1.12'de üzerinden akım geçen topraklayıcının çevresindeki yeryüzü potansiyelinin değişimi ve gerilimleri gösterilmiştir. Referans toprağı tanımı için ve ileriki tanımlamalarda da Şekil 1.12'den yararlanılacaktır.



Şekil 1.12. Üzerinden akım geçen topraklayıcının çevresindeki yeryüzü potansiyelinin değişimi ve gerilimler [2]

Burada,  $E$ : Topraklayıcı,  $S1, S2, S3$ : Ana topraklayıcıya bağlanmış olan potansiyel düzenleyici topraklayıcılar,  $U_E$ : Topraklama gerilimi,  $U_{Adm}$ : Mümkün olan adım gerilimi (ETTY gösterimi  $U_{ST}$ ),  $U_{Dokunma}$ : Mümkün olan en büyük dokunma gerilimi (ETTY gösterimi  $U_{ST}$ ),  $U_{TST}$ : Sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi, eğer kılıf en uzak noktada topraklanmamış ise,  $U_{TSTE}$ : Sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi, eğer kılıf en uzak noktada topraklanmış ise,  $J$ : Yeryüzü potansiyelidir.

### 1.3.3. Topraklama iletkeni

Topraklanacak bir cihazı ya da tesis bölümünü, bir topraklayıcıya bağlayan toprağın dışında veya yalıtılmış olarak toprağın içinde döşenmiş bir iletkenidir. Nötr iletkeni veya ana iletken ile topraklayıcı arasındaki bağlantıya bir ayırma bağlantısı, bir ayırıcı ya da bir topraklama bobini veya direnç bağlanmışsa, bu durumda sadece topraklayıcı ile belirtilen cihazlara en yakın toprak tarafındaki bağlantı ucu arasındaki bağlantı topraklama iletkenidir.

### 1.3.4. Topraklayıcılar

Toprağa gömülü ve toprakla iletken bir bağlantısı olan veya beton içine gömülü, geniş yüzeyli bağlantısı olan iletken parçalardır. Topraklayıcılar yapılarına ve konumlarına göre çeşitlendirilir.

#### 1.3.4.1. Topraklayıcı yapıları

Şerit ve örgülü iletken topraklayıcılar: Şerit topraklayıcılar dikdörtgen şerit şeklinde iletken malzemen, örgülü iletken topraklayıcılar örgülü iletken malzemen yapılmış olan topraklayıcılardır. Örgülü iletken ince telli olmamalıdır.

Çubuk, boru ve profil topraklayıcılar: Yanıcı sıvı veya gazlar için kullanılan borular ile sıcak su borusu şebekesi, vb. metal boru şebekeleri kesinlikle topraklayıcı olarak kullanılamazlar. Fakat bu koşul bu tesislerin potansiyel dengeleme düzeni olarak kullanılmasını engellemez.

Temel topraklayıcı: Temel topraklayıcılar yapının temel betonu içine gömülü, toprakla doğrudan veya beton aracılığıyla geniş yüzeyli temasta bulunan şerit veya örgülü iletken topraklayıcılardır.



Yeni yapılan binalarda temel topraklayıcı zorunludur.

Doğal topraklayıcılar: Amacı topraklama olmamasına karşın, topraklayıcı olarak etkili olan, toprakla doğrudan veya beton aracılığıyla temasta bulunan yapıların çelik veya betonarme temel kazıkları, çelik konstrüksiyonları, tesisat boruları, vb. iletken bölümler doğal topraklayıcılardır.

Topraklayıcı işlevi olan kablo: Kablo metal kılıflı/siperli veya zırhlı ise, metal kılıfı veya zırhı şerit topraklayıcı gibi işlev yapan kablolardır.

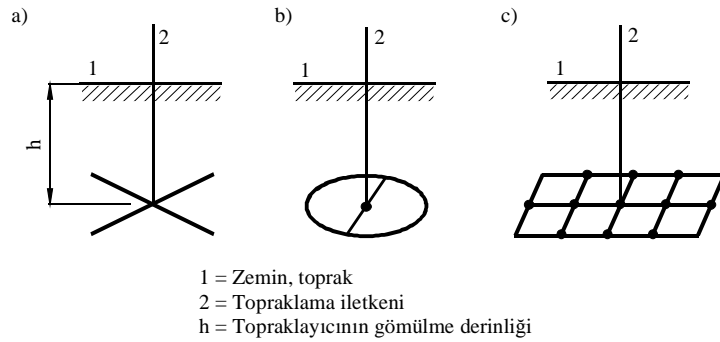
Topraklayıcı bağlantı iletkeni: Topraklayıcıya çıplak bağlanan iletkenin toprak içinde kalan bölümü topraklayıcının parçası sayılır.

Ana topraklama baraları: Her topraklama döşeminde bir ana topraklayıcı barası öngörmek zorunludur. Aşağıdaki iletkenler ana topraklayıcı barasına bağlanmalıdır:

- Topraklama iletkenleri,
- Koruma iletkenleri,
- Potansiyel dengeleme iletkenleri,
- Gerektiğinde işlevsel topraklama için kullanılan topraklama iletkenleri.

#### 1.3.4.2. Topraklayıcı konumu

Yüzey topraklayıcılar: Yüzey topraklayıcılar 0,5 ile 1 m arası derinliğe yerleştirilen galvaniz şerit, dolu yuvarlak veya örgülü iletken topraklayıcıdır. Bu topraklayıcılar yıldız, halka, göz veya bunların karışımı olabilir.



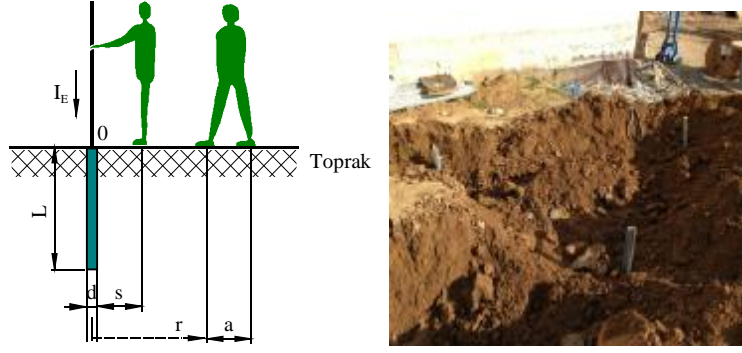
Şekil 1.13. a) Yıldız b) Halka c) Göz topraklayıcılar [4]

Yüzey topraklayıcıların 0,5 ile 1 m derinliğe yerleştirilmeleri mekanik etkenlere karşı yeterli güvenlik sağlarsa da, derinliğin donma sınırının altında olması önerilir. Yüzey topraklayıcılar toprak kanallarının veya temel kazılarının diplerine döşenirler. Topraklayıcıların toprakla çok iyi temas etmeleri gerektiğinden, örtüldükleri dolgu toprağının dövülerek iyice sıkıştırılması, dolgu toprağında kayaların ve çakıl taşların bulunmaması, kumlu, killi olmaması, dolgu toprağının uygun olmaması durumunda dışarıdan getirilen uygun toprakla değiştirilmesi önerilir. Topraklayıcının zemin suyu ile temas etmesi istenir. Buna karşın, topraklayıcının doğrudan doğruya göl ve nehir suyuna konması, bu sulara erimiş madensel tuzlar az olduğu için iletkenlik düşük olduğundan, uygun değildir.

Yapılarda temel topraklayıcılar toprak içine gömülü yüzey topraklayıcı olarak kabul edilir.

Temel topraklayıcılar kapalı göz veya gözler oluşturacak şekilde yapının radyan temellerinin içine yerleştirilir.

Derin topraklayıcılar: Derin topraklayıcılar 1 m'den daha derine yerleştirilen galvaniz boru, köşebent, yuvarlak çubuk veya profil topraklayıcılardır. Toprağa olabildiğince dik olarak çakılmalıdır. Üst uçları toprağın en az 0,5 m altında kalmalıdır. Şekil 1.14'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 gömülmeyp 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. Derin topraklayıcılar arasında mesafe elektrot uzunluğunun en az iki katı kadar açıklık sağlamalıdır.



Şekil 1.14. Üst ucu toprak yüzeyi ile aynı düzeyde toprağa gömülü galvaniz köşebent bulunan çubuk topraklayıcı

### 1.3.5. Toprak özdirenci

Toprağın elektriksel özdirencidir. Bu direnç, genellikle  $W_m$  olarak verilir. Bu direnç, kenar uzunluğu 1 m olan toprak bir küpün karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dirençtir. Toprak özdirenci değişik yerlerdeki toprağın cinsine, tane yapısına, yoğunluğuna ve nemine bağlı olarak değişir. Toprak özdirenci sistemin bulunduğu yerde ölçme yapılarak saptanır. Topraklama direncinin düşürülmesi için mümkünse aşağıda ki toprak tiplerinden biri seçilmelidir.

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

Tablo 1.2'de yukarıda da belirtmiş olduğumuz materyallerin ve diğer toprak sınıflarının özgül dirençleri için sık ölçülen değerleri verilmiştir. Birkaç metre derinliğe kadar topraktaki nem oranının değişimi, toprak özdirencinde geçici değişimlere neden olur. Göz önüne alınması gereken diğer bir durum, değişik derinliklerdeki farklı toprak öz dirençli toprak tabakalarının varlığı nedeniyle toprak özdirencindeki değişimdir.

Tablo 1.2. Alternatif akım frekanslarında toprak özdirenci (sık ölçülen değerler) [7]

Toprağın Cinsi	Toprak Özdirenci
	(ohm.m)
Bataklık	5-40
Çamur, kil, humus	20-200
Kum	200-2500
Çakıl	2000-3000
Havanın etkisiyle dağılmış taş	çoğunlukla<1000
Kumtaşı	2000-3000
Morenin(Buzultaş)	>30000
Granit	>50000

### 1.3.5.1. Toprak özgül direnç ölçümü

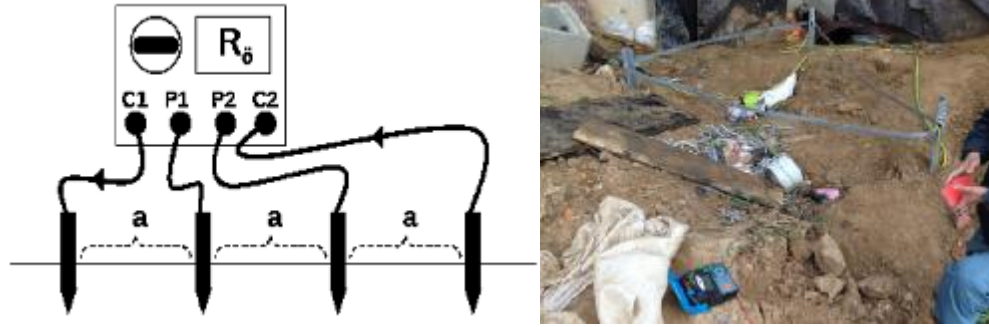
Toprak yayılma direncini veya topraklama direncini önceden belirlemek amacıyla toprak özdirencinin ölçülmesi, bu direncin çeşitli derinlikler için tespit edilmesini sağlayan “Dört Sonda Yöntemi” (Wenner Yöntemi) ile yapılmalıdır. Wenner yöntemi dışında Schlumberger, dipol-dipol, tek elektrot-dipol, yarım Wenner ve yarım Schlumberger gibi çeşitli klasik yöntemleri kullanmakta mümkündür.

Yukarıda adı geçen tüm geleneksel yöntemler, 4 adet ölçüm kazığının bir doğru boyunca değişik aralıklarla toprağa çakılması ile uygulanırlar.

Küçük aralıklarla yapılan ölçümlerde özel geliştirilmiş ölçüm cihazlarından yararlanılırken, büyük aralıklarla yapılan ölçümlerde ise voltmetre-ampermetre yöntemi kullanılır. Ölçüm cihazının C1 ucundan 100-150 Hz frekanslı + I akımı toprağa gönderilir. Bu akım - I olarak C2 ucundan geri döner. Bu akımlar, P1 ve P2 uçlarında  $U$  kadar bir potansiyel farkı yaratırlar. Ölçüm cihazları  $U/I$  oranını  $\Omega$  cinsinden direkt olarak verirler [9].

Yeni nesil ölçüm cihazları  $U/I$  oranının yanında “ $k$ ” faktörünü de saptayıp direkt olarak görünür özdirenci de verebilmektedir.

Dört sonda yöntemi (Wenner yöntemi):



Şekil 1.15. Dört sonda yöntemi [9] Megger ile Wenner yöntem ölçümü

$$U_{p1} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) \quad (1.2)$$

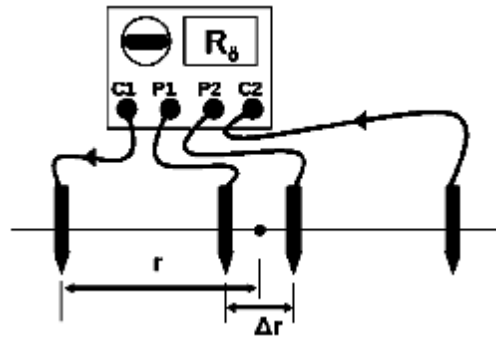
$$U_{p2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \quad (1.3)$$

$$U = U_{p1} + U_{p2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) \quad (1.4)$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{a} \quad (1.5)$$

$$\rho = 2\pi a R \quad (1.6)$$

Burada,  $U$ : Elektrik potansiyeli [V],  $I$ : Akım şiddeti [A],  $U_{P1}$ : P1 noktasındaki potansiyel [V],  $U_{P2}$ : P2 noktasındaki potansiyel [V],  $\rho$ : Görünür özgül direnç [ $\Omega$ ],  $a$ : Sondalar arası mesafe [m]'dir. Schlumberger yöntemi ise:



Şekil 1.16. Schlumberger Yöntemi [9]

$$U_{p1} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r - \frac{\Delta r}{2}} - \frac{1}{r + \frac{\Delta r}{2}} \right) \quad (1.7)$$

$$U_{p2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r + \frac{\Delta r}{2}} - \frac{1}{r - \frac{\Delta r}{2}} \right) \quad (1.8)$$

$$U = U_{p1} - U_{p2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r - \frac{\Delta r}{2}} - \frac{1}{r + \frac{\Delta r}{2}} - \frac{1}{r + \frac{\Delta r}{2}} + \frac{1}{r - \frac{\Delta r}{2}} \right) \quad (1.9)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{2r + \Delta r - 2r + \Delta r}{r^2 - \frac{\Delta r^2}{4}} \right) \quad (1.10)$$

$|P_1 P_2| \leq \frac{|C_1 C_2|}{10} \left( \Delta r \leq \frac{r}{5} \right)$  olması koşuluyla,

$$R = \frac{\rho}{2\pi r^2} \left( \frac{2\Delta r}{1 - \frac{\Delta r^2}{4r^2}} \right) \quad (1.11)$$

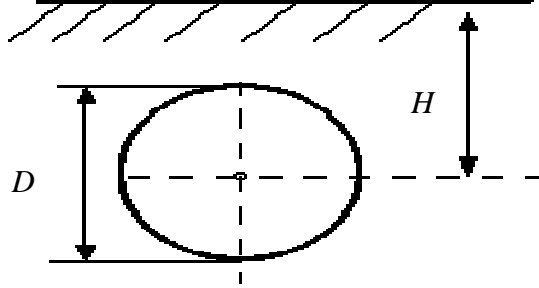
$$\rho = \pi \frac{r^2}{\Delta r} R \quad (1.12)$$

### 1.3.6. Yayılma direnci

Bir topraklayıcı ya da topraklama tesisi ile referans toprağı arasındaki geçiş direncidir. Bir topraklayıcının yayılma direnci, özgül toprak direnci ile topraklayıcının boyutları ve düzenleme biçimine bağlıdır. Yayılma direnci, yaklaşık olarak ohmik direnç kabul edilebilir. Bazı elektrot şekilleri için yayılma dirençleri aşağıdaki hesap yöntemi ile belirlenir.

- $H$  derinliğe gömülü küre topraklayıcının yayılma direnci:

Çapı  $D$  olan küre topraklayıcı yeryüzünden  $H$  derinliğe gömülmüştür.



Şekil 1.17. Küre şeklindeki topraklayıcı [2]

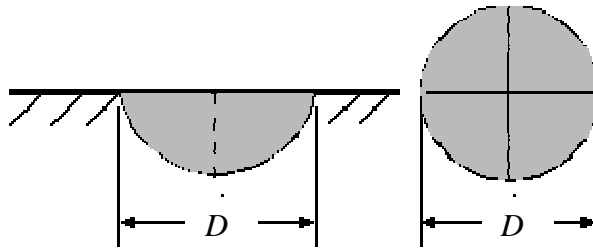
Burada,  $R_E$ : Yayılma direnci [ $\Omega$ ],  $\rho_E$ : Toprak öz direnci [ $\Omega.m$ ],  $D$ : Halka topraklayıcının çapı [m],  $H$ : Gömülme derinliği [m]'dir.

$$R_E = \frac{\rho_E}{4\pi} \left( \frac{2}{D} + \frac{1}{2H} \right) \quad (1.13)$$

$H \gg D$ 'dir.

- yarım küre topraklayıcının yayılma direnci:

Küre tam ortasından kesilerek yarım küre elde edilir. Yarım küre topraklayıcı kesme yüzeyi toprak yüzeyi ile aynı düzeyde bulunacak şekilde toprak içine gömülmüştür. Denklem (1.14)'de yarım küre topraklayıcının yayılma direnci gösterilmiştir.



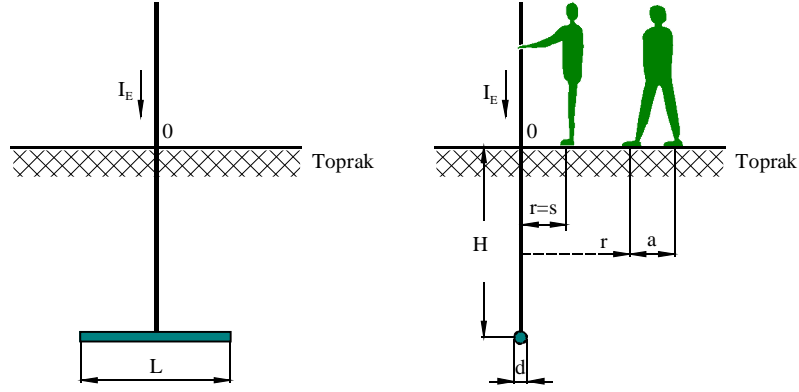
Şekil 1.18. Yarım küre topraklayıcı [2]

$$R_E = \frac{\rho_E}{\pi D} \quad (1.14)$$

şeklindedir.

- $H$  derinliğe gömülü şerit topraklayıcının yayılma direnci:

Uzunluğu  $L$  olan şerit topraklayıcı yeryüzünden  $h$  derinliğe gömülmüştür.



Şekil 1.19.  $H$  derinliğe gömülü şerit topraklayıcı

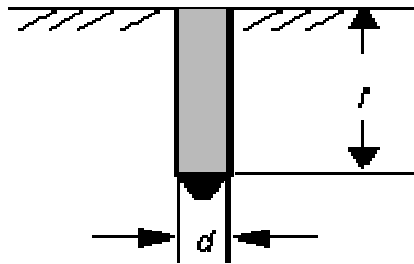
Burada,  $L$ : Topraklayıcının uzunluğu [m],  $d$ : Halka topraklayıcının şerit çapı [m]

$$R_E = \frac{\rho_E}{\pi L} \cdot \ln \frac{L}{\sqrt{dh}} \quad (1.15)$$

$L \gg H$  dir.

- Çubuk topraklayıcı yayılma direnci

Boyu  $L$  olan çubuk topraklayıcı üst ucu toprak yüzeyi ile aynı düzeyde bulunacak şekilde toprak içine dik olarak çakılmıştır.



Şekil 1.20. Çubuk topraklayıcı [2]

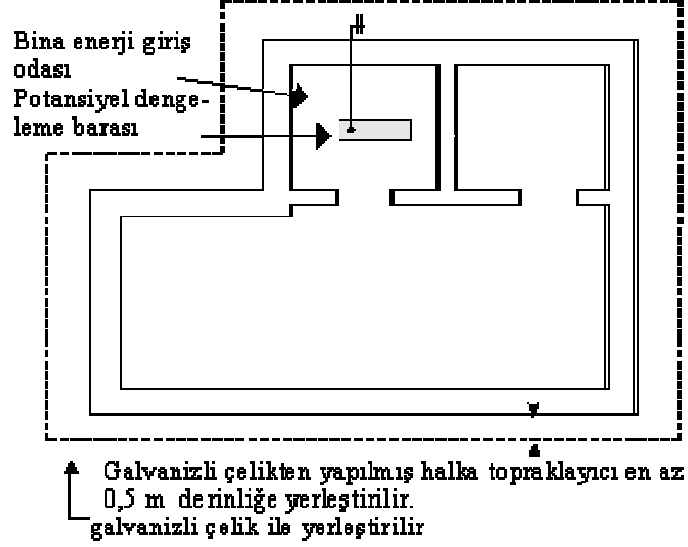
$$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4L}{d} \quad (1.16)$$

$L \gg d$  dir.



- Halka topraklayıcı yayılma direnci

Şerit topraklayıcılar yerden kazanmak için halka şeklinde dar bir alana döşenerek halka topraklayıcılar elde edilir. Denklem (1.17)'de yayılma direnci gösterilmiştir.



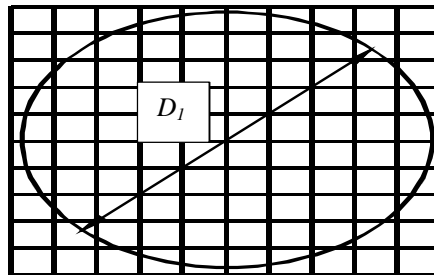
Şekil 1.21. Halka topraklayıcı [10]

$$R_E = \frac{\rho_E}{\pi^2} \left( \frac{1}{2D} \cdot \ln \frac{8D}{d} + \frac{1}{\sqrt{4h^2 + D^2}} \cdot \ln \frac{2\sqrt{4h^2 + D^2}}{h} \right) \quad (1.17)$$

şeklinde gösterilir.

- Göz topraklayıcının yayılma direnci

Göz topraklayıcılar, şerit topraklayıcıların birbirine paralel olarak eşit aralıklarla boyuna ve enine hasır şekline getirilmeleri ve düğüm noktalarında birbirlerine iletken olarak bağlanarak göz oluşturmalarıyla yapılırlar ve yeryüzüne paralel olarak döşenirler.



Şekil 1.22. Gözlü topraklayıcı [4]

Burada,  $D_I$ : Göz topraklayıcının alanına eşit olan daire alanı [ $m^2$ ]’dir.

$$R_E = \frac{\rho_E}{2D_1} \cdot \ln \frac{\rho_E}{L} \quad (1.18)$$

### 1.3.7. 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, topraklayıcı da ki yayılma direnci ve referans toprak noktasından sonraki toprak bölümünün direncinden oluşur. Kısaca topraklayıcının yayılma direnci ile topraklama iletkeninin direncinin toplamıdır. Topraklama direnci ölçüm yöntemleri içinde Sverak ve Schwarz yöntemleri öne çıkarken Thapar-Gerez yöntemi de dikkat çekmektedir.

#### 1.3.7.1. Sverak yöntemi

Denklem (1.19)’da ki Laurent ve Niemann tarafından verilen formüle ağ derinliğini de ilave eden Sverak ağ şeklinde yapılmış bir topraklama tesisinin yayılma direncinin gösterimi Denklem (1.20)’de belirtilmiştir. Bu hesaplama yönteminde istasyon topraklama direncinin minimum değer aldığı homojen toprakta, yer yüzeyi küre topraklama elektrotu olarak kabul edilecektir:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T} \quad (1.19)$$

Burada,  $\rho$ : Toprağın özgül direnci [ $\Omega.m$ ],  $R_g$ : Sistem direnci [ $\Omega$ ],  $L_T$ : Gömülmüş toplam iletken boyu [ $m$ ],  $A$ : Ağın kapladığı alan [ $m^2$ ]’dir.

Denklem (1.20)’de topraklama iletkeni uzunluğuna, topraklama kazıklarının toplam uzunluğu da eklenmiştir. Topraklama kazıklarının iletken uzunluğunun da 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 [17].

Bu eşitliğe iletkenlerin derinliği faktörü de eklenmiştir,

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (1.20)$$

Burada,  $h$ : Ağın gömülme derinliği [m]'dir.

### 1.3.7.2. Schwarz yöntemi

Bu yöntemde yatay iletkenlerin ve düşey çubukların dirençleri ile bunlar arasındaki karşılıklı dirençler dikkate alınmaktadır.

Burada,  $R_g$ : Sistem direnci [ $\Omega$ ],  $R_1$ : Ağ iletkenleri grubunun toprak direnci [ $\Omega$ ],  $R_2$ : Çubuk grubunun toprak direnci [ $\Omega$ ],  $R_m$ : İki grup arasındaki karşılıklı direnç [ $\Omega$ ] olmak üzere sistemin direnci,

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (1.21)$$

şeklinde verilmektedir.

Ağ iletkenlerinin toplam topraklama direnci  $R_1$ ,  $\rho$ : Toprağın özgül direnci [ $\Omega.m$ ],  $L_c$ : Ağdaki yatay iletkenlerin toplam uzunluğu [m],  $2a$ : İletken çapı [m],  $H$ : Ağın gömülme derinliği [m],  $A$ : Ağın kapladığı alan [ $m^2$ ],  $k_1$ ,  $k_2$ : Tablo 1.3'den alınacak katsayılar olmak üzere,

$$a = \sqrt{2ah} \quad (1.22)$$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{a} \right) + \frac{k_1 + L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (1.23)$$

dir. Çubukların toplam direnci  $R_2$ ,

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R} \left[ \ln \left( \frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2k_1 \cdot L_R}{\sqrt{A}} \left( \sqrt{n_R} - 1 \right)^2 \right] \quad (1.24)$$

şeklinde hesaplanır. Burada,  $L_R$ : Bir çubuğun boyu [m]  $2b$ : Çubuk çapı [m]  $n_R$ : Toplam çubuk sayısıdır.

$R_m$  çubuklar ve ağ iletkenleri arasındaki karşılıklı direnç ise,

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{L_R} \right) + \frac{k_1 \cdot L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (1.25)$$

şeklindedir.  $k_1$  ve  $k_2$  katsayıları ağın boy/en oranına ( $\alpha$ ), ağın gömülme derinliğine ( $h$ ) ve ağın kapladığı alana ( $A$ ) bağlıdır. Tablo 1.4'de görüldüğü gibi  $k_1$  ve  $k_2$  katsayıları ağ alanına bağlı olarak verilmektedir. Belirli bir ağ derinliği için katsayıları bulmak maksadı ile ağ alanına bağlı değerler elde edildikten sonra bu değerlerle gerçek ağ derinliği değeri arasında ara kestirim yapılarak katsayılar bulunmalıdır [18].

Tablo 1.3.  $k_1$  ve  $k_2$  katsayıları hesaplama tablosu [11]

<b>h</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
0	- 0.04 $\alpha$ +1.41	0.15 $\alpha$ +5.50
$1/10\sqrt{A}$	-0.05 $\alpha$ +1.20	0.10 $\alpha$ +4.68
$1/6\sqrt{A}$	-0.05 $\alpha$ +1.13	-0.05 $\alpha$ +4.40

### 1.3.8. Topraklama gerilimi

Şekil 1.12'de gösterimi olan toprak potansiyel yükselmesi, bir topraklama tesisi ile referans toprağı arasında oluşan gerilimdir. Topraklayıcı gerilimin formülü aşağıda belirtilmiştir. Formül de  $R_E$  yani yayılma direnci topraklayıcıların çeşitlerine göre daha önce ki konularda ki gösterimine göre yerleştirilecektir. Topraklayıcı geriliminin daha iyi anlaşılabilmesi için kolay bir örnekle açıklanmıştır.

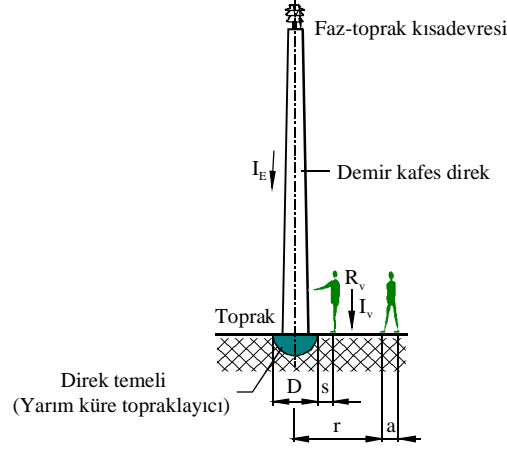
Dikili demir kafes veya betonarme direk yarım küre topraklayıcı için iyi bir örnektir.

Topraklayıcı gerilimini bulmamız için Şekil 1.25'deki yarım küre topraklayıcının yayılma direncini Denklem (1.14)'den yararlanarak topraklayıcı gerilimi,

$$U_E = I_E R_E = I_E \frac{\rho_E}{\pi D} \quad (1.26)$$

şeklinde gösterilir.

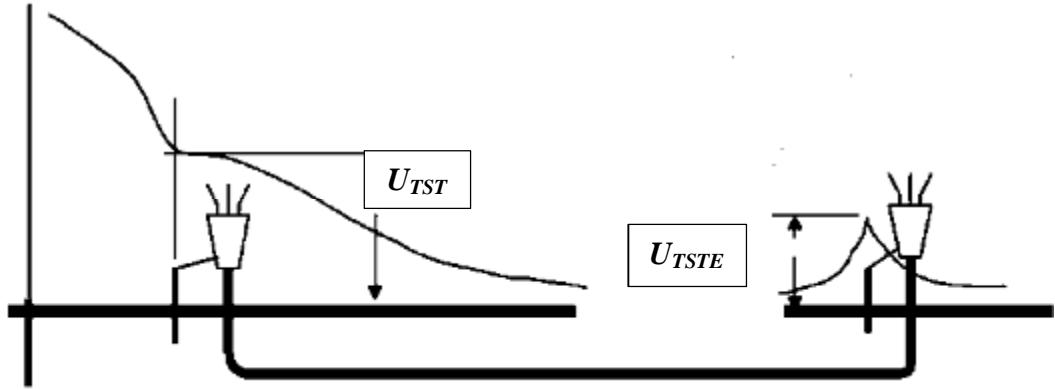
Burada,  $I_E$ : Topraklayıcı akımı [A]'dır.



Şekil 1.23. Demir kafes direğin gömülü kısmı kabaca yarım küre topraklayıcı olarak göz önüne alınır

### 1.3.9. Potansiyel sürüklenmesi

Bir topraklama tesisinin yükselen potansiyelinin, bu tesise bağlı bir iletken (örneğin, metal kablo kılıfları, PEN iletkeni, su borusu, demiryolu) ile potansiyeli daha düşük olan bölgeye veya referans toprak bölgesine taşınmasıdır. Şekil 1.24'de gösterilen bu iletkenin, çevresine göre bir potansiyel farkı oluşur.

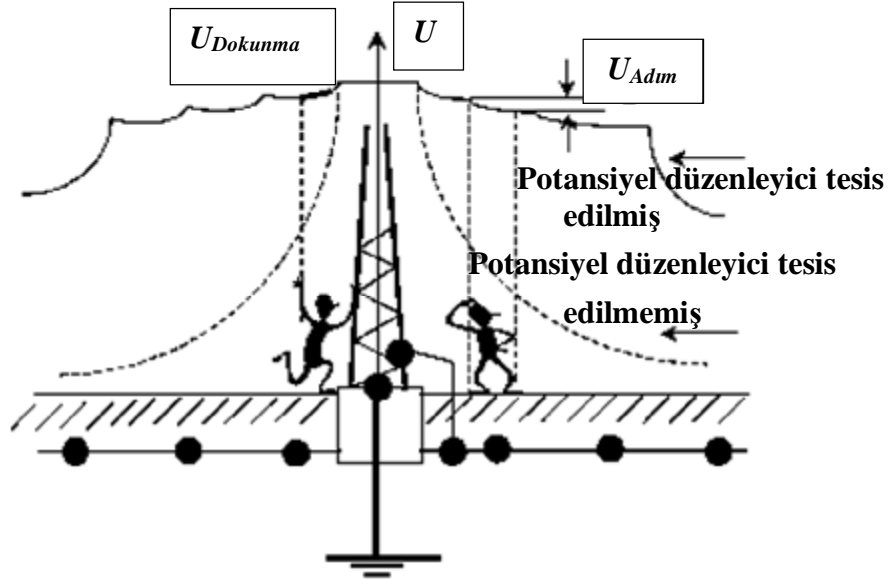


Şekil 1.24. Potansiyel sürüklenme örneği [12]

Burada,  $U_{TST}$ : Sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi, eğer kılıf en uzak noktada topraklanmamış ise,  $U_{TSTE}$ : Sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi, eğer kılıf en uzak noktada topraklanmış ise.

### 1.3.10. Potansiyel düzenlenmesi

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



Şekil 1.25. Potansiyel düzenlenmesi örneği [12]

Burada,  $U_{Dokunma}$ : Mümkün olan en büyük dokunma gerilimi,  $U_{Adım}$ : Mümkün olan en büyük adım gerilimidir.

### 1.3.11. Potansiyel dengelenme hattı ve dengelenmesi

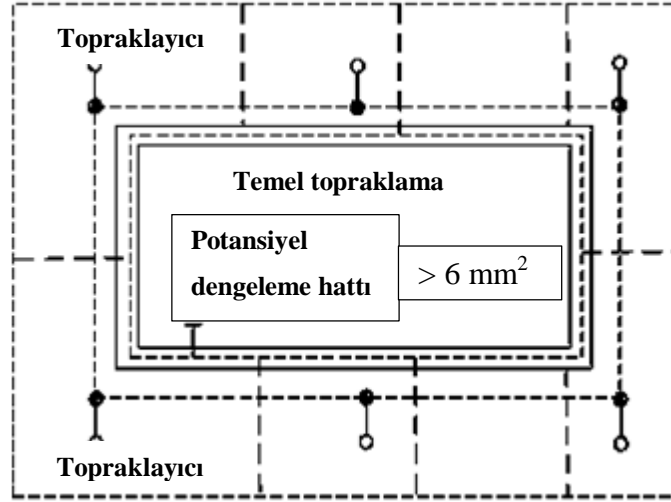
Potansiyel dengelenmeyi sağlamak amacıyla kullanılan bağlantı iletkenleridir. Potansiyel dengeleme potansiyel farklarının ortadan kaldırılmasıdır. Örneğin, koruma iletkenleri ile iletken borular ve iletken yapı bölümleri arasında ya da bu borularla yapı bölümleri arasında ki potansiyel farklarının giderilmesi amacıyla yapılan düzenlemelerdir.

Her tesisatta ana koruma potansiyel dengeleme iletkenleri, binanın aşağıda bildirilen açıktaki iletken bölümleri, tesisatın ana topraklama ucuna, ana potansiyel dengeleme barasına bağlanacaktır.

- Su boruları (topraklayıcı olarak kullanılamaz),
- Gaz tesisat boruları,

- Merkezi ısıtma ve klima sistemleri,
- Binanın açığındaki metal bölümleri,
- Yıldırımdan korunma sistemleri.

Ana potansiyel dengeleme iletkeninin Şekil 1.26'da görüldüğü gibi kesit alanı tesisatın topraklama iletkeni için gerekli kesit alanının yarısından ve  $6 \text{ mm}^2$  den az olmayacaktır.



Şekil 1.26. Bir şalt sahasında topraklama [10]

Eğer potansiyel dengeleme iletkeni bakır ise veya diğer metallerde bakıra eşdeğer iletkenlik veren bir kesit alanına sahip ise, kesit alanının  $25 \text{ mm}^2$ 'yi aşması gerekmez.

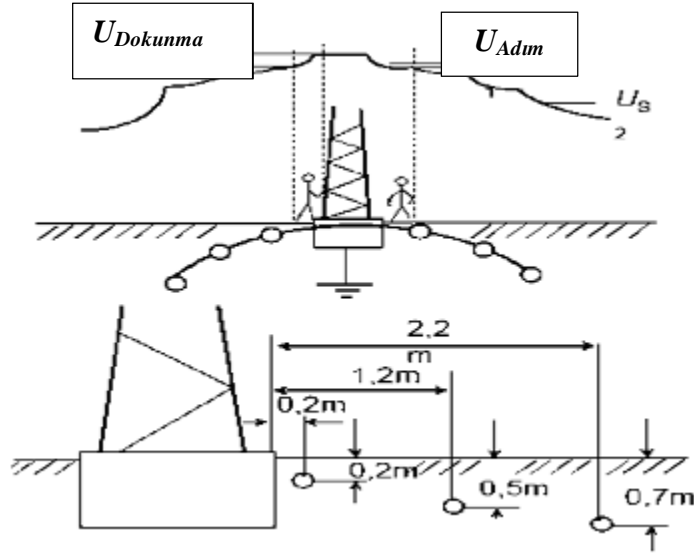
### 1.3.12. Global topraklama sistemi

Yerel topraklama tesislerinin birbirlerine bağlanmasıyla elde edilen ve birbirlerine yakın mesafede bulunan topraklama tesislerinde hiçbir tehlikeli topraklama geriliminin (toprak potansiyel yükselmesi) ortaya çıkmamasını sağlayan bir topraklama sistemidir. Böyle sistemler, toprak arıza akımının bölünmesine izin vererek, yerel topraklama sisteminde topraklama geriliminin küçültülmesini sağlar. Böyle bir sistem bir eş potansiyel yüzey oluşturur.

### 1.3.13. Topraklayıcıdan akım geçmesi

Bir topraklayıcıdan (topraklama elektrotundan) toprağa akım aktığı zaman, topraklayıcıdan itibaren çevreye doğru akım yayılması meydana gelir. Bu yayılma topraklayıcı çevresindeki potansiyelin yükselmesine yol açar. Toprak içinde eş potansiyel 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 1.27’de bir çubuk elektrot çevresindeki, gerçek değerlere göre çizilmiş, potansiyel dağılımı gösterilmiştir. Elektrota yakın noktalarda potansiyel, hızla değişmektedir.



Şekil 1.27. Potansiyel düzenleme elektrotları [12]

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



## 2. YÜKSEK GERİLİM MERKEZLERİNDE TOPRAKLAMA

YG topraklama döşemlerinin kurulmasında dört koşul göz önüne alınır,

- Mekanik zorlamalara ve korozyona dayanıklılığın sağlanması
- En büyük faz-toprak kısa devre akımında ısı dayanıklılığın sağlanması
- En büyük faz-toprak kısa devre akımında topraklama döşeminde ortaya çıkabilecek gerilimlere karşı can güvenliğinin sağlanması
- Ayrıca, işletme araçlarının ve nesnelere zarar görmelerinin önlenmesi

Bu koşullara göre topraklama döşeminin boyutlandırılabilmesi için faz-toprak kısa devre akımının değerinin ve süresinin, toprağın özelliklerinin bilinmesi gerekir. Gerilim düzeyleri farklı olan döşemelerde, koşullar her gerilim düzeyi için ayrı ayrı göz önüne alınır.

### 2.1. Mekanik Zorlamalara ve Korozyona Dayanıklılığa Göre Boyutlandırma

Topraklayıcılar sürekli olarak toprakla temasta bulunacağından, korozyona (kimyasal ve biyolojik etkiler, oksitlenme, elektrolitik korozyon ve elektroliz) dayanıklı malzemeden yapılmalıdır. Topraklayıcılar aynı zamanda çakma sırasındaki mekanik zorlamalara ve normal işletmede karşılaşılabilecek mekanik etkilere dayanmalıdır. Yapıların beton temeline gömülen çelik hasır ve çelik kazıklar veya başka doğal topraklayıcılar topraklama döşeminin bir bölümü olarak kullanılabilir.

Topraklayıcıların mekanik zorlamalara ve korozyona dayanıklı en küçük boyutlar Tablo 2.1'de verilmiştir. Potansiyel dengeleme iletkenleri için de aşağıdaki en küçük iletken kesitleri geçerlidir.

Topraklayıcılardan sonra topraklama iletkenlerinin mekanik zorlamalara ve korozyona dayanıklı en küçük kesitleri,

- Bakır 16 mm<sup>2</sup>
- Alüminyum 35 mm<sup>2</sup>

- Çelik 50 mm<sup>2</sup>

Ölçü transformatörlerinin sekonder devrelerinin topraklanmasında en küçük bakır iletken kesiti 2,5 mm<sup>2</sup>, eğer topraklama iletkeni mekanik olarak korunmamış ise 4 mm<sup>2</sup> dir.

Tablo 2.1. Topraklayıcıların mekanik zorlamalara ve korozyona dayanıklı en küçük boyutları [2]

Malzeme	Topraklayıcı çeşiti	En küçük boyutlar						
		İletken			Kaplama/ Dış kılıf			
		Çap [mm]	Kesit [mm <sup>2</sup> ]	Kalınlık [mm]	Tekil değerler [µm]	Ortalama değerler [µm]		
Çelik	Sıcak daldırma galvaniz	Şerit <sup>(**)</sup>		90	3	63	70	
		Profil (Levhalar dahil)		90	3	63	70	
		Boru	25		2	47	55	
		Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk	16			63	70	
		Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel	10				50	
	Kurşun kılıflı <sup>(*)</sup>	Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel	8			1000		
	Sıvanmış bakır kılıflı	Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk	15			2000		
	Elektrolitik bakır kaplamalı	Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk	14,2			90	100	
Bakır	Çıplak	Şerit		50	2			
		Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel		25 <sup>(***)</sup>				
		Örgülü iletken	1,8 <sup>(****)</sup>	25				
		Boru	20		2			
	Kalaylı	Örgülü iletken	1,8 <sup>(****)</sup>	25		1	5	
	Galvanizli	Şerit		50	2	20	40	
		Kurşun kılıflı <sup>(*)</sup>	Örgülü iletken	1,8 <sup>(****)</sup>	25		1000	
			Yuvarlak tel		25		1000	

(\*) Yapının beton temeli içine doğrudan gömülenler için uygun değildir.

(\*\*) Kenarları yuvarlatılmış, soğuk çekme veya kesilmiş şeritler

(\*\*\*) Deneyimlere dayanarak, mekanik veya korozyon aşınması tehlikesinin çok az olduğu saptanırsa olağanüstü koşullarda 16 mm<sup>2</sup> olabilir.

(\*\*\*\*) Örgülü iletkeni oluşturan her bir tel için

## 2.2. Isıl Dayanıklılığa Göre Boyutlandırma

5 s içinde kesilebilen hata akımları için topraklayıcıların ve topraklama iletkenlerinin kesiti ETTY'nin 5.c maddesinde verilmiştir,

$$A = \frac{I}{k} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} \quad (2.1)$$

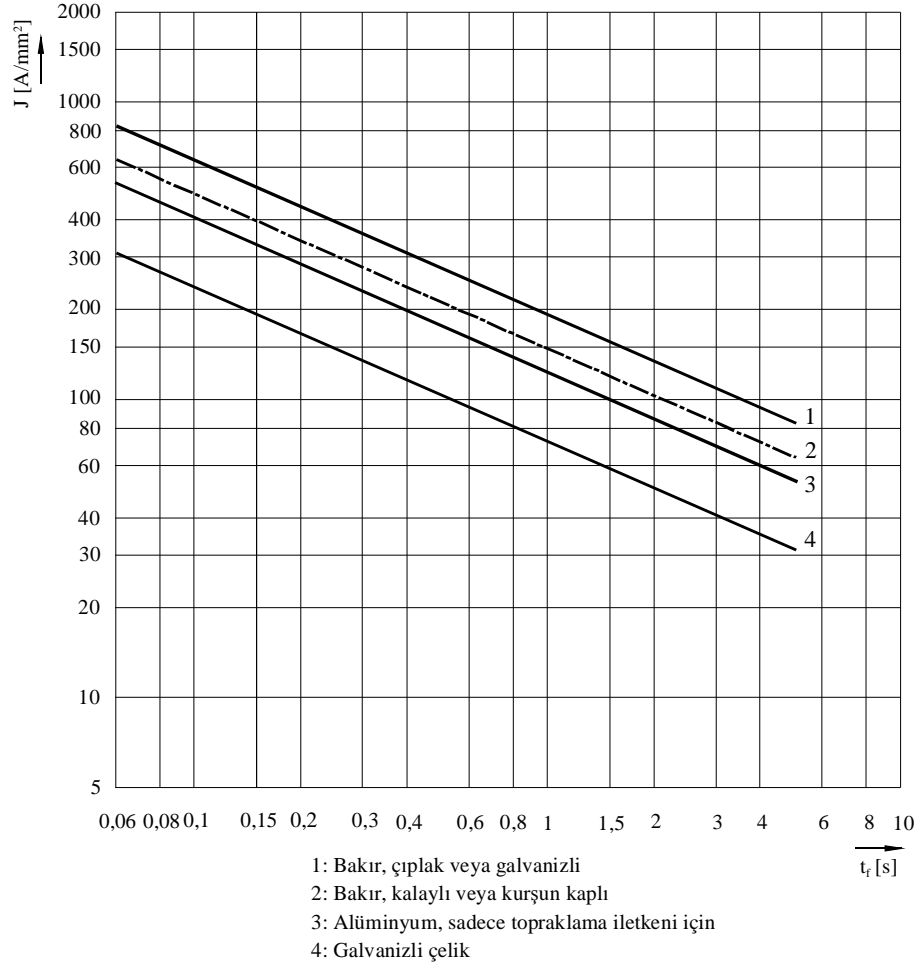
Burada,  $A$ : İletken kesiti [ $\text{mm}^2$ ],  $I$ : Faz-toprak kısıadevre akımı [A],  $t$ : Hata akımı süresi [s],  $\theta_i$ : Başlangıç sıcaklığı [ $^{\circ}\text{C}$ ], (bu değer IEC 60287-3-1 den alınır. Bir değer saptanamamışsa 1 m derinlikteki toprak sıcaklığı  $20^{\circ}\text{C}$  alınır.),  $\theta_f$ : Son sıcaklık [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $k$ : Akım taşıyan kısmın malzemesine bağlı katsayı,  $\beta$ : Akım taşıyan kısmın malzemesine bağlı  $0^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki direncinin sıcaklık katsayısının tersidir.

Toprağa gömülü topraklayıcılar ve havada döşeli topraklama iletkenleri için yaygın koşullarda  $20^{\circ}\text{C}$  başlangıç sıcaklığı ve  $300^{\circ}\text{C}$  ye kadar son sıcaklık için kısa devre akım yoğunluğu Şekil 2.1’de, daha uzun süreli hata akımları için izin verilen kesitler Şekil 2.1. a ve b de verilmiştir.

Tablo 2.2.  $k$  ve  $\beta$  sayıları [2]

Malzeme	$k$ [ $\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$ ]	$\beta$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
Bakır	226	234,5
Alüminyum	148	228
Çelik	78	202

Topraklayıcıların çevresindeki toprak sıcaklığı göz önüne alınmamıştır. Deneyimler toprak sıcaklığının önemsiz olduğunu göstermiştir.

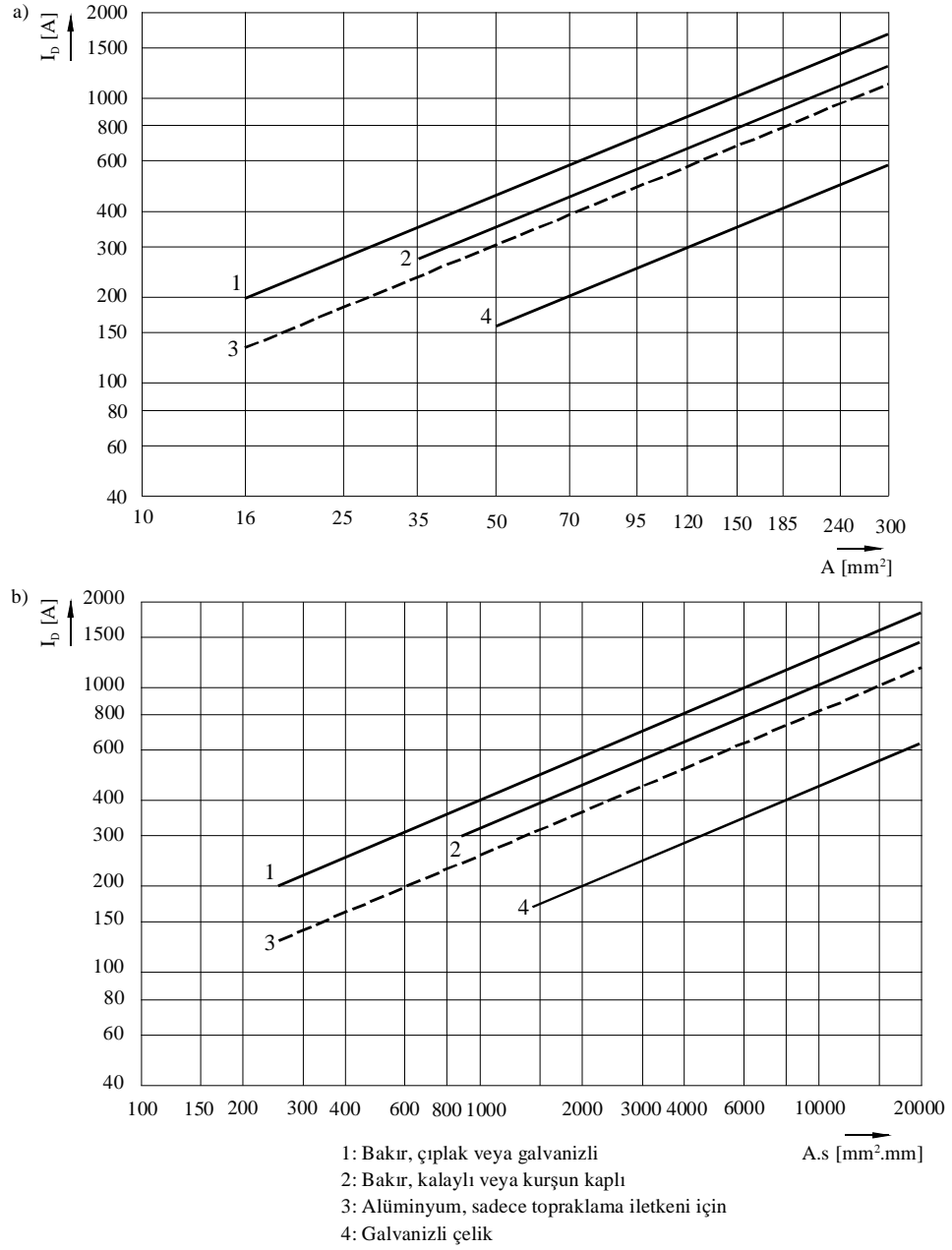


Şekil 2.1.  $t_F$  hata akımının süresine bağlı olarak topraklayıcılar ve topraklama iletkenleri için J kısa devre akım yoğunluğu eğrileri.

1, 3 ve 4 eğrileri 300°C, 2 eğrisi 150°C son sıcaklık için geçerlidir. 300°C'den farklı son sıcaklıklar seçilirse Şekil 2.1 a ve b den alınacak 1, 2 ve 3 değerleri Tablo 2.3'deki düzeltme katsayılarıyla çarpılır.

Tablo 2.3. 300°C den farklı son sıcaklıklarda Şekil 2.1'den alınacak 1, 2 ve 3 değerleri için düzeltme katsayıları.

Son sıcaklık [°C]	Düzeltilme katsayısı
400	1,2
350	1,1
<b>300</b>	<b>1</b>
250	0,9
200	0,8
150	0,7
100	0,6



Şekil 2.2. a) Dairesel kesitli, b) Kesit x profilin çevresi çarpımına bağlı olan dikdörtgen kesitli topraklama iletkenleri için  $I_D$  sürekli akım eğrileri.

1, 3 ve 4 eğrileri 300°C, 2 eğrisi 150°C son sıcaklık için geçerlidir. Farklı son sıcaklıklar için düzeltme katsayıları Tablo 2.3'de verilmiştir.

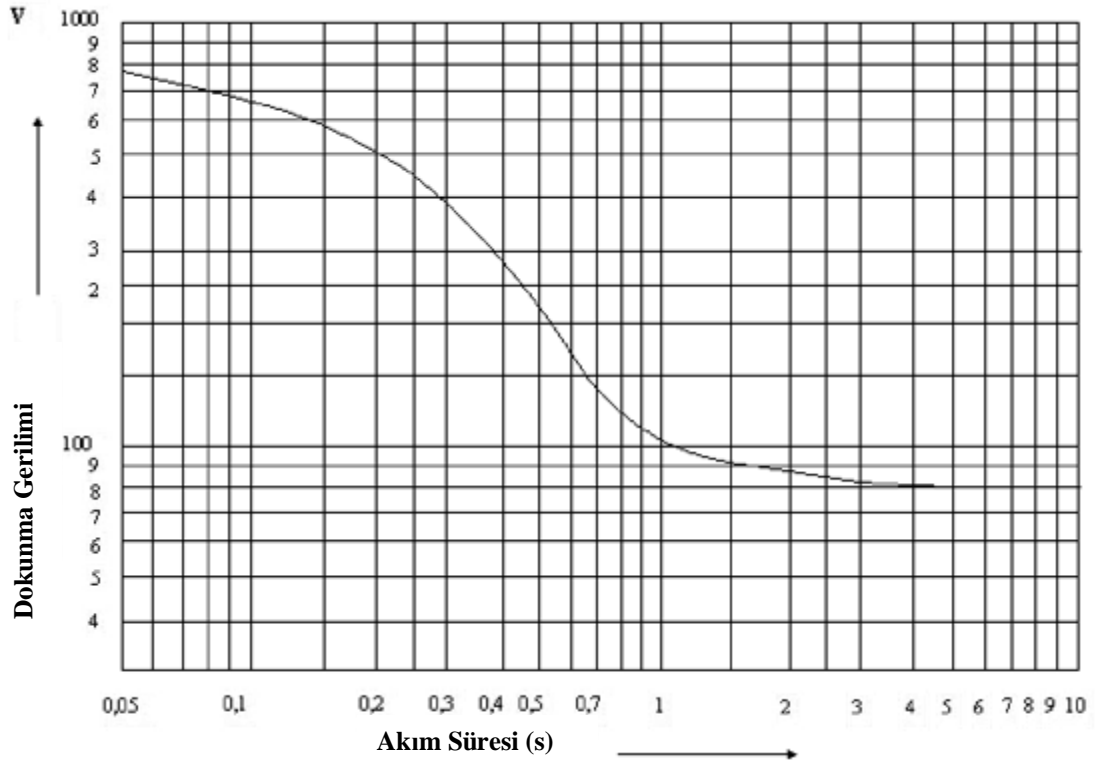
### 2. 3. Dokunma ve Adım Gerilimine Göre Boyutlandırma

Can güvenliği için tehlikeli olan vücuttan akan akımdır. Vücut akımının etki süresinin sınır değerleri için izin verilen en büyük dokunma gerilimleri Şekil 2.3'de

verilmiştir. Bu dokunma gerilimlerinin saptanmasında ek dirençler (Örneğin, kauçuk tabanlı elektrikçi ayakkabısı, yalıtkan halı, vb) hesaba alınmamıştır.

Adım gerilimi için izin verilen değerin tanımlanması gerekli değildir.

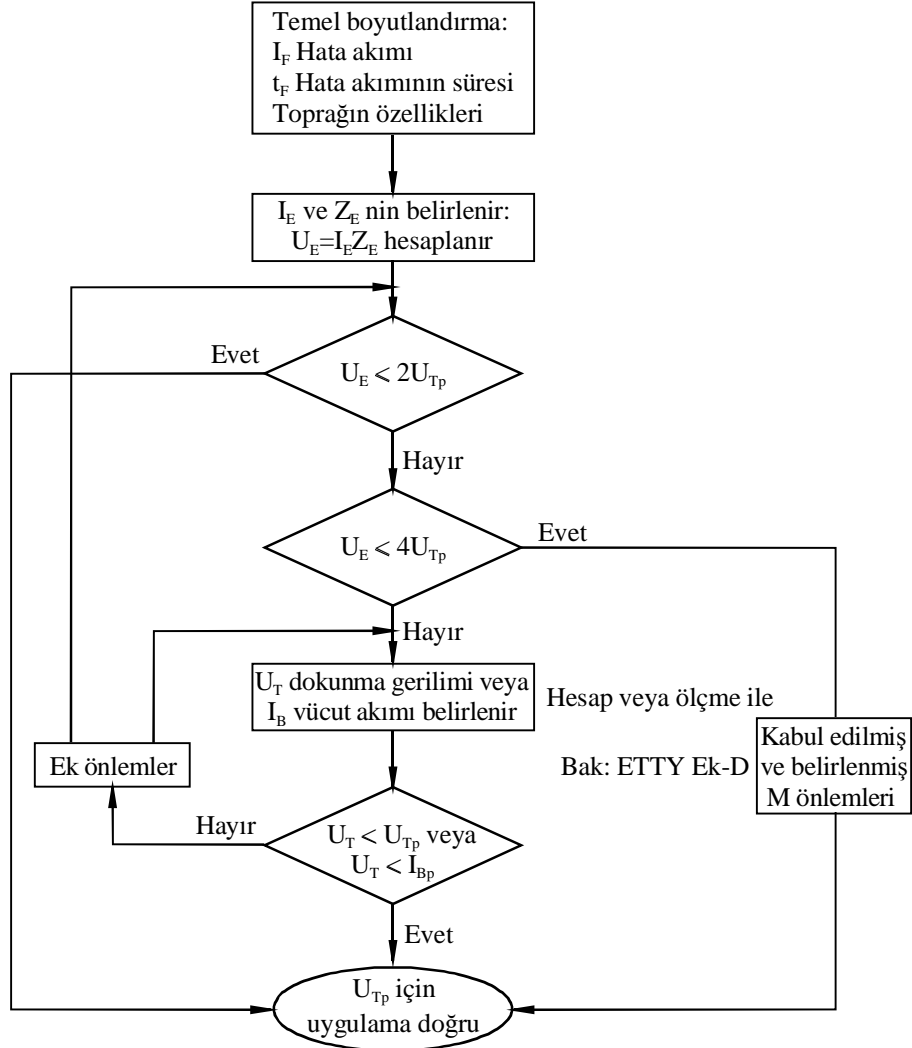
ETTY nde madde 5.d.1'e göre, adım gerilimleri için verilen değerler dokunma gerilimi için verilen değerlerden biraz daha büyük olduğundan, uygulamada yalnız dokunma geriliminin göz önüne alınması yeterlidir.



Şekil 2.3. Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri  $U_{dokunma}$  [10]

Şekil 2.3'de gördüğümüz eğri sadece YG şebekelerindeki toprak hataları için geçerlidir. Akım, diyagramda verildiğinden daha uzun süre akarsa  $U_{Dokunma}$  dokunma gerilim değeri için 75 V değeri kullanılabilir.

Topraklama döşeminin temel tasarımında bölümün başındaki ilk 3 koşul aranır. Tasarım  $U_T$  dokunma gerilimine göre denetlenir.  $U_T$  dokunma geriliminin veya  $U_E$  topraklama geriliminin denetlenmesi ile  $U_{Dokunma}$  izin verilen dokunma gerilimi için, Şekil 2.4'de ortak (global) topraklama döşeminin bir parçası olmayan topraklama döşeminin uygun seçim yolunu gösteren akış şeması [10],



Şekil 2.4. Topraklama tesislerinin yapılması [10]

Ek dirençler ETTY Ek-C de gösterilen yöntem ile hesaplanır.

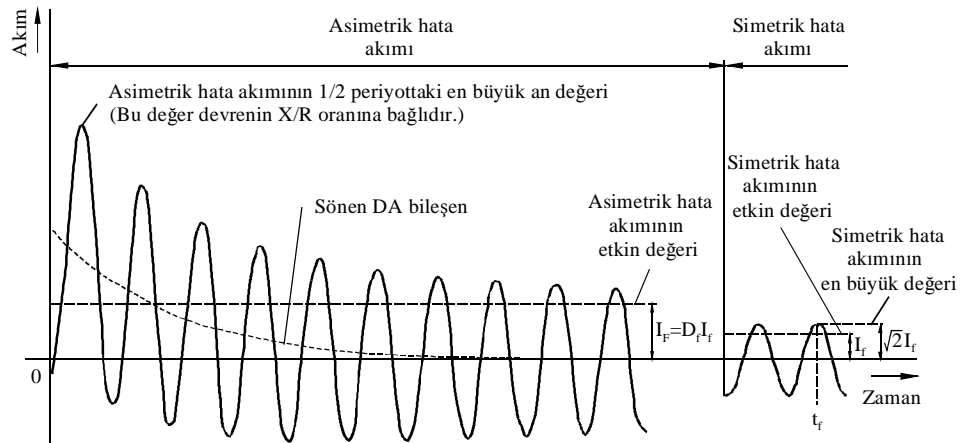
### 3. YÜKSEK GERİLİM MERKEZLERİNDE TOPRAKLAMA HESABI

YG merkezlerinde topraklama hesabı için IEEE Std. 80-2000 standartlarına uyulacaktır. Standarttaki tanımlar ve bağıntılar özet olarak İngilizceden Türkçeye çevrilmiş şekilde aşağıda belirtilmiştir. Bağıntılara verilen sayılar standarttaki sayılardır. Bağıntılardaki denklem sembolleri tez içerisinde bir bütünlük oluşturmak ve sembol karışıklığına yol açmaması için ETTY standardına göre gösterilmiştir. Denklem numaralandırmaları standartlardaki sıralamaya göre yazılmıştır.

#### 3.1. Tanımlar

##### 3.1.1. Asimetrik hata akımının etkin değeri

Hata akımının sönen DA (doğru akım) bileşeni sifıra düştükten sonra, asimetrik hata akımı simetrik hata akımına dönüşür. Şekil 3.1’de hata süresi aralığında, asimetrik hata akımının etkin değeri simetrik hata akımının etkin değerlerinden küçüktür.



Şekil 3.1.  $t_f$  süresi içinde hata akımının gerçek değerleri ve  $I_F$ ,  $I_f$ ,  $D_f$  değerleri arasındaki ilişki [11]

Asimetrik ve simetrik hata akımlarının etkin değerleri arasındaki oran azalma katsayısıyla göz önüne alınır.

$$I_F = D_f I_f \quad (3.1)$$



Burada,  $D_f$ : Azalma katsayısı (1 den büyüktür),  $I_f$ : Asimetrik hata akımının etkin değeri [A],  $I_s$ : Simetrik hata akımının etkin değeri [A]'dır.

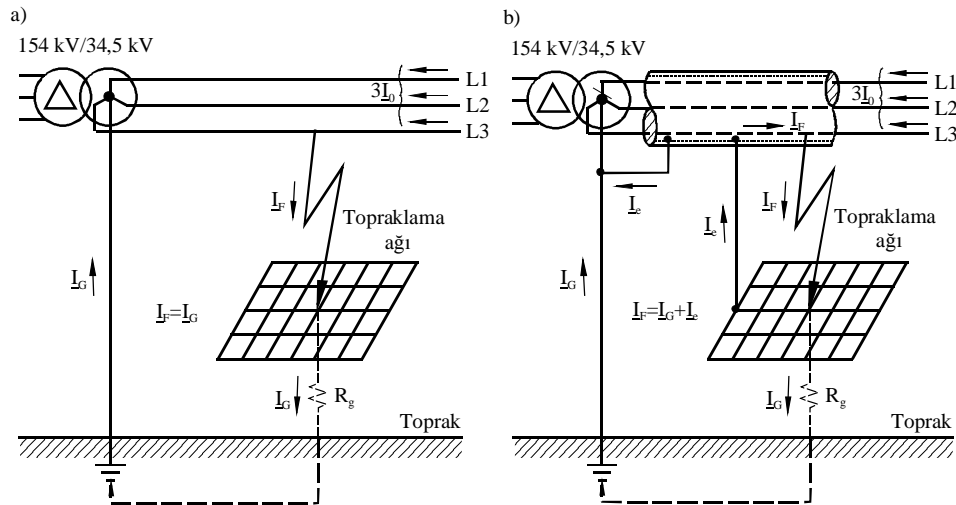
$D_f$  azalma katsayısı için bilgi alınacak değerler:

Tablo 3.1. Azaltma katsayısı oranları [11]

Hata süresi $t_f$ [s]	$D_f$ azalma katsayısı			
	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0,00833	1,576	1,648	1,675	1,688
0,05	1,232	1,378	1,462	1,515
0,10	1,125	1,232	1,316	1,378
0,20	1,064	1,125	1,181	1,232
0,30	1,043	1,085	1,125	1,163
0,40	1,033	1,064	1,095	1,125
0,50	1,026	1,052	1,077	1,101
0,75	1,018	1,035	1,052	1,068
1,00	1,013	1,026	1,039	1,052

### 3.1.2. Hata akımı bölünme katsayısı

Faz-toprak hatasında, genellikle topraklama ağından hata akımının bir kısmı geçer. Hata akımının kalan kısmı, örneğin, hatanın olduğu hava hattının toprak iletkeninden, topraklanmış yeraltı kablolarının metal kılıflarından, su borularından, yapıların çelik konstrüksiyonundan ve temel topraklamasından geçer. Topraklama ağından geçen kol hata akımı bölünme katsayısı ile göz önüne alınır.



Şekil 3.2. YG merkezinde faz-toprak hatasında [11]

Şekil 3.2’de L3 fazında faz-toprak hatası oluşmuştur. Şekil 3.2a’da  $I_F$  hata akımı topraklama ağı üzerinden doğrudan toprağa akmaktadır. Şekil 3.2b’deki ise  $I_F$  hata akımı,  $I_G$  topraklama ağından akan akım ve  $I_e$  metal kılıftan akan akım olmak üzere iki kola ayrılmıştır. Eğer kablonun metal kılıfı yoksa veya topraklanmamışsa  $S_f = 1$ ’dir.

Simetrik hata akımının, topraklama ağı ve çevre toprağı arasında akan kol hata akımına oranının tersi bölünme katsayısıdır.

$$S_f = \frac{I_g}{(3I_0)} \quad (3.2)$$

Burada,  $S_f$ : Hata akımı bölünme katsayısı,  $I_g$ : Simetrik topraklama ağı akımının etkin değeri [A],  $(3I_0)$ : Sıfır dizin hata akımı [A]’dır.

### 3.1.3. En büyük topraklama ağı akımı

Denklem (3.1)’den,

$$I_G = D_f I_g \quad (3.3)$$

Burada,  $D_f$ : Azalma katsayısı,  $I_G$ : En büyük topraklama ağı akımı [A],  $I_g$ : Simetrik topraklama ağı akımının etkin değeri [A]’dır.

### 3.1.4. Simetrik topraklama ağı akımı

Topraklama ağı ve çevre toprağı arasında akan kol simetrik hata akımı, Denklem (3.2)’de  $I_f = (3I_0)$  olduğu yazılırsa,

$$I_g = S_f I_f \quad (3.4)$$

Burada,  $I_f$ : Simetrik hata akımının etkin değeri [A]’dır. Başka simetrik olmayan şebeke hatalarında toprak üzerinden büyük akımların geçmesi beklenebilir. Topraktan geçen akımın bir kısmı arıza yerinde bulunan bir kimsenin üzerinden geçerse hayatı tehlikeye girebilir.

### 3.1.5. Simetrik toprak hata akımı

Toprak hatasının başladığı sıfır anından sonraki ilk akım dalgasının ilk yarım periyodunda simetrik bileşenin etkin değeri simetrik hata akımının en büyük değeridir. Faz-toprak hatası için,

$$I_{f(+0)} = 3I_0'' \quad (3.5)$$

Burada,  $I_{f(+0)}$ : Başlangıç simetrik toprak hata akımının etkin değeri,  $I_0''$ : Hatanın başlangıç anından sonra hemen gelişen sıfır dizin simetrik akımın etkin değeridir.

### 3.2. Kabul Edilebilir Akım Aralığı

#### 3.2.1. Genlik ve hata süresinin etkisi

Vücut tarafından soğurulan enerji ile vücuttan 0.03-3 s süre ile geçen  $I_B$  fibrilasyonsuz akım arasındaki bağıntı,

$$S_B = I_B^2 t_s \quad (3.6)$$

Burada,  $S_B$ : Elektrik şok enerjisine bağlı olan deneysel katsayı,  $I_B$ : Vücut akımının etkin değeri [A],  $t_s$ : Vücut akımının etki süresi [s]'dir.

### 3.3. Kabul Edilebilir Vücut Akımı Sınırı

#### 3.3.1. Hata Süresi

Vücut akımının genlik ve etki süresi arasındaki bağıntı,

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad (3.7)$$

Denklem (3.6)'dan yararlanarak,

$$k = \sqrt{S_B} \quad (3.8)$$

- Vücut ağırlığı 50 kg ise deneysel katsayı  $S_B = 0,0135$  buradan  $k_{50} = 0,116$  olduğundan, vücut akımı:

$$I_B = \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \text{ (50 kg vücut ağırlığı için)} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)'da  $t_s = 1$  s için 116mA,  $t_s = 0,1$  s için 367 mA değerlerini verir. Denklem (3.7) vücut akımının etki süresi 0,03 ile 3 s arasında geçerlidir. Çok küçük veya büyük etki süreleri için geçerli değildir.

- Vücut ağırlığı 70 kg ise deneysel katsayı  $S_B = 0,0246$  buradan  $k_{70} = 0,157$  olduğundan, vücut akımı:

$$I_B = \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \text{ (70kg vücut ağırlığı için)} \quad (3.10)$$

Bu standardı kullananlar ortalama vücut ağırlığını en az 70 kg alarak  $k = 0,157$  değerini seçebilirler.

### 3.4. Hatalı Topraklama Devresi

#### 3.4.1. Vücut direnci

Bu standartta vücut direnci elden-ayağa, keza elden-ele veya bir ayaktan öbür ayağa,

$R_B = 1000 \Omega$  alınacaktır.

El ve ayak geçiş dirençleri ile eldiven ve ayakkabı dirençlerinin sıfır olduğu varsayılacaktır.

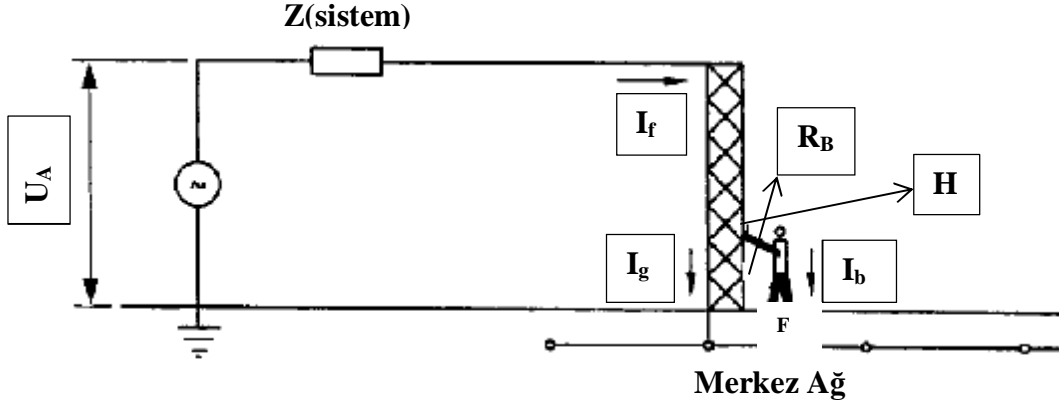
#### 3.4.2. Hata devresi eşdeğerleri

Denklem (3.9) ve (3.10) kabul edilebilir vücut akımlarını oluşturduktan sonra iki nokta arasında ki kabul edilebilir gerilimleri bulabilmemiz mümkün olur.

Dokunma ve adım gerilimlerinin kabul edilebilir hesaplaması için Thevenin denkleminde yararlanılacaktır,

$$I_b = \frac{V_{TH}}{Z_{TH} + R_B} \quad (3.11)$$

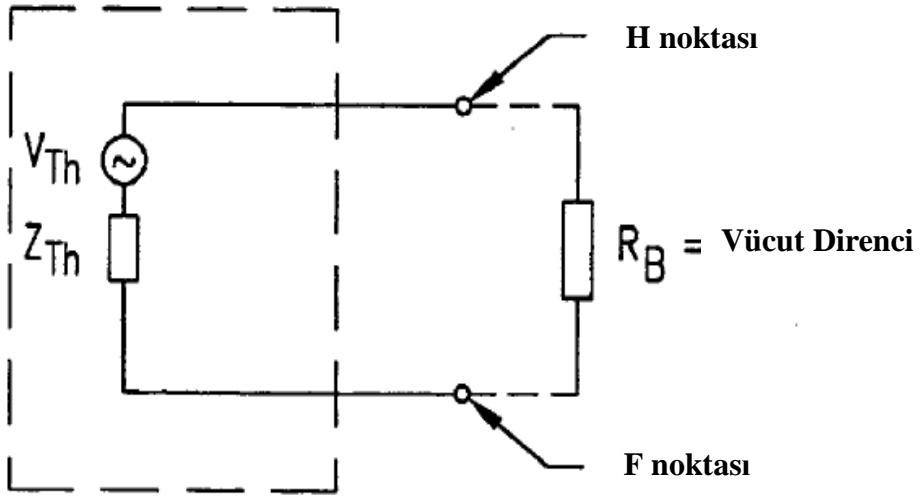
Şekil 3.3’de dokunma hata devresi eşdeğerlerinde kullanılan işaretler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Dokunma gerilimine maruz kalma [11]

Burada,  $I_b$ : Vücut akımının etkin değeri [A],  $I_f$ : Hata akımı [A],  $R_A$ : Hata devresini etkileyen toplam direnç [ $\Omega$ ],  $U_A$ : Hata devresini etkileyen toplam gerilim (dokunma veya adım) [V]'dir.

Dokunma gerilimi hata devresi için,

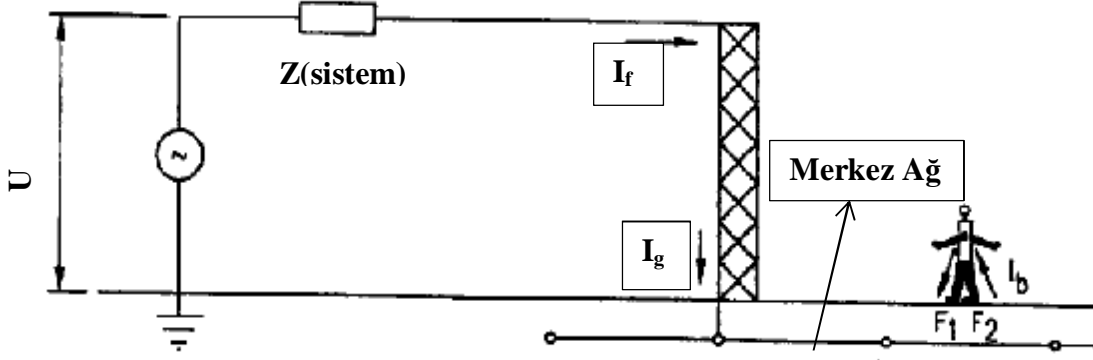


Şekil 3.4. Thevenin dokunma gerilim devresi [11]

Burada,  $Z_{TH}$ : İki nokta arasında ki Thevenin teoremi empedansı,  $V_{TH}$ : İki nokta arasında ki Thevenin teoremi gerilimi;

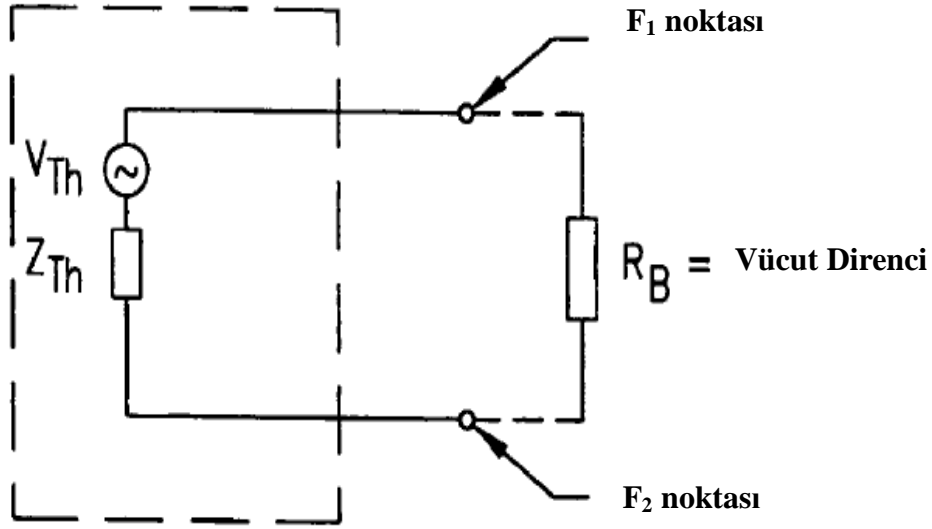
$$Z_{TH} = \frac{R_f}{2} \quad (3.12)$$

Şekil 3.5’de adım hata devresi eşdeğerlerinde kullanılan işaretler gösterilmiştir,



Şekil 3.5. Adım gerilimine maruz kalma [11]

Adım gerilimi hata devresi için,



Şekil 3.6. Thevenin adım gerilim devresi [11]

Burada,  $Z_{TH}$ : İki nokta arasında ki Thevenin teoremi empedansı,

$$Z_{TH} = 2R_f \quad (3.13)$$

Burada,  $R_f$ : Mevcut trafo sistemi topraklaması dahil edilmediği zamanki bir adım da ki toprak direnci [ $\Omega$ ]’dur.

Laurent denkliğine göre topraklayıcının yarıçapı ve öz direnci arasında ki bağıntı,

$$R_f = \frac{\rho}{4b} \quad (3.14)$$

Bu denkleğe göre empedanslar aşağıda ki gibi gösterilir.

Dokunma gerilimi hata devresi için,

$$Z_{TH} = 1,5\rho \quad (3.15)$$

Adım gerilimi hata devresi için,

$$Z_{TH} = 6\rho \quad (3.16)$$

İzin verilen toplam eşdeğer gerilim (Kabul edilebilir dokunma ve adım gerilimi),

$$U_{dokunma} = I_B(R_B + 1,5\rho) \quad (3.17)$$

ve

$$U_{adım} = I_B(R_B + 6,0\rho) \quad (3.18)$$

şeklinde gösterilir.

### 3.4.3. İnce yüzey malzeme katmanının etkisi

Topraklama ağının üzerindeki toprak yüzeyine yüksek özdirence sahip, örneğin 8 ile 15 cm kalınlığında çakıl serilirse, ayaklar ile toprak arasındaki geçiş direnci yükselir.

Denklem (3.19), (3.20) ve (3.21) yüzey malzemesinin üzerindeki bir ayađın toprak direncini verir.

$$R_f = \left( \frac{\rho_s}{4b} \right) C_s \quad (3.19)$$

$$C_s = 1 + \frac{16b}{\rho_s} \sum_{n=1}^{\infty} K^n R_{m(2nh_s)} \quad (3.20)$$

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad (3.21)$$

Burada,  $C_s$ : Yüzey katmanı indirim katsayısı,  $K$ : Çeşitli malzemelerin özdirençleri arasında yansıma katsayısı,  $\rho_s$ : Yüzey malzemesi özdirenci [ $\Omega\text{m}$ ],  $\rho$ : Yüzey malzemesinin altındaki toprağın özdirenci [ $\Omega\text{m}$ ],  $h_s$ : Yüzey malzemesinin kalınlığı [m],  $b$ : Ayağı betimleyen dairesel metal diskin yarıçapı [m],  $R_{m(2nh_s)}$ : Özdirenci  $\rho_s$  [ $\Omega\text{m}$ ] olan sonsuz ortamda  $2nh_s$  açıklıkla ayrılmış iki benzer, paralel, eş eksenli levha arasındaki karşılıklı toprak direncidir.

Aşağıdaki deneysel bağıntı ile de  $C_s$  indirim katsayısı hesaplanır,

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0,09} \quad (3.22)$$

Bu deneysel bağıntıdan hesaplanan değer ile kuramsal hesaplanan değer arasındaki sapma %5 içindedir.

### 3.5. Kabul Edilebilir Gerilim Ölçütleri

#### 3.5.1. Adım ve dokunma gerilim ölçütleri

Hatalı devrenin en büyük etki yapan gerilimi aşağıda belirtilen sınırları aşmamalıdır.

Adım gerilimi sınırı,

$$U_{adm} = (R_B + 2R_f) I_B \quad (3.23)$$

50 kg vücut ağırlığı için,

$$U_{adm50} = (1000 + 6C_s \rho_s) \times \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \quad (3.24)$$

70 kg vücut ağırlığı için,

$$U_{adm70} = (1000 + 6C_s \rho_s) \times \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (3.25)$$

şeklinde gösterilir.



Dokunma gerilimi sınırı,

$$U_{dokunma} = \left( R_B + \frac{R_f}{2} \right) I_B \quad (3.26)$$

50 kg vücut ağırlığı için,

$$U_{dokunma50} = (1000 + 1,5C_s\rho_s) \times \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \quad (3.27)$$

70 kg vücut ağırlığı için,

$$U_{dokunma70} = (1000 + 1,5C_s\rho_s) \times \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (3.28)$$

Burada,  $U_{adam}$ : Adım gerilimi [V],  $U_{dokunma}$ : Dokunma gerilimi [V],  $\rho_s$ : Yüzey malzemesinin öz direnci [ $\Omega.m$ ],  $t_s$ : Hata akımının süresi [s]'dir.

Koruyucu yüzey katmanı kullanılmazsa,  $C_s=1$  ve  $\rho_s=\rho$  alınır.

Metal-metal dokunma gerilimi sınırları (IEEE-32) ve (IEEE-33) bağıntılarından elde edilir. Metal-metal değmesinde, el-el ve el-ayak her ikisinde  $\rho_s=0$  olacaktır. Bu nedenle, hatalı devrenin toplam direnci  $R_B$  vücut direncine eşittir. (IEEE-32) ve (IEEE-33) bağıntılarına  $\rho_s=0$  konursa, metal-metal dokunma gerilimi sınırı:

50 kg vücut ağırlığı için,

$$U_{mm-dokunma50} = \frac{116}{\sqrt{t_s}} \quad (3.29)$$

70 kg vücut ağırlığı için,

$$U_{mm-dokunma70} = \frac{157}{\sqrt{t_s}} \quad (3.30)$$

Burada,  $U_{mm}$ : Metal-metal dokunma gerilimi [V]'dir.

Yaşanan adım geriliminin, dokunma geriliminin veya metal-metal dokunma geriliminin her biri, güvenliğin sağlandığından emin olmak için en büyük izin verilen gerilim sınırlarından ayrı ayrı küçük olmalıdır.

### 3.6. İletken Boyutlandırmasında Etmenler

#### 3.6.1. Simetrik akımlar

Topraklama iletkeninde kısa süreli sıcaklık yükselmesi veya gerekli iletken boyutu iletken akımına bağlı olarak elde edilir,

$$I = A \sqrt{\left( \frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r} \right) \ln \left( \frac{K_o + T_m}{K_o + T_a} \right)} \quad (3.31)$$

Burada,  $I$ : Akımın etkin değeri [kA],  $A$ : İletken kesiti [mm<sup>2</sup>],  $T_m$ : En büyük izin verilen sıcaklık [°C],  $T_a$ : Ortam sıcaklığı [°C],  $T_r$ : Malzeme değişmezi için temel alınan sıcaklığı [°C],  $\alpha_0$ : 0 °C de ısı-direnç katsayısı [1/°C],  $\alpha_r$ :  $T_r$  için temel alınan sıcaklıkta ısı-direnç katsayısı [1/°C],  $\rho_r$ :  $T_r$  için temel alınan sıcaklıkta topraklama iletkeninin özgül direnci [1/°C],  $K_0$ :  $1/\alpha_0$  veya  $1/\alpha_r$ ,  $T_c$ : İletken üzerinden akan etkin akımın süresi [s],  $TCAP$ : Aşağıdaki çizelgeden alınan birim hacim için ısıl yüklenme [J/(cm<sup>3</sup>.°C)]'dir.

Denklem (IEEE-37)'e göre, iletken akımına bağlı olarak iletken kesiti hesaplanır,

$$A = I \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r} \right) \ln \left( \frac{K_o + T_m}{K_o + T_a} \right)}} \quad (3.32)$$

$\alpha_r$  ve  $\rho_r$  nin her ikisi de temel alınan aynı  $T_r$  sıcaklığında bulunur (°C).

Aşağıdaki Tablo 3.2'de gösterimi bulunan  $\alpha_r$  ve  $\rho_r$  değerleri 20°C'de ki sıcaklık için verilmiştir.

Tablo 3.2. Malzeme değişmezleri [11]

Malzeme	Malzemenin iletkenliği [%]	20 °C de $\alpha_r$ katsayısı [1/°C]	0 °C de $K_o$ [1/°C]	Ergime sıcaklığı $T_m$ [1/°C]	20 °C de $K_o$ [1/°C]	TCAP ısıl kapasite [J/(cm <sup>3</sup> .°C)]
Bakır, tavlınmış yumuşak çekilmiş	100	0,00393	234	1083	1,72	3,42
Bakır, ticari sert çekilmiş	97	0,00381	242	1084	1,78	3,42
Bakır kaplı çelik tel	40	0,00378	245	1084	4,40	3,85
Bakır kaplı çelik tel	30	0,00378	245	1084	5,86	3,85
Bakır kaplı çelik kazık	20	0,00378	245	1084	8,62	3,85
Alüminyum kaplı çelik tel	20,3	0,00360	258	657	8,48	3,58
Çelik 1020	10,8	0,00160	605	1510	15,90	3,28
Paslanmaz kaplı çelik kazık	9,8	0,00160	605	1400	17,50	4,44
Çinko kaplı çelik kazık	8,6	0,00320	293	419	20,10	3,93
Paslanmaz çelik 304	2,4	0,00130	749	1400	72,00	4,03

#### **4. ÖRNEK ALINAN ENDÜSTRİYEL BİR TESİS İÇİN TOPRAKLAMA HESABI**

“ETAP” programı (Electrical Transient Analyzer Program ilk dört harfleri alınarak isimlendirilmiştir) mühendislik uygulamalarının, hesaplamalarının ve simülasyonlarının çoğunun gerçekleştirildiği IEEE ve Finite Elements Method tabanlı kompleks bir programdır [16]. Her türlü grafiksel sonuçlar istenilen tarzda alınabildiği için kullanım alanı çok geniştir. Bu çalışmada müsaade edilen ve hesaplanan dokunma ve adım gerilimlerini etkileyen faktörleri incelerken ETAP 7.0.0 kullanılmıştır. ETAP, bir dinamik sistemin modellenmesi için blok şemalar sunar. Bir sistemin modellenmesinde kullanılan blok elemanları doğrudan Simulink Blok kütüphanesinden seçilir. 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. Daha sonra hazırladığımız bu göz ağı içerisinde ortama ve koşullara göre toprak öz direnci, toprak hata akımı, hata akımı açma süresi ve  $X/R$  oranı verileri girilir, bu veriler sonucunda kabul edilebilir ve hesaplanan dokunma ve adım gerilimleri, topraklama direnci ve toprak gerilim yükselme oranı program tarafından çıktı olarak sunulur.

Çalışmamızın ilk kısımda L şeklinde göz topraklayıcı örneğiyle sizlere izlenecek olan adımların aktarılması ve bu örneğin ETAP 7.0.0 programı ile desteklenmesi hedeflenmiştir. İkinci kısımda ise fabrika topraklama ve makine beslemeleri için borulama işleri şantiye şefliğini yürüttüğüm İzmit’te kurulan ilk etapta 200.000 tonluk üretim yapılacak olan paslanmaz çelik fabrikasına ait bir elektrik odasının topraklama tasarımının dokunma ve adım gerilimi kıstaslarına uygunluğu kontrol edilmiş olup program ile desteklenmiştir. Bu çalışmada bütün tablolar ve şekiller programın orijinal dili İngilizce olarak verilmekte olup Türkçe olarak düzenlenmiştir.

#### 4.1. Örnek Çalışma Hesabı

Endüstriyel uygulama projesine başlamadan önce konunun daha iyi anlaşılabilmesi için L biçiminde (topraklama kazıklı) topraklama ağı için yapılan hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir. IEEE Std. 80-2000'de bulunan örnek referans alınmış olup gerilim değeri değiştirilerek hesaplanması yapılmıştır.

Bu topraklama hesabı örneği için aşağıdaki veriler kullanılacaktır.

+ dizin eşdeğer empedans:  $Z_{(1)}=(6+j15) \Omega$  (154 kV tarafı)

Sıfır dizin eşdeğer empedans:  $Z_{(0)}=(15+j60) \Omega$  (154 kV tarafı)

Transformatör + ve sıfır dizin empedansı:  $Z_{(1)}=Z_{(0)}=(0,034+j1,014) \Omega$  (34,5 kV tarafı)  
(Empedanslar için Şekil 4.1'e bknz.)

Hata süresi:  $t_f=0,5$  s

Akım bölüşme katsayısı:  $S_f=0,6$

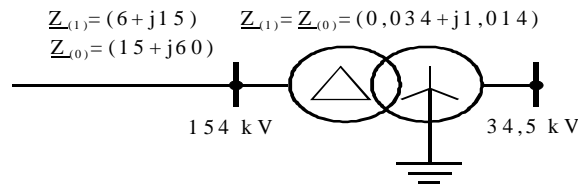
En kötü hata yerinde faz-faz gerilimi:  $U_n=154$  kV

Toprak öz direnci:  $\rho=400 \Omega.m$

Çakıl öz direnci (Islak):  $\rho_s=2500 \Omega.m$

Çakıl yer örtüsünün kalınlığı:  $h_s=0,1$  m

Topraklama ağının gömülü derinliği:  $h=0,5$  m



Şekil 4.1. Topraklama hesabı örnekleri için empedanslar

Bu örnekte, topraklama kazıklı L-biçim topraklama ağı için verilen bağıntılar kullanılarak tasarımı düzenlenmiştir. Toplam topraklama alanı ve topraklama iletkenleri arasındaki açıklık, topraklama kazıklarının topraklama ağının çevresine yerleşimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

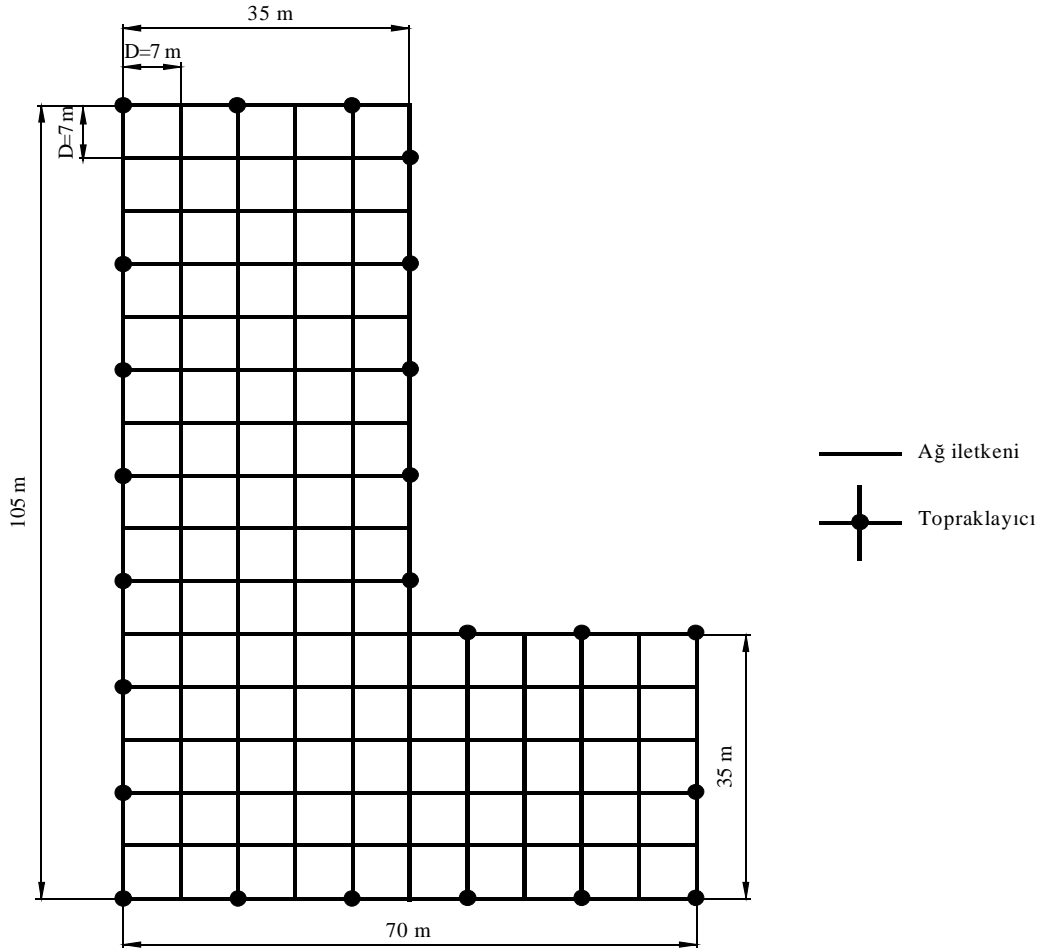
- Topraklama iletkeninin kesiti: 154 kV barasında simetrik topraklama hata akımı,

$$3I_{L_0} = I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}} \quad (4.1)$$

$$= \frac{\sqrt{3} \times 1,1 \times 54}{(6 + j15) + (6 + j15) + (15 + j60)} = (0,8973 - j2,9909) \text{ kA}$$

$$I_f = 3I_0 = \sqrt{0,8973^2 + 2,9909^2} = 3,123 \text{ kA}$$

$$X / R = \frac{2,9909}{0,8973} = 3,33$$



Şekil 4.2. L-biçim topraklama ağına 24 adet 7,5 m boyunda topraklama kazığı yerleştirilmiştir.

34,5 kV barasındaki hata için 154 kV tarafındaki kısadevre empedansı transformatörün 34,5 kV tarafına indirgenir. Transformatör  $\Delta/Y$  bağlı olduğundan yalnız + dizin empedansı indirgemek gerekir.

$$\underline{Z}_{(1)} = (6 + j15) \left( \frac{1}{154/34,5} \right)^2 + (0,034 + j1,014)$$

$$= (0,3351 + j1,7668) \Omega$$

$$\underline{Z}_{(0)} = (0,034 + j1,014) \Omega$$

$$3I_0 = \frac{\sqrt{3} \times 1,1 \times 34,5}{(0,3351 + j1,7668) + (0,3351 + j1,7668) + (0,034 + j1,014)}$$

$$= (2,1858 - j14,1156) \text{ kA}$$

$$I_f = 3I_0 = 14,284 \text{ kA}$$

$$X/R = \frac{4,5476}{0,7042} = 6,46$$

Topraklama iletkeninin kesiti için 34,5 kV tarafındaki hata akımı olan  $I_f=14,284$  kA alınır.

Tablo 3.1'de  $t_f=0,5$  s hata süresi ve  $X/R=6,46$  için  $D_f \approx 1$  alınır. Asimetrik hata akımı (3.1) denkleminden  $I_f=14,284$  A'dir. Bu değer topraklama iletkeninin en küçük değeri için kullanılır.

Soğuk çekilmiş kalaysız bakır iletken için Tablo 3.2'den  $TCAP = 3,42 \text{ J/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $t_c=0,5$  s,  $\alpha_r=0,00393 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ,  $\rho_r=1,72 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ,  $K_0=234^\circ\text{C}$ ,  $T_m=300^\circ\text{C}$ ,  $T_a=20^\circ\text{C}$  alınmıştır.

Topraklama iletkeninin en küçük kesiti, (3.32) denkleminde:

$$A = \frac{14,284}{\sqrt{\left( \frac{3,42 \times 10^{-4}}{0,5 \times 0,00393 \times 1,72} \right) \times \ln \left( \frac{234 + 300}{234 + 20} \right)}}$$

$$A = 52,1 \text{ mm}^2 \approx 70 \text{ mm}^2$$

- Dokunma ve adım gerilimi: Düzeltme katsayısı, (3.22) denkleminde:

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left( 1 - \frac{400}{2500} \right)}{2 \times 0,1 + 0,09} = 0,74$$

Çit ile korunmuş özel merkezlerin topraklama döşemlerinde kişi ağırlığı 70 kg alınır.

Adım ve dokunma gerilimi, (3.25) ve (3.28) denklemlerinden:

$$= (1000 + 6C_s \rho_s) \times 0,157 / \sqrt{t_s}$$

$$= (1000 + 6 \times 0,74 \times 2500) \times 0,157 / \sqrt{0,5} = 2687 \text{ V}$$

$$U_{dokunma70} = (1000 + 1,5C_s \rho_s) \times 0,157 / \sqrt{t_s}$$

$$= (1000 + 1,5 \times 0,74 \times 2500) \times 0,157 / \sqrt{0,5} = 838 \text{ V}$$

- İlk tasarım: Şekil 4.2'deki ilk düzenlemede  $A=4900 \text{ m}^2$  alanındaki L şeklindeki topraklama ağında paralel iletkenler  $D=7 \text{ m}$  eşit açıklıkla  $h=0,5 \text{ m}$  derinliğe gömülmüşlerdir.

Gömülü iletkenlerin uzunluğu  $L_T=1575+(24 \times 7,5)=1755 \text{ m}$ 'dir.

- Şekil 4.2'de  $L_T=1755 \text{ m}$  ve  $A=4900 \text{ m}^2$  olduğundan, (1.20) denkleminde:

$$R_g = 400 \left[ \frac{1}{1755} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 4900}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/4900}} \right) \right] = 2,74 \Omega$$

- En büyük topraklama ağ akımı: En büyük topraklama ağ akımı, (IEEE-63) ve (IEEE-64) bağıntılarından hesaplanır.

Akım bölüşme katsayısı, (IEEE-63) denkleminde:

$$S_f = \frac{I_g}{3I_0}$$

Topraklama ağ akımı, (IEEE-64) denkleminde:

$$I_G = D_f I_g$$



Her ne kadar 34,5 kV barasındaki hata akımı olan 14,284 kA, 154 kV barasındaki hata akımı olan 3,123 kA den büyükse de, yıldız noktası topraklanmış 34,5 kV transformatör sargısı hata akımında hata yerindeki kaynak olduğundan *GPR*'nin saptanmasında temel alınmaz. Bu yüzden, en büyük topraklama ağ akımı 3,123 kA alınmalıdır.

$$I_G = D_f S_f 3I_0 = 1 \times 0,6 \times 3123 = 1874 \text{ A}$$

- *GPR*: İzin verilen dokunma gerilimi için  $I_G$  ve  $R_g$  veya *GPR*'nin sonuçlarını karşılaştırmak gerekir.

$$GPR = I_G R_g = 1874 \times 2,74 = 5135 \text{ V}$$

Adım 2'de bulunan 838 V değeri çok aşıldığından, daha başka tasarımları değerlendirmek gerekebilir.

- $N$ ,  $K_m$  ve  $K_i$  değerleri, (IEEE-84) ara (IEEE-88) ve (IEEE-81), (IEEE-89) bağıntılarından hesaplanacaktır.

$$n = n_a n_b n_c n_d$$

$$n_a = \frac{2L_C}{L_p} = \frac{2 \times 1575}{350} = 9$$

$$L_p: \text{Topraklama ağının çevre uzunluğu} = 2(63+84) = 294 \text{ m}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} = \sqrt{\frac{350}{4\sqrt{4900}}} = 1,12$$

$$n_c = \left( \frac{L_x L_y}{A} \right)^{\frac{0,7A}{L_x L_y}} = \left( \frac{70 \times 105}{4900} \right)^{\frac{0,7 \times 4900}{70 \times 105}} = 1,21$$

$L_x$ : Yatayda (x-ekseni) topraklama ağının en büyük uzunluğu = 70 m

$L_y$ : Düşeyde (y-ekseni) topraklama ağının en büyük uzunluğu = 105 m

L-biçim topraklama ağı için  $n_d = 1$  olduğundan:

$$n = 9 \times 1,12 \times 1,21 \times 1 = 12,2$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \times 11,35 = 2,324$$

Göz gerilimi: (IEEE-81) ve (IEEE-83) bağıntılarından:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[ \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dh} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \times \ln \left[ \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \right\}$$

Burada:

Topraklama kazıkları olduğundan  $K_{ii} = 1$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = \sqrt{1 + \frac{0,5}{1}} = 1,225$$

$h_0 =$  Ağ referans derinliği = 1 m

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[ \frac{7^2}{16 \times 0,5 \times 0,01} + \frac{(7 + 2 \times 0,5)^2}{8 \times 7 \times 0,01} - \frac{0,5}{4 \times 0,01} \right] + \frac{1}{1,225} \cdot \ln \left[ \frac{8}{\pi(2 \times 12,2 - 1)} \right] \right\} = 0,76$$

(IEEE-89) denkleminde:

$$K_i = 0,644 + 0,148n = 0,644 + 0,148 \times 12,2 = 2,45$$

Son olarak, göz gerilimi, (IEEE-80) ve (IEEE-91) arasındaki denklemlerden:

$$U_T = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L_C + \left[ 1,55 + 1,22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_g}$$

$$= \frac{400 \times 0,76 \times 2,45 \times 1874}{1575 + \left[ 1,55 + 1,22 \left( \frac{7,5}{\sqrt{70^2 + 105^2}} \right) \right] \times 180} = 748 \text{ V}$$

(IEEE-92), (IEEE-93) ve (IEEE-94) bağıntılarından sırasıyla  $U_s$ ,  $L_s$  ve  $K_s$  sırasıyla hesaplanır.  $K_i$  nin değeri yukarıda önce hesaplandığı gibi 2,45'tir.

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

$$= \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \times 0,5} + \frac{1}{7+0,5} + \frac{1}{7} (1 - 0,5^{12,2-2}) \right] = 0,41$$

Topraklama kazıklı veya topraklama kazıksız topraklama ağları için etkin gömülü iletken uzunluğu:

$$L_s = 0,75L_C + 0,85L_R = 0,75 \times 1575 + 0,85 \times 180 = 1334,3 \text{ m}$$

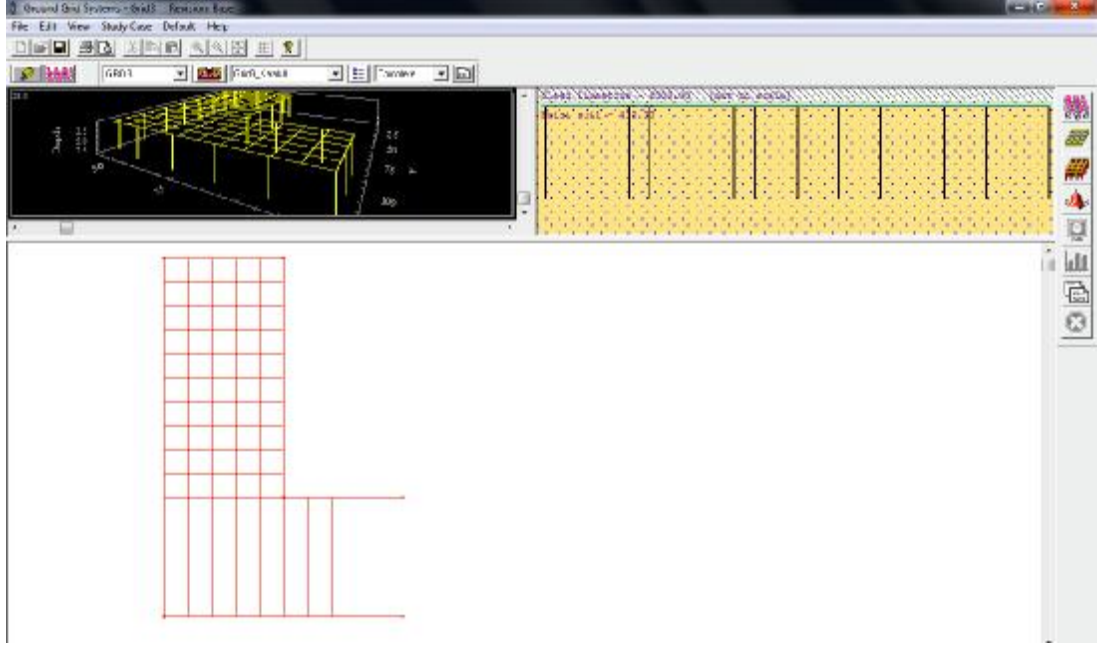
Buradan:

$$U_s = \frac{\rho K_s K_i I_G}{L_s} = \frac{400 \times 0,41 \times 2,45 \times 1874}{1334,3} = 564 \text{ V}$$

- Bu sonuç da  $U_T$  hesaplanan gerilim 748 V,  $U_{dokunma70}$  dokunma gerilimi olan 838V tan küçüktür. Diğer maddeye geçilebilir.
- Hesaplanan  $U_s$  gerilimi 564 V,  $U_{adm70}$  2687 V'tan çok küçüktür.
- Güvenlikli tasarımı burada bitirilmiştir. Bundan sonra, tüm ayrıntılar topraklama ağı tasarımının içine alınmalıdır.

#### 4.2. Örnek Çalışma Hesabının ETAP 7.0.0 ile Desteklenmesi

Bölüm 4.1. deki yapılan L şeklindeki topraklama ağının iki boyutlu tasarımı Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Gerilim değerleri karşılaştırılmasında +/- %5 hata oranı varsayılmaktadır. Örneğimizde  $D_f$  azaltma katsayısını yaklaşık olarak 1 kabul ettik fakat program  $X/R$  oranına göre Tablo 3.1'den 1,026 azaltma katsayısını almıştır.



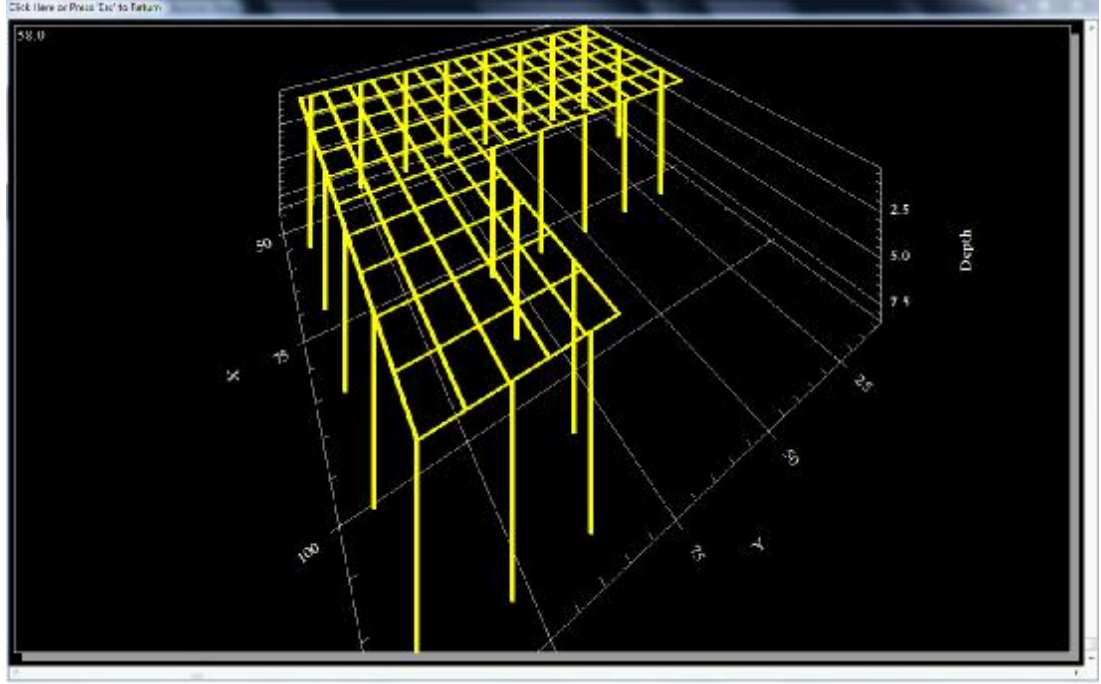
Şekil 4.3. L şeklindeki topraklama ağının iki boyutlu tasarımı

- Çalışma yaptığımız alanın sistem verileri

Tablo 4.1. Sistem verileri

Frekans Hz	Ağırlık kg	Ortam sıcaklığı °C	
50	70	40	
Kısa devre akımı			
Toplam hata akımı kA	$X/R$	$S_f$ Bölünme faktörü %	$C_p$ Tahmin faktörü %
3,123	6,46	60	100
Hata süresi (Saniye)			
$T_f$ Toplam hata süresi	$T_c$ Topraklayıcı iletken ayrımı için	$T_s$ Kullanılabilir vücut akımı için	
0,50	0,50	0,50	

Çalışma alanında ki transformatörün yıldız noktasında ki maksimum toprak arıza akımı 3,123 kA, akım bölme faktörü 1, hatalı  $X/R$  oranı 6,46 azami arıza süresini 500 ms ve sistemin nominal frekansı 50 Hz olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4.4. L şeklindeki topraklama ağının üç boyutlu tasarımı

Ağın üç boyutlu tasarımı Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

- Çalışma yaptığımız alanın toprak verileri

Tablo 4.2. Toprak verileri

Yüzey malzemesi		
Malzeme tipi	Direnç $\Omega m$	Derinlik m
Temiz kireç taşı	2500	0,1
Toprak üst katmanı		
Malzeme tipi	Direnç $\Omega m$	Derinlik m
Yaş toprak	400	0,5
Toprak alt katmanı		
Malzeme tipi	Direnç $\Omega m$	
Yaş toprak	400	

Çalışma alanında nemli olarak kabul ettiğimiz toprak öz direnci Wenner dört sonda ölçüm yöntemiyle yaklaşık olarak 100  $\Omega.m$  olarak belirlenmiştir. Yüzey tabakada ise bu ölçüm 3000  $\Omega.m$  olarak belirlenmiştir.

- Topraklayıcıların sabit malzeme bilgileri IEEE 80-2000 standartlarına göre Tablo 4.3. ve 4.4'de gösterilmiştir,

Tablo 4.3. Malzeme Sabitleri

Topraklayıcı İletken/Çubuk			
Malzeme tipi	İletkenlik %	ar Faktör @20°C 1/°C	
Soğuk Çekilmiş Kalaysız Bakır	100	0,00393	
K0 @ 0°C	Erime sıcaklığı °C	Toprak iletken direnci @20°C $\mu\Omega.cm$	Isıl kapasite birim hacim $J/(cm^3.°C)$
234	1083	1,72	3,42

Tablo 4.4. Topraklayıcı çubuk verileri

Çap cm	Uzunluk m	Adet
2	7,5	24
Diziliş		Fiyat \$/Adet
Ağ çevresine		100

- Son olarak düzenlenmiş olan ağın konfigürasyon ve fiyat verileri Tablo 4.5 ve 4.6'da gösterilir.

Tablo 4.5. Ağ yapılandırması

İletken kesiti mm	Derinlik m
70	0,5
Kenar uzunlukları m	
$L_x$	$L_y$
54	12
İletken adeti	
X Düzlemi	Y Düzlemi
5	19

Aralık m

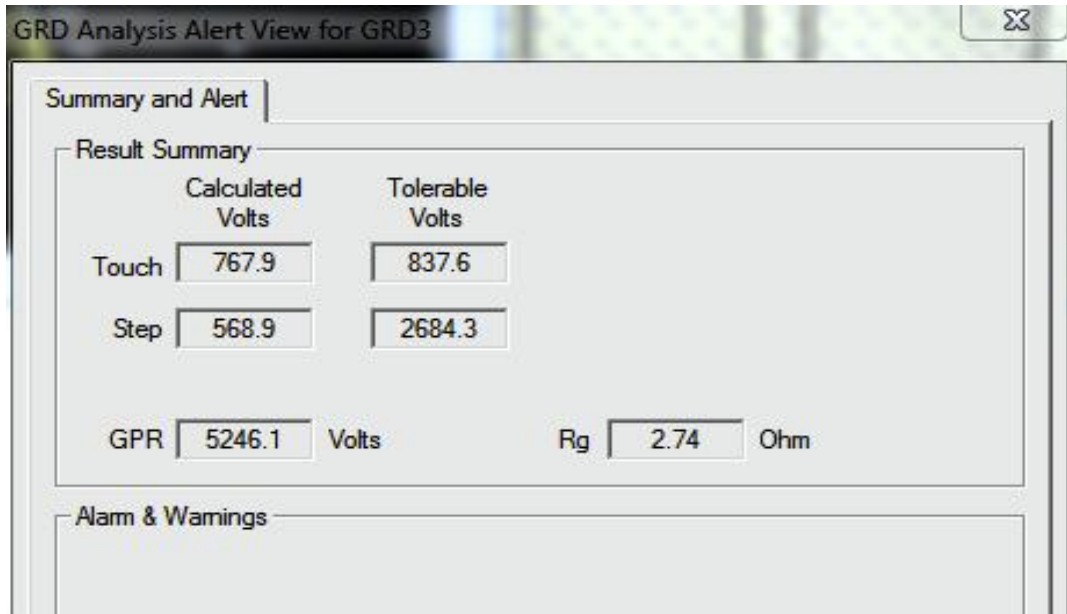
Tablo 4.5. (Devam) Ağ yapılandırması

X Düzlemi	Y Düzlemi
3	3

Tablo 4.6. Fiyat bilgisi

İletken		
Toplam Adet	Toplam Uzunluk m	Fiyat \$
24	498	3486
Kazık		
Toplam Adet	Toplam Uzunluk m	Fiyat \$
18	54	1386
Toplam Fiyat \$		
4872		

Bütün giriş verilerinin tasarımından sonra programımız ölçüm yapmaya hazır hale gelmiştir. Yapılan çalışma sonrası Şekil 4.5’de gösterildiği gibi dokunma ve adım gerilimleri,  $GPR$  and  $R_g$  ETAP 7.0.0 programı aracılığıyla IEEE 80-2000 standartlarına göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Hesaplama özeti

- Ek olarak Tablo 4.7’de yapılan göz ağ topraklamasının hesaplama sonuç raporu gösterilmiştir.

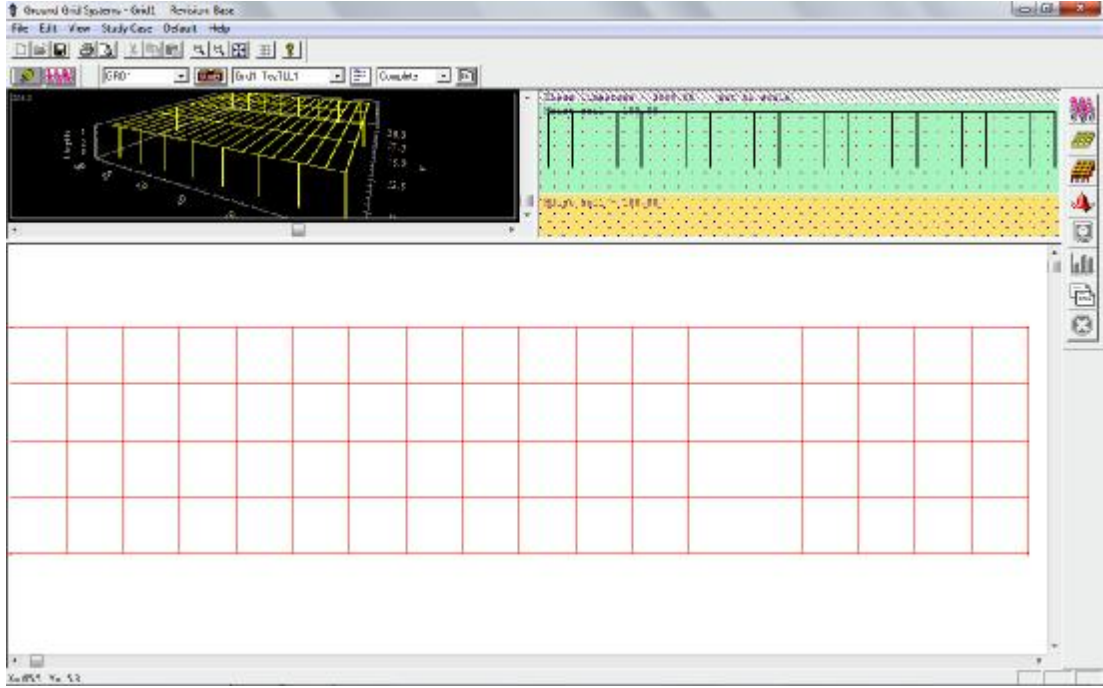
Tablo 4.7. Hesaplanan ağın raporu

$R_g$ Topraklama direnci Ohm	$GPR$ Topraklama gerilim artışı Volts	Maksimum ađ akımı kA
2,744	5246,1	1,912
<b>Dokunma gerilimi</b>		
Kabul edilebilir Volts	Hesaplanan Volts	Hesaplanan %
837,6	767,9	91,7
<b>Adım gerilimi</b>		
Kabul edilebilir Volt	Hesaplanan Volt	Hesaplanan %
2684,3	568,9	21,2
<b>Faktörler</b>		
Yansıma faktörü ( $K$ )	İnce yüzey indirim katsayısı ( $C_s$ )	Azaltma faktörü ( $D_f$ )
-0,724	0,739	1,020

### 4.3. Örnek Alman Endüstriyel Tesisteki Belirli Bir Alanın ETAP 7.0.0 İle Topraklama Hesabı

Çalışma yaptığımız saha 54x12 m uzunluklarında dikdörtgen şeklinde bir göz topraklayıcı alanıdır. 3'er metre aralıklarla eşit bir şekilde bölünmüştür. Şekil 4.6'da bu alan iki ve üç boyutlu olarak gösterilmiştir.





Şekil 4.6. İki boyutlu göz topraklayıcı çalışma alanı

- Çalışma yaptığımız alanın sistem verileri

Çalışma alanında ki transformatörün yıldız noktasında ki maksimum toprak arıza akımı 3 kA, akım bölme faktörü 1, hatalı  $X/R$  oranı yaklaşık 15, azami arıza süresini 500 ms ve sistemin nominal frekansı 50 Hz olduğu belirtilmiştir.

Tablo 4.8. Sistem verileri

Frekans Hz	Ağırlık kg	Ortam sıcaklığı °C	
50	70	40	
Kısa devre akımı			
Toplam hata akımı kA	$X/R$	$S_f$ Bölünme faktörü %	$C_p$ Tahmin faktörü %
3	15	100	100
Hata süresi (Saniye)			
$T_f$ Toplam hata süresi	$T_c$ Topraklayıcı iletken ayrımı için	$T_s$ Kullanılabilir vücut akımı için	
0,50	0,50	0,50	

- Çalışma yaptığımız alanın toprak verileri

Çalışma alanında nemli olarak kabul ettiğimiz toprak özdirenci Wenner dört sonda ölçüm yöntemiyle yaklaşık olarak 100  $\Omega$ .m olarak belirlenmiştir. Yüzey tabakada ise bu ölçüm 3000  $\Omega$ .m olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.9. Toprak verileri

Yüzey malzemesi		
Malzeme tipi	Direnç $\Omega$ m	Derinlik m
Temiz kireç taşı	3000	0,5
Toprak üst katmanı		
Malzeme tipi	Direnç $\Omega$ m	Derinlik m
Yaş toprak	100	5
Toprak alt katmanı		
Malzeme tipi	Direnç $\Omega$ m	
Yaş toprak	100	

- Topraklayıcıların sabit malzeme bilgileri IEEE 80-2000 standartlarına göre Tablo 4.10'da gösterilmiştir,

Tablo 4.10. Malzeme Sabitleri

Topraklayıcı İletken			
Malzeme tipi	İletkenlik %	ar Faktör @20°C 1/°C	
Bakır Şerit	40	0,00378	
K0 @ 0°C	Erime sıcaklığı °C	Toprak iletken direnci @20°C $\mu\Omega$ .cm	Isıl kapasite birim hacim $J/(cm^3 \cdot °C)$
245	1084	4,40	3,85

- Topraklayıcı çubuk verileri Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Topraklayıcı çubuk verileri

Çap cm	Uzunluk m	Adet
2	3	18
Diziliş		Fiyat \$/Adet
Ağ çevresine		77

- Son olarak düzenlenmiş olan ağın konfigürasyon ve fiyat verileri Tablo 4.12 ve 4.13'de gösterilir.

Tablo 4.12. Ağ yapılandırması

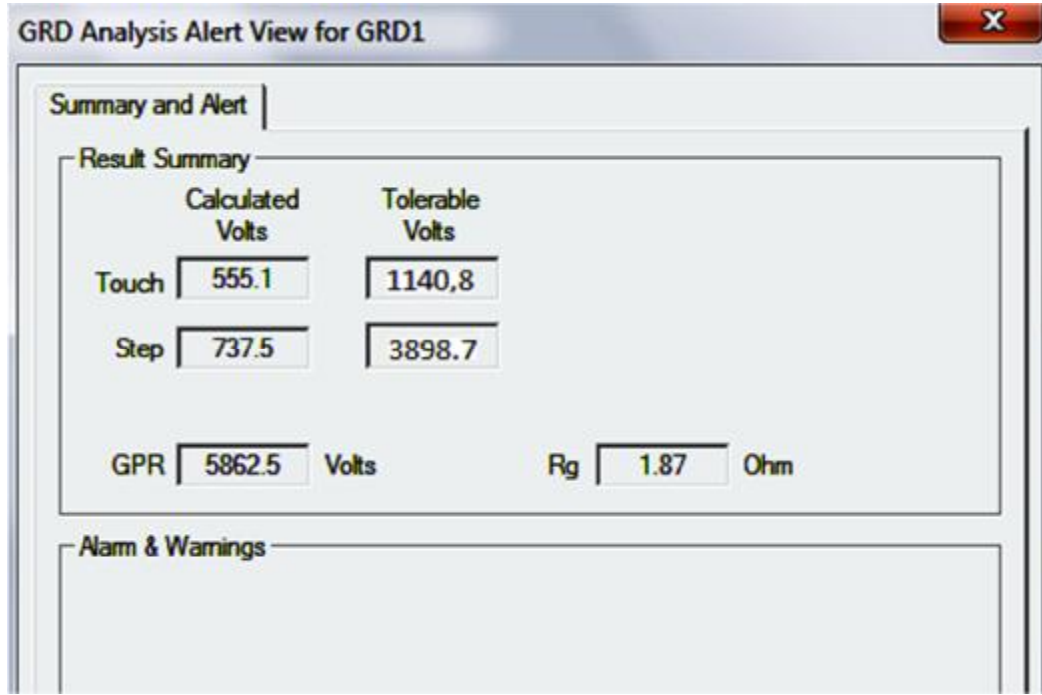
İletken kesiti mm	Derinlik m
120	0,5
Kenar uzunlukları m	
$L_x$	$L_y$
54	12
İletken adeti	
X Düzlemi	Y Düzlemi
5	19
Aralık m	
X Düzlemi	Y Düzlemi
3	3

Tablo 4.13. Fiyat bilgisi

İletken		
Toplam Adet	Toplam Uzunluk m	Fiyat \$
24	498	3486
Kazık		
Toplam Adet	Toplam Uzunluk m	Fiyat \$
18	54	1386
Toplam Fiyat \$		
4872		

Bütün giriş verilerinin tasarımından sonra programımız ölçüm yapmaya hazır hale gelmiştir. Yapılan çalışma sonrası Şekil 4.7'de gösterildiği gibi dokunma ve adım

gerilimleri,  $GPR$  ve  $R_g$  ETAP 7.0.0 programı aracılığıyla IEEE 80-2000 standartlarına göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.7. Hesaplama özeti

- Ek olarak Tablo 4.14’de yapılan göz ağ topraklamasının hesaplama sonuç raporu gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Hesaplanan ağın raporu

$R_g$ Topraklama direnci Ohm	$GPR$ Topraklama gerilim artışı Volt	Maksimum ağ akımı kA
1,867	5862,5	3140
<b>Dokunma gerilimi</b>		
Kabul edilebilir Volt	Hesaplanan Volt	Hesaplanan %
1141,4	555,1	48,6
<b>Adım gerilimi</b>		
Kabul edilebilir Volt	Hesaplanan Volt	Hesaplanan %
3899,6	737,5	18,9

Tablo 4.14. (Devam) Hesaplanan ağın raporu

Faktörler		
Yansıma faktörü ( $K$ )	İnce yüzey indirim katsayısı ( $C_s$ )	Azaltma faktörü ( $D_p$ )
-0,935	0,920	1047

#### 4.4. Örnek Alınan Endüstriyel Tesiste Bulunan Belirli Bir Alanın Topraklama Hesabı

Bir önce ki bölümde ETAP 7.0.0 programı ile elde edilen sonuçların sağlanması için tüm hesaplar bu bölümde sizlere adım adım aktarılmıştır.

##### 4.4.1. Toprak direnci

Wenner dört sonda metodu ile toprak özgül direnci 100  $\Omega$ .m ölçülmüştür veya ETAP 7.0.0 programında ölçüm yapacağımız alanın toprak direnci 100  $\Omega$ .m olarak belirlenmiştir.

##### 4.4.2. Yüzey tabadaki malzeme

Ölçüm yapılacak alanın yüzey tabakası için 3000  $\Omega$ .m belirlenmiştir. Buna göre malzeme katsayısı Denklem (3.22)'den,

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left( 1 - \frac{100}{3000} \right)}{2 \times 0,5 + 0,09} = 0,920$$

##### 4.4.3. Topraklama ađ direnci

ETAP 7.0.0 programında aşağıda ki parametrelere göre bir ađ oluşturulmuştur.

- Boy olarak 54 m, en olarak 12 m lik bir alan oluşturulmuştur.
- Eşit ve paralel olacak şekilde 5 yatay ve 19 dikey iletken ile oluşturulmuştur.
- Seçmiş olduğumuz 120 mm<sup>2</sup> iletken 500 mm derinliğe gömülmüştür.
- Alanın köşelerine ve çevresine 18 adet kazık yerleştirilmiştir.

- Her bir kazığın boyu 3 m olarak seçilmiştir.

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

$$= 100 \left[ \frac{1}{552} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 648}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/648}} \right) \right] = 1,867 \Omega$$

#### 4.4.4. Maksimum ağ akımı

Ölçüm yapılacak olan alan üzerinde bulunan transformatörün YG sargısının tek fazda ki toprak arıza akımı maksimum 3 kA olarak ayarlanmıştır ve akım bölme faktörü de 1 olarak belirtilmiştir. Sistemde X/R hata oranı 15, arıza açma süresi 500 ms ve sistem frekansı 50 Hz olarak belirlenmiştir.

DC time offset hesabı,

$$T_A = \frac{X}{R} \cdot \frac{1}{2\pi f}$$

$$= 15 \times \frac{1}{2\pi 50} = 0,04774$$

Azaltma faktör hesabı,

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left( 1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}} \right)}$$

$$= \sqrt{1 + \frac{0,04774}{0,5} \left( 1 - e^{-\frac{2 \times 0,5}{0,04774}} \right)} = 1,047$$

Son olarak maksimum ağ hesabı,

$$I_G = I_g D_f$$

$$= 3 \times 1,047 = 3,140 \text{ kA}$$

#### 4.4.5. Tölere edilebilir dokunma ve adım gerilim hesabı

İzin verilen maksimum dokunma gerilimi,

$$U_{dokunma,70} = (1000 + 1,5C_s\rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$
$$= (1000 + 1,5 \times 0,920 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{0,5}} = 1141,25 \text{ V}$$

İzin verilen maksimum adım gerilimi,

$$U_{adım,70} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$
$$= (1000 + 6 \times 0,920 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{0,5}} = 3899 \text{ V}$$

#### 4.4.6. Toprak potansiyel yükselmesi (GPR)

Maksimum toprak potansiyel yükselmesi hesabı,

$$GPR = I_G R_g$$
$$= 3140 \times 1,867 = 5862,4 \text{ V}$$

#### 4.4.7. Topraklama ağ hesabı kontrolü

##### 4.4.7.1. Mesh gerilim hesabı

Dikdörtgen topraklama ağımızı etkileyen geometrik faktörler  $n_a$ ,  $n_b$ ,  $n_c$  and  $n_d$ ,

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p}$$
$$= \frac{2 \times 498}{132} = 7,545$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}$$

$$= \sqrt{\frac{132}{4\sqrt{648}}} = 1,138$$

$$n_c = n_d = 1$$

Yukarıda ki hesaba göre geometrik faktör  $n$  hesabı,

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

$$7,545 \times 1,138 \times 1 \times 1 = 8,586$$

Ağlar arasında ki ortalama aralık  $D$  hesabı,

$$D = \frac{1}{2} \left( \frac{W_g}{n_r - 1} + \frac{L_g}{n_c - 1} \right)$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{12}{5-1} + \frac{54}{19-1} \right) = 3 \text{ m}$$

Geometrik aralık faktörü  $K_m$  hesabı,

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

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left( \ln \left[ \frac{3^2}{16 \times 0,5 \times 0,01236} + \frac{(3+2 \times 0,5)^2}{8 \times 3 \times 0,01236} - \frac{0,5}{4 \times 0,01236} \right] \right.$$

$$\left. + \frac{1}{1,23} \ln \left[ \frac{8}{\pi(2 \times 8,586 - 1)} \right] \right) = 0,54$$

Düzensizlik katsayısı  $K_i$  hesabı,

$$K_i = 0,644 + 0,148n$$



$$=0,644+0,148 \times 8,586=1,915$$

Topraklamada etkisi olan gömülü uzunluk  $L_m$  hesabı,

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

$$= 498 + \left[ 1,55 + 1,22 \left( \frac{3}{\sqrt{54^2 + 12^2}} \right) \right] \times 54 = 585,3 \text{ m}$$

Hesaplanan maksimum Mesh gerilim hesabı,

$$U_T = \frac{\rho_s K_m K_t I_G}{L_M}$$

$$= \frac{100 \times 0,540 \times 1,915 \times 3141}{585,3} = 555 \text{ V}$$

Görüldüğü üzere hesaplanan mesh gerilimi 555 V, tolere edilebilir dokunma gerilimi olan 1141,25 V altında bulunduğu için sistem güvenlidir.

#### 4.4.7.2. Adım gerilim hesabı

Geometrik aralık faktörü  $K_s$  hesabı,

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

$$= \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \times 0,5} + \frac{1}{3+0,5} + \frac{1}{3} (1 - 0,5^{8,586-2}) \right] = 0,514$$

Topraklamada etkisi olan gömülü uzunluk  $L_s$  hesabı,

$$L_s = 0,75L_c + 0,85L_R$$

$$= 0,75 \times 498 + 0,85 \times 54 = 419,4 \text{ m}$$

Hesaplanan maksimum adım gerilim hesabı,

$$U_s = \frac{\rho_s K_s K_i I_G}{L_s}$$

$$= \frac{100 \times 0,514 \times 1,915 \times 3141}{419,4} = 737,2 \text{ V}$$

Görüldüğü üzere hesaplanan maksimum adım gerilimi 737,2 V, tolere edilebilir adım gerilimi olan 3899 V un altında bulunduğu için sistem güvenlidir.

Projemizde sistemin hata akım süresi 0,5 s olarak alınmıştır.  $t_s$  hata akım süresinin 1 s olarak alınması durumunda Denklem (3.25) ve (3.26)'dan yararlanarak,

İzin verilen maksimum dokunma gerilimi,

$$U_{dokunma,70} = (1000 + 1,5C_s \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$

$$= (1000 + 1,5 \times 0,920 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{1}} = 806,98 \text{ V}$$

İzin verilen maksimum adım gerilimi,

$$U_{adım,70} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$

$$= (1000 + 6 \times 0,920 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{1}} = 2756,92 \text{ V}$$

Tasarımın güvenlik kontrolü  $t_s$  hata akım süresi 0,5 s ve 1 s yönünden Tablo 4.15'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Hata akım süresi 0,5 s ve 1 s için gerilimlerin karşılaştırılması

<b>Hata akım süresi (<math>t_s</math>) 0,5 s için</b>		
	<b>Hesaplanan Gerilim (V)</b>	<b>Kabul Edilen Gerilim (V)</b>
<b>Dokunma</b>	$U_T = 555,1$	$U_{dokunma,70} = 1140,8$
<b>Adım</b>	$U_S = 737,5$	$U_{adım,70} = 3898,7$

Tablo 4.15. (Devam) Hata akım süresi 0,5 s ve 1 s için gerilimlerin karşılaştırılması

<b>Hata akım süresi (<math>t_s</math>) 1 s için</b>		
	<b>Hesaplanan Gerilim (V)</b>	<b>Kabul Edilen Gerilim (V)</b>
<b>Dokunma</b>	$U_T = 555,1$	$U_{dokunma,70} = 806,98$
<b>Adım</b>	$U_S = 737,5$	$U_{adım,70} = 2756,92$

Tablo 4.15'e göre hata akım süresinin 1 s olduğu durumda dahi hesaplanan dokunma ve adım gerilimleri kabul edilen değerlerin altında olduğundan sistem güvenlidir. Sistemin güvensiz olduğu anlarda ki yapılacak olan işlemler sonuçlar ve öneriler kısmında açıklanmıştır.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, topraklama çeşitleri ile ilgili temel bilgiler detaylı bir şekilde tezin genel bilgiler bölümünde verilmiştir. Bilindiği gibi açık şalt sahalarının toprak üstü zemin izolasyonu, adım ve dokunma gerilimi yönünden önemlidir. Adım ve dokunma gerilimleri topraklama iletkeninin özellikleri baz alınarak hesaplanır. Ayrıca yönetmeliklerde belirtilen tehlikeli gerilim seviyesinde, şalt sahası zemininin üstü ile bu zemin üzerindeki kişi arasındaki gerilimin göz önüne bulundurulduğu anlatılmıştır. Yüksek gerilim merkezlerinde topraklama ağı tasarımı ve boyutlandırılması mekanik zorlamalara ve korozyona dayanıklılığına göre, dokunma - adım kabul edilebilir gerilim kriterlerine göre ve ısı dayanıklılığına göre üç ana başlık altında tezin ikinci kısmında açıklanmıştır. Yüksek gerilim merkezlerinde topraklama hesabının yapılması için IEEE 80-2000 standartları göz önünde bulundurularak İngilizceden Türkçeye çevirisi özet halinde üçüncü kısımda verilmiştir. Tezin son bölümünde paslanmaz çelik sanayine ait bir endüstriyel tesis örnek alınarak irdelenmiştir. Bu tesise ait bütün temel ve koruma topraklaması göz ağ metodu uygulanarak benim tarafımdan yapılmıştır. Tez içerisinde ve eklerde bu konuya ait saha uygulama fotoğrafları yer almaktadır. Örnek alınarak incelenen endüstriyel tesis içerisinde bulunan elektrik odasının IEEE 80-2000 standardına göre topraklayıcının direnci, adım gerilimi, dokunma gerilimi ve potansiyel artış gerilimi hesapları yapılmıştır. Aynı bölüm içerisinde yapılan hesaplamalar ETAP 7.0.0 programı kullanılarak desteklenmiştir. IEEE 80-2000 standardına göre, hesaplanan ve kabul edilebilir, dokunma-adım gerilimleri karşılaştırılarak sistemin güvenliliği kontrol edilmiştir.

Topraklaması yetersiz saha zeminlerinde, izolasyonu arttırmak amacıyla çakıl, asfalt gibi (özgül toprak direnci yüksek malzemeler) izolasyon malzemeleri kullanılarak adım ve dokunma gerilimleri istenilen sınırlar içerisinde elde edilebilmektedir. Topraklama ağında kullanılan iletkenlerin toplam uzunluğu, iletken kesiti, topraklama çubuklarının sayısı, topraklama ağının alanı ve ağdaki göz boyutlarının iyi belirlenmesi adım ve dokunma gerilimlerini olumlu yönde etkilemektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, endüstriyel bir tesise ait uygulanan proje geliştirilen programla teorik olarak sistemin dokunma ve adım gerilimlerinin müsaade edilen değerler içerisinde kalması kontrol edilmiştir. Kontrol sonrasında sistemin güvenli olduğu saptanmıştır. Sistem güvensiz olarak karşımıza çıksaydı tesisin topraklamasının iyileştirilebilmesinde, topraklama elektrotu sayısının artırılması ve ağır iletken açıklığının azaltılması alternatif çözüm yöntemlerinden biri olarak uygulanabilir.

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 işleminden 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 bağlantısının sağlanması,
- Uygun olan yerlerde yeterli miktarda düşük toprak özgül dirençli malzemeler kullanarak uygun ağlar kurulması ve ana topraklama ağına bağlanması,

kullanılabilecek çözüm yöntemleridir.

İşletme personelinin can güvenliğinin sağlanması ve sisteminin devamlılığı için yeni önlemler geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] İlisu İ., *Elektrik Tesislerinde Dolaylı Dokunmaya Karşı Koruma ve Topraklama*, 2. baskı, Elektrik Mühendisleri Odası Genel Merkez, Ankara, 2007.
- [2] Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği (ETTY), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 2001.
- [3] İsmailoğlu H. ve Yeğin M., Yıldırımdan Koruma Sistemleri Standartlar, Yönetmeliklerimiz ve Uygulamaları, 2. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi*, İzmir, Türkiye, 24-27 Kasım 2011.
- [4] Bayram, M., *Elektrik Tesislerinde Topraklama*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 21-24, 2000.
- [5] Sarı, M., Toprak ve Toprak Oluşumu; Anadolu Üniversitesi, <http://www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/IOLTP/1270/unite03.pdf> (Ziyaret Tarihi: 19.11.2012).
- [6] IEEE 81-1983, “*IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of Ground Systems*”, IEEE, New York, 1984.
- [7] Markiewicz H., Klajn A., *Earthing System – Basic Constructional Aspects-Application Hand Note*, 2nd ed., Wroclaw, Poland, 2011.
- [8] Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklama Sistemi, Elektrik Elektronik Teknolojisi, Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), Ankara, 2006.
- [9] İriz T., Aydın A., Elektrik Tesislerinde Topraklama Ölçümleri ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Elektrik Mühendisleri Odası, [http://www.emo.org.tr/ekler/1ec8b16d396beba\\_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=7](http://www.emo.org.tr/ekler/1ec8b16d396beba_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=7) (Ziyaret Tarihi: 17.10.2012)
- [10] Kaşıkçı İ., YG Elektrik Tesislerinde Topraklama, Seminer Notları, EMO İzmir Şb., 2005.
- [11] IEEE 80-2000, “*IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*”, IEEE, New York, 1-192, 2000.
- [12] İlisu İ., Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği ve Yeni Yönetmeliğin Getirdikleri, Seminer Notları, Bursa EMO, 2002
- [13] Attia A., Design and Optimize Substation Grounding Grid Based On IEEE 80-2000 Using Gui and Matlab Codes, *International Journal of Engineering Science*

*and Technology*, 2011, **3**, 6033-6039.

- [14] Tabatabaei N. M., Mortezaeei S. R., Design of Grounding Systems in Substations by ETAP Intelligent Software , *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 2010, **2**, 45-49.
- [15] Switzer W., *Practical Guide to Electrical Grounding*, 1th ed., Erico, USA, 1999.
- [16] Operation Technology, ETAP 7.0.0 Getting Started Guide, <http://etap.com/downloads/brochures/etap-70-demo-guide.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 27.09.2012)
- [17] Sverak J. G., “Simplified Analysis of Electrical Gradients above a Ground Grid; Part I How good is the present IEEE method?”, *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*, 1984, **103**, 7-25
- [18] Schwarz S. J., Analytical Expressions for the Resistance of Grounding Systems, *American Institute of Electrical Engineers Transactions*, 1954, **73**, 1011-1016

## **EKLER**





- Topraklama ve ekipman temelleri elektrik borulama şantiye şefliğini yönettiğim paslanmaz çelik fabrikası.



- Örnek alınan endüstriyel tesisteki belli bir alan ve hesabı yapılmış olan elektrik odası.



- Elektrik odasının bodrum katı; yapılan topraklamadan sonra oda içerisine çıkan galvaniz şeritlerin (filiz) topraklama test kutuları ile yapılan bağlantısı.



- Elektrik odası tamamlandıktan sonra bodrum katından toprağa ulaşamayacağımız için kablo üzerinden Topraklama Ölçüm Megeri kısıkaçları yardımıyla kazıksız (sondasız) yapılan ölçüm. Bu yöntemle yapılan hesaplamada  $\pm 5\%$  sapma öngörülür.



- Topraklama bağlantılarında, topraklayıcı bağlantı elemanları veya cadweld kaynak tozu kullanarak birbirlerine tutturulması tercih edilmektedir. Fakat topraklaması yapılan alan çok büyük olduğundan maliyeti düşürmek amacıyla basic veya rutil (tercihen rutil) kaynak elektrodu kullanılarak bağlantılar yapılmıştır. İlk resimde gördüğümüz kaynak noktası ileriki yıllarda toprak altında veya beton içerisinde gömülü kalacağından korozyona uğrayıp kopması kaçınılmazdır. İkinci resimde ise doğru yapılmış olan bağlantı gösterilmiştir.



- İlk resimde kolon irtibatlandırmasına ilişkin bir örnek verilmiştir. İkinci resimde ise temel topraklamasına ait bir örnek verilmiştir. Her iki yapılan topraklama koruma topraklamasına ait olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca gözlemlenmemektedir. Yapılan kolon topraklamasında ki asıl amaç çalışma sahası çok büyük olduğundan dolayı, kolonlar ağıımız için birer referans noktası olur. Bu kolonlar takip edilerek göz ağ bağlantımız daha sağlıklı bir şekilde kontrol edilir.





- Saha içerisinde yapmış olduğumuz çalışmalarda elektrik grubunu etkileyen en büyük faktörlerin başında inşaat grubu gelir. Elektrik ve inşaat grupları arasında ki koordinasyonsuzluktan dolayı ağ üzerindeki topraklayıcıların tahribata uğramaması çok zordur. Her iki resimde de kazı veya silindir çalışması sonucu hasarlanan topraklayıcılar görülmektedir.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1987 yılın da İzmit'te doğdu. İlk ve orta eğitimini İzmit'te, lise ve üniversite eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılın da girdiği Bahçeşehir Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümünden 2010 güz yarıyılın da Elektrik ve Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2010 bahar yarıyılı itibariyle Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimimi sürdürmektedir. 2011 yılından beri Egdaş firmasının da Elektrik Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Dilik iyi derecede İngilizce bilmektedir.