

**T. C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

**ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA  
SİSTEMLERİ VE BİR YERLEŞİM BÖLGESİNDE  
UYGULAMASI**

Yüksek Lisans Tezi

**İbrahim URAL**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif ŞENOL

**İstanbul – 2021**



## TEZ TANITIM FORMU

**Yazar Adı Soyadı** : İbrahim URAL

**Tezin Dili** : Türkçe

**Tezin Adı** : Elektrik Tesislerinde Topraklama Sistemleri ve Bir Yerleşim Bölgesinde Uygulaması

**Enstitü** : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

**Anabilim Dalı** : Elektrik-Elektronik Mühendisliği

**Tezin Türü** : Yüksek Lisans

**Tezin Tarihi** : 11.02.2021

**Sayfa Sayısı** : 120

**Tez Danışmanları** : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif ŞENOL

**Dizin Terimleri** : Topraklama tesisleri, topraklama elektrotları, tasarım,uygulama

**Türkçe Özet** : Bu çalışmada, topraklama sistemlerinin bir bütün olarak hem yüksek gerilim hem de alçak gerilim tesisleri için incelenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen topraklama sistemlerinin trafo merkezleri dahil olmak üzere yüksek ve alçak gerilimlerin bulunduğu büyük bir yerleşim merkezinde uygulanması da yapılmıştır.

**Dağıtım Listesi** : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne  
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

*İbrahim URAL*

**T. C.**  
**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

**ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA**  
**SİSTEMLERİ VE BİR YERLEŞİM BÖLGESİNDE**  
**UYGULAMASI**

Yüksek Lisans Tezi

**İbrahim URAL**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif ŞENOL

**İstanbul – 2021**

## **BEYAN**

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

İbrahim URAL

.../.../2021



**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

İbrahim URAL'ın Elektrik Tesislerinde Topraklama Sistemleri ve Bir Yerleşim Bölgesinde Uygulaması adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği anabilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

*İmza*  
Başkan  
*Prof. Dr. Sadettin AKSOY*

*İmza*  
Üye  
*Dr.Öğr.Üys. Mehmet Akif*  
*ŞENOL*  
(Danışman)

*İmza*  
Üye  
*Doç.Dr. Aslan İNAN*

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2021

*İmzası*  
*Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ*  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

İnsan nüfusundaki artışa paralel olarak, inşaat sektöründeki hızlı gelişmeler doğal olarak elektrik tesislerinin de hızla artmasına neden olmuştur. Elektrik tesislerinin en önemli kısımlarından birisi de topraklama sistemleridir. Çünkü gerek kullanıcıların ve elektrik tesisinin işletilmesinden sorumlu personelin ve diğer canlıların tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerinden dolayı elektrik çarpmasına karşı korunması; gerekse ortaya çıkabilecek yangın ve hasarların sebep olduğu mal kayıpları topraklama sisteminin doğru boyutlandırılıp, gerçekleştirilmesine bağlıdır. Bu çalışmanın amacı topraklama sistemlerinin bir bütün olarak hem yüksek gerilim hem de alçak gerilim tesisleri için incelenmesidir. Çalışma kapsamında incelenen topraklama sistemlerinin trafo merkezleri dahil olmak üzere yüksek ve alçak gerilimlerin bulunduğu büyük bir yerleşim merkezinde uygulanması da yapılmıştır.

Çalışmada öncelikle topraklama sistemleri ile ilgili genel kavramlar ve tanımlar açıklanmış ve şebeke yıldız noktasının durumuna göre dağıtım şebekelerindeki TN, TT ve IT topraklama sistemleri uluslararası standartların ışığında incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yüksek gerilim şebekelerindeki topraklama sistemlerinin temel ilkeleri, mekanik dayanım, korozyon, ısıl zorlanmalar, adım ve temas gerilimleri bakımından boyutlandırma esasları incelenmiştir. Aynı bölümde alçak gerilim şebekelerinde dolaylı temasa karşı koruma ilkeleri, koruyucu topraklama ve potansiyel dengeleme (eşpotansiyel kuşaklama) iletkenlerinin boyutlandırılma esasları incelenmiş olup, topraklama sistemlerinde muayene, ölçme ve denetleme esaslarına değinilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde topraklama sistemlerinin en önemli bileşenlerinden birisi olan topraklama elektrotlarının (topraklayıcıların) yatay, dikey olarak sınıflandırılması yapılarak bu kapsamda yarıküre, çubuk, şerit topraklayıcılarda topraklama direnç hesaplama formülleri verilerek yıldız, gözlü, halka ve kare şeklinde şerit topraklayıcı düzenlemelerinde eşdeğer topraklama direnç değerleri hakkında bilgi verilmiştir. Aynı kapsamda temel topraklama elektrotlarının boyutlandırılma esasları da verilmiş olup topraklama iletkenlerinin tesisi ve eklenme esasları incelenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise teorik olarak verilen topraklama

sistemlerinin tasarım bilgileri 1394 konut ve 88 ticari işletme yerinden oluşan toplam kurulu gücü 4x1600 kVA olan bir yerleşim bölgesine uygulanmış olup topraklama sistem tasarımı yapılarak, topraklama ölçüm sonuçları teorik değerlerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve aralarındaki uyum gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Topraklama tesisleri, topraklama elektrotları, tasarım, uygulama





## SUMMARY

In parallel with increasing human population, rapid developments in the construction sector naturally caused a rapid increase in electrical installations. One of the most important parts of electrical installations is earth systems. Because the protection of both the users and the personnel responsible for the operation of the electrical facility and other creatures against electric shock due to dangerous touch and step voltages; as well as property losses caused by fires and damages depend on the correct dimensioning and realization of the earth system. The aim of this study is to examine the grounding systems as a whole for both high voltage and low voltage installations. The earth systems examined within the scope of the study were also applied in a large settlement center with high and low voltages, including transformer centers.

In the study, firstly, general concepts and definitions related to earth systems are explained and TN, TT and IT earth systems in distribution networks are examined in the light of international standards according to the state of the network star point.

In the second part of the study, the basic principles of earth systems in high voltage networks, mechanical strength, corrosion, thermal strains, sizing principles in terms of step and contact voltages are examined. In the same section, the principles of protection against indirect contact in low voltage networks, the principles of protective earthing and sizing of potential equalization (equipotential bonding) conductors are examined, and the principles of inspection, measurement and inspection in earth systems are discussed.

In the third part of the study, the information about the earthing electrodes (earthing apparatus), which is one of the most important components of the earthing systems, are classified horizontally and vertically, and in this context, earthing resistance calculation formulas are given in the hemispheres, rods, strip earth apparatus, and the equivalent earthing resistance values in star, eyelet, ring and square strip earth apparatus arrangements is given. In the same context, the principles of sizing the basic earthing electrodes are given and the principle of earthing conductor facilities and attachment have been examined.

In the fourth part of the study, the design information of the earth systems given theoretically was applied to a residential area with a total installed power of 4x1600 kVA, consisting of 1394 residences and 88 commercial facilities, and the earth system design was made, the earthing measurement results were analyzed comparatively with theoretical values and the harmony between them was shown.

**Keywords:** Grounding facilities, grounding electrodes, design, application



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
KISALTMALAR .....	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xii
RESİMLER LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiv
ÖNSÖZ.....	xvi
GİRİŞ .....	1

### BİRİNCİ BÖLÜM

#### ELEKTRİK TESİSLERİYLE VE TOPRAKLAMALARLA İLGİLİ TANIMLAR

1.1. Genel Elektrik Tanımları .....	10
1.2. Topraklamaya İlişkin Tanımlar .....	11
1.3. Hata ve Arızalar ile İlgili Tanımlar .....	15
1.4. Şebeke Tiplerine İlişkin Tanımlar .....	18
1.4.1. Şebekelerin Yıldız Noktalarının Topraklanma Durumlarına Göre Sınıflandırılması .....	18
1.4.2. Dağıtım Şebekelerinin Gerilimli İletken Sayısına Göre Sınıflandırılması .....	18
1.4.3. Dağıtım Şebekelerinin Topraklama Tipine Göre Sınıflandırılması .....	19

### İKİNCİ BÖLÜM

#### YÜKSEK VE ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA

2.1. Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklama.....	25
2.1.1. Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklamanın Önemi.....	25
2.1.2. Yüksek Gerilim Topraklama Tesislerinin Boyutlandırılması.....	28
2.1.2.1. Mekanik Dayanım ve Korozyona Karşı Dayanıklılık Bakımından Topraklama Tesisinin Boyutlandırılması .....	29
2.1.2.2. Isıl Zorlanmalar Karşı Boyutlandırma.....	31
2.1.2.3. Dokunma ve Adım Gerilimlerine Göre Boyutlandırma.....	32
2.1.3. Yüksek Gerilim Topraklama Tesislerinin Yapılması.....	33
2.2. Alçak Gerilim Tesislerinde Topraklama .....	35
2.2.1. Alçak Gerilim Tesislerinde Topraklamanın Önemi .....	35
2.2.2. Alçak Gerilim Tesislerinde Dolaylı Temasa Karşı Koruma .....	35
2.2.3. Alçak Gerilim Tesislerinde Topraklama, Koruma ve Potansiyel Dengeleme İletkenlerinin Seçimi ve Tesisi.....	37

2.3. Topraklama Tesislerinde Muayene, Ölçme ve Denetleme.....	39
---	----

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### TOPRAKLAMA ELEKTROTLARI VE TEMEL TOPRAKLAMA

3.1. Topraklama Elektrotlarına Giriş.....	43
3.2. Toprak Özdirenci ve Ölçüm Yöntemleri.....	43
3.2.1. Toprak Özdirenci.....	43
3.2.2. Toprak Özdirenci Ölçüm Yöntemleri ve Formülleri.....	44
3.3. Topraklayıcı Elektrot Çeşitleri.....	46
3.3.1. Şerit Topraklayıcılar.....	46
3.3.1.1. Gözlü Şerit Topraklayıcı.....	47
3.3.1.2. Halka Şerit Topraklayıcı.....	48
3.3.1.3. Yıldız Şerit Topraklayıcı.....	49
3.3.2. Doğal Topraklayıcılar.....	50
3.3.3. Çubuk Topraklayıcılar.....	50
3.3.4. Derin Topraklayıcılar.....	51
3.3.5. Levha Topraklayıcılar.....	52
3.3.5.1. Daire Şeklindeki Levha Topraklayıcı.....	52
3.3.5.2. Kare Şeklindeki Levha Topraklayıcı.....	53
3.4. Yatay Topraklama Eş değer Direnci.....	54
3.5. Dikey Topraklama Eş değer Direnci.....	54
3.6. Topraklama Toplam Eş değer Direnci.....	54
3.7. Yarım Küre Topraklayıcı.....	54
3.8. Temel Topraklamada Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.....	57
3.8.1. Temel Topraklamada Hesaplanacak Değerler.....	57
3.8.2. Temel Topraklama Örneği.....	59
3.9. Topraklayıcıların ve Topraklama İletkenlerinin Tesisi.....	60
3.9.1. Topraklayıcıların Tesisi.....	60
3.9.1.1. Yüzeysel Topraklayıcılar.....	60
3.9.1.2. Temel Topraklayıcılar.....	61
3.9.1.3. Topraklayıcıların Eklenmesi.....	65
3.9.2. Topraklama İletkenlerinin Tesis Edilmesi.....	66
3.9.2.1. Topraklama İletkenlerinin Tesisi.....	66
3.9.2.2. Topraklama İletkenlerinin Eklenmesi.....	66
3.9.3. Beton İçindeki Demirlerin Topraklama Amacı İçin Kullanılması.....	66

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### UYGULAMA

4.1. Uygulama Yapılan Yer Hakkında Özet Bilgi.....	67
4.2. Uygulama Projeleri.....	69

4.2.1. Bina Temelinde Uygulanan Topraklama.....	69
4.2.2. Zemin Kat Toprak Seviyesinde Uygulanan Topraklama .....	75
4.2.3. Ara Katlarda Uygulanan Topraklama.....	78
4.2.4. Blokların Enerji Dağıtım Merkezinde Uygulanan Topraklama .....	81
4.3. Uygulama Yapılan Bölgenin Toprak Özdirenç Ölçümü .....	83
4.4. Yapılan Uygulamalara Ait Proje Hesapları .....	84
4.4.1. Bina Koruma Topraklaması Hesapları .....	84
4.4.2. Trafo Dağıtım Merkezi İçin Koruma Topraklama Hesabı .....	85
4.4.3. Trafo Dağıtım Merkezi İçin İşletme Topraklama Hesabı .....	87
4.5. Topraklama Sisteminde Hesaplanan Değerle Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması .....	88
4.5.1. Bina Koruma Topraklaması Ölçümü.....	89
4.5.2. Dağıtım Merkezi Trafo İşletme ve Koruma Topraklaması Ölçümü .....	89
4.5.3. Hesaplanan ve Ölçülen Topraklama Değerlerinin Karşılaştırılması .....	90
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>92</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>94</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>97</b>

## KISALTMALAR

<b>DA</b>	:	Doğru Akım
<b>ETKB</b>	:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<b>ETTY</b>	:	Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği
<b>IEEE</b>	:	The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
<b>TCAP</b>	:	Thermal capacity factor (Birim hacim başına ısı yüklenme) [J/(cm <sup>3</sup> .°C)]
<b>TM</b>	:	Trafo merkezi
<b>YG</b>	:	Yüksek Gerilim
<b>OG</b>	:	Orta Gerilim
<b>AG</b>	:	Alçak Gerilim
<b>ÇYG</b>	:	Çok Yüksek Gerilim
<b>A</b>	:	Sondalar arası mesafe [m]
<b>A</b>	:	İletken kesiti [mm <sup>2</sup> ]
<b>A'</b>	:	Ağın kapladığı alan [m <sup>2</sup> ]
<b>B</b>	:	Dairesel metal diskin yarıçapı [m]
<b>C<sub>e</sub></b>	:	Hattın kapasitesi
<b>C<sub>s</sub></b>	:	Yüzey katmanı indirim katsayısı
<b>D</b>	:	Halka topraklayıcının çapı [m]
<b>D</b>	:	Göz topraklayıcının alanına eşit olan daire alanı [m]
<b>D<sub>f</sub></b>	:	Azalma katsayısı
<b>E</b>	:	Topraklayıcı
<b>h</b>	:	Ağın gömülme derinliği [m]
<b>h<sub>s</sub></b>	:	Yüzey malzemesinin kalınlığı [m]
<b>H</b>	:	Gömülme derinliği [m]
<b>I</b>	:	Akım şiddeti [A]

<b>I<sub>f</sub></b>	:	Simetrik hata akımının etkin değeri [A]
<b>I<sub>g</sub></b>	:	Simetrik topraklama ağı akımının etkin değeri [A]
<b>I<sub>B</sub></b>	:	Vücut akımı [A]
<b>I<sub>C</sub></b>	:	Kapasitif toprak akımı [A]
<b>I<sub>E</sub></b>	:	Topraklayıcı akımı [A]
<b>I<sub>G</sub></b>	:	En büyük topraklama ağı akımı [A]
<b>I<sub>H</sub></b>	:	Harmonik akım [A]
<b>I<sub>L</sub></b>	:	Paralel söndürme bobinlerine ait akımların toplamı [A]
<b>I<sub>R</sub></b>	:	Kaçak akım [A]
<b>I<sub>RES</sub></b>	:	Toprak teması sırasında oluşan artık akımı [A]
<b>I''<sub>k1</sub></b>	:	Tek kutuplu toprak kısa devresinde başlangıçta oluşan kısa devre akımı [A]
<b>H</b>	:	Yeryüzü potansiyeli
<b>K</b>	:	Akım taşıyan malzeme katsayısı
<b>k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub></b>	:	Katsayılar
<b>K</b>	:	Çeşitli malzemelerin özdirençleri arasında yansıma katsayısı
<b>K<sub>0</sub></b>	:	Malzeme değişmezi için alınan temel ısı-direnç sıcaklığı [°C]
<b>L</b>	:	Çubuk topraklayıcının boyu [m]
<b>L<sub>C</sub></b>	:	Ağıdaki yatay iletkenlerin toplam uzunluğu [m]
<b>L<sub>R</sub></b>	:	Bir çubuğun boyu [m]
<b>L<sub>T</sub></b>	:	Gömülmüş toplam iletken boyu [m]
<b>n<sub>R</sub></b>	:	Toplam çubuk sayısı
<b>R<sub>f</sub></b>	:	Mevcut trafo sistemi topraklaması dahil edilmediği zamanki bir adım da ki toprak direnci [Ω]
<b>R<sub>g</sub></b>	:	Sistem direnci [Ω]

<b>R<sub>m</sub></b>	:	İki grup arasındaki karşılıklı direnç [ $\Omega$ ]
<b>R<sub>da</sub></b>	:	Topraklama tesisine ait darbe topraklama direnci [ $\Omega$ ]
<b>R<sub>A</sub></b>	:	Hata devresini etkileyen toplam direnç [ $\Omega$ ]
<b>R<sub>E</sub></b>	:	Yayıma direnci [W]
<b>R<sub>1</sub></b>	:	Ağ iletkenleri grubunun toprak direnci [ $\Omega$ ]
<b>R<sub>2</sub></b>	:	Çubuk grubunun toprak direnci [ $\Omega$ ]
<b>R<sub>m(2nhs)</sub></b>	:	Özdirenci $\rho_s$ [ $\Omega.m$ ] olan sonsuz ortamda 2nhs açıklıkla ayrılmış iki benzer, paralel, eş eksenli levha arasındaki karşılıklı toprak direnci [ $\Omega$ ]
<b>S<sub>f</sub></b>	:	Hata akımı bölünme katsayısı
<b>S<sub>B</sub></b>	:	Elektrik şok enerjisine bağlı olan deneysel katsayı
<b>S1, S2, S3</b>	:	Ana topraklayıcıya bağlanmış olan potansiyel düzenleyici topraklayıcılar
<b>t</b>	:	Hata akımı süresi [s]
<b>t<sub>s</sub></b>	:	Vücut akımının etki süresi [s]
<b>T<sub>a</sub></b>	:	Ortam sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
<b>T<sub>c</sub></b>	:	İletken üzerinden akan etkin akımın süresi [s]
<b>T<sub>m</sub></b>	:	En büyük izin verilen sıcaklık [ $^{\circ}C$ ]
<b>T<sub>r</sub></b>	:	Malzeme değişmezi için temel alınan sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
<b>U</b>	:	Elektrik potansiyeli [V]
<b>U<sub>da</sub></b>	:	Yalıtkanın darbe dayanım gerilimi [V]
<b>U<sub>mm</sub></b>	:	Metal-metal dokunma gerilimi [V]
<b>U<sub>A</sub></b>	:	Hata devresini etkileyen toplam gerilim [V]
<b>U<sub>E</sub></b>	:	Topraklama gerilimi [V]
<b>U<sub>S</sub></b>	:	Adım gerilimi [V]
<b>U<sub>T</sub></b>	:	Dokunma gerilimi [V]



<b>U<sub>TP</sub></b>	:	İzin verilmiş olan dokunma gerilimi [V]
<b>U<sub>P1</sub></b>	:	P1 noktasındaki potansiyel [V]
<b>U<sub>P2</sub></b>	:	P2 noktasındaki potansiyel [V]
<b>U<sub>adım</sub></b>	:	Mümkün olan en büyük adım gerilimi [V]
<b>U<sub>dokunma</sub></b>	:	Mümkün olan en büyük dokunma gerilimi [V]
<b>U<sub>TST</sub></b>	:	Kılıfın en uzak noktada topraklanmadığı sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi [V]
<b>U<sub>TSTE</sub></b>	:	Kılıfın en uzak noktada topraklandığı sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi [V]
<b>Z<sub>TH</sub></b>	:	İki nokta arasındaki Thevenin teoremi empedansı [ $\Omega$ ]
<b>2a</b>	:	İletken çapı [m]
<b>2b</b>	:	Çubuk çapı [m]
<b>3I<sub>0</sub></b>	:	Sıfır dizin hata akımı [A]
<b><math>\rho</math></b>	:	Toprağın özdirenci [ $\Omega.m$ ]
<b><math>\rho_s</math></b>	:	Yüzey malzemesi özdirenci [ $\Omega.m$ ]
<b><math>\rho_T</math></b>	:	Kenar uzunluğu 1 metre olan bir küpün öz olan direnci [ $\Omega.m$ ]
<b><math>\rho_E</math></b>	:	Toprak özdirenci [W.m]
<b><math>\rho_r</math></b>	:	T <sub>r</sub> için temel alınan sıcaklıkta topraklama iletkeninin özdirenci [1/°C]
<b><math>\theta_t</math></b>	:	Başlangıç sıcaklığı [°C]
<b><math>\theta_\phi</math></b>	:	Son sıcaklık [°C]
<b><math>\beta</math></b>	:	Akım taşıyan kısmın malzemesine bağlı 0°C sıcaklıktaki direncinin sıcaklık katsayısının tersi
<b><math>\alpha_0</math></b>	:	0°C de ısı-direnç katsayısı [1/°C]
<b><math>\alpha_r</math></b>	:	T <sub>r</sub> için temel alınan sıcaklıkta ısı-direnç katsayısı [1/°C]

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Alternatif akımın insan vücuduna etkisi.....	28
<b>Tablo 2.</b> Mekanik dayanım ve korozyon bakımından topraklayıcı malzemelerin tipleri ve minimum boyutları.....	30
<b>Tablo 3.</b> Topraklama sistemleri tasarımı ile ilgili akımlar .....	31
<b>Tablo 4.</b> Toprağın cinsine göre alternatif akım frekanslarında yaklaşık toprak öz direnci.....	41
<b>Tablo 5.</b> Hesaplanan ve Ölçülen Değerler Tablosu.....	90



## RESİMLER LİSTESİ

<b>Resim 1.</b> 1.Blok temel topraklama uygulama görseli.....	71
<b>Resim 2.</b> Topraklama bağlantı klemensi ile bağlantı filizi görseli .....	72
<b>Resim 3.</b> Topraklama bağlantı klemensleri ile kolon demirine bağlantı görseli .....	72
<b>Resim 4.</b> 1.Blok eş potansiyel dengeleme barası için bırakılan galvaniz şerit görseli .....	73
<b>Resim 5.</b> 1.Blok asansör kuyularında bırakılan galvaniz şerit görseli.....	74
<b>Resim 6.</b> 1.Blok elektrik odası eş potansiyel dengeleme barası görseli .....	74
<b>Resim 7.</b> Bina etrafında toprak seviyesinde topraklama çubuk görseli.....	77
<b>Resim 8.</b> Toprak öz direnç ölçüm düzeneği .....	83
<b>Resim 9.</b> Toprak öz direnç ölçüm değerleri .....	83



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yıldız noktası yalıtılmış bir şebekede toprak hata akımı .....	16
Şekil 2. Yıldız noktası kompanze edilmiş şebekede toprak hata akımı.....	16
Şekil 3. Düşük empedanslı dirençle topraklanmış yıldız şebekede toprak hata akımı .....	16
Şekil 4. Yıldız noktası kompanze edilmiş ve geçici olarak düşük değerli direnç ile topraklanmış yıldız şebekede toprak hata akımı .....	17
Şekil 5. İkili toprak teması durumunda toprak hata akımı.....	17
Şekil 6. Dağıtım şebekelerinde kullanılan semboller ve ifade edilişleri.....	20
Şekil 7. TN-S Sistemi (Sistemin tamamında nötr ve koruma iletkeni ayrı).....	20
Şekil 8. TN-S Sistemi (Sistemin tamamında topraklanmış faz iletkeni ile koruma iletkeni ayrı).....	21
Şekil 9. TN-C-S Sistemi .....	21
Şekil 10. TN-C Sistemi.....	22
Şekil 11. TT Sistemi 1 .....	22
Şekil 12. TT Sistemi 2 .....	23
Şekil 13. IT Sistemi 1 .....	23
Şekil 14. IT Sistemi 2 .....	24
Şekil 15. Bir transformatör merkezi topraklaması .....	25
Şekil 16. Alternatif akım etkilerinin akım/zaman bölgeleri .....	27
Şekil 17. Dokunma gerilimi/akım süresi bölgeleri .....	33
Şekil 18. Toprak özdirenci .....	43
Şekil 19. Toprak özdirenci ölçüm düzeneği.....	44
Şekil 20. Wenner yöntemi ile toprak özdirenç ölçüm düzeneği .....	45
Şekil 21. Schlumberger yöntemi ile toprak özdirenci ölçümü düzeneği.....	45
Şekil 22. Yüzeysel topraklayıcıların yüzey kısmına ya da H derinliğine tesis edilmeleri durumu modellemesi.....	46
Şekil 23. Gözlü şerit topraklayıcı modellemesi.....	47
Şekil 24. Halka şerit topraklayıcı modellemesi.....	48
Şekil 25. Yıldız şerit topraklayıcı modellemesi .....	49
Şekil 26. Yıldız şerit topraklayıcı çeşitleri.....	49
Şekil 27. Çubuk topraklayıcı modellemesi .....	50
Şekil 28. Birden fazla çubuk topraklayıcı olma durumu modellemesi .....	51
Şekil 29. Toprağa düşey olarak gömülen daire şeklinde levha topraklayıcı .....	52
Şekil 30. Kare biçimde levha topraklayıcı.....	53
Şekil 31. Yarım küre olan topraklayıcılarda akım ve potansiyelin dağılımı .....	55
Şekil 32. Adım, dokunma ve topraklama gerilimi şematik gösterimi .....	55
Şekil 33. Örnek temel topraklama projesi .....	58
Şekil 34. Demir olmayan temel (Grobeton) içine yerleştirilmiş temel topraklayıcının kesiti.....	61
Şekil 35. Demir olan temel içine yerleştirilmiş temel topraklayıcının kesiti.....	62
Şekil 36. Demir olan ve bina temeli yalıtım malzemelerinin içinde bulunan temel içine yerleştirilmiş temel topraklayıcının kesiti .....	62

<b>Şekil 37.</b> Bina temel çevresi 20m x 20m den küçük ölçülerde, temel topraklayıcının yerleştirilmesi planı .....	63
<b>Şekil 38.</b> Bina temel çevresi 20m x 20m den büyük ölçülerde, temel topraklayıcının yerleştirilmesi planı .....	63
<b>Şekil 39.</b> Temel topraklamada dilatasyon noktalarında kullanılan esnek bağlantı modellenmesi.....	64
<b>Şekil 40.</b> Bina temelinde demir donatı üzerinde topraklayıcıların demir donatıya yerleştirilmesi.....	64
<b>Şekil 41.</b> 1. Parsel vaziyet planı .....	68
<b>Şekil 42.</b> 1. Blok temel topraklama planı .....	70
<b>Şekil 43.</b> Topraklama bağlantı klemensleri ile bağlantı filizlerinin proje detayı .....	71
<b>Şekil 44.</b> Eş potansiyel bara topraklama ringi bağlantı detayı .....	73
<b>Şekil 45.</b> 1. Blok zemin kat topraklama planı .....	76
<b>Şekil 46.</b> Topraklama çubuk detayı .....	77
<b>Şekil 47.</b> 1. Blok bina kesit topraklama planı.....	79
<b>Şekil 48.</b> 1. Blok 4.,9.,14.,19., katlar topraklama planı .....	80
<b>Şekil 49.</b> Dağıtım merkezi trafo işletme ve koruma topraklama planı .....	82
<b>Şekil 50.</b> Toprak direnci ölçüm tarihindeki meteorolojik veriler.....	89

## ÖNSÖZ

İnsan nüfusundaki artışa paralel olarak, inşaat sektöründeki hızlı gelişmeler doğal olarak elektrik tesislerinin de hızla artmasına neden olmuştur. Elektrik tesislerinin en önemli kısımlarından birisi de topraklama sistemleridir. Çünkü gerek kullanıcıların ve elektrik tesisinin işletilmesinden sorumlu personelin ve diğer canlıların tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerinden dolayı elektrik çarpmasına karşı korunması; gerekse ortaya çıkabilecek yangın ve hasarların sebep olduğu mal kayıpları topraklama sisteminin doğru boyutlandırılıp, gerçekleştirilmesine bağlıdır. Bu çalışmanın amacı topraklama sistemlerinin bir bütün olarak hem yüksek gerilim hem de alçak gerilim tesisleri için incelenmesidir. Çalışma kapsamında incelenen topraklama sistemlerinin trafo merkezleri dahil olmak üzere yüksek ve alçak gerilimlerin bulunduğu büyük bir yerleşim merkezinde uygulanması da yapılmıştır.

Çalışmamın yürütülmesi sırasında desteklerini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üys. Mehmet Akif Şenol Hocama, hayatım boyunca beni destekleyen sevgili annem Emine Ural ve babam Seyit Ahmet Ural'a, yoğun çalışmalarımnda ve tüm hayatımda bana katlandığı ve benimle birlikte olduğu için sevgili eşim Hümeýra Ural'a ve çalışmalar sırasında ilgimden yoksun kalan sevgili çocuklarım Ahmet Berkay Ural, Berat Kayra Ural ve Eymen Bera Ural'a çok Teşekkür ederim.

## GİRİŞ

Elektrik tesislerinde toprak, potansiyeli sıfır volt olan sonsuz büyüklükte bir iletken olarak kabul edilen yeryüzünün madde ve yer olarak ifadesi olarak anılır ve referans nokta olarak ifade edilir. Bir elektrik devresinde bütün noktaların potansiyelleri, bu referans noktaya göre belirlenir. Yeryüzünde toprak maddesi kumlu, killi, humuslu, çakıl taşı, bataklık, buztaş vb. çeşitlere sahiptir. Elektrik tesislerinde topraklama deyimi ise, en genel manada iletken özelliği olan bir parça veya kısmın “topraklama tesisi” adı verilen bir sistemle toprağa bağlanmasını sağlamak olarak tanımlanır. Topraklama ise bu amaçla kullanılan yöntem, düzen, iletken, araç ve gereçlerin tümü olarak ifade edilir. Elektrik tesislerinde topraklama; çeşitli amaçların yerine getirilmesi için kurulur. Bunlar:

- Koruma amacıyla yapılan topraklama, buna “koruma topraklaması” denilir;
- İşletme gereği yapılan topraklama; buna “işletme topraklaması” adı verilir;
- İşlevsel amaçlı yapılan topraklama, bu “fonksiyon topraklaması” olarak bilinir.
- Özel amaçlarla yapılan topraklama.

Koruma topraklaması, elektrik devrelerinde meydana gelecek olası bir hata veya bir arıza durumunda; elektrik devre elemanlarının, iletkenlerin ve devreye bağlanan diğer tüm cihazlar ile araç ve gereçlerin, çevrenin zarar görmesini önlemek ve daha önemlisi insanları ve diğer canlıları ortaya çıkabilecek tehlikeli gerilimlere karşı güvenliğini sağlamak amacıyla yapılan topraklama tesisidir. Bu topraklama türünde akım devresinde bulunmayan iletken özellikli parça veya bölümler öncelikle eş potansiyel hale getirilir ve topraklanırlar. Böyle bir topraklama tesisinden beklenen özellikler şunlardır:

Hata sırasında ortaya çıkabilecek gerilimlerin insanlar ve diğer canlılar için tehlikeli gerilim sınırlarının altına düşürülmesinin sağlanması ve böylece can kayıplarının önlenmesi;

En büyük toprak hata akımının geçmesi sırasında, ısı bakımından uygun boyutlandırılmış olması ve böylece yangın ve akabinde zehirlenme riskinin önlenerek mal kayıplarının ve çevreye verebileceği zararların önlenmesi;

Mekanik bakımından ve korozyona dayanıklılık bakımından sağlam olması ve böylece sürdürülebilir olması.

Bu özelliklerin yerine getirilebilmesi için söz konusu elektrik devresinde veya tesisinde en büyük hata veya arıza değerinin hesaplanması, hata veya arızanın ne kadar süreceği ve toprağın özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

Elektrik devresinin bir noktasının, uygulamada genellikle yıldız noktasının, devrede kullanılan cihazların ve tesislerin işletilmesini sağlamak üzere yapılan topraklamaya “işletme topraklaması” denilir. Bu topraklama doğrudan doğruya direkt olarak yani bir direnç kullanılmaksızın yapılacağı gibi ohmik, endüktif ya da kapasitif bir direnç kullanılarak da yapılabilir.

Bir telekomünikasyon tesisinin veya bu tür tesiste kullanılan bir işletme elemanının kendi işlevini yerine getirilmesini teminen yapılan topraklama türüne ise “fonksiyonel topraklama” denilir. Diğer topraklama türlerinden farklı olarak burada topraklama iletkeni, haberleşme donanımlarında toprağı dönüş iletkeni olarak kullanır ve işletme akımlarını taşır.

Topraklamalar özel amaçlarla da yapılabilir. Örnek olarak düşük bir gürültü seviyesi elde etmek amacıyla yapılan topraklama, yıldırımdan korunma amacıyla yapılan topraklama ve raylı ulaşım sistemlerinde yapılan raylı sistem topraklaması örnek olarak verilebilir.

Düşük gürültülü topraklamada dış ortamların veya kaynakların bozucu etkileri bilgisayar vb. donanımlarda sinyal ve bilgi kayıplarına neden olabilecek türden etkilerin üretilmesini engellemek amacıyla topraklama yapılır. Yıldırıma karşı topraklamada ise binalara ve diğer yapılara yıldırım düştüğü zaman elektrik devresi dışındaki iletken bölümleri kısımların topraklanması yapılır. Yıldırımın elektromanyetik darbe etkilerine karşı korunmasında ise bu etkilerin elektrikli cihaz ve devrelere olan hasar verici etkileri, darbe koruma düzeneği adı verilen düzeneklerle sağlanır. Yıldırımın enerji iletim ve dağıtım hatları, transformatör merkezleri gibi elektrik tesislerine doğrudan düşmesi veya endirekt etkileri nedeniyle havai hat ve yeraltı kablolarında meydana getirdiği yürüyen gerilim darbelerine karşı ise, havai hatlarda “toprak iletkeni” ve/veya parafudr gibi elemanlarla topraklama yapılır. Raylı sistem topraklamalarında iletken kısımlar ile raylı sistem toprağı arasında açık bağlantı yapılır ve bu durumda raylı sistem toprağı, topraklama tesisleri vasıtasıyla topraklanmış olan ray kısımları ve bunlara bağıli iletken kısımları geri dönüş iletkeni olarak görev yaparlar.



Bu çalışmada olası bir hata veya arıza halinde dolaylı dokunma sonucu elektrik çarpması nedeni can ve mal kayıplarının önlenmesi, mekanik etkilerle korozyona karşı çeşitli topraklama sistemi elemanlarının boyutlandırılması ve toprak çeşitleri, topraklama elektrotları ve bunların düzenleme biçimleri ve malzeme cins ve boyut seçimlerine ilişkin temel prensipler verilmiştir.

*Araştırmanın Amacı:*

İnsan nüfusundaki artışa paralel olarak, inşaat sektöründeki hızlı gelişmeler doğal olarak elektrik tesislerinin de hızla artmasına neden olmuştur. Elektrik tesislerinin en önemli kısımlarından birisi de topraklama sistemleridir. Çünkü gerek kullanıcıların ve elektrik tesisinin işletilmesinden sorumlu personelin ve diğer canlıların tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerinden dolayı elektrik çarpmasına karşı korunması; gerekse ortaya çıkabilecek yangın ve hasarların sebep olduğu mal kayıpları topraklama sisteminin doğru boyutlandırılıp, gerçekleştirilmesine bağlıdır. Bu çalışmanın amacı topraklama sistemlerinin bir bütün olarak hem yüksek gerilim hem de alçak gerilim tesisleri için incelenmesidir.

*Araştırmanın Planı:*

Bu çalışma esas itibari ile 5 bölümden oluşmaktadır.

*Giriş Bölümü:* Elektrik tesislerinde topraklama ile ilgili problem durumu, araştırmanın amacı ve araştırma planı açıklanmıştır. Ayrıca günümüze kadar yapılan topraklama ile ilgili teorik yayınları ve bilimsel makaleler incelenerek bu konudaki özet çalışmalara yer verilmiştir.

*Birinci Bölüm:* Topraklama sistemleri ile ilgili genel kavramlar ve tanımlar açıklanmış ve şebeke yıldız noktasının durumuna göre dağıtım şebekelerindeki TN, TT ve IT topraklama sistemleri uluslararası standartların ışığında incelenmiştir.

*İkinci Bölüm:* Yüksek gerilim şebekelerindeki topraklama sistemlerinin temel ilkeleri, mekanik dayanım, korozyon, ısıl zorlanmalar, adım ve temas gerilimleri bakımından boyutlandırma esasları incelenmiştir. Aynı bölümde alçak gerilim şebekelerinde dolaylı temasa karşı koruma ilkeleri, koruyucu topraklama ve potansiyel dengeleme (eş potansiyel kuşaklama) iletkenlerinin boyutlandırılma esasları incelenmiş olup, topraklama sistemlerinde muayene, ölçme ve denetleme esaslarına değinilmiştir.

*Üçüncü Bölüm:* Topraklama sistemlerinin en önemli bileşenlerinden birisi olan topraklama elektrotlarının (topraklayıcıların) yatay, dikey olarak sınıflandırılması yapılarak bu kapsamda yarıküre, çubuk, şerit topraklayıcılarda topraklama direnç hesaplama formülleri verilerek yıldız, gözlü, halka ve kare şeklinde şerit topraklayıcı düzenlemelerinde eşdeğer topraklama direnç değerleri hakkında bilgi verilmiştir. Aynı kapsamda temel topraklama elektrotlarının boyutlandırılma esasları da verilmiş olup topraklama iletkenlerinin tesisi ve eklenme esasları incelenmiştir.

*Dördüncü Bölüm:* Teorik olarak verilen topraklama sistemlerinin tasarım bilgileri 1394 konut ve 88 ticari işletme yerinden oluşan toplam kurulu gücü 4x1600 kVA olan bir yerleşim bölgesine uygulanmış olup topraklama sistem tasarımı yapılarak, OG ve AG topraklama ölçüm sonuçları teorik değerlerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve aralarındaki uyum gösterilmiştir.

#### *Literatür Çalışmaları:*

Elektrik tesislerinde topraklama sistemleri ile ilgili yapılan literatür çalışması aşağıda özet olarak verilmiştir.

Mentre ve Grcev (1994), tarafından yapılan çalışmada büyük güç sistemlerinin EMC ve yıldırımdan korunma analizleri, genişletilmiş topraklama sistemlerinin dinamik davranışı hakkında bilgi verilmiştir.

Meliopoulos, Webb ve Joy (1981), tarafından yapılan çalışmada elektrik topraklama sistemlerinin analizi için genel bir metodoloji sunulmuştur. Laplace denklemlerinin sayısal sıralamasıyla toprağa gömülü elektrotların ve iletken toprağın eşdeğer bir devre modeli geliştirilmiştir. Eşdeğer devre modeli, elektrik güç sistemi şebekesi ile birlikte, modifiye edilmiş düğüm analizi yöntemi ile çözülen büyük ölçekli bir şebekeyi temsil eder. Karmaşık topraklama sistemlerinin doğru analizini ve dokunma, adım ve transfer gerilimlerinin hesaplanmasını sağlar.

Panetta (2015), tarafından yapılan çalışmada jeneratörleri topraklamak için birçok yöntem olduğu ve her birinin avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır. Söz konusu makale, tek bir kaynağın düşük dirençli topraklamasından çoklu kaynaklara sahip karmaşık sistemlere doğru ilerleyeceği incelenmiştir.

White ve Jamil (2016), tarafından yapılan çalışmada geçici koruyucu topraklamanın, elektrik güç sistemleri üzerinde çalışırken kritik bir güvenlik işlevi

gördüğü vurgulanmış olup, boyutlandırma, yerleştirme ve çıkarma sırası, yanlış uygulamanın sonuçları ve geçici koruma gerekçeleriyle çalışmak için ortak kurallar dahil olmak üzere, geçici koruma gerekçelerinin uygulanmasının önemli yönleri incelenmiştir.

Nelson (2015), tarafından yapılan çalışmada AG tesislerinde nötr noktasının yüksek bir dirençle topraklanmasının elektrik sistem güvenilirliğini artırdığı araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca endüstriyel tesislerde en çok meydana gelen üç fazlı ve faz arası kısa devreler ile toprak arızaları incelenmiş olup toprak arızası olasılığının yüksek dirençli topraklama ile elektriksel güvenliği iyileştirmek için nasıl kullanılabilceği ve bir toprak arızasının elektrik sistemi üzerine etkileri analiz edilmiştir. Yüksek dirençli topraklama sisteminin kullanılmasının ark esnasındaki patlamadan kaynaklanan yaralanmalardaki olası azalmaları ve ikinci bir fazda toprak arızası meydana geldiğinde kesicide ortaya çıkan arıza temizleme sorunları da incelenmiştir.

Siow Chun Lim, Chandima Gomes and Mohd Zainal Abidin Ab Kadir (2013), tarafından yapılan çalışmada hem sabit hem de geçici durumlarda elektriksel topraklamanın pratik zorlukları yeniden gözden geçirilmiştir. Çalışmada olayları teorik ve pratik yönleri göre analiz ederek, uygun çözümler geliştirmek için mühendislik kılavuzları önerilmektedir. Çalışmada çoklu halka, anten, karga ayağı ve kırkayak düzenlemeleri gibi çeşitli elektrot konfigürasyonları ile daha az karmaşık durumlara ulaşılabileceği; dolgu malzemeleri ile işlenmiş dağıtılmış topraklama düzenlemelerinin, son derece yüksek özdirence sahip toprağı bulunan alanlar için son derece uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Dikey ve yatay elektrot bileşenlerinin yanı sıra bakır ve çelik elektrotların çeşitli toprak koşulları altında uygunluğu da tartışılmaktadır.

Androvitsaneas, Gonos and Stathopoulos (2017), tarafından yapılan çalışmada topraklama sistemlerinin çalışması ve davranışının bazı temel parametrelerle tanımlanacağı; bunların toprak direncindeki değişim hızı, topraklama sistemlerinin tipi ve boyutu olduğu vurgulanmıştır. Bu sistemlerin tasarımındaki sürekli iyileştirme, insanların ve elektrik tesislerinin maksimum güvenliğini garanti eder. Son yıllarda, toprak iyileştirme ve toprak direnci değerini düşürmek için zemin iyileştirici bileşiklerin (GEC'ler) kullanımı, özellikle elektrik güç sistemlerinde (iletim ve dağıtım

tesisleri) ve elektrikli demiryollarında mühendislik alanında giderek daha popüler hale geldiğini vurgu yapılmıştır. Bu çalışmada, birkaç on yıl boyunca yayınlanan bilimsel çalışmalara dayanarak, GEC'ler üzerinde yürütülen geçmiş ve son araştırmalara genel bir bakış açısı verilmiş olup bu malzemeler üzerinde hesaplamalı ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Hem sürekli sinüsoidal halde hem de darbe koşullarında uygulamalardan bahsedilmektedir. Bir topraklama sisteminin düşük dirence sahip olmasını sağlayan GEC ler için gereksinimleri ve testleri belirleyen uluslararası standartları ifade eder.

Katipoğulları ve Hocaoglu (2003), tarafından yapılan çalışmada topraklama sistemleri direnç ve empedans olarak ayrı bir şekilde incelenmiştir. Toprak direncinin ölçüm teknikleri özetlenmiş, ölçme teknikleri arasındaki farklılıklar belirtilmiştir. Topraklama direnci ölçme işlemi reel bir sistemde denenerek, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Toprak empedansını belirleyebilmek için basit gerilim metodu yöntemi ile bir ölçüm düzeneği kurularak, sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, toprak empedansının toprak direncinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Topraklama sisteminde emniyet için alınan tedbirlerde toprak empedansının önemli bir rolü olduğu görülmüştür.

Yılmaz (2018), tarafından yapılan çalışmada toprak ısı ve toprak neminin toprak öz direncine etkisi MATLAB programı kullanılarak incelenmiştir. Toprak öz direnci ölçümü WENNER METODU kullanılmak sureti ile yapılmıştır. Çoklu regresyon metodu ile bir modelleme tasarlanmış, tasarlanan bu model MATLAB GUI programında bir ara yüz olarak hazırlanmıştır. Kullanıcı herhangi bir noktadan almış olduğu ölçümleri oluşturulan modele uyarlayarak istediği ısı ve rutubet değerinde toprak öz direncini kolayca hesaplayabilmektedir. Ayrıca bu programı ile kullanıcı topraklama direnç hesabı, toprak öz direncinin topraklama direncine olan etkisi, topraklama iletken uzunluğunun topraklama direncine etkisini, toprak öz direnç değerinin hesaplanmasını, topraklayıcı iletken çapının topraklama direncine etkisini gözlemleyebilmektedir.

Kösem ve Kalenderli (2016), tarafında yapılan çalışmada, elektrik tehlikelerine karşı alınması gereken önlemler tartışılmıştır. Tartışmada, elektrik çarpma riski, yangın riski, patlama riski ve diğer riskler konu başlıkları altında yapılmıştır. Bu risklere yol açabilecek çalışma ortamındaki tehlikeler incelenmiştir. Elektrikte koruma

hesaplamaları yapılırken daima en kötü senaryoya göre önlemler alınması önemlidir. Tüm çalışan insanların elektrikle ilgili işlerde doğru davranışı sergileyebilmeleri için, elektrik ile ilgili kavramları bilmeleri çok önemlidir.

Kocaman (2020), tarafından yapılan çalışmada elektrik tesislerinde koruma amacıyla yapılan topraklama sistemleri çeşitleri, kullanım modelleri, temel topraklama kavramları ve topraklama direnci ile ilgili konular açıklanmıştır.

Büyükkapu (2010), tarafından yapılan çalışmada güç kalitesi problemlerinden biri olan aşırı gerilimlerin oluşma sebepleri olan yıldırım, ferrerezonans ve kondansatör bankalarının etkilerinden bahsedilmiş, yıldırım darbelerine karşı korunma yöntemleri irdelenmiştir. Yıldırımın bir elektrik direğine düşmesi durumunda direkt olarak oluşabilecek gerilim değerlerinin direğin direnci ve darbe akımının değerine göre değişim grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca örnek bir telekom santral binasında yıldırıma karşı koruma sağlamak amacıyla koruma seviyesi belirlenmiş, ilgili yönetmelikler doğrultusunda topraklama sistemleri tasarlanıp, darbe koruma düzenleri ile sistemin aşırı gerilimlere karşı koruması yapılmıştır.

Üresin (2010), tarafından yapılan çalışmada yüksek gerilim tesislerinde topraklama elektrotu, adım ve temas gerilimleri ile ilgili tanımlar ve topraklama sistemlerinde müsaade edilebilir gerilim yükselmeleri konuları açıklanmıştır. Ayrıca, trafo merkezleri topraklama projelerinin hazırlanmasında izlenecek yollar ile topraklama direncinin ölçümünde kullanılan yöntemler incelenmiştir. Sonuçta, bir yüksek gerilim tesisine ait topraklama direnci, adım ve temas gerilimlerinin hesabı ve grafiksel analizleri, geliştirilen MATLAB programı ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yazılımla, bir transformatör merkezinin topraklama ağı sisteminde adım ve dokunma gerilimlerinin müsaade edilebilir sınırlar içerisinde kalması amaçlanmıştır.

Dirlik (2013), tarafından yapılan çalışmada topraklamadaki en önemli sistemin eş potansiyel sistem olduğu, bu sistemde tüm topraklamalar, tüm metal aksamlar eş potansiyel baraları ve potansiyel dengeleyiciler ile birbirine bağlanır. Burada amaç tesis içinde herhangi iki nokta arasında oluşabilecek gerilim farkını engellemek ve tüm noktalarda eş potansiyeli sağlamaktır. Birbiri ile eş potansiyel oluşturacak şekilde montajı yapılmış metal bölümler arasında elektrik akımı oluşmaz. 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.

Sığırcı (2008), tarafından yapılan çalışmada topraklama ile ilgili teorik bilgiler araştırılmış ve topraklama çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Uygulama olarak çeşitli topraklama yöntemleri göz önüne alınarak deneysel çalışma yapılmış ve topraklama yapılan bölgedeki toprağın cinsi, nem oranı, topraklayıcının boyutları ve biçimi gibi faktörlerin topraklama empedansı üzerinde etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve çeşitli elektrik tesisatları için en uygun topraklama biçimleri belirlenmiştir.

Uğurtan (1984), tarafından yapılan çalışmada alçak gerilimli sanayi ve yerleşim tesislerinde topraklama uygulamaları incelenmiş, sonuçta bu gibi tesislerde uygulanan ya da uygun görülen şekiller üzerinde durulmuştur. Pratik ölçme projelendirme yerleştirme örnekleri sunulmuştur.

Kaya (2013), tarafından yapılan çalışmada ilk olarak yıldırım ve topraklama ile ilgili teorik bilgilere yer verilmiştir. Faraday kafesi kısa iletim hatları ile modellenerek yıldırım dalgası cevabı EMTP-ATP ile elde edilmiştir. Yapılan modelleme ile Faraday kafesinin ağ gözlerinin boyutlarının etkisi incelenmiştir. Faraday kafesinin ağ gözleri arasındaki potansiyel dağılımı kısmi diferansiyel denklemlerin sonlu farklar ile nümerik çözümü MATLAB programı ile bulunmuştur. Topraklamanın iyileştirilmesi için kullanılan yöntemler anlatılmış, bu yöntemlerin uygulaması yapılarak test sonuçları değerlendirilmiştir.

Kaşıkçı (2005), tarafından yapılan çalışmada topraklama tesisleri kurulmadan önce, o bölgede öz toprak direncinin ölçülmesi ve cihazların yerleşimine göre dokunma geriliminin hesaplanması gereklidir. Eğer istenilen değere ulaşmak mümkün değilse, sistem derin ve yıldız topraklayıcılar ile takviye edilmelidir.

Bayram (2000), tarafından yapılan çalışmada öncelikle topraklamaların türlerine göre etkileri gösterilmiş ve çeşitli hata durumlarına göre temas ve adım gerilimlerinin tehlikeli sınırın altında kalabilmesi için topraklama dirençlerinin değerleri belirtilmiştir. Daha sonra çeşitli topraklama elektrotlarının gömülme durumlarına göre yayılma dirençlerinin ne şekilde hesaplanacağı gösterilmiş, çeşitli tesislerde topraklamaların gerektirdiği şartlar incelenmiş ve şebeke yıldız noktasının durumunun

topraklama üzerine etkisi gözden geçirilmiştir. En sonunda topraklama tesislerinde topraklama direncinin ölçümü ve kontrolü ile ilgili bilgiler verilmiştir.

İlisu (2011), tarafından yapılan çalışmada tüm canlıların elektrik çarpması olayı etkisinde kalmaları için vücutlarının iki ayrı noktasında farklı elektriksel potansiyellerin olması ve bununla birlikte üzerlerinden akım geçmesi gerektiği, bir kişinin gerilim altındaki tesisin iletken bölümlerine dokunması doğrudan ya da dolaylı yollardan olabildiği açıklanmıştır. Bu çalışmada dolaylı yoldan dokunma ile ilgili koruma yöntemleri ele alınmıştır. Doğrudan dokunmaya karşı alınan önlemler yapısal ve mekanik önlemler ile yalıtım önlemleri olarak özetlenmiştir.

Kaşıkçı (2010), tarafından yapılan çalışmada elektrik sistemlerinin kurulması ve işletilmesinde topraklamanın amacı ilk olarak insanları ve yararlı hayvanları tehlikeli akımlardan korumak olduğu, bununla birlikte topraklama sayesinde potansiyel dalgalanmaları ve sekonder devrelerdeki etkileşimlerin önlendiği belirtilmiştir. Genel olarak topraklama tesisatlarının, topraklayıcı, topraklama iletkeni ve toprak ile doğrudan bağlantısı olan araç ve düzeneklerden oluştuğu, günümüzde Alçak Gerilim' de gelişen her ülkenin kendi fiziki yapısına göre üç ayrı topraklama çeşidi kullandığı, TN sistemin hemen hemen her ülkede kullanılmakta olduğu belirtilmiştir.

Uzunlar (2009), tarafında yapılan çalışmada uluslararası standartlara uyumlu topraklama sistemlerinin analizi için bir bilgisayar modellemesi ve gelişmiş metotlar sunulmaktadır. Bu metotlar, dokunma ve adım gerilimlerinin, vücut akımlarının, topraklama sistemi empedansının, gerilim profilinin, vs. doğru hesaplanmasına olanak sağladığı belirtilmiştir. Metodoloji ve bilgisayar programı gerçek sistem ölçümleri ile doğrulanmıştır. Topraklama sistemleri canlıların güvenliği, ekipmanların korunması ve enerji kaynağının sürekliliğinin sağlanması için tasarlanmakta olduğu, bu nedenle, proje hesaplamalarında sistemin eşdeğer direnci ve arıza durumunda topraklama yüzeyindeki potansiyel dağılımı hesaplanmasının gerektiği açıklanmıştır. Topraklama sisteminin güvenli olabilmesi için tesiste dokunma ve adım gerilimleri, izin verilen gerilimlerin altında kalması gerektiği, ağ gerilimi, transfer potansiyelleri hariç, bir alternatif akım tesisinde genellikle mümkün olan en kötü gerilim olduğundan, güvenli topraklama ağı tasarımı için ölçüt olarak kullanılır. İzin verilen gerilim sınırları ve maksimum tahmini gerilim değerleri standartta verilen deneysel formül kullanılarak hesaplanmıştır.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### ELEKTRİK TESİSLERİYLE VE TOPRAKLAMALARLA İLGİLİ TANIMLAR

Elektrik tesislerinde topraklama sistemlerinin projelendirilmesinde, kurulmasında ve işletilmesi ile işletme döneminde yapılacak ölçme ve kontrollerin planlanmasında ortak terminolojinin kullanılması önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada öncelikle tanımlar ele alınacaktır. Tanımlar:

- Genel elektrik tanımları,
- Topraklama ile ilgili tanımlar,
- Hatalar ve arıza durumları ile ilgili tanımlar,
- Şebeke (sistem) tipleri ile ilgili tanımlar,

Olmak üzere dört ayrı kategoride incelenecektir.

#### 1.1. Genel Elektrik Tanımları

*Elektrik kuvvetli akım tesisleri:* Tüm canlılar ve kullanılan ekipmanlar için tehlikeli olabilen ve elektrik enerjisinin üretilmesi, dağıtılması tüketilmesi için kurulan tesislerdir.

*Alçak gerilim (AG):* Fazlar arası geriliminin etken değeri 1kV ya da 1kV ‘un altında olan gerilimdir. Bu gerilime sahip tesislere alçak gerilimli tesisleri adı verilir.

*Yüksek gerilim (YG):* Fazlar arası geriliminin etken değeri 1kV’un üstünde olan gerilimdir. Bu gerilime sahip tesislere yüksek gerilimli tesisler adı verilir. Yüksek gerilim de kendi aralarında Orta gerilim (O.G.), yüksek gerilim (Y.G.) ve çok yüksek gerilim (Ç.Y.G.) olarak 3 gruba ayrılır. O.G. faz arası gerilim değeri 52 kV’u geçmeyen Y.G.’dir. Ç.Y.G. ise faz arası gerilim değeri 170 kV u geçen Y.G.’dir. Örneğin 36 kV’luk transformatörü olan ancak tesis içinde A.G. tüketim tesisleri de bulunan bir dağıtım merkezi Y.G. tesisi olarak tanımlanır.

*Tehlikeli gerilim:* Etken değeri YG’ de hata süresine de bağlı olan, AG’ de 50 voltun üzerinde olan gerilimdir.

*Toprağa karşı gerilim:* Yıldız noktası topraklanmış şebekelerde, fazların yıldız noktasına göre potansiyel olarak farklılığıdır.



*Elektrik işletme elemanları:* Elektrik enerjisine ait olan tesislerde üretim, dağıtım vb. işlerde kullanılan tüm elemanlardır.

*Sabit işletme elemanları:* İşletme esnasında kurulmuş olan elemanlardır. Araçlarda sabitleştirilmiş transformatörler sabit işletme elemanı sayılırlar.

*Yer değiştirebilen işletme elemanları:* İşletme esnasında buldukları alana sabitlenmemiş elemanlardır.

*Aktif bölümler:* İşletme şartlarında gerilim altında çalışan iletkenler ile bu iletkenlere bağlı bölümlerdir.

*Açıktaki iletken bölümler:* Her an dokunulabilen elemanlardır.

*İletken çeşitleri:* 6 çeşittir. Bunlar; Ana iletken ( $L_1, L_2, L_3$ ), Nötr iletkeni(N), Koruma iletkeni (PE), Koruma iletkeni+ Nötr iletkeni (PEN), Fonksiyon topraklama iletkeni (FE), Fonksiyon topraklama ve koruma iletkeni (FPE) çeşitleridir.

*Dolaylı dokunmaya karşı koruma:* Canlıların hata sonucunda oluşabilecek olan elektriksel tehlikelerden korunmasıdır.

*Güvenlikli ayırma:* Tesiste bulunan akım devrelerinin birbirinden güvenli bir şekilde ayrılmasıdır.

*Ayırma transformatörü:* İşlev bozulmalarını önlemek amaçlı kullanılan transformatörlerdir.

*Taşınabilir işletme yerleri:* Taşıma yapılırken kullanılmayan elektrik tesisleridir.

*Elektrik işletme yerleri:* Elektrik tesislerini işletmek amacıyla kurulan, sadece ehliyetli personelin girebileceği yerlerdir. Buna örnek kablo dağıtım pano odaları ve elektrik şaftları verilebilir.

*Kapalı elektrik işletme yerleri:* Elektrik işletme tesislerinde kilit altında tutulan kapalı hacim mekanlardır.

*El mesafe bölgesi:* Bir canlının tüm yönlerde, yardımcı bir araç kullanmadan, eliyle temas edebileceği bölgelerdir.

## **1.2. Topraklamaya İlişkin Tanımlar**

*Toprak:* Elektriksel potansiyelin bütün noktalarda sıfır olduğu bir iletkendir. Bilindiği üzere toprağın elektrik direnci ihmal edilebilecek kadar düşüktür.

*Referans toprağı:* Topraklayıcıdan belirli bir uzaklıkta ve tesisinin tesir alanı dışında kalan kısmıdır. Referans toprağının farklı iki noktası arasında potansiyel farklılığının olmadığı kabul edilir.

*Topraklama iletkeni:* Topraklanacak bir aleti veyahut işletmenin bir parçasını, herhangi bir topraklayıcıya bağlayan toprağın içine yerleştirilmiş olan bir iletkenidir.

*Topraklama barası:* Birden fazlaca topraklayıcı iletkenin bağlanmış olduğu bir topraklayıcı iletkenidir.

*Topraklama tesisi:* Birbirine iletken olarak bağlantısı olan ve kısıtlı bir saha içinde bulunan topraklayıcılar ya da eş değer bir görevi yerine getiren metal kısımlar ve topraklayıcı iletkenlerin bütünüdür.

*Topraklamak:* Elektriksel cihazın topraklama tesisine uygun bir şekilde bağlanmasıdır.

*Topraklama:* Topraklama sistemi için kullanılacak araç gereç, düzen ve metotların bütünüdür.

*Çeşitlerine göre topraklama tanımları:*

*Dolaysız topraklama:* Topraklama direnci dışında herhangi bir direnç içermeyen topraklamalardır.

*Dolaylı topraklama:* Topraklama iletkenine bağlanmış olan ohmik, endüktif kapasitif dirençler vasıtasıyla yapılmış olan topraklamalardır.

*Açık topraklama:* Topraklama iletkeninin üstünde parafudr veyahut eklatör bağlanmış olan topraklamalardır.

*Amaçlarına göre topraklama tanımları:*

*Koruma topraklaması:* Elektrik devrelerinde meydana gelecek olası bir hata veya bir arıza durumunda; elektrik devre elemanlarının, iletkenlerin ve devreye bağlanan diğer tüm cihazlar ile araç ve gereçlerin, çevrenin zarar görmesini önlemek ve daha önemlisi insanları ve diğer canlıları ortaya çıkabilecek tehlikeli gerilimlere karşı güvenliğini sağlamak amacıyla yapılan topraklama tesisidir.

*İşletme topraklaması:* Elektrik devresinin bir noktasının, uygulamada genellikle yıldız noktasının, devrede kullanılan cihazların ve tesislerin işletilmesini sağlamak üzere yapılan topraklamaya denilir.

*Fonksiyon topraklanması:* Bir telekomünikasyon tesisinin veya bu tür tesiste kullanılan bir işletme elemanının kendi işlevini yerine getirilmesini teminen yapılan topraklama türüne denilir.

*Özel Amaçlarla yapılan topraklama:* Topraklamalar özel amaçlarla da yapılabilir. Örnek olarak düşük bir gürültü seviyesi elde etmek amacıyla yapılan topraklama, yıldırımdan korunma amacıyla yapılan topraklama ve raylı ulaşım sistemlerinde yapılan raylı sistem topraklaması örnek olarak verilebilir.

*Şekillerine göre topraklama tanımları:*

*Münferit(tekil) topraklama:* Tesis personeli veya bir cihazın yalnızca kendisine ilişkin topraklayıcıya bağlanmış olduğu topraklama çeşididir.

*Yıldız şeklinde topraklama:* Topraklama iletkenlerinin bir noktada yıldız şeklini alması biçiminde oluşan topraklama çeşididir.

*Çoklu topraklama:* Topraklama sistemine birçok iletkenin bağlandığı topraklamadır.

*Yüzeysel topraklama:* İşletme akımına sahip olmayan iletken kısımlarının bir ağ biçiminde birbirleri arasında koruma topraklanmasına bağlanmış olduğu topraklama biçimidir.

*Topraklayıcı:* Toprağa gömülmüş olan ve toprakla birlikte iletken bir yapıyla bağlantısı olmuş iletken kısımlardır. Topraklama iletkeninin yerin altında kalan kısmı da bir topraklayıcı parçası olarak kabul edildiği unutulmamalıdır.

*Topraklayıcı çeşitleri:*

*Konumlarına göre topraklayıcılar:*

*Yüzeysel topraklayıcı:* 0,5 m ila 1 m arasında bir derinliğe gömülen topraklayıcılardır.

*Derin topraklayıcı:* 1 m'den daha derine gömülen topraklayıcılardır.

*Biçimine göre topraklayıcılar:*

- Şerit malzeme ile oluşturulan topraklayıcı,
- Boru ve profil malzeme ile oluşturulan topraklayıcı,
- Örgülü iletken malzeme ile oluşturulan topraklayıcı,
- Doğal malzemeler ile oluşturulan topraklayıcı,
- Topraklayıcı tesiri bulunan yeraltı kabloları,

- Çıplak topraklayıcı malzemelerden oluşan bağlantı iletkenidir.

*Potansiyel düzenleyici topraklayıcı:* Potansiyel dağılımının düzenlenmesine yarayan topraklayıcıdır. Özel bir şekilde potansiyel dağılımına göre şeklin tertiplenmesi olağandır.

*Toprak öz direnci ( $\rho_E$ ):* Toprağın elektriksel direncidir. Bu değer, 1x1x1 m ölçülerinde olan bir toprak küpün iki karşılıklı yüzeyi arasındaki dirence eşittir. ( $\Omega\text{m}$ )

*Topraklayıcının veya topraklama tesisinin yayılma direnci ( $R_E$ ):* Topraklayıcı tesisi ile referans toprağı arasındaki toprak direncidir. ( $\Omega$ )

*Topraklama direnci:* Yayılma direnci ile iletkenin toplam direncidir. ( $\Omega$ )

*Toplam topraklama direnci:* Tüm topraklamaların toplam direncidir. ( $\Omega$ )

*Topraklama empedansı ( $Z_E$ ):* Topraklama işletmesiyle referans toprağı arasında ölçülen değerdir.

*Darbe topraklama direnci:* Toprağın yıldırım akımının geçişine karşı gösterdiği dirençtir.

*Topraklama gerilimi ( $U_E$ ):* Topraklayıcı tesisi ile referans toprak arasındaki gerilimdir.

*Yeryüzü potansiyeli ( $\phi_E$ ):* Dünyanın belli bir noktasından referans toprağı arasındaki gerilim olarak adlandırılır

*Dokunma gerilimi ( $U_T$ ):* Tesisin kişiler tarafından köprülenebilecek olan kısmıdır.

*Beklenen dokunma gerilimi ( $U_{ST}$ ):* Temas geriliminin olası en büyük değeridir.

*Adım gerilimi ( $U_S$ ):* Adımları arasında 1 m mesafe olduğu kabul edilen bir kişinin ayakları ile köprülediği gerilimin değeridir.

*Potansiyel dağılımı:* Yeryüzünün herhangi bir parçasında farklı noktalarda potansiyelin farklı olması durumudur.

*Potansiyel dağılımın düzenlenmesi:* Potansiyel dağılımındaki farklılıkların giderilmesi için yapılan düzenlemelerdir. Bu düzenlemeleri yapmak için potansiyel düzenleyici topraklayıcılar konulur.

*Potansiyel dengelemesi:* Farklı noktalardaki potansiyel değerleri arasındaki farkın ortadan kaldırılmasıdır.

*Potansiyel dengeleme iletkeni:* Potansiyel dengelemesini yapmak için kullanılan iletkenlerdir.

*Üzerine basılan yerin yalıtılması:* Tehlikeli gerilimin bulunma olasılığı olan yerlerde yüksek yalıtkanlık direncine sahip dielektrik malzeme kullanılarak zeminin yalıtılmasıdır.

*Potansiyel sürüklenmesi:* Yüksek potansiyelli bir bölgeden düşük potansiyelli bir bölgeye potansiyelin sürüklenmesidir.

### **1.3. Hata ve Arızalar ile İlgili Tanımlar**

*Hatalı olmayan işletme durumu:* Akımın çıktığı andan tüketiciye gelene kadarki geçen sürede tüm her şeyin kusursuz çalışması durumudur.

*Hatalı işletme durumu:* Akımın çıktığı andan tüketiciye gelene kadar geçen sürede sorun olan bir durumudur. Cihazlar elektrik devresini tamamlamada sorun yaşarlar.

*Hata durumu:* Tesiste ortaya çıkan bozulma durumudur.

*Yalıtım hatası:* Yalıtımda meydana gelen hatadan dolayı ortaya çıkmış olan hata durumudur.

*Gövde teması:* Hata sonucunda, gövde ile aktif bölümler arasındaki iletkenlerin bağlantısıdır.

*Kısa devre:* İşletme açısından gerilim altında olan iletkenler arasında bir problem sonucu oluşmuş olan iletken bağlantısıdır.

*Hat teması:* Kısa devrenin meydana geldiği akım devreleri üzerinde, işlevi olan belirli bir direnç bulunması durumunda oluşan bağlantıdır.

*Toprak hatası:* Bir faz iletkeninin veya yalıtılmış orta iletkenin, hata sonucunda toprakla ya da topraklanmış iletkenlerle oluşturduğu bağlantıdır.

*Hata gerilimi:* İşletme akım devresi ile ilişkili olmayan, iletkenler ile referans toprağı arasındaki gerilimdir.

*Topraklama akımı ( $I_E$ ):* Topraklama empedansı ile toprağa iletilen akımdır.

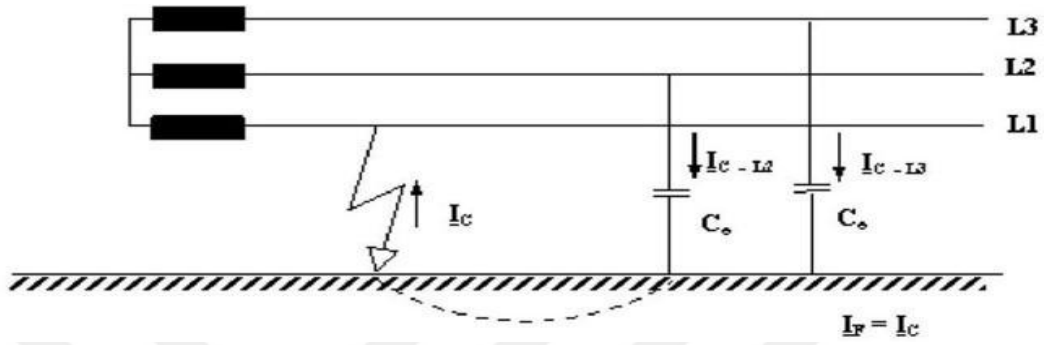
*Kaçak akım:* Gövdeye işletme esnasında geçen akımdır. Bunu engellemek için kaçak akım rölesi kullanılır ve bu sayede kaçak akım oluştuğunda devre açılır.

*Azalma (redüksiyon) katsayısı ( $r$ ):* Kısa bir devrenin ortaya çıktığı alandan, işletme akım devresindeki iletkenlerden geçmeyi başaran sıfır akım bileşenlerinin bütününe oranıdır.

*Hata akımı:* Bir yalıtkanın hatası sonucu oluşan akımdır. Tabii ki canlılar üzerinde ölüm tehlikesi yarattığı için ve mal kaybı yaşatabilmesinden dolayı çok önemlidir.

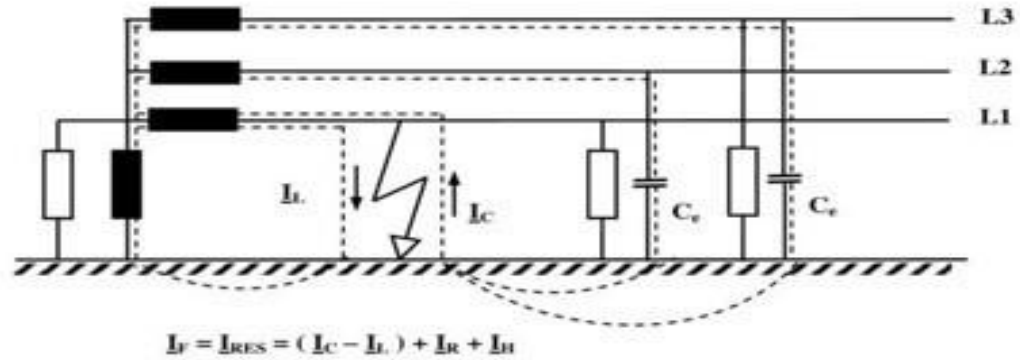
*Toprak hata akımı ( $I_F$ ):* Hata yerinden topraklanmış bölümlere geçen akımdır.

*Hata akımı ve topraklama hata akımı örnekleri:*



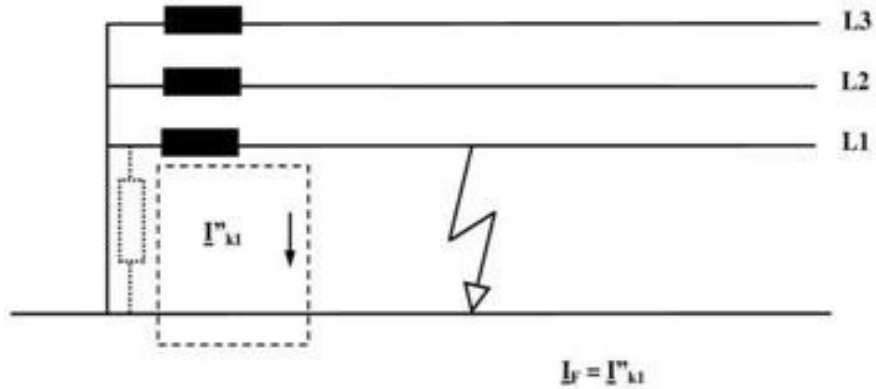
**Şekil 1.** Yıldız noktası yalıtılmış bir şebekede toprak hata akımı

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



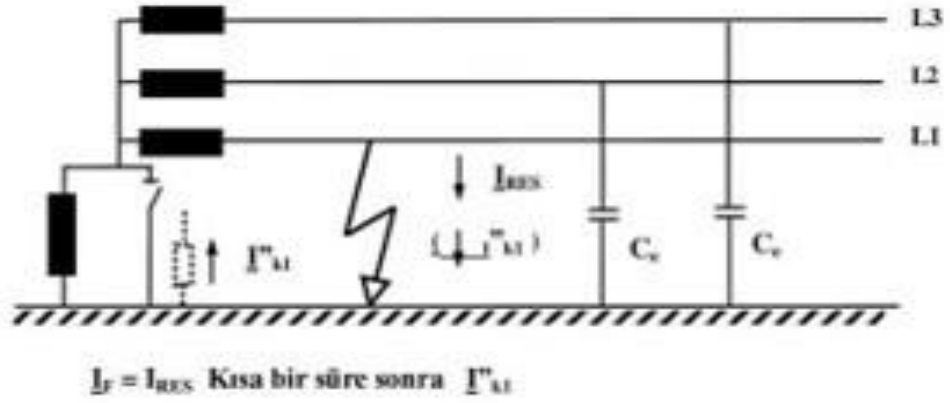
**Şekil 2.** Yıldız noktası kompanse edilmiş bir şebekede toprak hata akımı

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



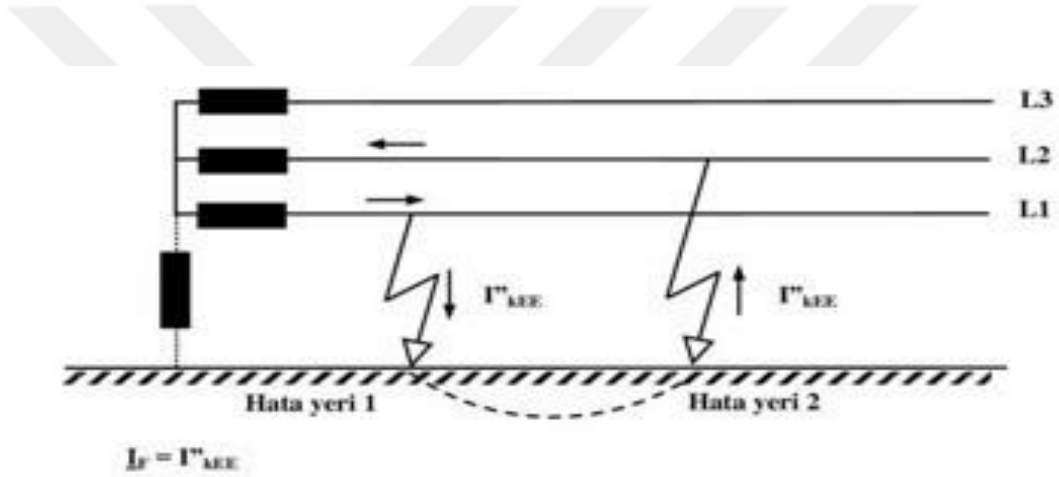
**Şekil 3.** Düşük empedanslı dirençle topraklanmış yıldız şebekede toprak hata akımı

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



**Şekil 4.** Yıldız noktası kompanze edilmiş ve geçici olarak düşük değerli direnç ile topraklanmış yıldız şebekede toprak hata akımı

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



**Şekil 5.** İkili toprak teması durumunda toprak hata akımı

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

$I_F$ : Toprak hata akımı

$I_C$ : Kapasitif toprak akımı

$I_L$ : Kompanzasyon bobinlerinin akımları toplamı

$I_R$ : Kaçak akım

$I_H$ : Harmonik akım

$I_{RES}$ : Toprak teması artık akım

$I'_{k1}$ : Tek kutuplu toprak kısa devresinde alternatif başlangıç kısa devre akımı

$I'_{kEE}$ : İkili (çift) toprak teması akımı

## 1.4. Şebeke Tiplerine İlişkin Tanımlar

Farkı olmayan anma gerilimi birbirlerine bağlı olarak elektrik tesislerinin bütününe şebeke adı verilir. Elektrik şebekeleri, üretilmiş olan elektrik enerjisinin tüketicilere göndermek için yapılmış bir bileşik ağıdır. Elektrik şebekesi elektrik santrallerinden başlayan üretim tesisleri, üretilen elektriğin iletilmesini sağlayan iletim tesisleri, tüketim merkezlerine kadar getirilen elektriğin tüketim merkezleri içinde dağıtılmasını sağlayan dağıtım tesisleri ile abonelerin bağlantı hatları ile şebekeye bağlandıkları kendi iç tesislerinden meydana gelen bir ağıdır. Şebeke tipleri karmaşık yapılar olduğundan şebekeler hakkındaki tanımları ayrı başlıklar halinde incelemek gerekir.

### 1.4.1. Şebekelerin Yıldız Noktalarının Topraklanma Durumlarına Göre Sınıflandırılması

Şebekeler nötr noktasının topraklanma durumlarına göre sınıflandırılırlar. Bunlar:

- Nötr noktası yalıtılmış şebekeler,
- Toprakla teması kompanze edilmiş şebekeler,
- Nötr noktası dolaysız şekilde veyahut küçük bir empedans üstünde topraklanmış şebekelerdir,
- Yıldız noktası veyahut faz iletkeni bir süreliğine ufak değerli bazı empedans üstünden topraklanmış şebekeler,

biçimde sınıflandırılırlar.

### 1.4.2. Dağıtım şebekelerinin gerilimli iletken sayısına göre sınıflandırılması

Alternatif akım sistemleri; Bir fazlı. İki fazlı ve üç fazlı sistemler olarak üçe ayrılır. Tek fazlı sistemler 2 telli ve 3 telli, iki fazlı sistemler 3 telli, üç fazlı sistemler 3,4,5 telli olarak gruplanır.

Doğru akım sistemleri; 2 telli ve 3 telli sistemler olarak gruplanır.



### 1.4.3. Dağıtım şebekelerinin topraklama tipine göre sınıflandırılması

Tüketim merkezlerinin girişine veya şehir içindeki belirli noktalarına kadar getirilen enerji iletim tesisleri ana indirici trafo merkezinin sekonderinden itibaren yerini dağıtım şebekesine bırakır. Bu dağıtım şebekelerinde faz iletkenlerinde izolasyon hatası ortaya çıktığında, bir kaçak akım oluşur. Oluşan bu kaçak akımın genliği dağıtım şebekesinin biçimine bağlıdır. YG dağıtım şebekelerinde dağıtım şebekesinin sınıflandırılması Madde 1.4.1 de açıklanmıştır. Alçak gerilim dağıtım şebekeleri ise topraklama sistemlerine göre sınıflandırılırken çeşitli harfler kullanılır. Bu harfler aşağıdaki biçimde anlamlandırılmıştır.

*İlk harf:* Güç sisteminin toprağa olan bağlanmasını göstermektedir. T ve I harfleri kullanılır. Belirttiği anlamlar şöyledir.

*T:* Belli bir noktanın toprağa direkt olarak bağlanmasıdır.

*I:* Tüm gerilimli kısımların topraktan ayrılarak veyahut belli noktadan bir empedans üstünden toprağa bağlanmasıdır.

*Son harf:* Tesisatın açıklıktaki iletken kısımlarının toprağa bağlanmasıdır. T, N, C ve S harfleri kullanılmaktadır.

Belirttiği anlamlar şöyledir.

*T:* Sistemin fark etmeyen bir noktasının topraklanmasından ayrı bir şekilde açık olan iletken kısımlarının elektriksel olarak direkt toprağa bağlanmasıdır.

*N:* Açık olan iletken kısımlarının güç sisteminin topraklanmış noktasına elektriksel olarak direkt bağlanmasıdır.

*S:* Nötr veyahut topraklanmış hat iletkenlerinden başka iletkenle korunmanın sağlanmasıdır.

*C:* Nötr veyahut koruma güvenliliğinin tek bir iletken üstünden birleşmesi sonucunda kullanılır.

Nötr, koruma ve ikisinin birlikte olduğu iletkenlerin gösterimi şekil 6. da ki biçimde olur.

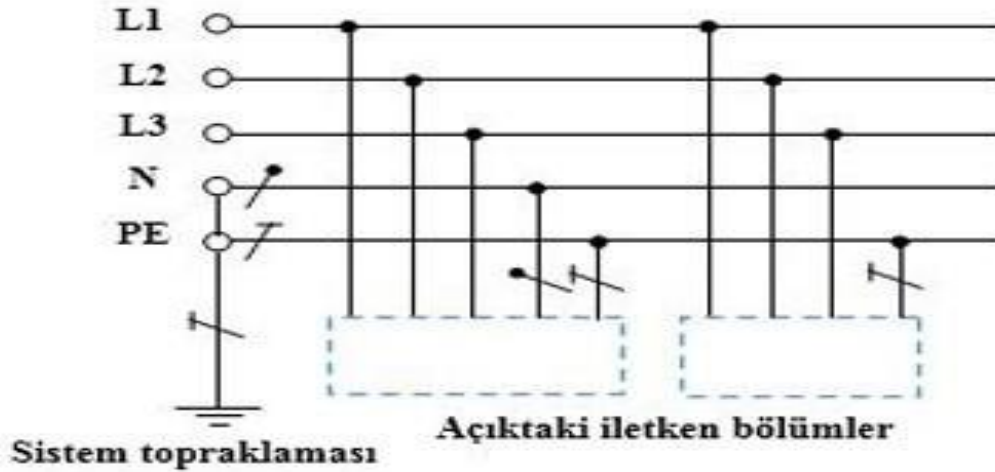
- / — Nötr İletkeni (N)
- / — Koruma İletkeni (PE)
- / — Birleşik koruma ve nötr iletkeni (PEN)

**Şekil 6.** Dağıtım şebekelerinde kullanılan semboller ve ifade edilişleri  
**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

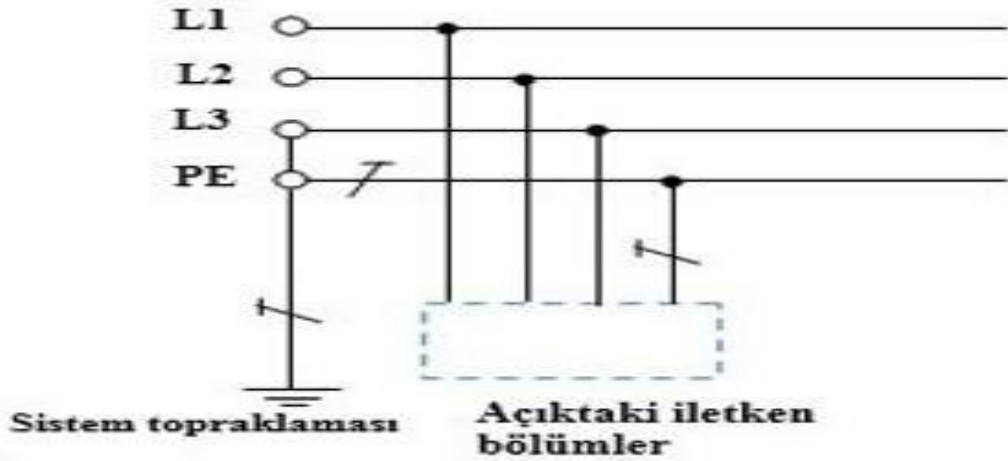
*Bu harf sistemiyle isimlendirilen sistemlerin oluşumu:*

**TN sistemleri:** TN sisteminde direkt biçimde topraklanmış olan belirli noktalar bulunur ve tesisatta yer alan açıkta bulunan iletken kısımları bu kısma koruma iletkenleri ile bağlanır. Bu şebeke tipi bugün hemen hemen en yaygın alçak gerilim şebeke tipidir. Ayrıca hem akım kaynağını hem de tüketici tesislerini kapsar. TN sistemleri, nötr ve koruma iletken kısımlarının düzenlenmesi durumuna göre üç grupta incelenebilir.

**TN-S sistemi:** Sistemin tamamında farklı bir koruma iletkeni kullanılmaktadır. Yani nötr ve koruma iletkenleri tüm sistemde ayrı ayrı çekilirler. Nötr iletkenleri aynı faz hatları gibi yalıtılmış olarak çekilir. Genel enerji tesislerinde nadir olarak da olsa kullanıldığı görülür. Fakat özel transformatorü olan büyük tesislerde uygulanır.



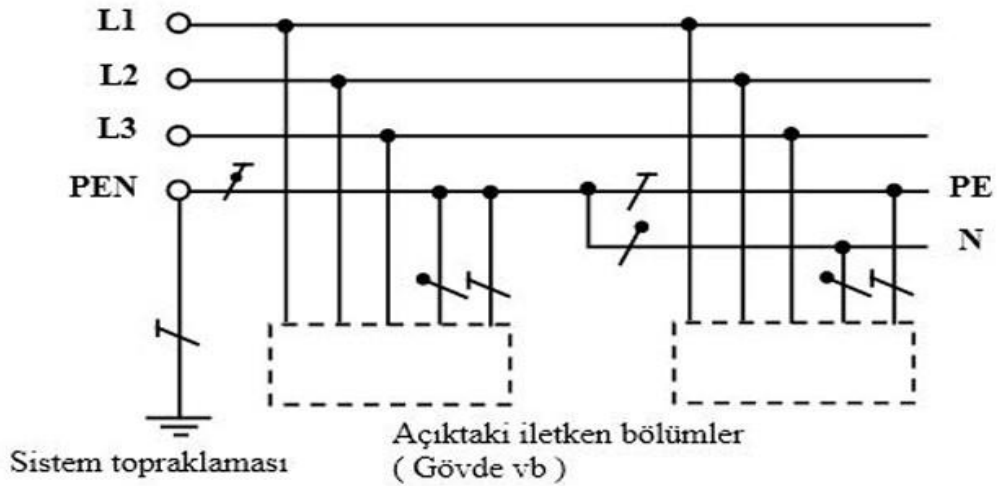
**Şekil 7.** TN-S Sistemi (Sistemin tamamında nötr ve koruma iletkeni ayrı)  
**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



**Şekil 8.** TN-S Sistemi (Sistemin tamamında topraklanmış faz iletkeni ile koruma iletkeni ayrı)

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

*TN-C-S sistemi:* Nötr ve koruma iletkenleri, sistemin bir parçasında 1 iletkenle birleştirilmiştir. Diğer parçasında ise toprak hattı, TN-C sisteminde de görüldüğü şekilde, dağıtım şebekelerinde birçok alanda topraklanır. Nötr hattı da faz hattıyla birlikte izole edilir. Genel enerji dağıtım şebekesinden beslenen küçük tüketicilerde kullanılmaya elverişli bir sistem tipidir.

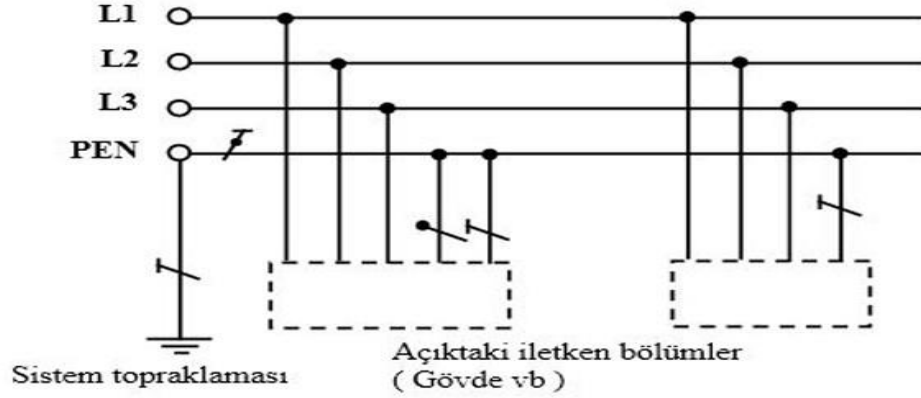


**Şekil 9.** TN-C-S Sistemi

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

*TN-C sistemi:* Sistemin tamamında nötr ve koruma iletkenlerinde 1 iletkenle birleştirilmiş olur. Burada, PE koruma hattı ile N nötr hattının fonksiyonları, tüm şebekenin başından sonuna kadar birleştirilip, tek hat halinde, PEN hattı şeklinde

çekilmiştir. Elektrikli işletme araçlarının gövdelerinin korunması gerekliyse, örneğin bir fiş-priz sistemi üzerinden PEN hattına bağlanabilirler.

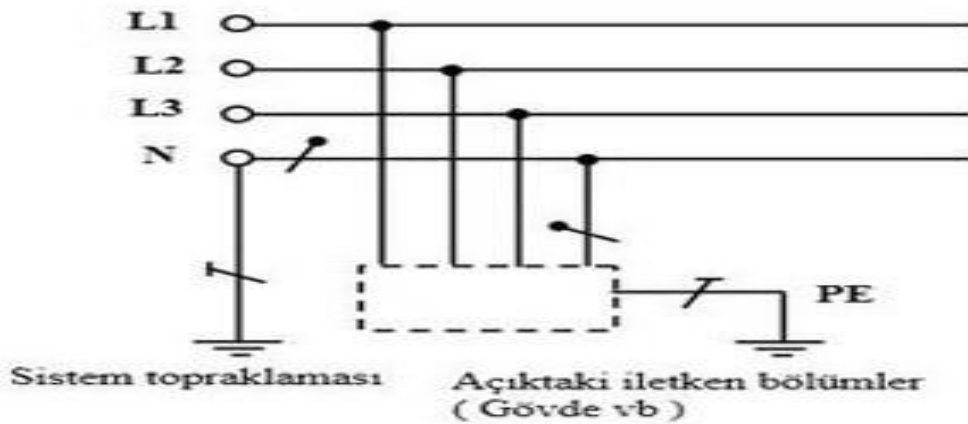


**Şekil 10.** TN-C Sistemi

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

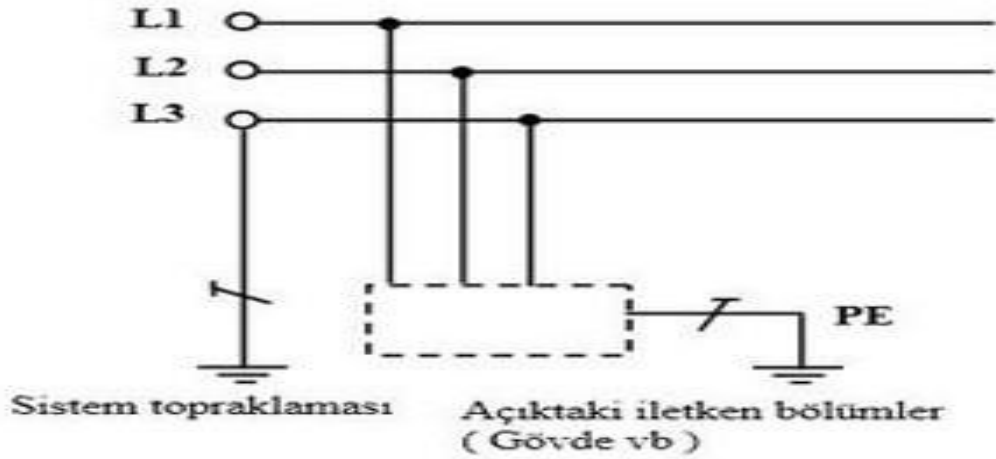
*TT sistemleri:* Sistemde direkt olarak topraklanmış herhangi bir nokta bulunabilir, tesisin içinde bulunan iletkenler, güç sistemi topraklayıcısından elektriksel bir bağlantısı olmayan topraklayıcılara bağlanmaktadır. Tesise ait metal kısımlarda, işletme topraklanmasından bağımsız olarak bir topraklayıcıya bağlanırlar. Bunlar da koruma topraklaması şeklinde isimlendirilir.

Bu sistemde tabii ki PEN koruma hattı bulunmamaktadır. Çünkü buradaki nötr iletkeni, tek fazlı elektrik kullanan insanlar için işletme akım sistemine ait olmakla, koruma mevzusu ile hiçbir alakası yoktur. Bu hat da düşük dirençli işletme topraklamaları ile topraklanır.



**Şekil 11.** TT Sistemi 1

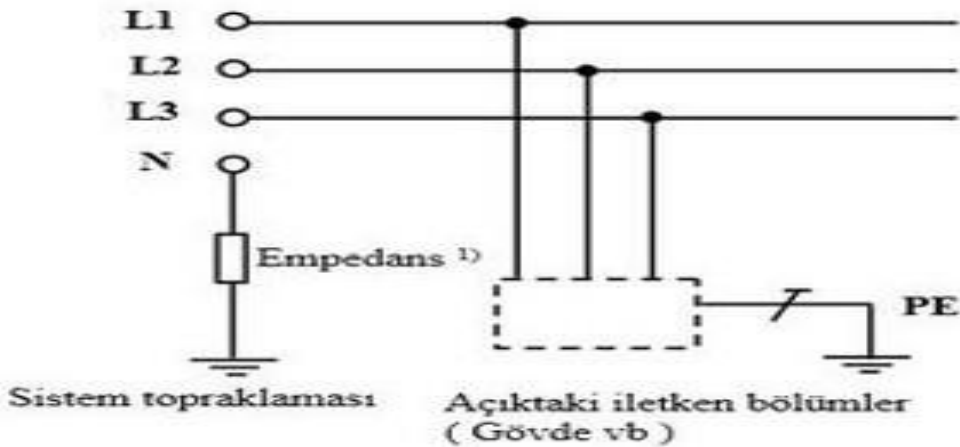
**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



**Şekil 12.** TT Sistemi 2

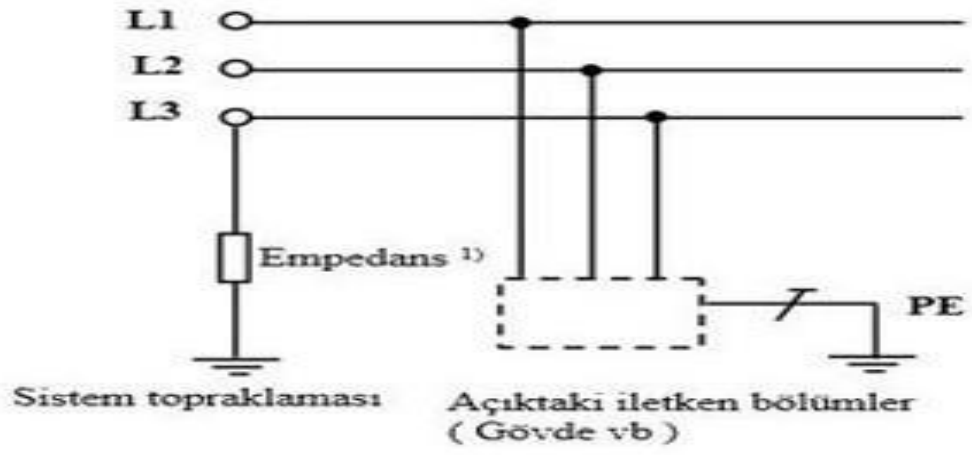
**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

*IT sistemi:* Sistemde tüm gerilimli kısımlar topraktan izoledir veyahut herhangi bir noktadan bir empedans üstünden toprağa bağlanmaktadır. Elektrik tesisatının açık olan iletken kısımları farklı farklı veyahut birleşik olarak topraklanmaktadır veya sistem topraklanmasına yönlendirilir ve oraya bağlanmaktadır. Bu şekildeki bir şebekeden beslenen elektrik tesislerine ait tüketiciler topraklanmalıdır. Şebekede baş gösteren ilk faz-toprak hatası, şebekeye bağlı aletlerin düzenli bir şekilde çalışmalarını tesir etmez, ama cihazların normalde topraklandıkları bir IT şebeke, bir TN şebekeye ve ayrı ayrı topraklanmalarının yapıldığı IT şebeke ise, bir TT şebekeye dönüşür.



**Şekil 13.** IT Sistemi 1

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



**Şekil 14.** IT Sistemi 2

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



Elektrik tesislerinde topraklamanın önemi bir arıza veya hata meydana gelmesi durumunda can ve mal kaybına neden olması bakımından da önemlidir.

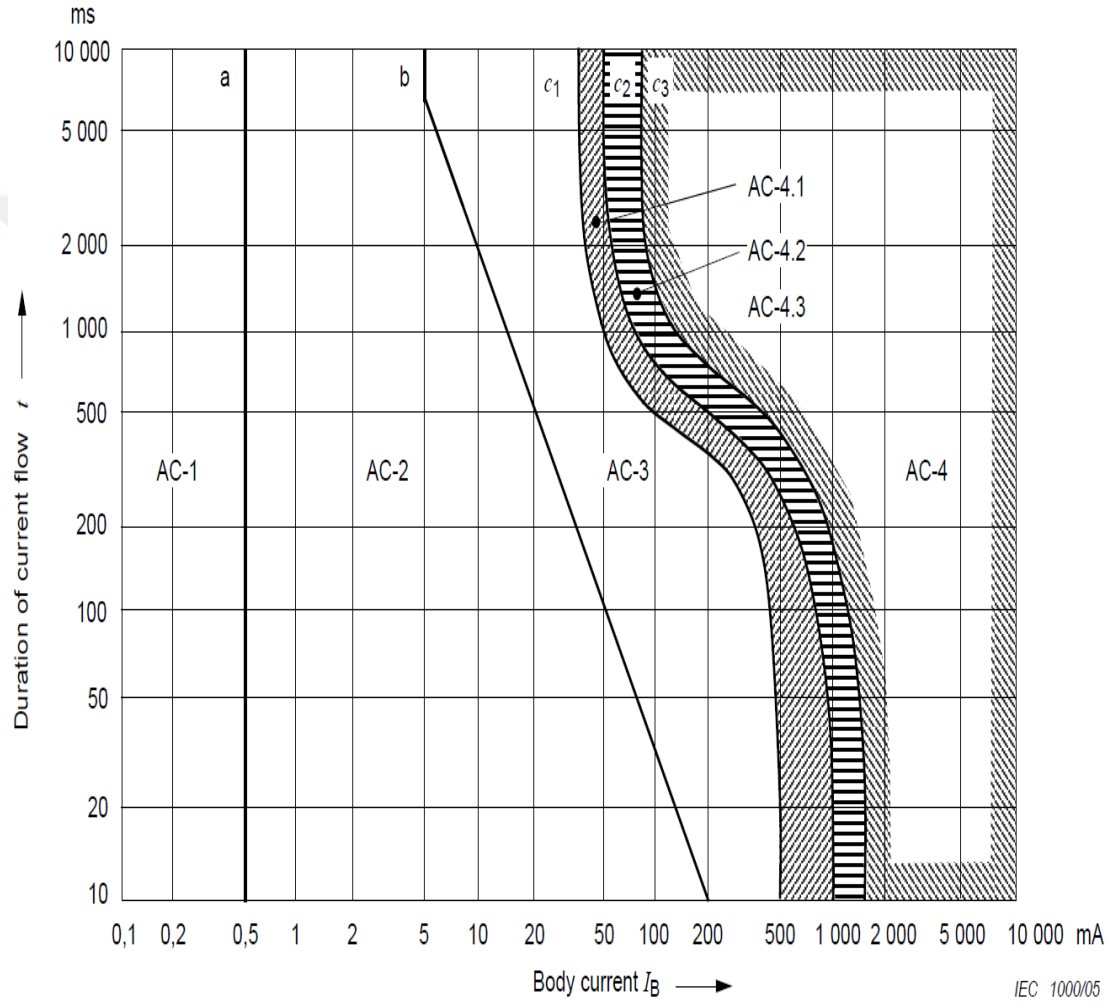
Aşırı akım veya kısa devrelerin meydana getirdikleri yangınlar uluslararası yangın mevzuatına göre E sınıfı yangın olarak kabul edilirler. Ancak ülkemizde 19 Aralık 2007 tarihinde yürürlüğe giren “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” ve 09.05.2015 tarihinde yürürlüğe giren “Binaların yangından korunması hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik” kapsamında ise elektrik kaynaklı yangınlar ayrı bir sınıf olarak değerlendirilmemektedir. Elektrik kaynaklı yangınlar elektrik tesisat malzemeleri, şalt malzemeler, transformatör merkezi ve elektriksel iletken malzemelerini kapsar. E sınıfı yangınlar diğer yangınların başlamasına sebep olurlar. Bu tip yangınların söndürülmesi için önce elektrik akımı kesilmelidir. Daha sonra yanmaya devam eden maddenin cinsine göre yangın söndürme materyallerinden uygun olan kullanılır. (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007)

Herhangi bir elektrik çarpması durumunda tehlikeli gerilim TS HD 60364-5-54 standartlarda ve ülkemizdeki tüm elektrik ile ilgili yönetmeliklerde 50 Volt olarak kabul edilmiştir. Türk Standardı TS HD 60364-5-54 (2012). Topraklama sistemi de dahil olmak üzere elektrik sistem tasarımında bu gerilim değeri baz alınır. Elektrik akımına maruz kalan insanların vücudundan veya herhangi iki uzvu arasından geçecek elektrik akımının miktarı maruz kalınan uzuvlar arasındaki dirence bağlıdır. İnsanların elektrik akımlarına gösterdikleri direnç değeri; yaş, cinsiyet, ağırlık, boy, genetik yapı vb. faktörlere bağlı olarak IEC 60479-1’e göre 1000  $\Omega$  ila 3000  $\Omega$  arasında değişmektedir. Türk Standardı TS IEC 60479-1 (2019). Tablo 1. de elektrik akımının miktarına göre insanlarda meydana getirdiği etkiler gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere 5mA e kadar olan akımlar hissedilmezken sırasıyla akımın değerine bağlı olarak kramplar, acı ve sancı hissi, solunum ve dolaşım sistemi felci ile ölüme kadar neden olabilmektedir. Dolaşım sistemi felci insan vücudunda sol ventrikülerde bulunan ve adeta bir hayat jeneratörü gibi görev yapan kısımda elektrik akımı fibrilasyona neden olarak “Ventriküler fibrilasyon” olayı şeklinde oluşur. Elektrik akımının bu etkisi yalnızca AG ye maruz kalan bireylerde görülür. YG ye maruz kalan bireylerde “Ventriküler fibrilasyon” görülmez. Ancak yüksek bir gerilim değerine maruz kalan bir bireyin vücudundan veya uzuvları arasından daha büyük bir akım



gececeği için büyük bir  $P_{\text{joule}}$  oluşur ve bu da yanıklardan başlayarak kömürleşmeye kadar varan bir hasar ve hatta ölüm meydana getirir.

Elektrik akımının insan vücudundan geçtiği süre de akımın meydana getirdiği etki bakımından son derece önemlidir. Şekil 16. ve Tablo 1. de insan vücudundan geçen akımın maruziyet süresine bağlı olarak meydana getirdiği etkiler dört ayrı bölge halinde verilmiştir.



**Şekil 16.** Alternatif akım etkilerinin akım/zaman bölgeleri  
**Kaynak:** Türk Standardı TS IEC 60479-1 (2019).

**Tablo 1.** Alternatif akımın insan vücuduna etkisi

AC-1 bölgesi	İnsan vücuduna herhangi tesiri bulunmamaktadır.
AC-2 bölgesi	İnsan vücuduna zararlı tesiri bulunmamaktadır.
AC-3 bölgesi	İnsan vücudunda herhangi bir hasar gözlenmez. Ancak, akımın 2 sn'den daha uzun olması sonucunda kaslarda kramp ve nefes alıp vermekte zorluklar görülür. Akımın şiddeti ve süresine bağlı olarak kalp atışlarında bozulmalar gözlenir.
AC-4 bölgesi	AC-3 bölgesindeki etkilere ek olarak kalpte ve nefes alıp vermede akımın şiddeti ve süresine bağlı olarak canlılar için tehlikeli etkiler ve ağır yanıklar meydana gelmesine yol açabilir. Akım değeri arttıkça ventriküler fibrilasyon olasılığı artmaktadır.
AC-4-1 bölgesi	Yaklaşık %5 oranında Ventriküler fibrilasyon olma olasılığı bulunmaktadır.
AC-4-2 bölgesi	Yaklaşık %50 oranında Ventriküler fibrilasyon olma olasılığı bulunmaktadır.
AC-4-3 bölgesi	Ventriküler fibrilasyon olma olasılığı %50'nin üzerindedir.

**Kaynak:** Türk Standardı TS IEC 60479-1 (2019).

### **2.1.2. Yüksek Gerilim Topraklama Tesislerinin Boyutlandırılması**

Topraklama tesisleri boyutlandırılırken hatanın veya arızanın meydana geldiği süre, hata akımının süresi, toprağın cinsi ve özellikleri, elektrik sisteminin nötr noktasının topraklama şekli göz önünde bulundurulur. Topraklama tesislerinin aşağıdaki dört koşulu sağlaması beklenir:

- Mekanik ve korozyona karşı dayanıklılığın sağlanması,
- Isıl etkilere veya yüksek hata akımına karşı dayanıklılığın sağlanması,

- Tesis araç, gereçleri ve objelerin hasar almasına engel olması,
- Yüksek değerde toprak hata akımı meydana geldiğinde, tesiste oluşacak gerilimlere karşı insanların can güvenliğinin sağlanması.

Farklı gerilim seviyeleri kullanılan tesislerde bu şartlar göz önünde bulundurulur ve her bir gerilim seviyesinde bu koşullar aranır.

#### *2.1.2.1. Mekanik Dayanım ve Korozyona Karşı Dayanıklılık Bakımından Topraklama Tesisinin Boyutlandırılması*

Topraklayıcılar, toprak altında yer aldığından toprakla sürekli temasta bulunurlar. Bu nedenle korozyon etkilerine karşı dayanıklı malzemelerden oluşmalıdır. Ayrıca, hem montaj sırasında oluşacak olan mekanik zorlanmalara, hem de normal işletme sırasında oluşan mekanik etkenlere karşı dayanıklı malzemenin oluşmalıdır.

Topraklayıcılar için, mekanik dayanım ve korozyon bakımından en küçük boyutlar tablo 2. de verilmiştir. Tablo 2. de kurşun kılıflı malzemeler beton içine doğrudan gömülemezler. Çıplak yuvarlak tel malzemeleri mekanik dayanım ve korozyon tehlikesinin az olduğu koşullarda 16 mm<sup>2</sup> olarak kullanılabilir.

**Tablo 2.** Mekanik dayanım ve korozyon bakımından topraklayıcı malzemelerin tipleri ve minimum boyutları

Malzeme		Topraklayıcı Çeşidi	En Küçük İletken Boyutları		
			Çap (mm)	Kesit (mm <sup>2</sup> )	Kalınlık (mm)
Çelik	Sıcak daldırma galvaniz malzemeler	Şeritler		90	3
		Profiller		90	3
		Borular	25		2
		Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk malzemeler	16		
		Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel malzemeler	10		
	Kurşun kılıflı malzemeler	Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel malzemeler	8		
	Sıvanmış bakır kılıflı malzemeler	Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk malzemeler	15		
	Elektrolitik bakır kaplamalı malzemeler	Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk	14,2		
Bakır	Çıplak malzemeler	Şerit		50	2
		Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel		25	
		Örgülü iletken malzemeler	1,8	25	
		Borular	20		2
	Kalaylı malzemeler	Örgülü iletken malzemeler	1,8	25	
	Galvanizli malzemeler	Şeritler		50	2
	Kurşun kılıflı malzemeler	Örgülü iletkenler	1,8	25	
		Yuvarlak tel malzemeler		25	

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

Topraklama ve Potansiyel dengeleme iletkenlerinin mekanik ve korozyona karşı dayanıklı olması gereken en küçük kesitleri bakır iletkenlerde 16 mm<sup>2</sup>, alüminyum iletkenlerde 35 mm<sup>2</sup>, çelik iletkenlerde 50 mm<sup>2</sup> dir.

### 2.1.2.2. Isıl Zorlanmalara Göre Boyutlandırma

Topraklama tesislerinde hata akımı çoğu kez belirli kollara ayrılır. Bundan dolayı, her topraklayıcı için, bu kısımdan geçen hata akımının göz önüne alınması önemlidir. Topraklayıcıların etrafındaki toprak için izin verilen sıcaklık artış değerleri ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Tablo 3. de topraklama sistem tasarımı ile ilgili akımlar belirtilmiştir. Bu tasarımda topraklamanın gerilimi ve dokunma gerilimi akımlarında söndürme bobinli tesislerde ilave olarak artık akımın reaktif bileşenlerinin yüksek miktarda rezonans dışı olması, yerel olarak sınırlanmış bir YG şebekesinde toprak hatasının uzun süre kalması durumunda  $I''_{KEE}$  çift toprak hata akımı dikkate alınmalıdır. Söndürme bobinlerinin beyan akımları topraklama iletken tasarımlarında dikkate alınmalıdır.

**Tablo 3.** Topraklama sistemleri tasarımı ile ilgili akımlar

Yüksek gerilim sistem tipi		Topraklama Elektrodu	Topraklama iletkeni	Toprak potansiyel artışı ve dokunma gerilimi ile ilgili akım değerleri
Yıldız noktası yalıtılmış şebekeler		Tablo 2. de en küçük kesitler	$I''_{KEE}$	$I_E = r \times I_C$
Toprak teması kompanze edilmiş şebekeler	Söndürme bobinli tesisler	Tablo 2. de en küçük kesitler	$I''_{KEE}$	$I_E = r \times (I_L^2 + I_{RES}^2)^{1/2}$
	Söndürme bobinsiz tesisler			$I_E = r \times I_{RES}$
Yıldız noktası değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış şebekeler		$I''_{k1}$	$I''_{k1}$	$I_E$
Toprak teması kompanze edilmiş ve geçici olarak yıldız noktası değeri düşük bir empedans üzerinden topraklanmış şebekeler	Yıldız noktası geçici olarak topraklanmış	$I''_{k1}$	$I''_{k1}$	$I_E$
	Söndürme bobinli tesisler	Tablo 2. de en küçük kesitler	$I''_{KEE}$	$I_E = r \times (I_L^2 + I_{RES}^2)^{1/2}$
	Söndürme bobinsiz tesisler	Tablo 2. de en küçük kesitler	$I''_{KEE}$	$I_E = r \times I_{RES}$

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

Burada:

$I_C$ : Kapasitif toprak hata akımı,

$I_{RES}$ : Toprak hata artık akımı,

$I_L$ : Paralel söndürme bobinleri beyan akımı,

$I''_{k1}$ : Tek kutuplu toprak kısa devresinde başlangıç alternatif akımı,

$I''_{KEE}$ : Çift toprak hata akımı,

$I_E$ : Toprak akımı,

$r$ : Azalma redüksiyon katsayısı

olarak gösterilmiştir.

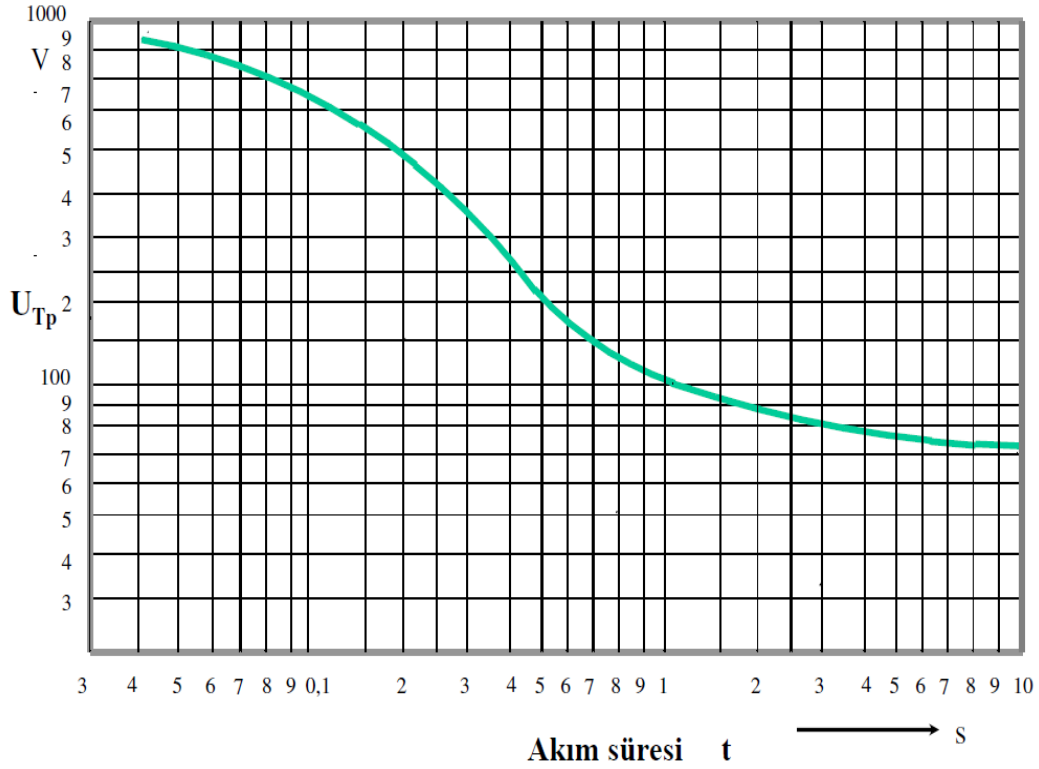
### 2.1.2.3. Dokunma ve Adım Gerilimlerine Göre Boyutlandırma

Dokunma geriliminde insan vücudu üzerinden akım güzergahı elden ayağa ya da elden ele şeklinde olur (Dokunulan yere uzaklık yatay olarak yaklaşık 1m düşünülür.). Koruma topraklamasının direnç değerine göre, hata olan yerdeki dokunma geriliminin değeri daha önemli bir değerdir. Tehlikeli gerilim değeri ilgili yönetmelik TS HD 60364-5-54 standardında ve ülkemizdeki tüm elektrik ile ilgili yönetmeliklerde 50 Volt olarak kabul edilmiştir. (Türk Standardı TS HD 60364-5-54, 2012).

Yıldırım düşmesi anında toprağa gelen gerilimin toprağa yayılmasıyla bu bölgede bulunan canlıların adımları arasında oluşturduğu gerilimdir. Atılan adımın büyüklüğüne göre canlıların köprülediği potansiyel farkı ve maruz kaldığı elektrik alanı o kadar büyük olacaktır. Bu durum canlı için tehlikeli bir durum arz edebilir. Özellikle büyük adım gerilimlerine sahip olan canlılarda, örneğin büyükbaş hayvanlarda daha büyük bir risk oluşturacaktır.

Canlılar için tehlikeli olan durum canlı bedeninden akan akım miktarıdır. Bu akımın canlılar üzerindeki etkileri akımın uygulanma süresi ve miktarına bağlıdır. Uygulamada temas geriliminin dikkate alınması önemlidir. Şekil 17. de bir insanın belirli akım süreleri için izin verilmiş olan en yüksek temas gerilimleri verilmiştir. Bu eğri yalnızca yüksek gerilim şebekleri için geçerlidir. Şekil 17. de tanımlanan eğri aynı zamanda insan vücudu boyunca oluşması muhtemel olan gerilim miktarlarını gösterir.

Dokunma gerilimi için müsaade edilen değerler adım gerilimi için müsaade edilen değerden çok küçük bir miktar daha küçüktür. Bu nedenle adım gerilimi için izin verilen değerlerin tanımlanmasına gerek yoktur. Temas gerilimi için belirtilen koşullar yerine getirildiğinde adım gerilimlerinin de oluşmayacağı varsayılabilir.



**Şekil 17.** Dokunma gerilimi/akım süresi bölgeleri  
Kaynak: İlisu, İ. (2011).

### 2.1.3. Yüksek Gerilim Topraklama Tesislerinin Yapılması

Topraklama tesisinin yapılması aşamasında uyulması ve uygulanması gereken kurallar bulunmaktadır. Topraklama tesislerinde ilk olarak topraklayıcılar düzenlenir. Daha sonra topraklama iletkenleri düzenlenir ve tesiste ve cihazlarda bulunan topraklanacak bölümler dikkate alınır.

Topraklama tesislerinin yapılmasını altı ana başlıkta inceleyebiliriz.

*Topraklama iletkenlerinin ve topraklayıcıların tesis edilmesi:*

Topraklama tesisleri, uygun toprak yayılma direncini elde etmek için toprak içine gömülen birkaç topraklayıcının bir araya getirilmesi ile yapılan tesislerdir. Toprak öz direncini çeşitli kimyasal maddeler ile düşürmek önerilen bir durum değildir. Topraklayıcılar toprak altında donma nokta sınırı altında kalan bir derinliğe

yerleştirilirler. Örneğin, yüzeysel topraklayıcılar toprakta 0,5 m ile 1 m arasında bir derinliğe veyahut düşey çakılan çubuk topraklayıcılar toprak seviyesinin altında kalacak şekilde yerleştirilmelidir.

*Yüksek frekanslı girişimlerin azaltılması için topraklama tesislerinde alınması gereken önlemler:*

Topraklama tesislerinin 50 Hz frekanslı akımlara dayalı olarak tasarlanmaktadır. Ancak bazı durumlarda yüksek frekanslı talepler ortaya çıkmaktadır. Bunlara örnek olarak yıldırım etkisi ve YG tesislerde açma ve kapama durumları verilebilir. Yüksek frekanslı oluşan bu geçici akımlar ve bunlara karşılık gelen gerilimler cihazların çalışmalarını etkileyebilir. Bu tür durumları ortadan kaldırmak için büyük geçici akımların ortaya çıkması muhtemel olan tesislerde akım yollarının endüktansı mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Akım yolları endüktansını küçültmek için; Topraklama şebekesine ait göz yoğunluğu artırılmalı ve ortaya çıkan gözler kısa devre edilmeli, bu tesise yapılan bağlantı olabildiğince kısa bir topraklama iletkeni ile yapılmalı, kablo taşıma kanallarında topraklama iletkenleri kabloya paralel bir biçimde döşenmeli ve kablonun ekranları kablonun her iki noktasında topraklama sistemine bağlanmalı, karşılıklı empedans topraklama iletkenleri birbirinden en az 50 cm aralıklı döşenmelidir. Ayrıca binaların tüm metal aksamaları ve betona gömülü demir ve çelikler topraklama sistemine bağlanmalıdır.

*Potansiyel sürüklenmesi:*

Bir topraklama tesisinde yükselen potansiyelin, bu tesise bağlı bir iletken ile potansiyeli daha düşük olan bölgeye veya referans toprak bölgesine taşınmasıdır. Buradaki iletken, çevresine göre bir potansiyel fark oluşur. Bu farkın önlenmesi için; tüm metal aksamaların topraklama sisteminin dışına çıktığı noktadan itibaren irtibatının kesilmesi, iletken bölümlerin yalıtımının sağlanması, iletken bölümlerin etrafına dokunmaya karşı engel konulması, farklı topraklama sistemlerine bağlı kısımlar arasına yalıtkan engeller konulması, potansiyel düzenlemesinin yapılması ve aşırı gerilimlerin sınırlandırılması gibi tedbirlerinin alınması gerekmektedir.

*İşletme araçlarının ve tesislerin topraklanmasına ilişkin önlemler:*

Elektrik sistemlerinde bütün açıktaki iletkenler topraklanmalı ya da yalıtılmalıdır.



### *Yıldırım etkilerine karşı topraklama önlemleri:*

Yıldırım etkilerine karşı yüksek gerilim topraklama sistemleri kullanılmalıdır. Burada en kritik konu toprağa boşaltım yolunun direnç ve endüktans değerini tutabildiğimiz kadar küçük değerlerde tutmaktır. Bunun yöntemi de topraklama elektrotuna bağlantının mümkün olan en kısa mesafeden yapılmasıdır. Yıldırım etkilerine karşı koruma için TS HD 60364- 4- 443 ve TS EN 62305-3 mevzuatında belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. (Türk Standardı TS HD 60364-4-443, 2016), (Türk Standardı TS EN 62305-3,2011).

### *Parlayıcı ve patlayıcı ortamlarda alınan ek topraklayıcı önlemleri:*

Parlayıcı ve patlayıcı ortamlar için alınacak ek topraklayıcı önlemleri için TS EN 60079-14 mevzuatında belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. (Türk standardı TS EN 60079-14,2014).

## **2.2. Alçak Gerilim Tesislerinde Topraklama**

### **2.2.1. Alçak Gerilim Tesislerinde Topraklamanın Önemi**

Canlıların iç direnci dokunma gerilimine bağlı olduğu kadar, kişiler arasında da değişiklik gösterdiği için özellikle dokunma yerlerinin konumu ve durumuna göre akım büyüklüklerinin değişken olması sebebiyle, çeşitli hesaplamalardan bulunacak değerler yeterli bir sonuca ulaşılmasına müsaade etmeyecektir. Bu nedenle tehlikelere karşı bir sınır değeri belirlemek doğru bir işlem olacaktır.

Alçak gerilim tesislerinin insanla olan teması daha yoğun olduğu için, insanları bilinçlendirmekten çok tesislere önlemler almak daha önemli olmaktadır. Bu yüzden izin verilen dokunma gerilimi alçak gerilim tesislerinde 50V olurken, ıslak mahalleler, şantiyeler, tarım alanları vb. yerlerde ise 25V geçmeyecek şekilde sınırlandırılmıştır.

### **2.2.2. Alçak Gerilim Tesislerinde Dolaylı Temasa Karşı Koruma**

Esas itibari ile beslemenin otomatik olarak ayrılması yoluyla veya topraklamasız tamamlayıcı eşpotansiyel kuşaklama iletkeni ile yapılır. Bunun yanı sıra çift yalıtımlı cihazların kullanılması da dolaylı teması önleyecektir. Elektriksel ayırma ve iletken olmayan mahallerde dolaylı temasa karşı koruma da göz ardı edilmemelidir.

*Beslemenin otomatik ayrılması ile gerçekleşen koruma:*

Bir hata ortaya çıktığında dokunma geriliminin değeri ve süresinden meydana gelen, canlılarda oluşabilecek yaralanma ya da ölüm meydana gelmesi riski olduğunda gereklidir. Bu koruma sistemlerinin uzun süre işlevini yerine getirmesi, sistemin topraklama projesinin oluşturulması, kullanılacak ekipmanların belirlenmesi ve bakım işletme süreci noktasında tam bir koordinasyon gerektirir.

*Beslemenin ayrılması ve topraklama:*

Bir elektrik tesisinde gerilim altında açıktaki bölüm veya koruma iletkeni arasında oluşabilecek bir hata durumunda alternatif akım için 50 V etken değerinin üstünde dokunma geriliminin tehlikeli bir etki yaratma süresinde devam etmeyeceği şekilde beslemenin sistemden otomatik olarak ayrılması gerekmektedir. Dokunma gerilim değerine bağlı olmadan 5 s süreyi kesinlikle aşmayan gerilime bazı durumlarda izin verilebilir.

*Potansiyel dengeleme:*

Tüm elektrik tesislerinde koruma iletkeni, topraklama iletkeni ve bunlara ait bağlantı uçları, tüm mekanik ve inşaat sırasında kullanılan metal aksamlar eş potansiyel dengeleme hattına bağlanmalıdır. Bir tesiste veya tesise ait herhangi bir bölümde otomatik ayırma işlemi tam gerçekleştirilemiyorsa tamamlayıcı potansiyel dengeleme uygulanmalıdır. Tamamlayıcı potansiyel dengeleme yapılması tesiste beslemenin ayrılması gerekliliğini ortadan kaldıran bir durum değildir.

*TN sistemleri:*

Tesisatın açıkta kalan tüm iletken kısımlarının, güç sistemleri veya çevresinde koruma topraklaması ile işletme topraklamasının birbirine bağlanmasıdır. Genellikle güç sistemlerinde işletme topraklaması nötr noktasıdır. Nötr noktası yok ise herhangi bir faz noktası topraklanmalıdır. Bu sistemlerde aşırı akım koruma düzenekleri ve artık akım koruma düzenekleri kullanılabilir. Ancak TN-C sisteminde artık akıma koruma düzeneği kullanılmaz. TN-C-S sisteminde ise artık akım koruma düzeneği kullanıldığında, çıkışında bir PEN iletkeni kullanılmalıdır. Koruma iletkeni ile PEN bağlantısı güç sistemi kaynağı tarafında yapılmalıdır.

*TT sistemleri:*

Açıktaki tüm iletken kısımlar ile koruma iletkenleri ile birlikte ortak olan bir topraklayıcıya bağlanmalıdır. Aynı anda birden fazla koruma düzeninin birbirine seri bağlı olduğu durumlarda her biri için açıktaki iletken bölümler ayrı ayrı ortak olan bir topraklayıcıya bağlanmalıdır. TT sistemlerde artık akım koruma düzenekleri ve aşırı akım koruma düzenekleri kullanılabilir.

*IT sistemleri:*

Tesisat topraktan yalıtılmış ya da toprağa yeteri kadar yüksek değerde empedans üzerinden bağlanan sistemlerdir. Bu bağlantı sistemin nötr noktasında ya da nötr noktası olmaması halinde herhangi bir faz iletkeni empedans üstünden toprağa bağlanabilir. IT sistemlerde yalıtım izleme düzenekleri, aşırı akım koruma düzenekleri ve artık akım koruma düzenekleri kullanılabilir.

*Tamamlayıcı eş potansiyel kuşaklama:*

Açıktaki bütün iletken bölümleri ile inşaat içindeki tüm mekanik ve inşaat yapımında kullanılan metal malzemelerin eş potansiyel kuşaklama ile birbirine bağlanmasıdır.

### **2.2.3. Alçak Gerilim Tesislerinde Topraklama, Koruma ve Potansiyel Dengeleme İletkenlerinin Seçimi ve Tesisi**

*Toprağa olan bağlantılar:*

Topraklama sistemleri, elektrik tesislerinin ihtiyaçlarına göre koruma veya işletme topraklaması olarak ayrı ayrı ya da birlikte kullanılabilir. Topraklama tesislerinde kullanılacak ekipmanların seçilmesinde etken faktörler; topraklayıcının yayılma direnç değeri, topraklayıcının fonksiyon özelliklerinin değişmemesi, hata akımlarını ve kaçak akımları toprağa herhangi tehlikeye maruz kalmadan aktarması ve beklenen dış etkilere karşı dayanıklı olması şeklindedir.

*Topraklayıcı (Topraklama elektrodu):*

Topraklayıcı olarak, çubuk (boru), şerit (örgülü iletken), levha, temel topraklayıcılar ve toprak içinde kalan inşaat demirlerinin kullanılabilir. Topraklayıcının türü ve gömülme derinliği, normal şartlarda topraklama direnci için belirlenen seviyenin üstüne çıkmayacak biçimde seçilmelidir. Topraklayıcıların

malzeme özellikleri ve uygulama metotları, korozyon tesirlerine karşı dayanıklı seçilmelidir. Yanıcı sıvı veya gazlar vb. için kullanılan borular kesinlikle topraklayıcı olarak kullanılmazlar. Kabloların metal kılıfları topraklayıcı olarak kullanılabilirler. Yeni yapılacak olan tüm tesislerde temel topraklama tesis edilmesi zorunlu bir uygulamadır.

#### *Topraklama iletkenleri:*

Bir topraklama iletkenin topraklayıcıya bağlantısı güvenilir olmalıdır. Topraklayıcılar demirlere ya da birbirlerine topraklama klemensi ile bağlanırlar. Bu bağlantı sırasında topraklama iletkeninin zarar görmemesi çok önemlidir.

#### *Ana topraklama baraları:*

Tüm tesisler de en az bir adet ana topraklama barası olmak zorundadır. Topraklayıcı iletkenler, koruma iletkenleri ve ana potansiyel dengeleme iletkenleri ana topraklama barasına bağlanmalıdır.

#### *Koruma iletkenleri:*

Çok damarlı kablolar, çıplak veya yalıtılmış iletkenler, Kablolara ait metal kılıf, ekran ve zırhlar, metal olarak mekanik ve inşaat yapım malzemeleri koruma iletkeni olarak kullanılabilir.

#### *Topraklama ve koruma iletkenlerinin kullanılması:*

Aşırı akım koruma düzenekleri dolaylı temasa karşı tesis edilmiş ise koruma iletkenleri ana iletken ve nötr iletkeni ile birlikte döşenmelidir. Yardımcı topraklayıcıların bütün diğer metal topraklanmış kısımlardan ayrılması gerekmektedir.

#### *İşletme topraklaması:*

Tesiste bulunan işletme elemanlarının hataya neden olmadan çalışması için gerekli olan topraklama sistemidir.

#### *Koruma ve işletme amaçlı birleşik topraklama:*

Topraklama tesisinin hem koruma hem de işletme topraklaması için kullanılması durumunda koruma için yapılan topraklama her zaman önceliklidir. TN topraklama sistemlerinde hem koruma hem de nötr olarak tek bir iletken kullanılabilir. Tesiste hata akımlarına karşı koruma düzeni içeriyorsa birleştirme yapılamaz. PEN iletkeni nötr ve

koruma iletkeni olarak ayrıldıysa tekrar birleştirilmemelidir. Ayrılan noktalarda nötr ve koruma iletkenleri için ayrı klemens grupları kullanılmalıdır. PEN iletkeni koruma için tasarlanmış baraya bağlanmalıdır.

*Potansiyel dengeleme iletkeni:*

Ana potansiyel dengeleme amacı ile kullanılacak olan iletkenin kesiti en az tesiste bulunan en büyük koruma iletken kesitinin yarısı kadar olmalıdır. Tamamlayıcı potansiyel dengeleme iletken kesiti ise en az buna karşı düşen koruma iletken kesitinin yarısına eşit olmalıdır.

### **2.3. Topraklama Tesislerinde Muayene, Ölçme ve Denetleme**

Tüm topraklama tesisleri, kullanan tarafından devreye alınmadan önce, montaj ve tesis aşamasına bakarak göz ile muayene edilmelidir. İnsan ve canlıların sağlığı için korunma ve montaj işlemlerinin testten geçirilmesi gerekmektedir. Bu işlemler mevcut bulunan bir sistemin büyütülmesi veya değiştirilmesi durumunda da uygulanmalıdır. Bir rapor hazırlanıp karşılaştırma yapılmalıdır.

*Gözle muayene:*

Tamamı enerjisiz hale getirilmiş tesiste, ölçme ve denetleme işlemlerinden önce yapılan muayene işlemidir. Bu işlemde dikkat edilmesi gereken hususlar;

Tesiste kullanılan ekipmanların, standartlarda belirtilen güvenlik kurallarına uyması, imalatçı firma katalog bilgilerine göre doğru bir şekilde seçilmesi ve uygulanması, güvenliği etkileyecek bir hata olup olmadığı kontrol edilir.

Tesiste gövdede meydana gelecek tehlikeli akımlara karşı önlem alınıp alınmasının kontrolü, kullanılan kablo, bara ve iletkenlerin akım taşıma kapasitelerine göre olmasının kontrolü, koruma ve ihbar düzenlerinin kontrolü, işletmeye ait olan ekipmanların dış etkiler göz önünde bulundurularak seçilmesinin kontrolü, İletken bağlantılarının kontrolü, Nötr ve koruma iletkenlerine ait etiketlemelerin kontrolü ve işletme ve bakım aşamasında yapılacak olan test ve muayene noktalarına kolay ulaşım olmasının kontrolü yapılır.

*Ölçme ve denetleme:*

Topraklama tesislerinde yapılan ölçme ve denetleme sırası ile;

Koruma iletkenlerinin, ana ve tamamlayıcı potansiyel dengeleme iletkenleri ile bağlantılarının sürekliliğinin test ve denetimi:

Koruma iletkenleri  $1\Omega$ , potansiyel dengeleme iletkenleri  $0,1\Omega$  en büyük direnç değeri olmalıdır.

#### Yalıtım direncinin test ve denetimi:

Tüm aktif bölümler ile toprak arasında ölçümler yapılır. TN sistemlerinde ölçümde toprak yerine PEN iletkeni kullanılabilir. Ölçümde nötr iletkeni topraktan tamamen ayrılmalı ancak PEN iletkeni ayrılmamalıdır.

#### Toprak özdirencinin test ve denetimi:

Topraklayıcıların direnç hesaplamalarının yapılabilmesi için toprak özdirenci belirlenmelidir. Toprak özdirencinde sıklıkla kullanılan değerler tablo 4. de belirtilmiştir. Ancak proje tasarımında yerinde ölçüm çok önemlidir. Toprak özdirenci toprağın nem ve rutubet oranına göre ve homojen bir yapıda olmadığından her bölgede değişkenlik gösterecektir.

Toprak özdirenç ölçümünde uygulanabilecek yöntemlerden bazıları; Wenner, Schlumberger, dipol-dipol, tek elektrot-dipol vb. yöntemlerdir. Bu yöntemler 4 adet ölçüm kazığının bir doğru boyunca farklı aralıklarla toprağa çakılması ile uygulanır. Ancak her yöntemde ölçüm için kullanılan cihazlar farklılık göstermektedir.

Küçük aralıklar ile yapılan toprak özdirenç ölçümü özel geliştirilmiş cihazlar ile yapılırken, büyük aralıklarla yapılan ölçümlerde voltmetre-ampermetre yöntemi kullanılır. Toprak özdirenç ölçümünde yeryüzünde toprağa çakılan iki elektrot aracılığı ile toprak içine elektrik akımı gönderilir. Yeryüzünde farklı noktalara yerleştirilen diğer iki elektrot ile de oluşan gerilim farkı ölçülür.

Wenner yöntemi ile toprak özdirenç ölçümü yapılabilmektedir. Bu yöntem diğerlerine göre daha avantajlıdır. Elektrot aralıklarının eşit olmasından dolayı K dizilim katsayısı kolayca hesaplanabilir. Diğer avantajlarından bazıları ise ölçüm duyarlılığının daha az olması ve ölçülen verinin doğrudan değerlendirilebilmesidir.

Wenner yönteminde akım için toprağa yerleştirilen elektrotların arası daha çok açılarak daha fazla akım geçmesi sağlanabilir. Bu şekilde alınan sonuçlar toprağın daha derininde bulunan akımın şiddetini gösterir. Burada asıl mesele akım ve gerilim

elektrot aralıklarının sürekli olarak artırılması olduğundan bu deney açık havada yapılmalıdır. Çünkü büyük arazilerde elektronlar daha hızlı hareket etmektedir. Bu da daha verimli bir ölçümün alınmasını sağlamaktadır.

**Tablo 4.** Toprağın cinsine göre alternatif akım frekanslarında yaklaşık toprak özdirenci

Toprağın Cinsi	Toprak özdirenci $\rho_E = \Omega.m$	
	Aralıktaki değerler	Ortalama değer
Çamurlu toprak	2-50	30
Kil, kerpiç	2-200	40
Çökelti ve kum-kil toprağı, humus	20-260	100
Kum ve kumlu toprak	50-300	200 (rutubet)
Turba	>1200	200
Çakıl	50-3000	1000 (rutubet)
Kayalık ve taşlı toprak	1000-8000	2000
Beton 1-3 ölçü çimento kum karışım	50-300	150
Beton 1-5 ölçü çimento çakıl karışım	100-800	400

**Kaynak:** Üresin F. (2010).

*Topraklama direncinin test ve denetimi:*

Topraklama direnci üç farklı yöntem ile ölçülür.

*Toprak Meggeri ile ölçme:* Üç uçlu ve dört uçlu olarak ikiye ayrılır. Üç uçlu megerde bir uç, dört uçlu megerde ise iki uç ölçüm noktasına bağlanır. Diğer uçlar ise ölçüme yardımcı olacak olan toprağa bağlanırlar.

*Voltmetre-Ampermetre yöntemi ile ölçme:* Ölçüm noktası ile yardımcı toprak uçları arasında paralel toprak kesitlerinin olmaması ve bu bağlantıların genel doğrultuları arasında  $91^0$  'den büyük açılarının olması durumunda uygulanır.

*Wattmetre-Ampermetre yöntemi ile ölçme:* Ölçüm noktası topraklama iletkenleri ile yardımcı toprak bağlantılarının kısmen ya da tamamen paralel olması durumunda bu yöntemin kullanılması uygun olur.

*Otomatik açmanın test ve denetimi:*

Alternatif gerilimler için TN, TT ve IT sistemlerindeki koruma önlemlerinin doğrulanması gerekmektedir. Ayrıca çevrim empedansı kontrol edilir.

Ölçme işlemi sırasında herhangi bir hatanın belirlenmesi durumunda bu hatanın düzeltilmesi sonrası tüm ölçümlerin tekrar yapılması gerekir. Ölçme işlemleri için kullanılan cihazların kalibrasyon işlemleri akredite laboratuvarlarda yapılmış olmalı ve kalibrasyon geçerlilik tarihi uygun olmalıdır.

*Dolaylı temas için koruma kontrolü;*

Ana iletkenler ile koruma iletkenleri arasında bulunan ve ana iletken ile PEN iletkenleri arasında bulunan çevrim empedansının tespit edilmesi gerekmektedir.

*Kısa devre için koruma kontrolü;*

Aşırı akım koruma düzeneklerinin doğru olarak seçilmesi ve ayarlanması önemlidir. Ayrıca tüm elektrik ekipmanlarının bulunduğu tesiste çıkacak olan en büyük kısa devre akımına dayanıklılığının göz ile muayenesi gereklidir.

*Hata akımı için koruma kontrolü;*

Hata akımı koruma düzeneğinin kendi anma akımına ulaşılması durumunda açtığı ve tesis için izin verilen temas gerilimi ulaşılmaması gereklidir.



## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### TOPRAKLAMA ELEKTROTLARI VE TEMEL TOPRAKLAMA

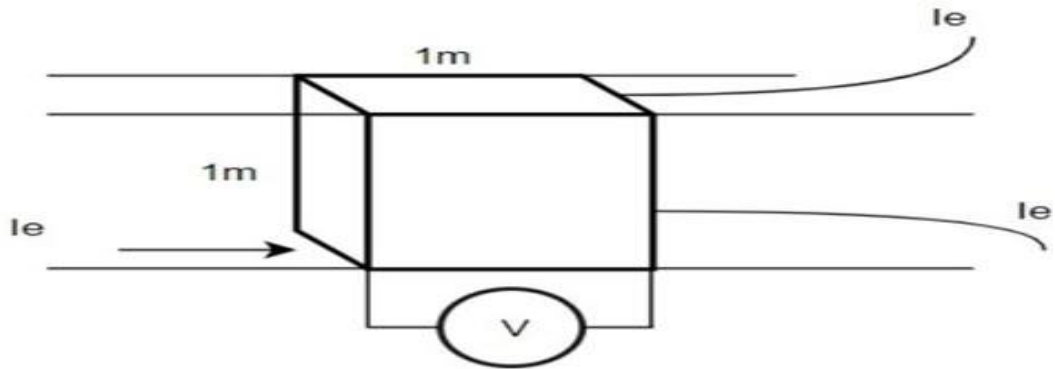
#### 3.1. Topraklama Elektrotlarına Giriş

Elektrik sistemlerinde, topraklama tesisleri güvenlik bakımından ve şebekenin teknik beklentileri bakımından önemli bir yer tutmaktadır. Tüm canlılar için elektrik çarpması tehlikesine karşı artan hassasiyetler, topraklama tesislerinin boyutlandırılmasını önemli hale getirmektedir. Topraklama tesislerinde değişik elektrot şekilleri kullanılmaktadır. Türkiye’de çubuk elektrot yaygın olarak tercih edilirken, diğer ülkelerde ağırlıklı olarak ağ topraklama sistemi kullanılmaktadır. Türkiye’de topraklama sisteminin yayılma direnci hesaplanırken, diğer ülkelerde dokunma gerilimi hesaplanmaktadır. Toprağın yayılma direnci, topraklama sisteminin şekline, boyutlarına ve toprağın öz direncine bağlıdır. Bu bölümde önce toprak öz direnci ve ölçüm yöntemleri, sonrasında topraklayıcı elektrotlar ve çeşitleri ve temel topraklama sistemleri ve çeşitleri anlatılacaktır.

#### 3.2. Toprak Öz direnci ve Ölçüm Yöntemleri

##### 3.2.1. Toprak Öz direnci

Toprağın nem oranına ve cinsine bağlı olarak değişen toprağa ait elektriksel öz dirençtir. Toprağın değişik katmanlarında farklı toprak öz dirençleri ölçülür. Şekil 18. de olduğu gibi toprak öz direnci kenar uzunlukları 1x1x1 metre olan bir küp toprağın direncidir. Topraklama tesisinin bulunduğu bölgede bulunan toprak tabakası dikey ve yatay olarak farklı öz dirençli katmanlardan oluşabilir.



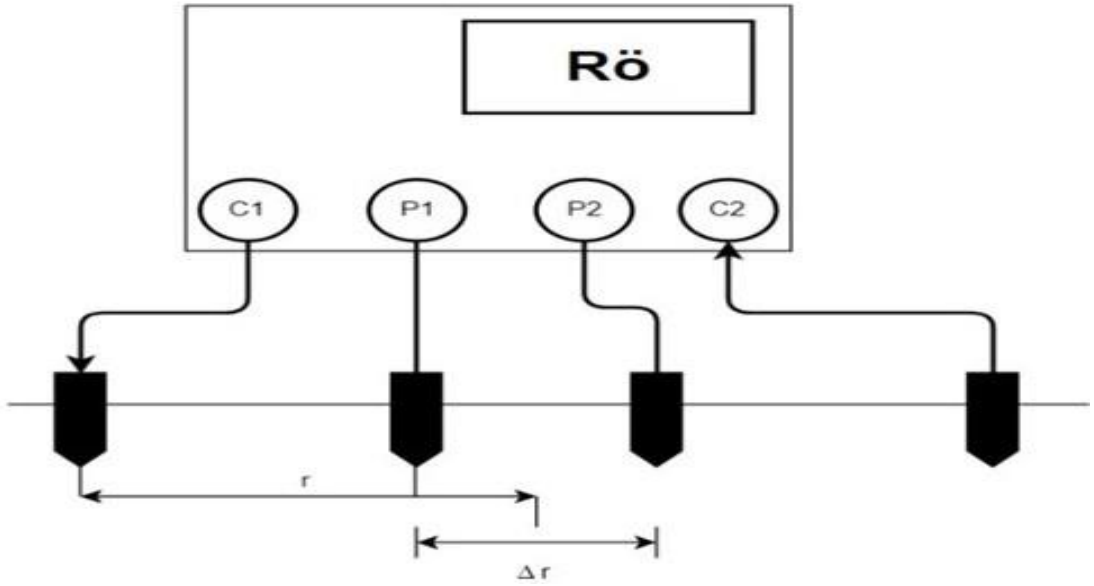
Şekil 18. Toprak öz direnci

Kaynak: Yılmaz M. (2018).

### 3.2.2. Toprak Özdirenci Ölçüm Yöntemleri ve Formülleri

Toprak özdirenç ölçümü için kullanılabilir birçok yöntem vardır. Wenner, Schlumberger, dipol-dipol, tek elektrot-dipol vb. yöntemler bunlardan sadece birkaçıdır. Bu yöntemler 4 adet ölçüm kazığının doğrusal bir hat boyunca farklı aralıklarla toprağa çakılması ile uygulanır. Fakat her yöntem için ölçüm yapılacak cihazlar farklılık göstermektedir. Küçük aralıklar ile yapılan toprak özdirenç ölçümü özel geliştirilmiş cihazlar vasıtası ile yapılır. Ancak, büyük aralıklarla yapılan ölçme işleminde voltmetre-ampermetre yöntemi kullanılır.

Şekil 19. da toprak özdirenç ölçüm düzeneği verilmiştir. Toprak özdirenç ölçümünde C1 ucundan toprağa çakılan elektrot aracılığı ile akım gönderilir. Bu akım C2 ucu ile toprağa çakılan kısımdan geri döner. Bu akım hareketi P1 ve P2 uçlarından toprağa çakılan elektrotlar üzerinde U potansiyel fark oluşturur. Burada oluşan potansiyel farkın akıma oranı bize toprak özdirencini verir.

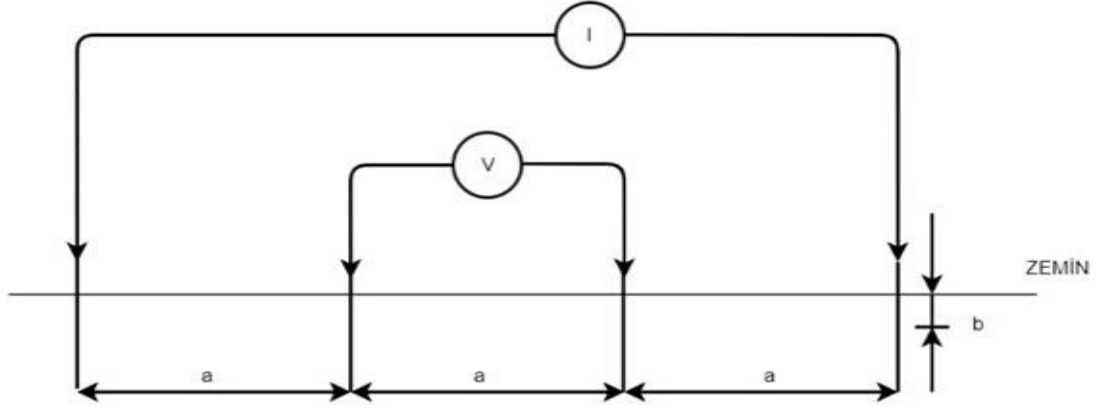


**Şekil 19.** Toprak özdirenci ölçüm düzeneği

**Kaynak:** Yılmaz M. (2018).

*Wenner Yöntemi ile toprak özdirenci ölçümü:*

Toprak özdirenç ölçümünde en çok kullanılan yöntemdir. Şekil 20. de b derinliğinde eşit a uzaklıkta elektrotlar aynı düzlemde toprak zemine çakılır. Burada dışta bulunan elektrotlara toprak megeri ile akım verilir ve içte bulunan elektrotlarda potansiyel fark ölçülür. Ohm Kanunu ile bulunan direnç değeri bize toprak özdirencini verir.



**Şekil 20.** Wenner yöntemi ile toprak öz direnç ölçüm düzeneği  
**Kaynak:** Yılmaz M. (2018).

$$\rho_E = \frac{4\pi \cdot a \cdot R_W}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (1)$$

$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega \cdot m$ ),

a: Elektrotların arasındaki uzaklık (m),

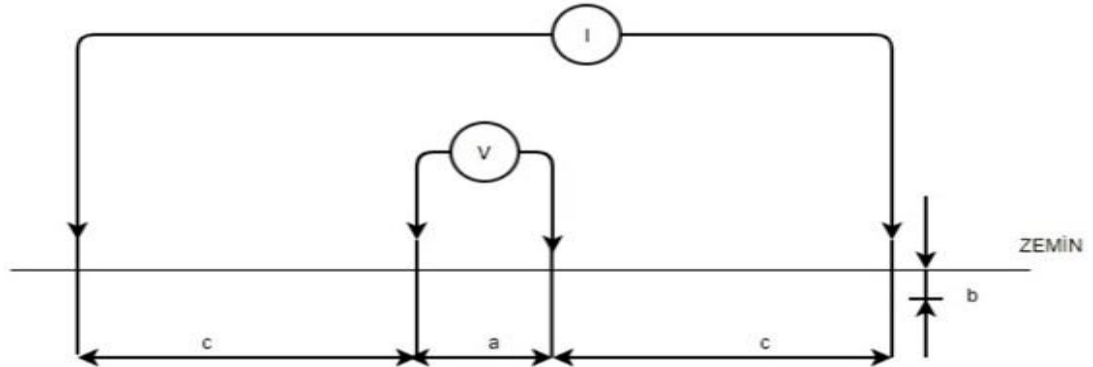
b: Elektrotların toprağın içine gömülme derinliği(m),

$R_W$ : Wenner ölçüm direnci ( $\Omega$ ),

olarak ifade edilmektedir.

*Schlumberger yöntemi ile toprak öz direnci ölçümü:*

Şekil 21. de Schlumberger yöntemi ile toprak öz direnci ölçüm düzeneği verilmiştir. Wenner yöntemi ile arasındaki tek fark dışa çakılan elektrotlar arası mesafelerin farklı olmasıdır.



**Şekil 21.** Schlumberger yöntemi ile toprak öz direnci ölçümü düzeneği  
**Kaynak:** Yılmaz M. (2018).

Bu yöntemde elektrotların çakılma derinliği elektrotlar arası mesafelerden her zaman küçük olmalıdır. Ayrıca dıştaki elektrot ile içteki elektrot arası mesafe, içteki elektrotlar arası mesafenin iki katından büyük olmalıdır.

$$\rho_E = \pi \cdot \frac{c \cdot (c+a) \cdot R_s}{a} \quad (2)$$

$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega \cdot m$ ),

a: Gerilim elektrotları arası uzaklık (m),

b: Elektrotların toprağın içine gömülme derinliği (m),

c: Akım için kullanılan elektrot ile gerilim için kullanılan elektrot arasındaki uzaklık (m)

$R_s$ : Schlumberg direnci ( $\Omega$ ),

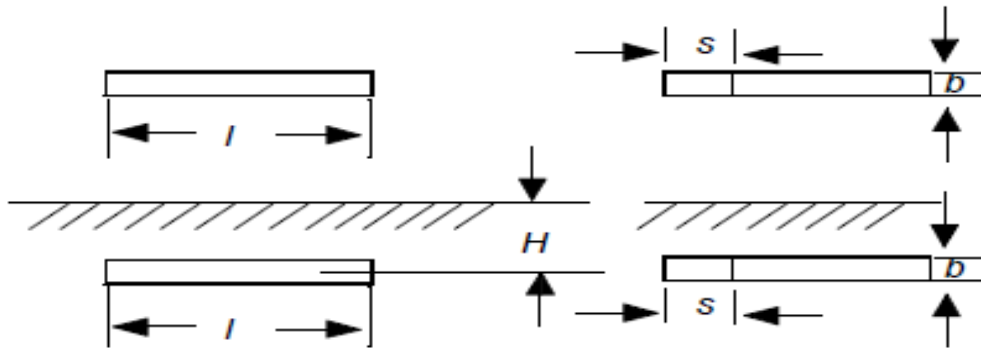
olarak ifade edilmektedir.

### 3.3. Topraklayıcı Elektrot Çeşitleri

Topraklayıcı elektrotlar Şerit, Doğal, Çubuk, Derin ve Levha topraklayıcılar olarak 5 ana grupta incelenebilir.

#### 3.3.1. Şerit Topraklayıcılar

Şerit, yuvarlak biçimde iletken veya örgülü olan iletken yapıdan ve genel olarak derin biçimde gömülme topraklayıcılarıdır. Şerit topraklayıcılar için kullanılan tüm hesaplamalarda şerit uzunluğu ve topraklama şeritlerinin kapladığı alana ait eşdeğer dairenin çapı kullanılmaktadır. Şekil 22. de yüzeysel topraklayıcıların yüzey kısmına ya da H derinliğine gömülmesi durumu modellenmiştir.



**Şekil 22.** Yüzeysel topraklayıcıların yüzey kısmına ya da H derinliğine tesis edilmeleri durumu modellenmesi

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

$$d = \frac{1}{2}b = \frac{2(b+s)}{\pi} \quad (3)$$

Topraklayıcının yüzeyde tesis edilmesi durumunda;

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

Topraklayıcının H derinliğine tesis edilmesi durumunda;

$$R_E = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{d} \cdot \left(1 + \frac{\ln l}{\ln 2l/d}\right) \quad (5)$$

Bu formüllerde;

$R_E$ : Şerit topraklayıcının eşdeğer direnci ( $\Omega$ ),

$l$ : Şerit topraklayıcı uzunluğu (m),

$b$ : Şerit topraklayıcı kalınlığı (m),

$d$ : Şerit topraklayıcının kalınlığının yarısı ya da yuvarlak iletkene ait çap (m),

$s$ : Şerit topraklayıcı genişliği (m),

$H$ : Şerit topraklayıcı gömülme derinliği (m),

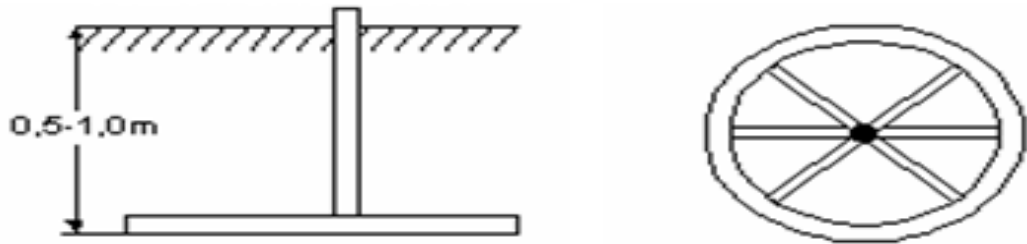
$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega \cdot m$ )

olarak ifade edilir.

Şerit topraklayıcılar gözlü, halka ve yıldız veya üçünün bir arada kullanılması biçiminde döşenebilir. Normal zemin koşullarında 0,5-1,00 mt derinliğe döşenmelidir. Şerit topraklayıcının yayılma direnci uzunluğuna bağlıdır.

### 3.3.1.1. Gözlü Şerit Topraklayıcı

Şekil 23. de gözlü şerit topraklayıcı modellemesi gösterilmiştir. Genel olarak santrallerde ve trafo merkezlerinde kullanılmaktadır.



**Şekil 23.** Gözlü şerit topraklayıcı modellemesi

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

$$R_E = \frac{\rho_E}{2.D} + \frac{\rho_E}{L} \quad (6)$$

Bu formülde,

$R_E$ : Gözlü şerit topraklayıcı topraklama eşdeğer direnci ( $\Omega$ ),

$D$ : Gözlü şerit topraklayıcı alanına eşit alanı bulunan daireye ait çap (m),

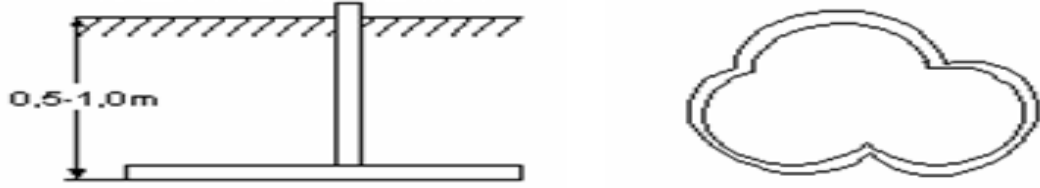
$L$ : Gözlü şerit topraklayıcıda kullanılmakta olan toplam iletkenin uzunluğu (m),

$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega.m$ ),

olarak ifade edilmektedir.

### 3.3.1.2. Halka Şerit Topraklayıcı

Şekil 24. de bir binanın halka (ring) topraklayıcı ile gösterimi verilmiştir. Halka (ring) topraklayıcılar genel olarak trafo binalarında, konut ve ticari binalarda ve fabrikalarda topraklama dirençlerini düzenlemek için kullanılmaktadır.



**Şekil 24.** Halka şerit topraklayıcı modellemesi

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

Ana formül:

$$R_E = \frac{\rho_E}{\pi^2.D} \cdot \ln \frac{2.\pi.D}{L} \quad (7)$$

Yaklaşık formül:

$$R_E = \frac{2.\rho_E}{3.D} \quad (8)$$

Bu formüllerde,

$R_E$ : Halka şerit topraklayıcı topraklama eşdeğer direnci ( $\Omega$ ),

$L$ : Halka şerit topraklayıcıda kullanılmakta olan toplam iletkenin uzunluğu (m),

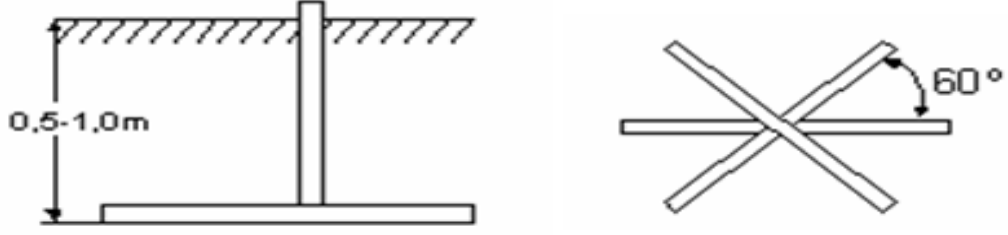
$D$ : Halka şerit topraklayıcının alanına eşit alanlı olan dairenin çapı (m),

$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega.m$ ),

olarak ifade edilmektedir.

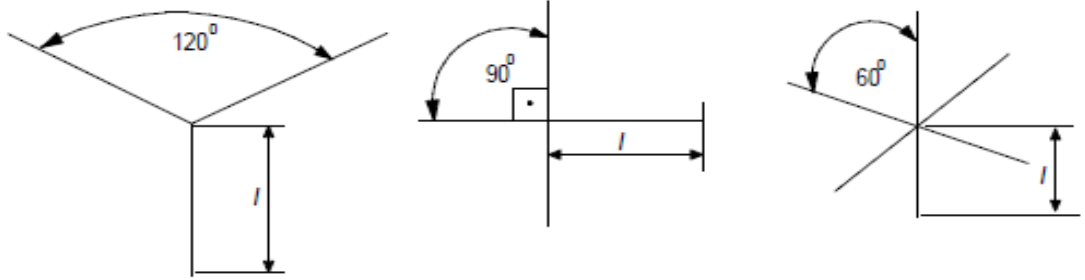
### 3.3.1.3. Yıldız Şerit Topraklayıcı

Şekil 25. de yıldız şerit topraklayıcı modellemesi verilmiştir. Burada önemli olan ışınların dağılımının düzgün olması ve iki ışın arasında bulunan açının  $60^0$ 'den küçük olmamasıdır. Çok fazla ışınlı yıldız topraklayıcı yayılma direncini artırabilir. Bu nedenle en fazla 3-4 adet ışınlı yıldız topraklayıcı kullanılması olumludur.



**Şekil 25.** Yıldız şerit topraklayıcı modellemesi

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).



**Şekil 26.** Yıldız şerit topraklayıcı çeşitleri

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

Şekil 26. da yıldız şerit topraklayıcı çeşitleri 3 kollu, 4 kollu ve 6 kollu olarak verilmiştir. Yıldız topraklayıcıların topraklama direnci şerit topraklayıcı kolları arasındaki açılara göre değişkenlik gösterir.

Üç düzlemde  $120^0$  açılıya sahip yıldız topraklayıcı için:

$$R_E = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{0,27 \cdot H \cdot d} \quad (9)$$

Dört düzlemde  $90^0$  açılıya sahip yıldız topraklayıcı için:

$$R_E = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{0,22 \cdot H \cdot d} \quad (10)$$

Altı düzlemde  $60^0$  açılıya sahip yıldız topraklayıcı için:

$$R_E = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{0,009 \cdot H \cdot d} \quad (11)$$

Bu formüllerde,

$R_E$ : Yıldız şerit topraklayıcı topraklama eşdeğer direnci ( $\Omega$ ),

$l$ : Yıldız şerit topraklayıcının kol uzunlukları (m),

$d$ : Yıldız şerit topraklayıcı kol çapı (m),

$H$ : Yıldız şerit topraklayıcı gömülme derinliği (m),

$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega \cdot m$ ),

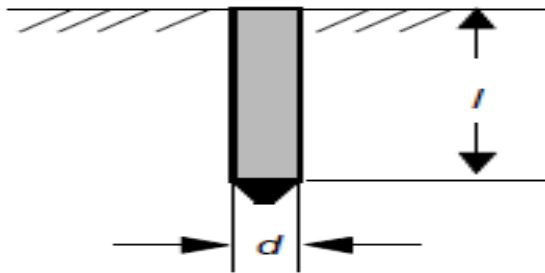
olarak ifade edilmektedir.

### 3.3.2. Doğal Topraklayıcılar

Doğal topraklayıcılarda asıl amaç topraklama değildir. Ancak, topraklayıcı olarak etkisi bulunan yapıların demir taşıyıcıları gibi metal olan parçalarıdır.

### 3.3.3. Çubuk Topraklayıcılar

Borudan veya profil olan çelikten yapılan ve toprağa çakılmak sureti ile kullanılmakta olan topraklayıcılardır. Çubuk olan topraklayıcıların yüzeye dik biçimde çakılması gerekmektedir. Şekil 27. de  $l$  uzunluğunda ve  $d$  kalınlığında çubuk topraklayıcı modellenmesi verilmiştir.



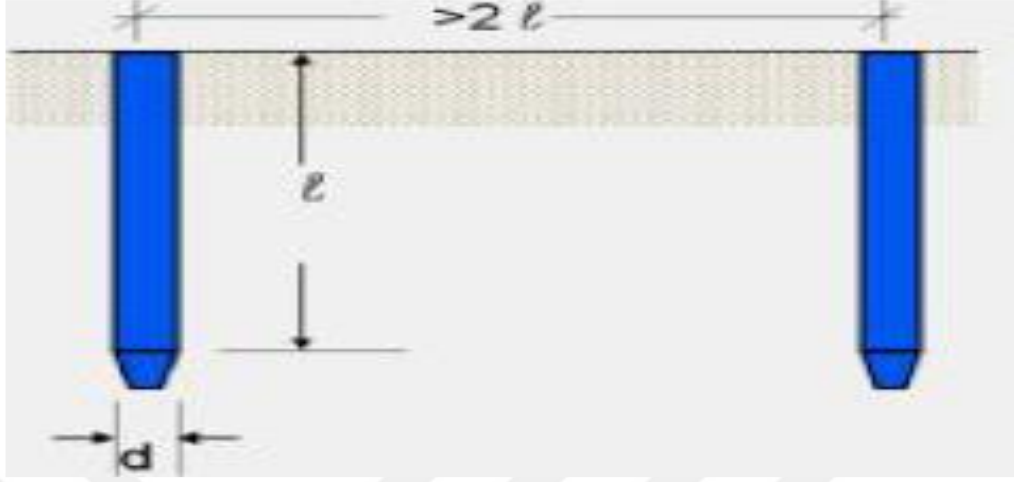
**Şekil 27.** Çubuk topraklayıcı modellenmesi

**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

İstenilen en küçük toprak yayılma direncinin sağlanması için birden fazla çubuk topraklayıcı kullanılması halinde, bu çubuklar arasındaki mesafeler topraklayıcının boyunun minimum 2 katı olmak zorundadır. Şekil 28. de  $l$  uzunluğunda ve  $d$



kalınlığında çubuk topraklayıcının birden fazla olması durumu modellenmesi verilmiştir.



**Şekil 28.** Birden fazla çubuk topraklayıcı olma durumu modellenmesi.

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

Ana formül;

$$R_E = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} \quad (12)$$

Yaklaşık formül;

$$R_E = \frac{\rho_E}{l} \quad (13)$$

Bu formüllerde;

$R_E$ : Çubuk topraklayıcı topraklama eşdeğer direnci ( $\Omega$ ),

$l$ : Çubuk topraklayıcı uzunlukları toplamı (m),

$d$ : Çubuk topraklayıcı kalınlığı (m),

$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega \cdot m$ ),

olarak ifade edilmektedir.

### 3.3.4. Derin Topraklayıcılar

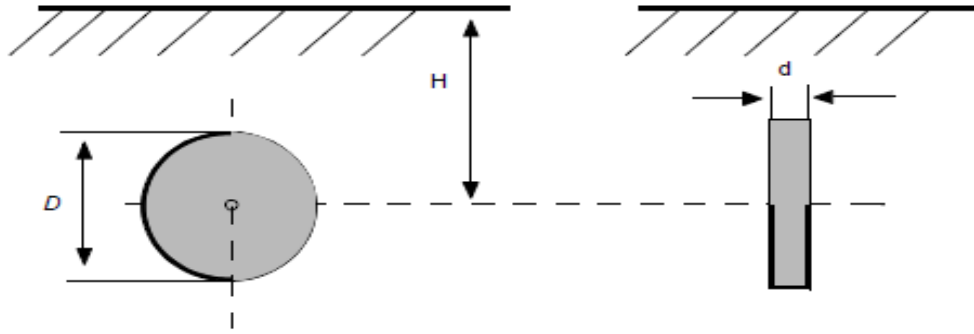
Genellikle düşey biçimde toprak seviyesinden 1m'den daha derine yerleştirilmiş olan topraklayıcılardır. Yuvarlak çubuk, boru, levha veya farklı profillerden yapılabilir.

### 3.3.5. Levha Topraklayıcılar

Levha topraklayıcılar zemine düşey ya da yatay olarak gömülürler. Gerekli olan yayılma direnci bunların boyutlarını belirler. Topraklama tesislerde genel olarak 1m x 0,5 m ebadında levha şeklinde kullanılır. Levhanın üst kenarı ile toprak yüzeyi arasındaki mesafe en az 1 m olmalıdır. Çok küçük değerlerde bir toprak yayılma direnci elde edebilmek için birden çok levha topraklayıcı kullanımı gereken durumlarda levhalar arasında bulunan mesafe en az 3 m olmalıdır. Toprak yayılma direncini düşürme hususunda diğer topraklayıcılar yerine levha topraklayıcı kullanmak daha çok malzeme kullanımına neden olur.

#### 3.3.5.1. Daire Şeklindeki Levha Topraklayıcı

Şekil 29. da toprağa düşey olarak gömülen daire şeklinde ve düz levha topraklayıcılar gösterilmiştir. Dolu veya delikli olan levhalar ile yapılmakta olan topraklayıcılardır. Bunlar diğer topraklayıcılara oranla daha derine gömülmelidir.



**Şekil 29.** Toprağa düşey olarak gömülen daire şeklinde levha topraklayıcı  
**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

Daire şeklinde levha topraklayıcı düşey olarak gömülürse;

$$R_E = \frac{\rho_E}{2.D} \cdot \left(0,5 + \frac{d}{4.\pi.H}\right) \quad (14)$$

Daire şeklinde levha topraklayıcı yatay biçimde yere gömülür ise;

$$R_E = \frac{\rho_E}{2.D} \quad (15)$$

Bu formüllerde,

$R_E$ : Daire şeklinde levha topraklayıcı topraklama eşdeğer direnci ( $\Omega$ ),

$D$ : Daire şeklinde levha topraklayıcının çapı (m),



olarak ifade edilmektedir.

### 3.4. Yatay Topraklama Eşdeğer Direnci ( $R_Y$ )

Yatay olarak döşenen gözlü, halka ve yıldız şeklindeki şerit topraklayıcıların eşdeğer dirençleri toplamıdır.

### 3.5. Dikey Topraklama Eşdeğer Direnci ( $R_C$ )

Dikey olarak gömülen çubuk, derin ve levha topraklayıcıların eş değer dirençleri toplamıdır.

### 3.6. Topraklama Toplam Eşdeğer Direnci ( $R_e$ )

Topraklama sisteminin yapımı sırasında yapılan ölçümler için farklı topraklama yöntemlerinin birlikte kullanılması gerekiyorsa; Toplam eşdeğer direnç, ohm kanunu kullanılarak hesaplanır. Kullanılan farklı sistemler birbirine paraleldir. Kullanılan tüm dirençler kendi yöntemleri ile bulunarak, paralel bağlı olacak şekilde toplam eşdeğer direnç hesaplanır.

$$R_e = \frac{R_Y \cdot R_C}{R_Y + R_C} \quad (19)$$

Burada;

$R_e$ : Topraklama toplam eş değer direnci ( $\Omega$ ),

$R_Y$ : Yatay topraklama eş değer direnci ( $\Omega$ ),

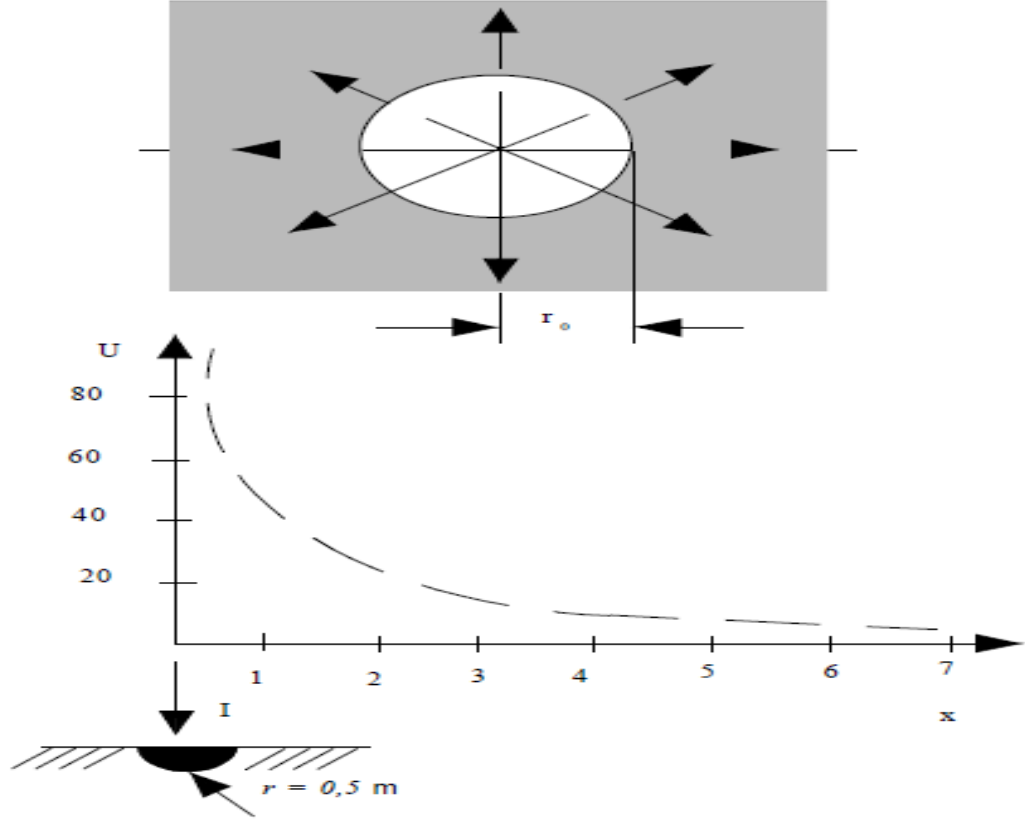
$R_C$ : Dikey topraklama eş değer direnci ( $\Omega$ ),

olarak ifade edilmektedir.

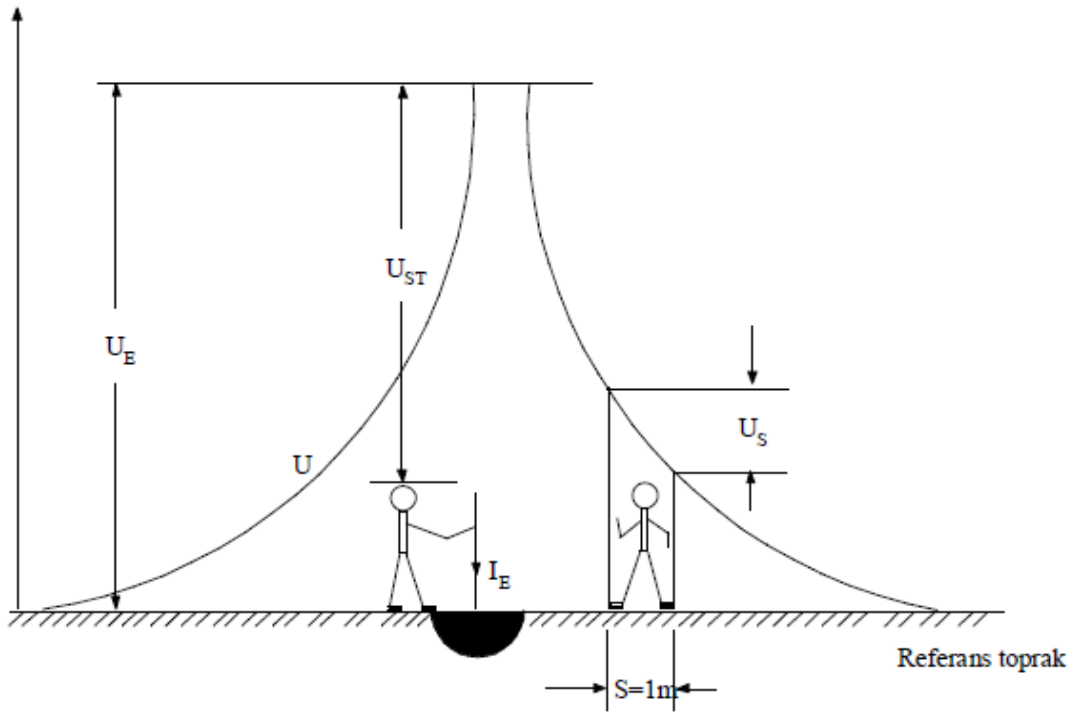
### 3.7. Yarım Küre Topraklayıcı

Elektrik akımının topraktaki dağılımı en kolay biçimde bir yarım küre topraklayıcı ile açıklanabilir. Doğal toprakta toprağa akan akım, her yöne simetrik olarak yayılır ve akım ilk önce çok küçük bir direnç ile, uzaklığa bağlı olarak gittikçe yükselen bir direnç ile karşılaşır. Toprağa akan akım, topraklayıcı etrafında yarım küresel eş potansiyel yüzeyler oluşturur.

Şekil 31. de yarım küre topraklayıcıda akım ve potansiyelin dağılımı gösterilmiştir. Şekil 32. de adım, dokunma ve topraklama gerilimlerinin şematik gösterimi yer almaktadır.



**Şekil 31.** Yarım küre olan topraklayıcılarda akım ve potansiyelin dağılımı  
**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).



**Şekil 32.** Adım, dokunma ve topraklama gerilimi şematik gösterimi  
**Kaynak:** Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001).

x uzakta olan yarım kürenin kesit alanı;

$$S = 2\pi \cdot x^2 \quad (20)$$

Yarım küre topraklayıcının potansiyel değişimi,

$$d\varphi = I \frac{\rho_E \cdot dx}{2 \cdot \pi \cdot x^2} \quad (21)$$

Yarım kürenin merkezi ile r uzaklığı arasındaki potansiyelin değeri;

$$\varphi = I \cdot \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi} \int_{\infty}^r \frac{dx}{x^2} = I \cdot \frac{\rho_E}{4 \cdot \pi} \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{\infty} \right) = I \cdot \frac{\rho_E}{\pi \cdot r} \quad (22)$$

Yarı kürenin yarıçapı  $r_0$  ile, yarım küreden toprağa geçiş anındaki potansiyel değeri;

$$\varphi_0 = I \cdot \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot r_0} \quad (23)$$

Yarım küre olan topraklayıcının topraklama direnci

$$R_E = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot r_0} = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d} = \frac{\varphi}{I} \quad (24)$$

Topraklama gerilimi, topraklayıcıdan akan akıma ve yayılma direncine bağlıdır.

$$U_S = I \cdot \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{x+S} \right) = I \cdot \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{S}{x \cdot (x+S)} \quad (25)$$

Adım gerilimi, adımın boyutu ve bulunduğu konuma göre değişiklik gösterdiği için, iki notanın arasında bulunan potansiyel farklılık ise;

$$U_E = R_E \cdot I_E \quad (26)$$

Bu formüllerde;

$R_E$ : Yarım küre topraklayıcıya ait topraklama direnci ( $\Omega$ )

$I$ : Topraklayıcıdan akan akım (A),

$U_S$ : Topraklama gerilimi (V),

$U_E$ : Adım gerilimi (V),

$x$ : Yarım küre uzaklığı (m),

$r$ : Kürenin yarıçapı (m),

$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega \cdot m$ )

olarak ifade edilmektedir.

### **3.8. Temel Topraklamada Dikkat edilmesi Gereken Hususlar**

İnşaat temeli yapımı aşamasında, temel izole edilerek mebran malzemesi ile sarılırsa (bohçalama metodu), temel içinde yer alan iletkenler elektriksel açıdan devamlılığın sağlanması için, bir taraftan eş potansiyel dengelemeyi yaparken, diğer taraftan da toprak direnç ölçümü aşamasında uygun değer bulunur ise TT şebekelerde koruma topraklaması, TN şebekelerde ise işletme topraklaması sağlanmış olur. Bohçalama metodu ile yapılan temelin altında potansiyel düzenleme ve dengeleme kurallarına uygun olarak ağ şeklinde uygun dirençli topraklama tesisi yapılması ve bunun toprakta sürekliliğinin sağlanması, izolasyonun bittiği bölgede betonarme demir veya iletkenlere bağlanacaktır. Bu şekilde eş potansiyel dengeleme sağlanmış olur.

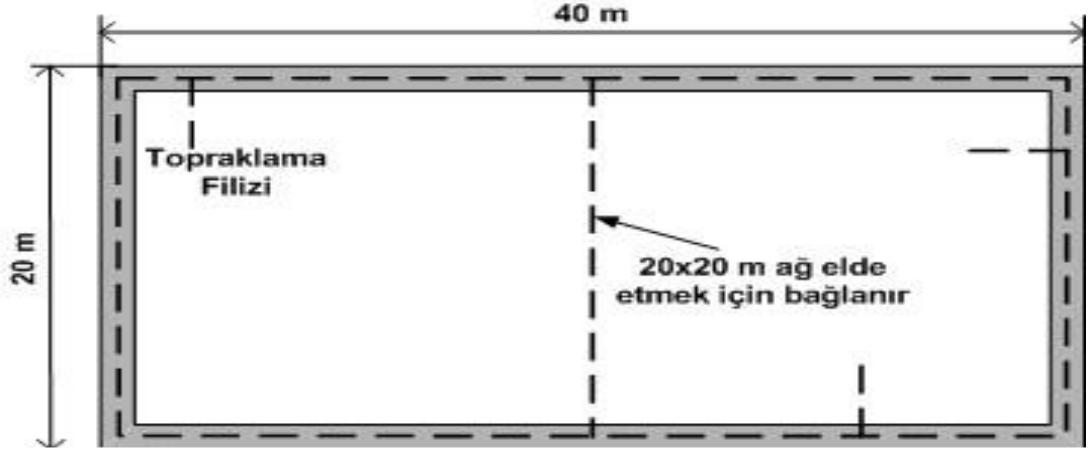
Topraklama uygulamaları için, iletkenlerin seçimlerinde dikkat edilmesi gerekli olan durumlar şu şekildedir;

İlgili mevzuatta galvaniz şerit kullanılması tavsiye edilmektedir. Betonarme imalatlarda, demir, çelik ile aynı tür malzeme olması ve korozyona uğramaması nedeniyle uygun olduğu öngörülmüştür. Yalnızca temel betonu içinde kullanılan demir, çelik vb. malzemeler topraklama için yetersizdir. Ek olarak mutlaka ilave topraklama iletkenleri ile topraklama sistemi yapılması gereklidir.

Topraklama tesisatının direnci yeterince düşük değilse betonarmeden zemine çıkan iletken, uygun direnci sağlamak için temel çevresinde topraklanacak ek topraklama ile birleştirilecektir.

#### **3.8.1. Temel Topraklamada Hesaplanacak Değerler**

Şekil 33. de verilen örnek temel topraklama projesinde topraklama tesisi için hesaplamalarda kullanılacak değerler;



### Şekil 33. Örnek temel topraklama projesi

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

*Temelin eni (a):* Temel topraklama imalatı yapılacak olan temele ait en ölçüsü mimari planlama üzerinden ölçüğe uygun biçimde alınır. Şekil 33. de bulunan örnek projede 20 m olarak verilmiştir.

*Temelin boyu (b):* Temel topraklama imalatı yapılacak olan temele ait boy ölçüsü mimari planlama üzerinden ölçüğe uygun biçimde alınır. Şekil 33. de bulunan örnek projede 40 m olarak verilmiştir.

*Temelin enine paralel iletken sayısı:* Temel topraklama yapılacak olan temelde bina için topraklama direncinin değeri müsaade edilen değerin üstünde çıkması durumunda bina topraklama direncinin değerini küçültmek için bahse konu temelin enine olacak şekilde bir veya daha fazla topraklama şeritleri döşenir. Burada topraklama direnç değeri müsaade edilen değerin altına düşene kadar kullanılan paralel iletken sayısı belirlenir. Ağ olarak yapılacak sistemlerde 20m x 20m gözler oluşması gerektiğinden dolayı şekil 33. de bulunan örnek projede 3 olarak belirlenmiştir.

*Temel boyuna paralel iletken sayısı:* Enine paralel iletken sayısının belirlenmesi ile boyuna paralel iletken sayısı da bulunmuş olur. Ağ olarak yapılacak sistemlerde en az iki adet oluşması gerektiğinden dolayı şekil 33. de bulunan örnek projede 2 olarak belirlenmiştir.

*Şerit çapı (eşdeğer çap) (D):* Temel topraklamada topraklama şeritlerinin kapladığı alanın dairesel eşdeğer çapıdır.

$$D = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}} \quad (27)$$



### 3.8.2. Temel Topraklamada Örnek Hesaplama

*Toplam temel eni iletken uzunluğu:* Temelde enine paralel olan döşenecek iletken sayıları ile temel eninin çarpılması ile bulunmaktadır.

Şekil 33. örnek projede  $20\text{m} \times 3 = 60\text{ m}$  olur.

*Toplam temel boyu iletken uzunluğu:* Temelde boyuna paralel olan iletken sayıları ile temel boyunun çarpılması ile bulunmaktadır.

Şekil 33. örnek projede  $40\text{m} \times 2 = 80\text{ m}$  olur.

*Toplam temel topraklama iletkeni uzunluğu (L):* Toplam temel topraklama iletkeni uzunluğu enine ve boyuna iletken uzunlukları toplanması sonucunda bulunur.

Şekil 33. örnek projede  $L = 60 + 80 = 140\text{ m}$  olur.

*Şerit çapı (eşdeğer çap) (D):* Temel topraklamada topraklama şeritlerinin kapladığı alanın dairesel eşdeğer çapıdır.

$$D = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}} \quad \text{formülünden}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot a \cdot b}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20 \cdot 40}{\pi}} = 31,92\text{ m}$$

olarak bulunur.

*Toprak öz direnci:*  $\rho_E = 200\ \Omega \cdot \text{m}$  alınırsa;

*Yatay topraklama eşdeğer direnci:*

$$R_Y = \frac{\rho_E}{2 \cdot D} + \frac{\rho_E}{L} \quad \text{formülünden}$$

$$R_Y = \frac{\rho_E}{2 \cdot D} + \frac{\rho_E}{L} = \frac{200}{2 \cdot 31,92} + \frac{200}{140} = 3,13 + 1,42 = 4,55\ \Omega$$

olarak bulunur.

*Dikey topraklama eşdeğer direnci:* Şekil 33. örnek projede 15 adet 1,5 m uzunluğunda galvaniz topraklama elektrotu kullanılır ise.

Buna göre;

$$R_{\zeta} = \frac{\rho_E}{n \cdot l} \quad \text{formülünden}$$

$$R_{\zeta} = \frac{\rho_E}{n \cdot l} = \frac{200}{15 \cdot 1,5} = 8,88\ \Omega$$

olarak bulunur.

*Topraklama toplam eşdeğer direnci:*

$$R_e = \frac{R_Y \cdot R_Ç}{R_Y + R_Ç} \text{ formülünden}$$

$$R_e = \frac{R_Y \cdot R_Ç}{R_Y + R_Ç} = \frac{4,55 \cdot 8,88}{4,55 + 8,88} = 3,0 \Omega$$

olarak bulunur.

*Standart Direnç Sınır Değeri Uygunluk Kontrolü:* Temel topraklama sistemlerinde  $U_L=50V$  olduğundan kaçak akımların rölesi 30mA'de çalışacağından dolayı gerçekleştirilen temel topraklama için;

$$R_e \leq \frac{50}{30 \cdot 10^{-3}} \frac{V}{A} = 166,7 \Omega \text{ olarak bulunur.}$$

$$3,0 \Omega \leq 166,7 \Omega \text{ olur.}$$

### **3.9. Topraklayıcıların ve Topraklama İletkenlerinin Tesisi**

Topraklama tesislerinde, iletken olarak birbirine bağlı topraklayıcılar veya aynı işlevi gören tüm metal parçalar (boyanmamış direk ayakları, kablo zırhı, metal kablo kılıfı vb.) topraklama iletkenlerinin bütünü oluştururlar.

#### **3.9.1. Topraklayıcıların tesisi**

Topraklayıcıların tesisi yüzeysel ve temel topraklayıcılar olarak iki grupta incelenebilir.

##### *3.9.1.1. Yüzeysel topraklayıcılar*

*Yüzeysel topraklayıcıların kullanım alanları:* Kanalların dipleri ve temellerin kazılarına döşenmektedir.

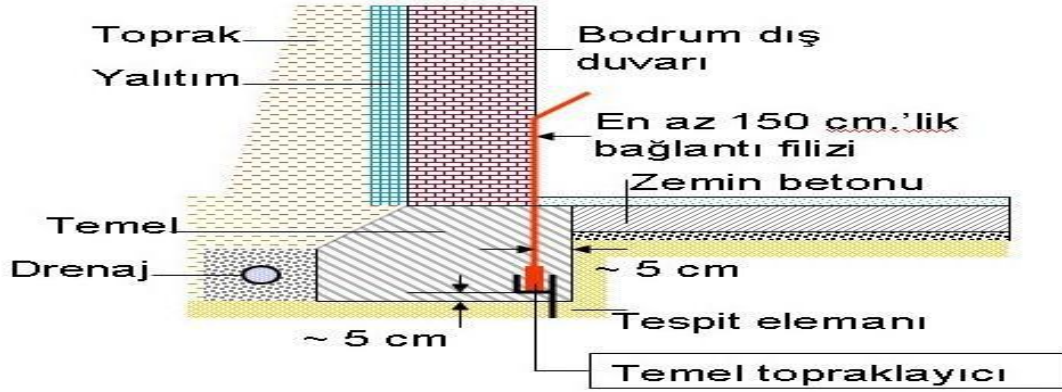
*Yüzeysel topraklayıcıların döşenmesinde dikkat edilecek hususlar:* Yüzeysel topraklayıcıların tesisinde dolgu toprakla sıkıştırılması, taş ve çakılların içerisine çakılmış olan elektrotlarla doğrudan temas etmemesi ve mevcutta uygun toprak malzemesi bulunmadığı koşullarda dolgu toprak kullanılması konularına dikkat edilmelidir.

### 3.9.1.2. Temel topraklayıcılar

*Temel topraklayıcıların kullanım alanları:* Temel topraklama uygulaması elektrik tesislerinde potansiyel dengelemenin etkisini artırdığından dolayı kuvvetli akım tesisatları ve yıldırımdan korunma tesisatları için uygun bir koruma yöntemidir.

*Temel topraklamanın uygulaması:* Temel topraklayıcılar bina ihata duvarı temellerine veya bina temeli içerisine yerleştirilerek yapılan uygulamalardır. Temel topraklayıcı olarak çelik şeritler kullanılması durumunda, malzeme dik biçimde temel içine yerleştirilir.

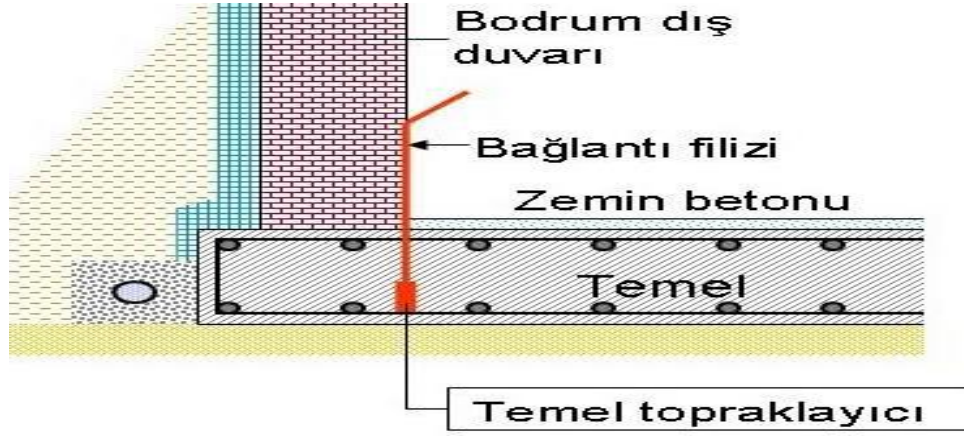
Şekil 34. de demir olmayan temel (grobeton) içine yerleştirilmiş temel topraklayıcı kesiti verilmiştir. Topraklayıcıyı sabit duruma getirmek için tespit elemanları kullanılır. Temel betonu topraklayıcıyı her yönde 5cm sarmalıdır.



**Şekil 34.** Demir olmayan temel (Grobeton) içine yerleştirilmiş temel topraklayıcının kesiti.

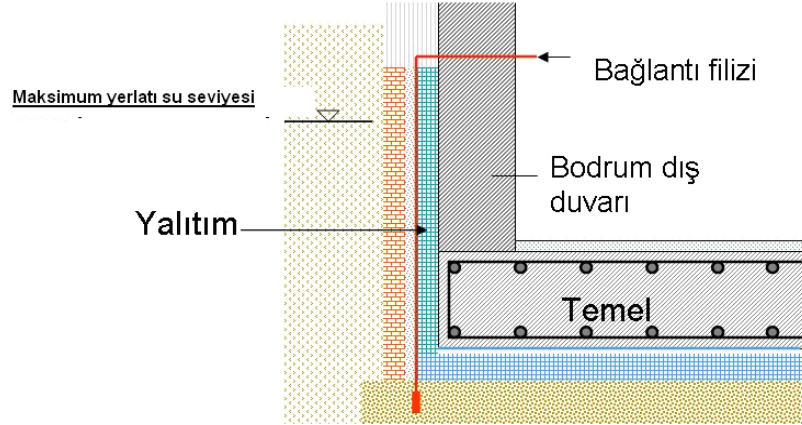
**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

Şekil 35. de demir olan temel içine yerleştirilmiş temel topraklayıcı kesiti verilmiştir. Temel demirlerinde topraklayıcı en altta bulunan demire döşenmelidir. Topraklayıcılar demire 2 m aralıklı olarak mesafe tutucular ile bağlanmalıdır.



**Şekil 35.** Demir olan temel içine yerleştirilmiş temel topraklayıcının kesiti.  
**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

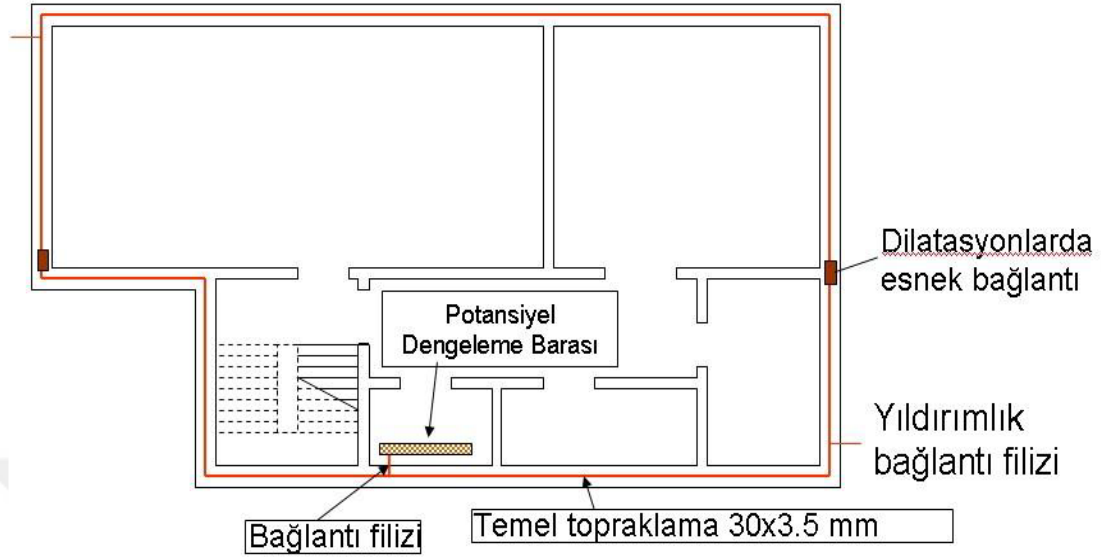
Şekil 36. da demir olan, ancak bina temeli yalıtım malzemeleri içinde bulunan temel içine yerleştirilmiş temel topraklayıcı kesiti verilmiştir. Burada temel topraklayıcı yalıtım altında bulunan beton katmanının içine yerleştirilmelidir. Topraklama bağlantı uçları dış yüzeyden ya da yalıtım malzemesinin arkasında bulunan dolgu tabakasından beton içine yerleştirilmiş olarak yukarı çıkarılır ve maksimum yeraltı su seviyesi üstünden bina içine sokulur. Gerekli yalıtım önlemleri ile yalıtım malzemesi içinden binaya giriş yapılabilir.



**Şekil 36.** Demir olan ve bina temeli yalıtım malzemelerinin içinde bulunan temel içine yerleştirilmiş temel topraklayıcının kesiti.  
**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

Şekil 37. de bina temel çevresi 20m x 20m ölçüsünden küçük ölçülerde bir binanın temel topraklama planı verilmiştir. Bu planda temel topraklama imalatı 30x3,5 mm ebadında galvaniz kaplı topraklama şeridi ile yapılmış ve elektrik pano odasında oluşturulacak olan potansiyel dengeleme barası ile irtibatlandırılmıştır. Ayrıca temel topraklamadan yıldırım için bağlantı filizi bırakılmıştır. Bina dilatasyon

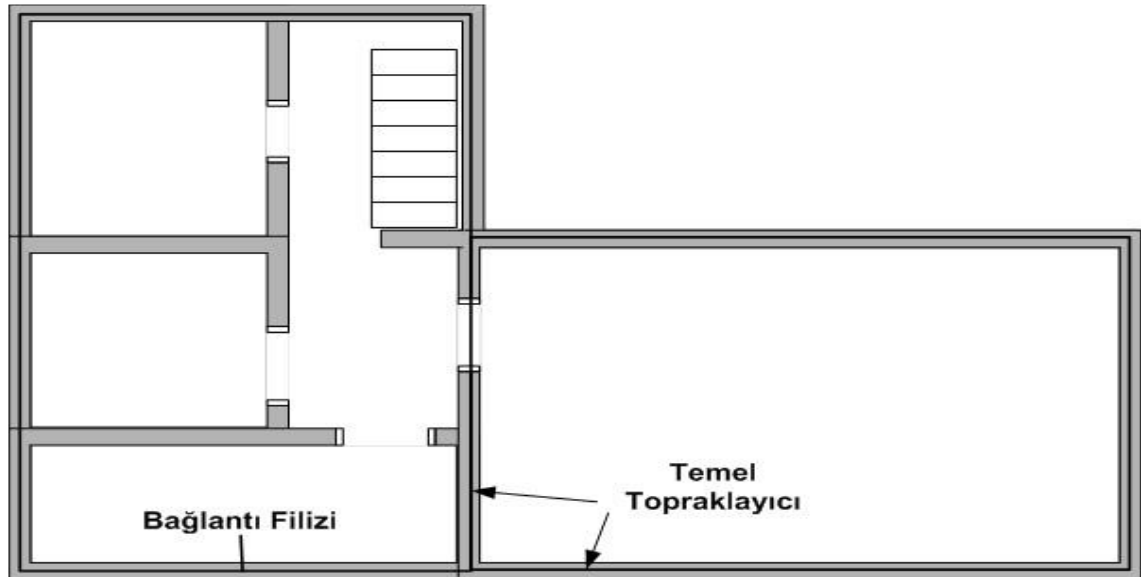
noktalarında Şekil 39. da gösterilen şekilde dilatasyon esnek bağlantı elemanları kullanılmıştır.



**Şekil 37.** Bina temel çevresi 20m x 20m den küçük ölçülerde, temel topraklayıcının yerleştirilmesi planı.

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

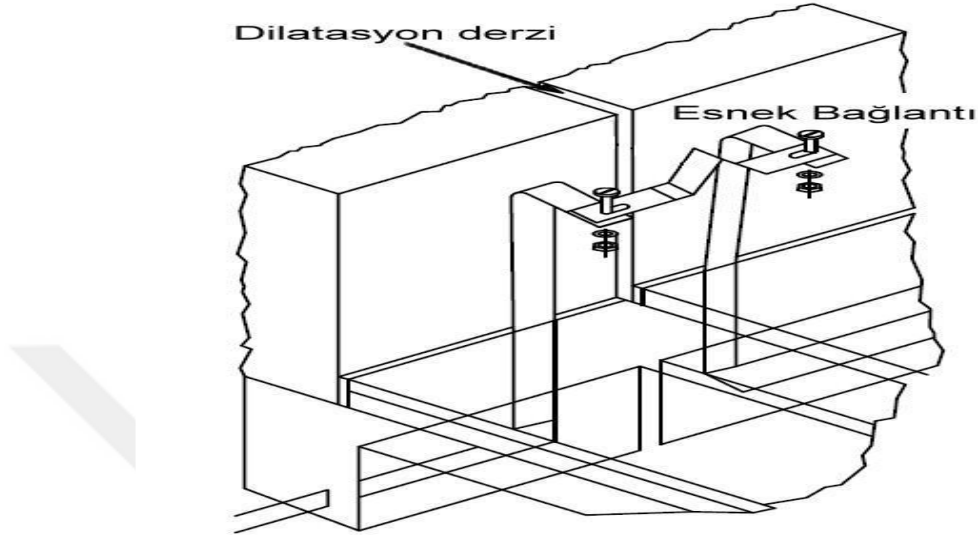
Şekil 38. de bina temel çevresi 20m x 20m ölçüsünden büyük ölçülerde bir binanın temel topraklama planı verilmiştir. Binaların temelde yer alan topraklayıcı tarafından çevrelenmiş olan enine ve boyuna bağlantılar ile minimum 20m x 20m'lik gözlemlere bölünmeleri gerekmektedir.



**Şekil 38.** Bina temel çevresi 20m x 20m den büyük ölçülerde, temel topraklayıcının yerleştirilmesi planı.

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

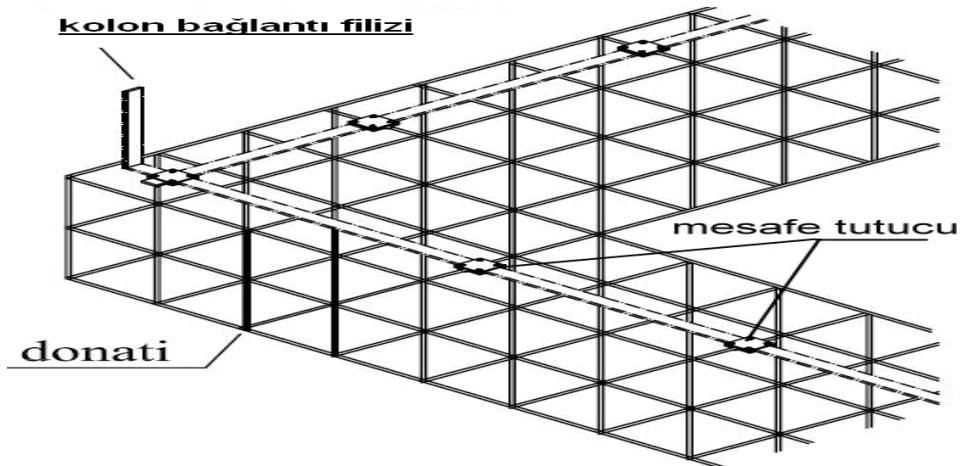
Şekil 39. da temel topraklamada bina dilatasyon noktalarında kullanılan esnek bağlantı modellemesi verilmiştir. Binaların temel dilatasyon noktalarında hareket edebileceği ve topraklayıcıları koparabileceği düşünülerek esnek köprüleme ile bağlantı yapılması gerekmektedir.



**Şekil 39.** Temel topraklamada dilatasyon noktalarında kullanılan esnek bağlantı modellemesi.

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

Şekil 40. da demir donatı olan bina temelinde topraklayıcıların demir donatıya yerleştirilmesi modellenmiştir. Mesafe tutucular (topraklama bağlantı klemensi) minimum 2m aralıklı olarak bina temel demir donatısına bağlanarak yerleştirilir.



**Şekil 40.** Bina temelinde demir donatı üzerinde topraklayıcıların demir donatıya yerleştirilmesi.

**Kaynak:** Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011).

Temel topraklaması için, minimum ebatları 30 mm x 3,5 mm olan galvaniz şerit veya minimum çapı 10 mm yuvarlak mono tel kullanılmalıdır. Bağlantı filizleri çinko kaplı çelikten yapılmış olmalıdır.

*Temel topraklama parçalarının bağlantısı:*

Temel topraklayıcıların her bir parçasını birbirine bağlamak için topraklayıcı bağlantı klemensleri, çapraz bağlayıcılar, kama bağlantısı vb. kullanılmalıdır.

*Temel topraklama bağlantısının filizleri ve bağlantı parçaları:*

Ana potansiyel düzenlemesi için, eş potansiyel dengeleme barasına bağlanacak olan bağlantı filizleri ve bağlantı parçaları binaya ait elektrik dağıtım kutusunun yakınılarında konuşlanmalıdır. Bağlantı filizleri, binaya giriş noktasından en az 1,5 m uzaklığa sahip olmalıdır. Bu bağlantı filizleri, giriş noktasında korozyondan korunması gerekir. İnşaat sırasında bağlantı filizlerinin yeri işaretlenmelidir. Temel topraklaması yıldırımdan korunma topraklaması olarak kullanılmak istenirse, özel bağlantı filizleri veya bağlantı parçaları, paratoner iletken bağlantısı için dışarıya doğru çıkarılmalıdır. Binanın asansör rayları, mekanik teçhizatları v.b. gibi metal kısımlarının doğrudan temel topraklama ile bağlanması durumunda ek bağlantı filizleri ve bağlantı parçaları düşünülmelidir.

*3.9.1.3. Topraklayıcıların eklenmesi*

Topraklama sistemi içinde topraklama sisteminin iletken olan tüm parçalarının birbirlerine bağlanması için ek elemanları kullanılmaktadır. Ek elemanları, topraklama iletkenine topraklayıcıların elektrik iletiminin, mekanik ve ısı dayanım eşdeğerini sağlayacak şekilde seçilmelidir.

Topraklayıcılar ve ek elemanlarının korozyona dayanıklı şekilde olması ve galvanik pil oluşumlarının etkilerinde kalmaması gerekmektedir. Topraklama çubuk ek bağlantısı için kullanılan malzeme, topraklama çubuğu kadar mekanik dayanıma sahip olmalıdır.

Galvanik korozyona neden olabilecek çeşitli metaller birbirine bağlandığında; ek elemanları, çevredeki elektrolitlerle temasa dayanıklı bir düzen ile muhafaza edilmelidir.

### **3.9.2. Topraklama iletkenlerinin tesis edilmesi**

Topraklamanın iletkenlerinin, topraklanacak mümkün olduğu kadar kısa yollardan birbirine bağlanması gerekmektedir.

#### *3.9.2.1. Topraklama iletkenlerinin tesisi*

Topraklama iletkenleri tesis edilmesi sırasında toprağa gömülü olan topraklama iletkenlerinin mekanik zorlanmalara karşı koruma altına alınması gerekmektedir. Topraklama iletkenleri toprak yüzeyine yerleştirilebilir ya da beton içine gömülebilir. Beton içine gömülmesi durumunda her iki bağlantı ucuna kolay erişim önemlidir. Kılıfsız döşenen topraklama iletkenleri toprağa ya da beton zemine giriş ve çıkış noktalarında korozyona uğramasını engellemek için ilave koruma tedbirleri alınması gereklidir.

#### *3.9.2.2. Topraklama iletkenlerinin eklenmesi*

Topraklayıcılar için kullanılan ek malzemeleri, hata akımlarını iletme durumunda ısı artışını engellemek için, elektriksel sürekliliğinin tam olması gerekir. Topraklayıcı ek noktaları gevşek olmamalı ve korozyona karşı korunmalıdır. Farklı kimyasal yapıda iletkenlerin birbirine bağlanması durumunda galvanik aşınma oluşumuna karşı önlemler alınmalıdır.

Topraklama iletkenlerinin, topraklayıcıya, eşpotansiyel baraya ve diğer metal aksamına bağlamak için uygun biçimde bağlantı parçalarının kullanılması gerekmektedir. Örneğin, somun ile bağlantı yapmak için tek somun kullanılması durumunda en az M10 somun kullanılmalıdır. Tüm bağlantı noktaları korozyona karşı korunmalıdır.

### **3.9.3. Beton içerisinde demirlerin topraklama amacı için kullanımı**

Beton içerisinde statik olarak kullanılan demir donatıların topraklama amacıyla kullanılması için, kesitinin çelik için minimum 50 mm<sup>2</sup> olması, kullanılan tüm demir donatıların aralarında potansiyel fark oluşturmayacak şekilde birbiri ile bağlanması ve korozyona karşı önlemler alınmış olması gereklidir. Yüksek frekanslı akımlarla bağlantılı bir şekilde elektromanyetik bir ekran olarak beton içerisinde bulunan demirler kullanılabilir.



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### UYGULAMA

Bu bölümde, teorik olarak verilen topraklama sistemlerinin tasarım bilgileri bir yerleşim bölgesine uygulanmış olup, topraklama sistem tasarımı için gerekli hesaplamalar ve topraklama projeleri konut amaçlı bir blok için ve ayrıca bu bloka ait OG-AG trafo merkezi için uygulanmıştır.

#### 4.1. Uygulama Yapılan Yer Hakkında Özet Bilgi

Uygulama yapılacak olan yer İstanbul ili, Başakşehir İlçesi, Hoşdere Mevkiinde bulunmaktadır. Bu projede 2 parsel üzerinde toplam 80.000 m<sup>2</sup> arsa alanı, 300.000 m<sup>2</sup> inşaat alanında toplam 18 adet konut blokundan oluşmakta olup, bu bloklar inşaat sahasında bulunan 2 adet dağıtım merkezinin her birinde 2 şer adet 1600 kVA lık elektrik gücü ile beslenmektedir.

Bu çalışmada örnek alınan şekil 41. de vaziyet planı verilen 1. parselde bulunan 1. Bloka ait temel topraklama, yatay ve dikey topraklamadan oluşan koruma topraklama sistemi ile bir adet dağıtım merkezine ait işletme ve koruma topraklama sistem tasarımı için teorik hesaplamalar yapılmış, yapılan bu hesaplamalara uygun olarak topraklama sistemi kurulmuş, OG ve AG topraklama ölçüm sonuçları teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve aralarındaki uyum gösterilmiştir. Örnek alınan blokun taban alanı 728 m<sup>2</sup>, inşaat alanı 19.467 m<sup>2</sup>, toplam kat sayısı 28, bağımsız bölüm sayısı 174 dır.



## 4.2. Uygulama Projeleri

Tasarımı yapılan örnek blok 2 kat bodrum, giriş kat ve 25 kattan oluşan toplam 28 kata sahip olup, çatı katta bloka ait ısı merkezi bulunmaktadır. -2. bodrum kat otopark katı olup bloklar arasında birbirine bağlantı bulunmaktadır.

### 4.2.1. Bina Temelinde Uygulanan Topraklama

Şekil 42. de-2. kata ait taban alanı prensip şeması verilmiş, ayrıca resim 1. de bu plana ait yapılan uygulama resmi gösterilmiştir. Bu katta temel topraklama otopark olarak birbirine bağlantılı olduğundan 3 adet blok, sosyal tesis ve bu bloklara bağlı otoparklar, topraklama sistemi hesaplamalarına dahil edilmiştir. Burada temel topraklama hesabında kullanılacak topraklayıcının çevrelediği alan 12401 m<sup>2</sup> olmaktadır. Temel topraklamada max. 20m x 20m gözler oluşturulmuştur.

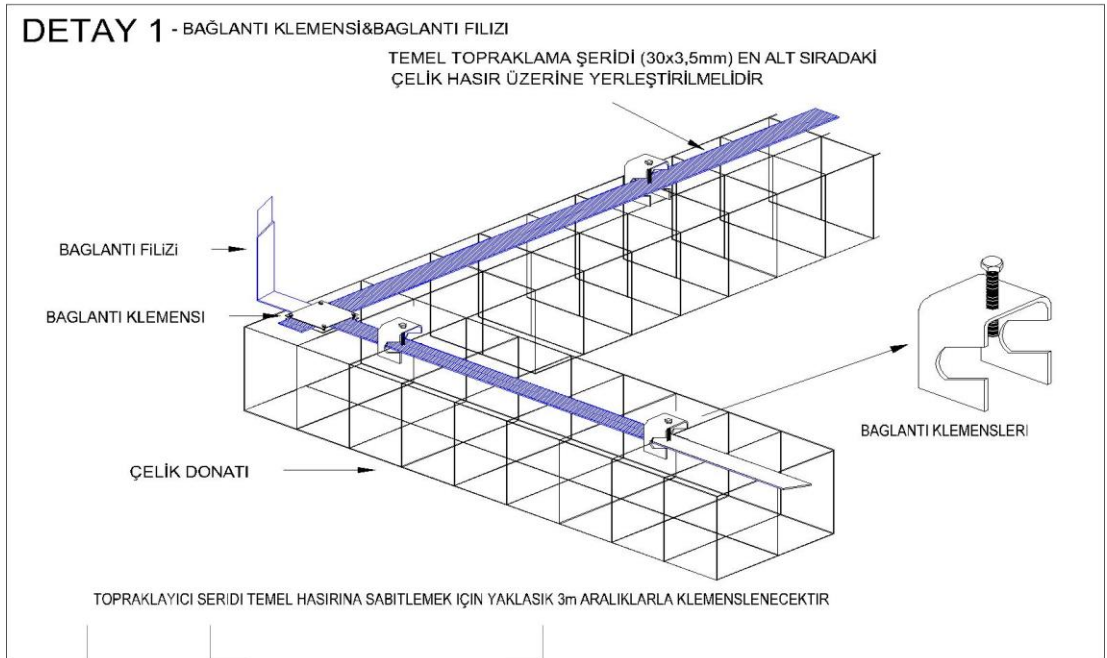
Şekil 43. de bağlantı klemensleri ile bağlantı filizlerinin proje detayı verilmiş, ayrıca resim 2. ve resim 3. de bu detaya ait yapılan uygulama resimleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi tüm döşenen şeritler 3 m aralıklı demire tespit elemanları ile bina temelinde yerleştirilmiş ve temel topraklamada bina kolon demirleri vasıtası ile üst katlara çıkışlar verilmiştir.

Şekil 44. de eş potansiyel bara topraklama ringi bağlantı detayı verilmiş, ayrıca resim 4., resim 5. ve resim 6. da bu detaya ait yapılan uygulama resimleri gösterilmiştir. Bina elektrik odası, Asansör kuyuları, Hidrofor odası, kazan dairesi vb. bölgelerde eş potansiyel dengeleme barası oluşturulmuştur. Oluşturulan eş potansiyel dengeleme baraları temel topraklamadan bina kolonları vasıtasıyla yukarıya çıkarılan 30x3,5 mm sıcak daldırma galvaniz topraklama şeridi ile birleştirilmiştir.





**Resim 1. 1.** Blok temel topraklama uygulama görseli



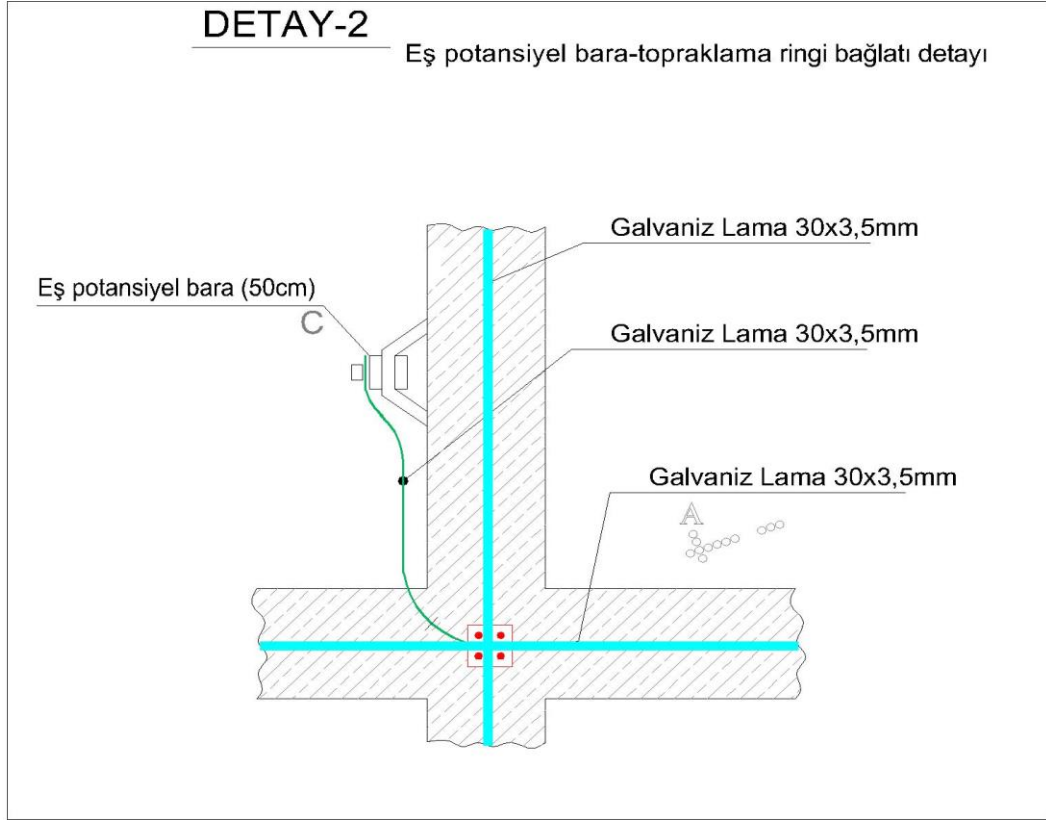
**Şekil 43.** Topraklama bağlantı klemensleri ile bağlantı filizlerinin proje detayı



**Resim 2.** Topraklama bağlantı klemensleri ile bağlantı filizi görseli



**Resim 3.** Topraklama bağlantı klemensleri ile kolon demirlerine bağlantı görseli



**Şekil 44.** Eş potansiyel bara topraklama ringi bağlantı detayı



**Resim 4.** Eş potansiyel dengeleme barası için bırakılan galvaniz şerit görseli



**Resim 5.** Asansör kuyularında bırakılan galvaniz şerit görseli



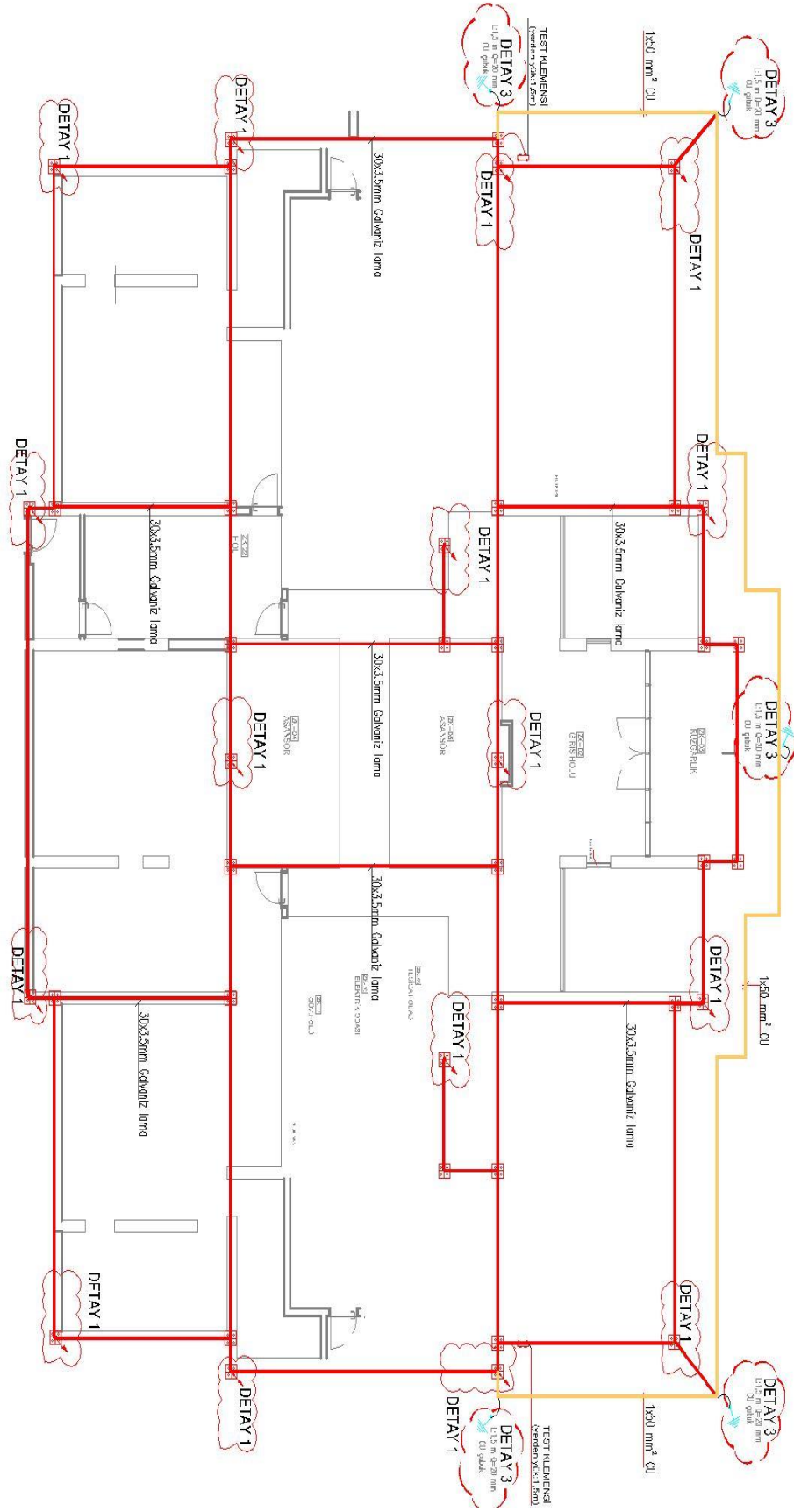
**Resim 6.** Elektrik odalarında eş potansiyel dengeleme barası görseli



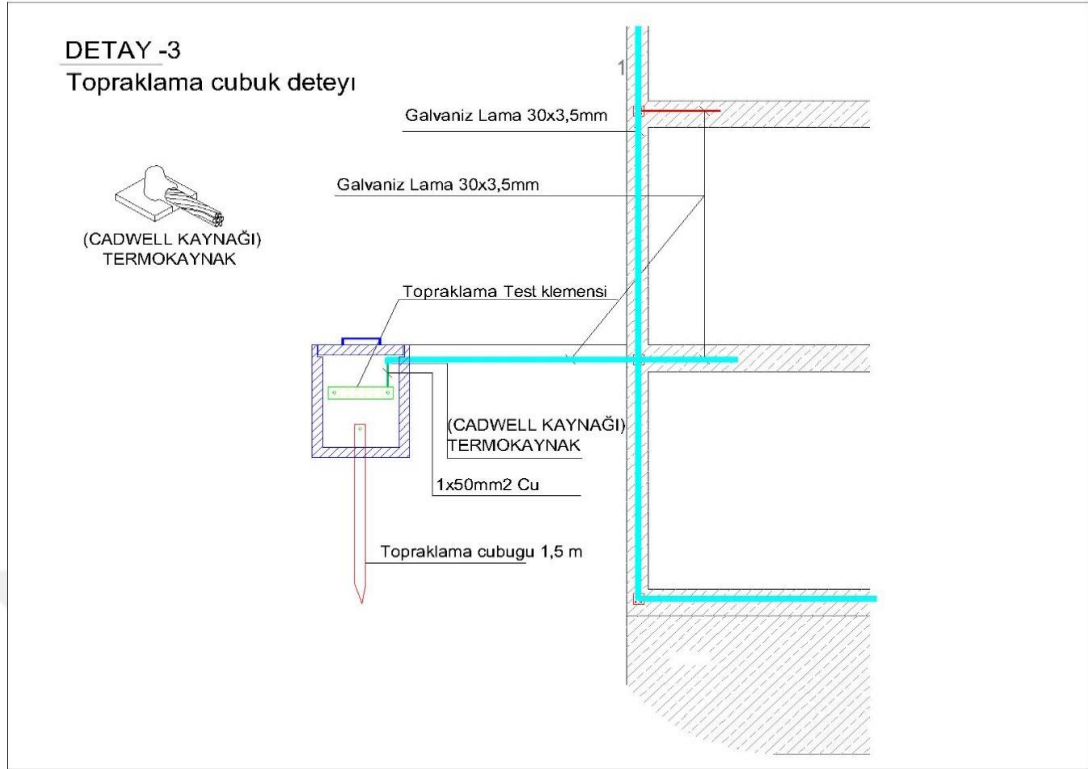
#### 4.2.2. Zemin Kat Toprak Seviyesinde Uygulanan Topraklama

Şekil 45. de zemin kat topraklama prensip şeması görülmektedir. Temel topraklamadan kolon demirleri vasıtasıyla zemin kat toprak seviyesine çıkarılan 30x3,5 mm sıcak daldırma galvaniz şerit, binanın toprakla temas eden yüzeylerinde 70 m uzunluğunda 1 x 50 mm<sup>2</sup> bakır iletken ile birleştirilerek çevre ring topraklaması yapılmıştır. Ayrıca bu katta temel topraklamada yapılan işlem aynen uygulanmış ve yine kolon demirleri vasıtasıyla üst katlara çıkışlar verilmiştir.

Şekil 46. da topraklama çubuk detayı verilmiş, ayrıca resim 7. de bu detaya ait yapılan uygulama resimleri gösterilmiştir. 5 adet 1,5 m boyunda 20 mm kalınlığında bakır çubuk ile derin çubuk topraklayıcı yapılmıştır. Yapılan bu derin topraklama uygulaması 1x50 mm<sup>2</sup> bakır iletken ile birleştirilmiştir.



Şekil 45. 1. Blok zemin kat topraklama planı



**Şekil 46.** Topraklama çubuk deteyi

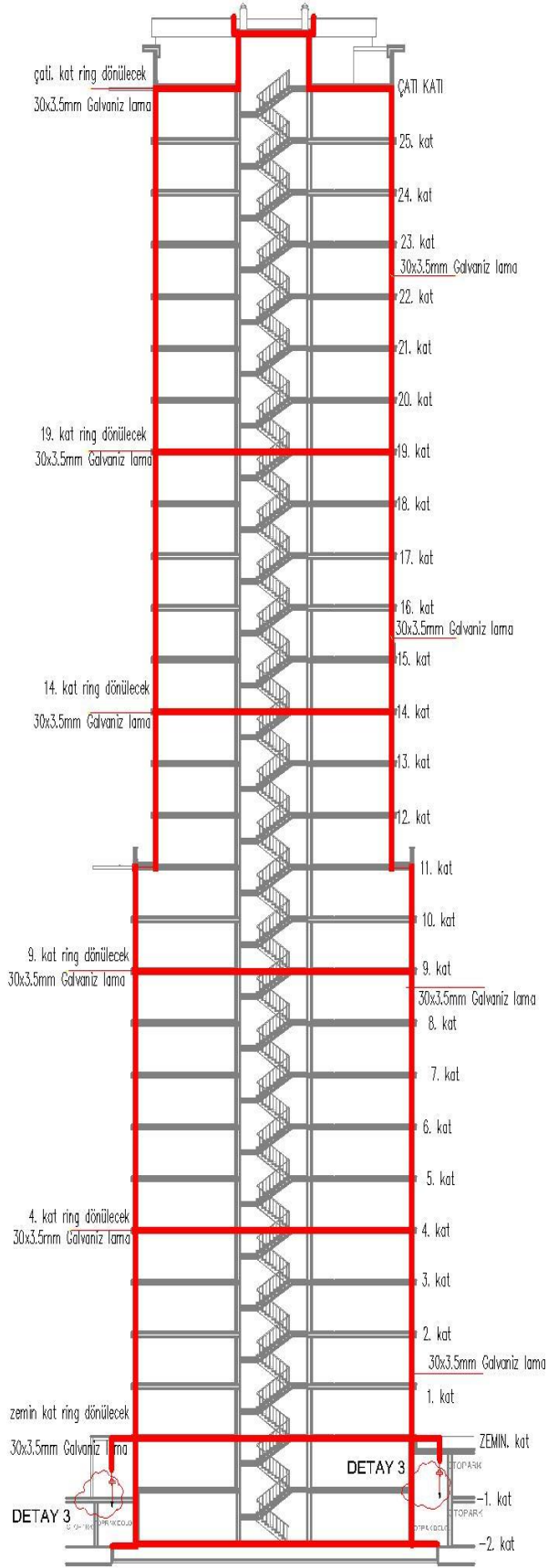


**Resim 7.** Bina etrafında toprak seviyesinde topraklama çubuk görseli

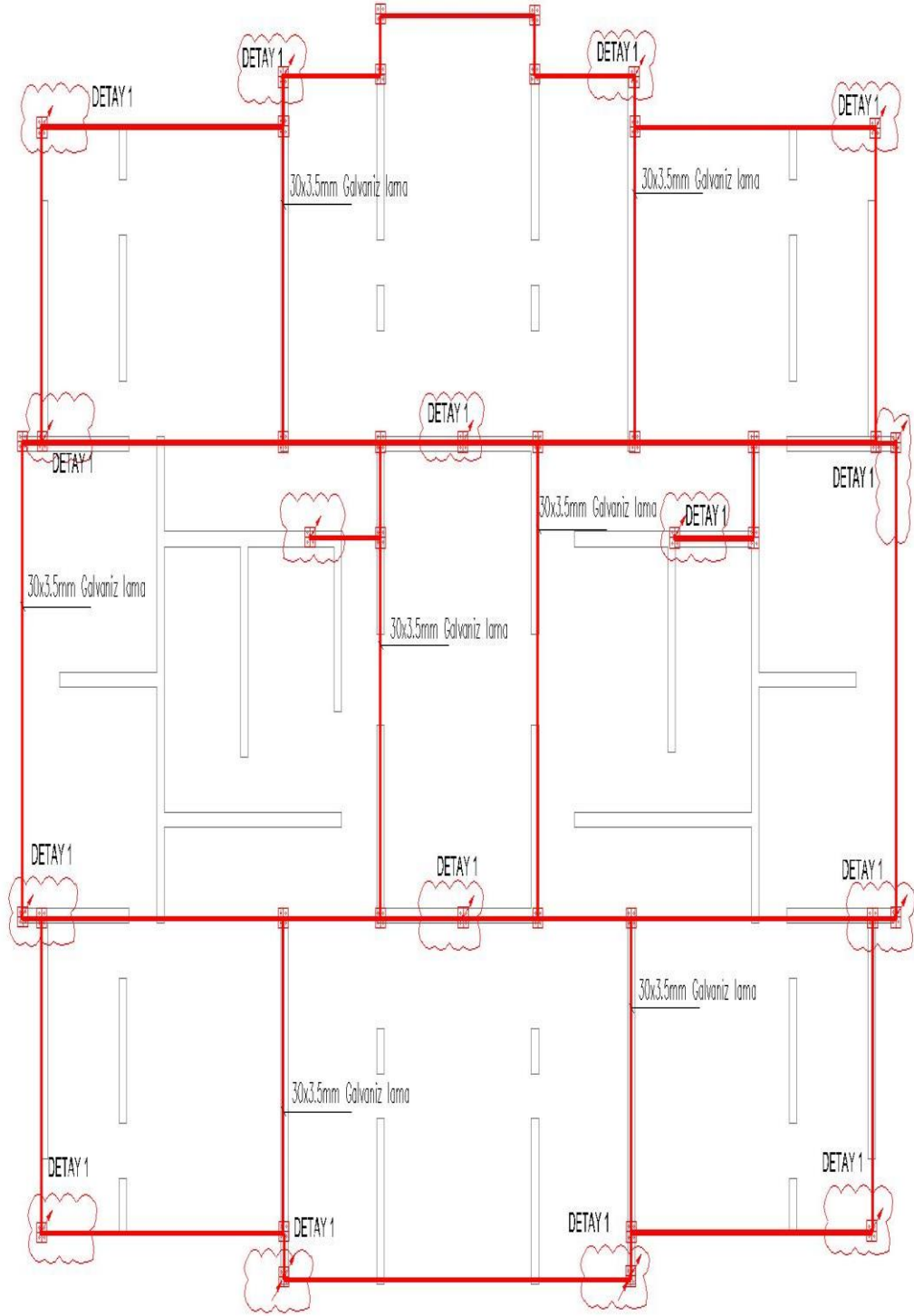
### 4.2.3. Ara Katlarda Uygulanan Topraklama

Şekil 47. de 1. Bloka ait topraklama kesit planı yer almaktadır. Bu planda Temel topraklamadan 30x3,5 mm galvaniz topraklama şeridi ile kolon demirlerine bağlantılı bir şekilde çatı katına kadar çıkışlar verilmiştir. Bahse konu bina yüksek katlı bir bina ve elektrik odası 2. bodrum katta bulunmaktadır. Elektrik odasında bulunan eş potansiyel bara ile diğer sistemler arasındaki mesafeden ötürü yaşanabilecek olası potansiyel sürüklenmelerine karşı bu çıkışlar zemin kat, 4. Kat, 9. Kat, 14. Kat, 19. Kat ve özellikle kazan dairesinin bulunduğu çatı katında eş potansiyel kuşaklama yapılarak tamamlanmıştır.

Binada olası bir yıldırım darbesi esnasında tesisat tarafından oluşturulan döngülerde (loop) endüklenen gerilimler ve akımlar, elektronik sistemlerde ortak modlu darbeler meydana getirir. Bunu engellemek için endüksiyon döngü alanlarını en aza indirilmesi gerekir. Bunu engellemek üzere söz konusu bloka ait 4., 9., 14., 19. ve 26. katlarda temel topraklama planında olduğu gibi 30x3,5 mm galvaniz topraklama şeridi ile 20x20 m gözler oluşturulmuş ve bir üst kata çıkışlar verilmiştir. Şekil 48. de söz konusu katlara ait oluşturulan gözler ve eş potansiyel kuşaklama görülmektedir.



Şekil 47. 1. Blok bina kesit topraklama planı



**Şekil 48. 1. Blok 4., 9., 14., 19. katlar topraklama planı**

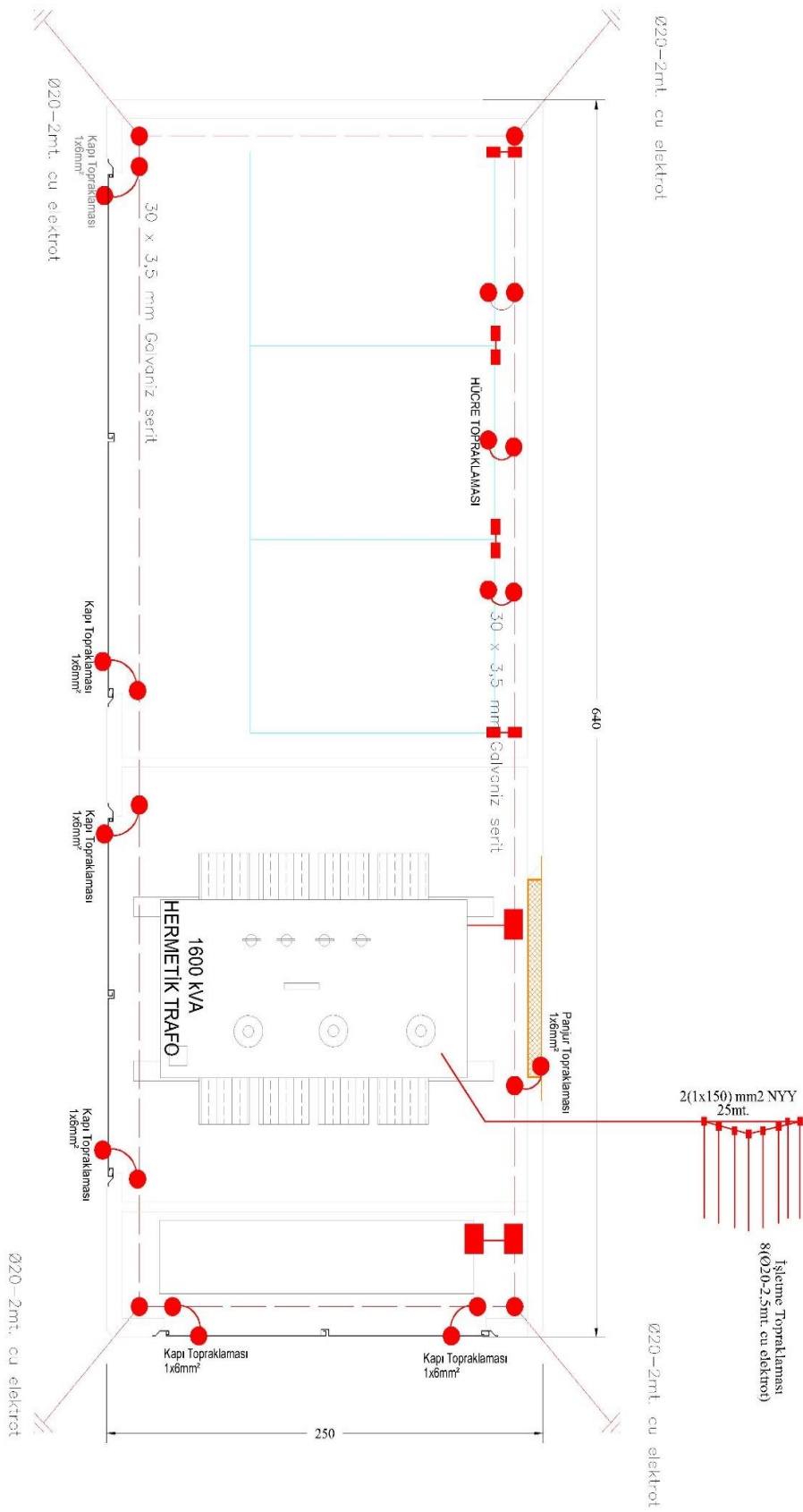
#### 4.2.4. Blokların Enerji Dağıtım Merkezinde Uygulanan Topraklama

Şekil 49. da dağıtım merkezi işletme ve koruma topraklaması planı verilmiştir. Bu planda, dağıtım merkezi hazır beton köşk tipinde olup taban alanı 16 m<sup>2</sup> dir. Dağıtım merkezine ait işletme ve koruma topraklamaları ayrı ayrı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Dağıtım merkezi koruma topraklaması için temel grobeton içine 30x3,5 mm kalınlığında sıcak daldırma galvaniz şerit döşenmiştir.

Dağıtım merkezi dört köşesinden toprağa temel topraklama ile bağlantılı olarak 20 mm kalınlığında ve 2 m boyunda 4 adet derin tip çubuk topraklayıcı uygulanmıştır. Ayrıca dağıtım merkezi içinde bulunan tüm metal aksamlar (metal kapılar, metal pencereler, hücrelerin gövdeleri, trafonun gövdesi vb.) bu sistemle birleştirilerek eş potansiyelleme yapılmıştır.

Dağıtım merkezi işletme topraklaması, 2 adet 1x150 mm<sup>2</sup> NYY 25 m kablo ile 8 adet 20 mm kalınlığında 2,5 m boyunda derin tip çubuk topraklayıcı ile sağlanmıştır.



Şekil 49. Dağıtım merkezi trafo işletme ve koruma topraklaması planı



### 4.3. Uygulama Yapılan Bölgenin Toprak Özdirenç Ölçümü

Derin tip topraklayıcı ve çevre ring topraklayıcı direnci hesaplaması yapabilmek için bölgede toprak özdirencinin ölçülmesi gerekmektedir. KYORITSU marka KEW4106 model cihaz ile Şekil 20. de verilen Wenner yöntemi ile toprak özdirenç ölçüm düzeneği kurulmuştur (Resim 8.). Kurulan bu düzende 4 adet kazık 2 şer metre eşit aralıklarla yerleştirilerek ölçümler 5 ayrı noktada gerçekleştirilmiştir. Resim 9. da cihazda okunan 5 ayrı değer gösterilmektedir.



Resim 8. Toprak özdirenç ölçüm düzeneği



Resim 9. Toprak özdirenç ölçüm değerleri

Çevre ring topraklayıcı ve derin çubuk topraklayıcı hesabında kullanılacak olan toprak özdirenç değeri bahse konu 5 ölçü değerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Yapılan ölçümlerde alınan değerler 7,9 – 11,3 – 13 – 14,9 – 17,3 olmuştur. Buradan ortalama değer hesabı yapmak için en düşük ve en yüksek değerler çıkartılarak  $(11,3+13+14,9) / 3 = 39,2/3 = 13,06 \Omega.m$  değerine ulaşılır.

#### 4.4. Yapılan Uygulamalara Ait Proje Hesapları

##### 4.4.1. Bina Koruma Topraklaması Hesapları

Yapılan topraklama hesaplarında toprak özdirenci olarak ölçülen 13,06  $\Omega$ .m değeri esas alınmıştır. Beton için özdirenç değeri ise tablo 4. de belirtildiği üzere 150  $\Omega$ .m olarak kabul edilmiştir.

*Temel topraklamada galvaniz topraklama şeridi direnç değeri:*

(27) numaralı formülden topraklayıcının çevrelediği alanın eşdeğer çapı;

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{A} = 1,13 \cdot \sqrt{12401} = 125,836 \text{ m}$$

olarak hesaplanır.

(8) numaralı formülden temel topraklama direnç değeri;

$$R_T = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot D} = \frac{2 \cdot 150}{3 \cdot 125,836} = 0,794 \Omega$$

olarak hesaplanır.

A: Topraklayıcının çevrelediği alan ( $m^2$ )

D: Topraklayıcının çevrelediği alanın eşdeğer çapı (m)

$\rho_E$ : Beton için özdirenç ( $\Omega/m$ )

$R_T$ : Temel topraklama direnç değeri ( $\Omega$ )

olarak gösterilmiştir.

*Çevre (ring) topraklayıcı direnç değeri:*

(4) numaralı formülden Çevre ring topraklayıcı direnç değeri;

$$R_C = \frac{\rho_E}{\pi \cdot L} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right) = \frac{13,06}{\pi \cdot 70} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 70}{0,0080}\right) = 0,581 \Omega$$

olarak hesaplanır.

*Derin çubuk topraklayıcı direnç değeri:*

(12) numaralı formülden derin topraklayıcı direnç değeri;

$$R_D = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l}{d}\right) = \frac{13,06}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 1,5}{0,02}\right) = 7,907 \Omega$$

olarak hesaplanır.

$R_D=7,9 / n = 7,9 / 5 = 1,581 \Omega$  olarak hesaplanır.

l: Derin topraklayıcının uzunluğu (m)

d: Derin topraklayıcının çapı (m)

n: Derin topraklayıcı sayısı (adet)

L: Gömülü iletken boyu (m)

d: Gömülü topraklayıcı iletken çapı yada şerit kalınlığının yarısı (m)

$R_D$ : Derin topraklayıcı direnç değeri ( $\Omega$ )

$R_C$ : Çevre (Ring) topraklayıcı direnç değeri ( $\Omega$ )

$\rho_E$ : Toprak için özdirenç ( $\Omega/m$ )

olarak gösterilmiştir.

*Eşdeğer Topraklama Direnç Değeri:*

Topraklama projesi kapsamında -2.kat temel betonunda temel topraklama, temel topraklama ile bağlantılı çubuk tipi derin topraklayıcı ve bina etrafında toprak içinde ring tipi şerit topraklayıcı kombinasyonu yapılarak topraklama direnci birbirine paralel bağlı bu üç farklı tip topraklayıcıların eşdeğer topraklama direnci hesaplama esasına göre tasarımı yapılmıştır.

(19) numaralı formülden topraklayıcıların eşdeğer direnci:

$$R_{eş} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{R_D} + \frac{1}{R_C}} = \frac{1}{\frac{1}{0,794} + \frac{1}{1,581} + \frac{1}{0,581}} = 0,276 \Omega$$

olarak hesaplanır.

#### **4.4.2. Trafo Dağıtım Merkezi İçin Koruma Topraklama Hesabı:**

*Temel topraklamada galvaniz topraklama şeridi direnç değeri:*

(27) numaralı formülden topraklayıcının çevrelediği alanın eşdeğer çapı;

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{A} = 1,13 \cdot \sqrt{16} = 4,52 \text{ m}$$

olarak hesaplanır.

(8) numaralı formülden temel topraklama direnç değeri;

$$R_T = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot D} = \frac{2 \cdot 150}{3 \cdot 4,52} = 22,12 \Omega$$

olarak hesaplanır.

A: Topraklayıcının çevrelediği alan (m<sup>2</sup>)

D: Topraklayıcının çevrelediği alanın eşdeğer çapı (m)

$\rho_E$ : Beton için özdirenç ( $\Omega/m$ )

$R_T$ : Temel topraklama direnç değeri ( $\Omega$ )

olarak gösterilmiştir.

*Derin çubuk topraklayıcı direnç değeri:*

(12) numaralı formülden derin topraklayıcı direnci;

$$R_D = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l}{d}\right) = \frac{13,06}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2}{0,02}\right) = 6,22 \Omega$$

olarak hesaplanır.

$$R_D = 6,22 / n = 6,22 / 4 = 1,55 \Omega$$

olarak hesaplanır.

l: Derin topraklayıcının uzunluğu (m)

d: Derin topraklayıcının çapı (m)

n: Derin topraklayıcı sayısı (adet)

L: Gömülü iletken boyu (m)

d: Gömülü topraklayıcı iletken çapı yada şerit kalınlığının yarısı (m)

$R_D$ : Derin topraklayıcı direnç değeri ( $\Omega$ )

$R_C$ : Çevre (Ring) topraklayıcı direnç değeri ( $\Omega$ )

$\rho_E$ : Toprak için özdirenç ( $\Omega/m$ )

olarak gösterilmiştir.

*Eşdeğer Topraklama Direnç Değeri:*

(19) numaralı formülden topraklayıcıların eşdeğer direnç değeri;

$$R_{eş} = \frac{1}{\frac{1}{R_T} + \frac{1}{R_D}} = \frac{1}{\frac{1}{22,12} + \frac{1}{1,55}} = 1,44 \Omega$$

olarak hesaplanır.

#### 4.4.3. Trafo Dağıtım Merkezi İçin İşletme Topraklama Hesabı:

(12) numaralı formülden derin topraklayıcı direnç değeri;

$$R_D = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot L}{d}\right) = \frac{13,06}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2,5}{0,02}\right) = 5,16 \Omega$$

olarak hesaplanır.

8 adet çubuk kullanılırsa  $R_D = 5,16/8 = 0,64 \Omega$

olarak hesaplanır.

$\rho_E$ : Toprak öz direnci ( $\Omega \cdot m$ )

L: Derin topraklayıcının uzunluğu (m)

d: Derin topraklayıcının çapı (m)

n: Derin topraklayıcı sayısı (adet)

$R_D$ : Derin topraklayıcı direnç değeri ( $\Omega$ )

olarak gösterilmiştir.

*İşletme topraklaması için kablo kesit hesabı:*

34,5 kV, 1.600 kVA Trafo bağlı kısa devre gerilimi  $\%U_k = \%6$  seçildiğinde;

$Z_k = U_k \times U_n^2 / S_n = 0,06 \times (400)^2 / (1.600 \times 10^3) = 0,006 \Omega$  olarak hesaplanır.

$I_k = U / Z_k = 231 / 0,006 = 38,5 \text{ kA}$ . olarak hesaplanır.

$Z_k$  : Kısa devre empedansı ( $\Omega$ )

$U_k$ : Trafo bağlı kısa devre gerilimi

$U_n$ : Nominal çıkış gerilimi (V)

$S_n$ : Trafo görünen gücü (VA)

$I_k$  : Faz – Toprak arası kısa devre akımı

Malzeme katsayısı  $k$  ( $A \cdot \sqrt{s}/mm^2$ ) olan bir iletken,  $t$  (sn) süreyle,  $I$  (A) akımı aktığında, iletkenin bu akıma dayanabilmesi için en az  $q$  iletken kesitine sahip olmalıdır.

$$q = \frac{I \cdot \sqrt{t}}{k} = \frac{38500 \cdot \sqrt{0,5}}{159} = 171,21 \text{ mm}^2$$

olarak hesaplanır.

$t$  : Toprak hata akımının hızlı açmada kesme süresi max. 0,5 sn. dir. (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY], 2001)

$k$  : Sıcaklıklarla komşu kısımların tehlike altında kalmayacağı durumlarda çıplak iletken için malzeme katsayısı. Bakır kablo için 159 alınır. (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY], 2001)

$q$  : Seçilecek minimum iletken kesiti

Kablo kesiti  $2(1 \times 150 \text{ mm}^2)$  seçilir.

#### **4.5. Topraklama Sisteminde Hesaplanan Değerlerle Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması**

Bu bölümde tüm yapılan bu uygulamalar sonucunda 1. bloka ait topraklama ölçüm sonuçları ve trafo merkezi işletme ve koruma topraklaması ölçüm sonuçları alınmıştır. Alınan ölçüm sonuçlarına göre, projesine göre uygulama yapılan elektrik tesisi topraklama açısından güvenli bir tesis olarak değerlendirilmektedir. Bu topraklama ölçümünün düzenli olarak her yıl yapılması gerekmektedir.

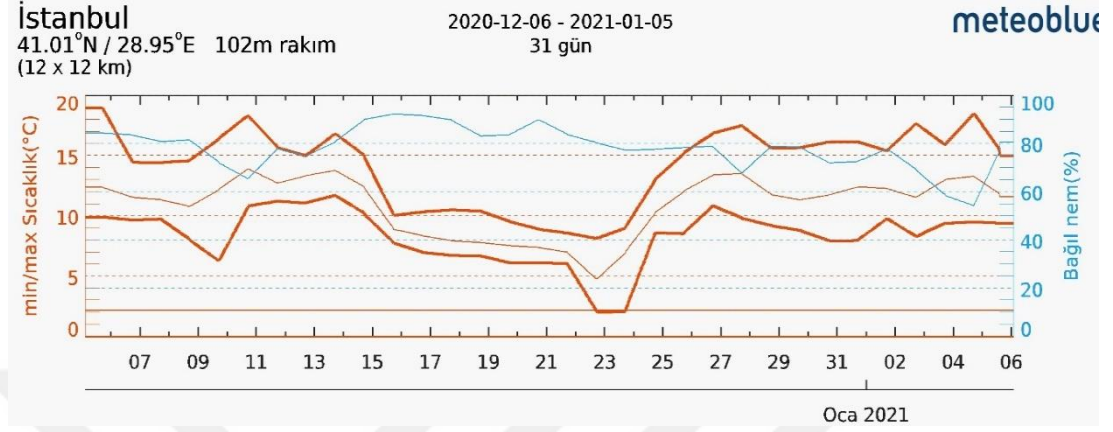
Öncelikle;

- Tesisata ait projelerin olduğu,
- Ana eş potansiyel bara olduğu,
- Topraklama iletken kesitlerinin uygun olduğu,
- Topraklayıcı tesis şeklinin temel topraklaması olduğu

tespit edilmiştir.

Topraklama direnç değerleri CHAUVIN ARNOUX marka C.A-6116N modeli meger cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Cihaz IEC 61010-1 ve IEC 61557 standartlarına uygun olarak üretilmiş bir cihaz olup kalibrasyon vizesi mevcuttur. Ölçmeler 05.01.2021 tarihinde İstanbul için bağıl nemin Devlet Meteoroloji İşleri

Genel Müdürlüğünün verilerine göre %70 olduğu bir havada yapılmıştır. Ölçme günü hava kapalı ve hava sıcaklığı 10°C olarak kaydedilmiştir (Bakınız şekil 50.). Bu nedenle ölçülen değerlerin hesaplanan değerlerden yüksek nem nedeniyle daha küçük çıkması beklenmektedir.



**Şekil 50.** Toprak direnci ölçüm tarihindeki meteorolojik veriler

**Kaynak:** Meteorolojik Arşiv İstanbul. (2021, 6 Ocak).

#### 4.5.1. Bina Koruma Topraklaması Ölçümü

1. Blok için koruma topraklaması ölçümü elektrik odasında bulunan eş potansiyel dengeleme barasından yapılmıştır. Ölçülen değer 0,23  $\Omega$  dur. Bu değer konut bloku koruma topraklamasının uygun olduğunu göstermektedir.

#### 4.5.2. Dağıtım Merkezi Trafo İşletme ve Koruma Topraklaması Ölçümü

Öncelikle;

- Tesisata ait projelerin olduğu,
- Ana eş potansiyel bara olduğu,
- Topraklama iletken kesitlerinin uygun olduğu,

tespit edilmiştir.

Dağıtım merkezinin işletme ve koruma topraklaması yukarıda belirtilen aynı cihazla (CHAUVIN ARNOUX marka C.A-6116N modeli) kullanılarak ölçülmüştür. Dağıtım merkezinin koruma topraklaması için ölçülen değer 1,15  $\Omega$  olmuştur. Dağıtım merkezine ait işletme topraklamaları ise 0,66  $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Bu değerler dağıtım merkezinin işletme ve koruma topraklamasının uygun olduğunu göstermektedir.

### 4.5.3. Hesaplanan ve Ölçülen Topraklama Değerlerinin Karşılaştırılması

1. Blok koruma topraklamasına ilişkin eşdeğer topraklama direnci 0,27  $\Omega$  olarak hesaplanmıştır. Aynı eşdeğer topraklama direnci 0,23  $\Omega$  olarak ölçülmüştür.

Dağıtım merkezindeki koruma topraklamasına ilişkin eşdeğer topraklama direnci 1,44  $\Omega$  hesaplanmıştır. Aynı eşdeğer topraklama direnci 1,15  $\Omega$  olarak ölçülmüştür. Dağıtım merkezindeki trafo işletme topraklamasına ilişkin eşdeğer topraklama direnci 0,64  $\Omega$  hesaplanmıştır. Aynı eşdeğer topraklama direnci 0,56  $\Omega$  olarak ölçülmüştür.

Tablo 5. de hesaplanan değerler (H) ve ölçülen değerler (h) verilmiş olup hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki mutlak hata ve bağıl hata sırasıyla:

$$\Delta H = |H - h| \quad (28)$$

$$\% \mathcal{E}_H = \frac{\Delta H}{H} \quad (29)$$

verilir. (Erimez ve Menalioğlu, 1975).

**Tablo 5.** Hesaplanan ve ölçülen değerler tablosu

Adı	Bina Koruma Topraklaması	Dağıtım Merkezi Koruma Topraklaması	Dağıtım Merkezi Trafo İşletme Topraklaması
Hesaplanan Değerler (H)	0,27 $\Omega$	1,44 $\Omega$	0,64 $\Omega$
Ölçülen Değerler (h)	0,23 $\Omega$	1,15 $\Omega$	0,56 $\Omega$
Mutlak Hata $\Delta H$	0,04 $\Omega$	0,29 $\Omega$	0,08 $\Omega$
Bağıl Hata $\% \mathcal{E}_H$	%14,81	%20,13	%12,50



Tablo 5. den görüleceği üzere bina koruma topraklamasında eşdeğer topraklama direnci için hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki mutlak hata 0,04  $\Omega$  olup bağıl hata %14,81 dir. Dağıtım merkezi koruma topraklaması eşdeğer topraklama direnci için hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki mutlak hata 0,29  $\Omega$  olup bağıl hata %20,13 dür. Dağıtım merkezi trafo işletme topraklaması eşdeğer topraklama direnci için hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki mutlak hata 0,08  $\Omega$  olup bağıl hata %12,50 dir. Ölçülen değerlerin hesaplanan değerlerden her bir eşdeğer topraklama direnç değerini için daha küçük değerler olduğu; bunun nedeninin ölçüm tarihindeki bağıl nem değerinin %70 değerinde olması nedeniyle toprak öz direncinin küçülmesine bağılı olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen eşdeğer topraklama ölçüm değerlerinin söz konusu tesislerin işletmeye alınması bakımından uygun olduğu anlaşılmıştır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Topraklama tesisleri, AG ve YG elektrik tesislerinin ayrılmaz bir bölümüdür. Elektrik tesislerinde can ve mal güvenliği için elektrik çarpmasına, ısı etkilerine, aşırı akıma, arıza akımlarına, gerilim bozulmalarına, elektromanyetik etkilere ve güç besleme kaynağının kesilmesine karşı koruma için topraklama tesisi yapılmalıdır.

Elektrik tesislerinin ayrılmaz bir parçası olan topraklama tesislerinin kurulumu, ülkemizde 21/08/2001 tarihli ve 24500 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği” mevzuatlarına göre yapılmaktadır. Elektrik tesisleri ile ilgili uluslararası uygulamalar, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından hazırlanan IEC 60364 serisi standartlara göre yapılmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle topraklama sistemleri ile ilgili genel kavramlar ve tanımlar açıklanmış ve şebeke yıldız noktasının durumuna göre dağıtım şebekelerindeki TN, TT ve IT topraklama sistemleri uluslararası standartların ışığında incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde yüksek gerilim şebekelerindeki topraklama sistemlerinin temel ilkeleri, mekanik dayanım, korozyon, ısı zorlanmalar, adım ve temas gerilimleri bakımından boyutlandırma esasları incelenmiştir. Aynı bölümde alçak gerilim şebekelerinde dolaylı temasa karşı koruma ilkeleri, koruyucu topraklama ve potansiyel dengeleme (eşpotansiyel kuşaklama) iletkenlerinin boyutlandırılma esasları incelenmiş olup, topraklama sistemlerinde muayene, ölçme ve denetleme esaslarına değinilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde topraklama sistemlerinin en önemli bileşenlerinden birisi olan topraklama elektrotlarının (topraklayıcıların) yatay, dikey olarak sınıflandırılması yapılarak bu kapsamda yarıküre, çubuk, şerit topraklayıcılarda topraklama direnç hesaplama formülleri verilerek yıldız, gözlü, halka ve kare şeklinde şerit topraklayıcı düzenlemelerinde eşdeğer topraklama direnç değerlerine ilişkin özellikler ve hesaplama yöntemleri açıklanmıştır. Aynı kapsamda temel topraklama elektrotlarının boyutlandırılma esasları da verilmiş olup topraklama iletkenlerinin tesisi incelenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise teorik olarak verilen topraklama sistemlerinin tasarım bilgileri 1394 konut ve 88 ticari işletme yerinden oluşan toplam kurulu gücü

4x1600 kVA olan bir yerleşim bölgesine uygulanmış olup topraklama sistem tasarımı yapılarak, topraklama ölçüm sonuçları teorik değerlerle karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiş ve aralarındaki uyum gösterilmiştir.

Tesisin öncelikle toprak öz direnci ölçülmeli, tasarım hesaplamaları yapılmalı ve kurulum yapıldıktan sonra hesaplanan ve ölçülen değerler karşılaştırılarak tesisin uygunluğu kontrol edilmelidir. Her topraklama tesisi, montaj ve tesis aşamasında ve işletmeye alınmadan önce, gözle muayene edilmeli ve deneyden geçirilmelidir. İşletme döneminde ise ilgili mevzuat hükümlerine uygun olarak denetim periyotları aksatılmadan denetlenmesi can ve mal güvenliği bakımından önemlidir.

Topraklama sisteminin elektrik tesisleri içindeki önemi dikkate alınarak her ülkede, topraklama tesis projeleri tasarımında uluslararası elektroteknik komisyonunun yayınlamış olduğu IEC 60364 serisi standartların güncel versiyonlarının herhangi bir gecikmeye mahal verilmeksizin uygulanması gerekir. Bunun için gerek ülkemizdeki ve gerekse diğer ülkelerdeki ilgili ve yetkili kurumların bu standardizasyon çalışmalarını izlemesi ve başta elektrik dağıtım şirketleri olmak üzere tüm meslek odalarına duyurulmasının sağlanması önem arz etmektedir.

## KAYNAKÇA

- Bayram, M. (2000). Elektrik Tesislerinde Topraklama. *Birsen Yayınevi, İstanbul.*
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (2007). *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.*
- Büyükkapu, S. (2010). OG/AG elektrik tesislerinde aşırı gerilimlere karşı koruma. *Kocaeli Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Dirlik, C. (2013). Endüstriyel Tesislerde Topraklama Uygulamaları. *Kocaeli Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği [ETTY] (2001). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.*
- Erimez, E. ve Menalioğlu, M.T. (1975). Elektrik Ölçmesi Problemleri. İstanbul.
- İlisu, İ. (2011). Elektrik Tesislerinde Dolaylı Dokunmaya Karşı Koruma ve Topraklama.
- John, P. Nelson. (2015). Improved Electrical Safety Through High Resistance Grounding. *IEEE Transactions on Industry Applications*, s. 5198-5203.
- Kaşıkçı, İ. (2005). Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklama.
- Kaşıkçı, İ. (2010). AG Tesislerinde Topraklama ve Ölçme.
- Katipoğulları, O. ve Hoccoğlu, M.H. (2003). Toprak Empedans ve Direnç Ölçme Metotlarının Karşılaştırılması. *Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, s. 83-86.
- Kaya, R. (2013). Faraday Kafesi ile Koruma ve Topraklama Direncinin verim Artırma Yöntemleri. *İnönü Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Kocaman, B. (2020). Elektrik Tesislerinde Önemli Bir Koruma Yöntemi: Topraklama. *Türkiye'de Mühendislik ve Fen Bilimlerinde Akademik Araştırmalar*, s. 23-46.
- Kösem, M. ve Kalenderli, Ö. (2016). Çalışma ortamında elektrik tehlikeleri. *Maltepe Üniversitesi / İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü.*
- Meliopoulos, A. P., Webb, R. P. and Joy, E. B. (1981). Analysis of Grounding Systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, s. 1039-1048.
- Mentre, F.E. and Grcev, L. (1994). EMTP-based model for grounding system analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, s.1838-1849.
- Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2006). Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklama Sistemi. Ankara.

- Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011). Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Topraklama ve Paratoner Tesisi. Ankara.
- Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi [MEGEP] (2011). Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Topraklama projeleri. Ankara.
- Meteorolojik Arşiv İstanbul. (2021, 6 Ocak). Erişim Adresi:  
[https://www.meteoblue.com/tr/hava/historyclimate/weatherarchive/%C4%B0stanbul\\_t%C3%BCrkiye\\_745044](https://www.meteoblue.com/tr/hava/historyclimate/weatherarchive/%C4%B0stanbul_t%C3%BCrkiye_745044)
- Sergio, A. R. Panetta. (2015). Hybrid Grounding. *IEEE Transactions on Industry Applications*, s. 5058-5062.
- Sığırcı, H.V. (2008). Elektrik Tesislerinde Topraklama empedansı ve Topraklama Empedansını Etkileyen Faktörler. *İnönü Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Siow, Chun Lim, Chandima Gomes and Mohd Zainal Abidin Ab Kadir. (2013). Electrical earthing in troubled environment. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, s. 117-128.
- Türk standardı TS EN 60079-14 (2014). Elektrikli cihazlar- Patlayıcı ortamlarda kullanılan- bölüm 14: Elektriksel tesislerin tasarımı, seçimi ve monte edilmesi.
- Türk Standardı TS EN 62305-3 (2011). Yıldırımdan korunma- Bölüm 3: Yapılarda fiziksel hasar ve hayati tehlike.
- Türk Standardı TS EN 62305-4 (2007). Yıldırımdan korunma- Bölüm 4: Yapılarda bulunan elektrik elektronik sistemler.
- Türk Standardı TS HD 60364-4-443 (2016). Alçak gerilim elektrik tesisleri- Bölüm 4-44: Güvenlik için koruma- Gerilim bozunumları ve elektromanyetik bozunumlara karşı koruma- Madde 443: Atmosfer kaynaklı ve anahtarlardan kaynaklanan aşırı gerilimlere karşı koruma.
- Türk Standardı TS HD 60364-5-54 (2012). Alçak gerilim elektrik tesisleri- Bölüm 5-54: Elektriksel teçhizatın seçilmesi ve montajı-Topraklama düzenlemeleri ve koruyucu iletkenler.
- Türk Standardı TS IEC 60479-1 (2019). Elektrik akımının hayvan ve insanlar üzerindeki etkileri.
- Uğurtaş, K. (1984). Alçak Gerilim Elektrik Tesislerinde Topraklama. *Marmara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Uzunlar, F.B. (2009). Topraklama Ağlarının Üç Boyutlu Tasarımı. *İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Üresin, F. (2010). Yüksek gerilim elektrik tesislerinde topraklama analizi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Vasilios, P. Androvitsaneas, Ioannis F. Gonos and Ioannis A. Stathopoulos. (2017). Research and applications of ground enhancing compounds in grounding systems. *IET Generation, Transmission & Distribution*, s. 3195-3201.
- White, James R. and Shahid, Jamil. (2016). Do's and Don'ts of Personal Protective Grounding. *IEEE Transactions on Industry Applications*, s. 677-683.
- Yılmaz, M. (2018). Toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin modellenmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*.



# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : URAL, İBRAHİM  
Uyruğu : T.C.

## Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi Elektron	2021
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği	2002
Lise	Kemal Hasoğlu Lisesi	1994

## İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2006	İstanbul	Elektrik Mühendisi
2006-Halen	İstanbul	Elektrik-Elektronik Mühendisi- Uzman

## Yabancı Dil

İngilizce

## Yayımlar

## Hobiler

