

ERCIYES ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ ENERJİ
SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ LABORATUARI



DENEY FÖYÜ

DENEY ADI

TOPRAKLAMA DENEYİ

DERSİN ÖĞRETİM ÜYESİ

DENEYİ YAPTIRAN ÖĞRETİM ELEMANI

Adı Soyadı:
Numarası:
Grubu:
Deney Tarihi:
Teslim Tarihi:

Topraklama, bir elektrikli sistemin, ekipmanın veya iletken parçanın belirli bir noktasının iletken bir yol aracılığıyla doğrudan toprağa bağlanması işlemidir. Mühendislik uygulamalarında topraklama; sistem güvenliği, insan canı için koruma, ekipmanların sağlıklı çalışması ve elektromanyetik uyumluluğun sağlanması gibi çeşitli amaçlarla yapılmaktadır. Elektriksel devrelerde meydana gelebilecek arızalar sonucunda oluşabilecek tehlikeli gerilimlerin veya kaçak akımların, kontrollü bir şekilde toprağa iletilerek etkisiz hale getirilmesi, topraklamanın temel işlevlerinden biridir. Şekil 1’de bazı topraklama fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 1. Topraklama Fotoğrafları

Topraklama sistemleri; normal işletme anında gerilim altında olmayan metal kısımlarının bir iletken kullanılarak toprağın içine gömülerek fiziksel temas kurması esasına dayanır. Bu temas sayesinde, elektrik enerjisi toprağa düşük dirençli bir yoldan aktarılır. Ancak bu aktarımın güvenli ve etkili olabilmesi için, topraklama elektrotlarının yapısı, yerleştirme şekli, zeminin öz direnci gibi faktörlerin uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Aksi takdirde, sistemde arıza anında beklenen akımın toprağa geçişi engellenebilir ve bu durum can ve mal güvenliğini tehlikeye atabilir.

1. Topraklama Çeşitleri

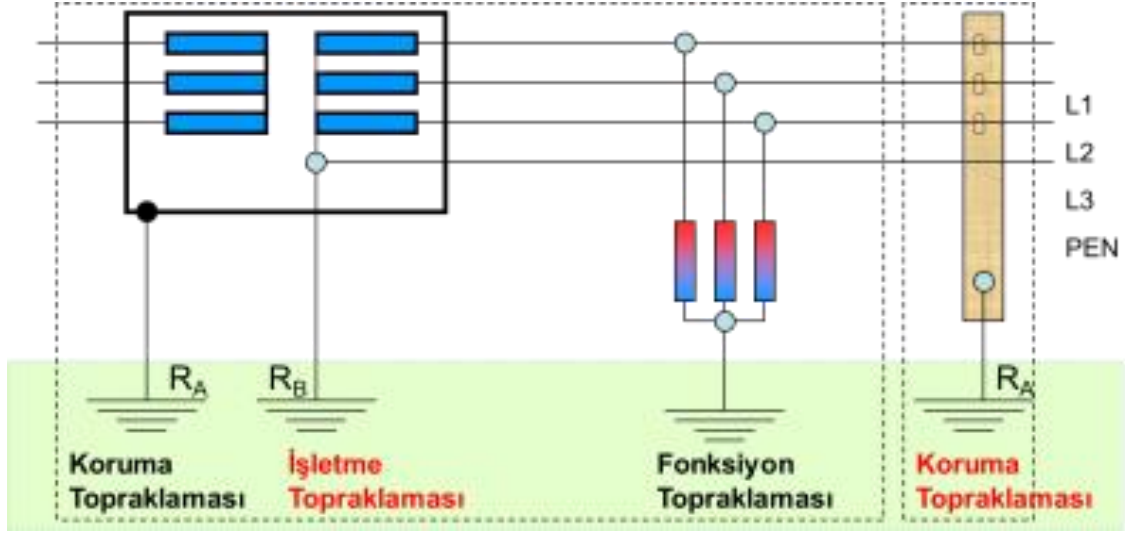
Topraklamanın başlıca 3 amacı vardır ve bu amaçlara göre topraklama türleri koruma topraklaması, işletme topraklaması ve fonksiyon topraklaması gibi alt başlıklar altında incelenir.

1.1. Koruma Topraklaması: Koruma topraklaması, elektrikli cihazların dış yüzeylerinde meydana gelebilecek potansiyel tehlikeli gerilimlerin insanlar üzerinde oluşturacağı riski azaltmak için, işletme akım devresinde bulunmayan iletken bir bölümün topraklanması işlemidir.

1.2. İşletme Topraklaması: İşletme akım devresinin bir noktasının, cihazların ve tesislerin çalışma koşullarını düzenlemek ve gerilim dengesini sağlamak için topraklanmasına denir.

1.3. Fonksiyon Topraklaması: Bir iletişim tesisinin veya bir işletme elemanının istenen fonksiyonu yerine getirmesi amacıyla topraklanmasıdır. Bu topraklama, toprağı dönüş iletkeni olarak kullanan iletişim cihazlarının işletme akımlarını da taşır.

1.4. Bina Topraklaması: Binanın statik elektrikten etkilenmemesini sağlar. . Topraklama türleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Topraklama Türleri

Modern enerji sistemlerinde, özellikle alçak ve orta gerilim tesisatlarında topraklama, elektriksel koruma sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Kaçak akım röleleri (RCD), sigortalar ve otomatik açma sistemleri gibi güvenlik elemanları, düzgün çalışabilmek için etkin bir topraklama sistemine ihtiyaç duyar. Ayrıca enerji sistemlerinin elektromanyetik uyumluluğunun sağlanması ve haberleşme hatlarında oluşabilecek parazitlerin önlenmesi gibi konularda da topraklama önemli rol oynar.

2. Topraklamanın Önemi ve Uygulama Durumları

Topraklama hem insan hayatının korunması hem de elektrikli sistemlerin güvenli ve verimli bir şekilde çalışabilmesi açısından son derece önemlidir. Elektrik sistemlerinde zamanla meydana gelebilecek izolasyon bozulmaları, kısa devreler veya yıldırım düşmesi gibi durumlar sonucu iletken yüzeylerde tehlikeli gerilimler oluşabilir. Bu tür gerilimler, dokunma veya temas yoluyla insan vücudu üzerinden akım geçişine neden olabilir. Topraklama, bu riskleri ortadan kaldırarak oluşan kaçak akımın düşük dirençli bir yoldan toprağı iletilmesini sağlar ve elektrik çarpması gibi tehlikelerin önüne geçer.

Topraklama sistemleri, sadece güvenlik amacıyla değil, aynı zamanda sistemin kararlılığını sağlamak, aşırı gerilim durumlarında ekipmanları korumak ve otomatik koruma sistemlerinin doğru çalışmasını desteklemek için de gereklidir. Örneğin; bir elektrik panosunda kaçak akım rölesi veya otomatik sigorta gibi güvenlik elemanlarının etkin şekilde devreye girmesi, topraklama sisteminin sağlıklı çalışmasına bağlıdır. Bu nedenle, topraklama yapılmadan tesis edilen bir elektrik sistemi hem kullanıcılar hem de ekipmanlar için ciddi tehlikeler barındırır.

Topraklama yapılması gereken başlıca durumlar şu şekilde sıralanabilir:

- **Elektrik tesisatlarında,** cihazların metal gövdelerinde meydana gelebilecek gerilimlerin insanlara zarar vermemesi için,
- **Elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde,** nötr noktasının toprağa bağlanması yoluyla sistemin dengesinin sağlanması ve aşırı gerilimlerin etkisinin azaltılması amacıyla,
- **Paratoner sistemlerinde,** yıldırım sonucu oluşan yüksek enerjili akımların güvenli bir şekilde toprağa aktarılması için,
- **Endüstriyel tesislerde ve hassas cihaz kullanılan ortamlarda,** elektromanyetik girişimlerin azaltılması ve sistem kararlılığının artırılması amacıyla,
- **İletişim ve sinyal sistemlerinde,** toprak potansiyeli farklarının giderilmesi ve sinyal kalitesinin artırılması için,
- **Geçici yapılarda (şantiyeler, seyyar jeneratörler vs.),** kullanıcı güvenliği sağlanmak amacıyla taşınabilir topraklama sistemleriyle yapılır.

Topraklama, farklı amaçlar için yapıldığı gibi farklı şekillerde de yapılır. İşletme elemanına sadece kendine ilişkin topraklayıcıya bağlı ise buna tekil topraklama adı verilir. Yıldız şeklindeki topraklamada ise birçok işletme elemanına ilişkin topraklama iletkenleri, bir noktada yıldız şeklinde toplanır ve topraklanır. Bir işletme elemanı veya cihazın topraklanmış birçok iletkenine (örneğin potansiyel dengeleme iletkeni, koruma iletkeni (PE) veya fonksiyon topraklama iletkeni (FE)) bağlandığı topraklamaya çoklu topraklama denir. Bu topraklama iletkenleri aynı topraklama birleştirme iletkenine veya farklı topraklayıcılara bağlı olabilir. Yüzeysel topraklama, topraklanacak işletme elemanlarının ve iletişim tesislerinin işletme akımı taşımayan iletken kısımlarının ağ şeklinde kendi aralarında koruma topraklamasına veya fonksiyon ve koruma topraklamasına bağlandığı topraklamadır.

3. Topraklama İfadeleri

Koruma İletkeni (PE): Elektriksel olarak tehlikeli gövde akımlarına karşı alınacak güvenlik önlemleri için işletme elemanlarının açığındaki iletken bölümlerini, potansiyel dengeleme

barasına, topraklayıcılara, elektrik enerji kaynağının topraklanmış noktasına, bağlayan iletkendir.

Koruma İletkeni + Nötr İletkeni (PEN): Koruma iletkeni ile nötr iletkeninin işlevlerini bir iletkende birleştiren topraklanmış iletkendir.

Temel Topraklayıcı: Beton içine gömülü, toprakla beton vasıtası ile geniş yüzeyli olarak temasta bulunan iletkendir.

Topraklayıcı (Topraklama Elektrodu): Toprağa gömülü ve toprakla iletken bir bağlantısı olan veya beton içine gömülü, geniş yüzeyli bağlantısı olan iletken parçalardır. Şerit, boru profil, örgülü iletken, levha şeklinde olabilirler. Yüzeysel topraklayıcılar, genel olarak 0,5 - 1 m. arasında bir derinliğe yerleştirilen topraklayıcıdır. Galvanizli şerit veya yuvarlak ya da örgülü iletkenden yapılabilir ve yıldız, halka, gözlü topraklayıcı ya da bunların karışımı olabilir. Derin topraklayıcılar ise genellikle düşey olarak 1 m'den daha derine yerleştirilen topraklayıcıdır. Galvanizli boru, yuvarlak çubuk veya benzeri profil malzemelerden yapılabilir. Topraklayıcının yayılma direnci (RE): Bir topraklayıcı ya da topraklama tesisi ile referans toprağı arasındaki toprağın direncidir. Yayılma direnci, yaklaşık olarak ohmik direnç kabul edilebilir.

Toprak Öz direnci: Toprağın elektriksel öz direncidir. Birimi, $\Omega.m^2/m$ ya da $\Omega.m$ olarak verilir. Bu direnç, kenar uzunluğu 1 m olan toprak bir küpün karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dirençtir.

Toprak cinsi	Toprak öz direnci $\rho_E (\Omega.m)$
Bataklık	5-40
Çamur, kil, humus	20-200
Kum	200-2500
Çakıl	2000-3000
Havanın etkisiyle dağılmış taş	Çoğunlukla <1000
Kumtaşı	2000-3000
Granit	>50000
Morenin (Buzultaşı)	>30000

Tablo 1: Alternatif Akım Frekanslarında Toprak Öz direnci (Sık Ölçülen Değerler)

Topraklama Direnci: Topraklayıcının yayılma direnci ile topraklama iletkeninin direncinin toplamıdır.

Toplam Topraklama Direnci: Bir yerde ölçülebilen ve ölçüye giren bütün topraklamaların toplam direncidir.

Topraklama Empedansı (ZE): Bir topraklama tesisi ile referans toprağı arasındaki (işletme frekansında) alternatif akım direncidir. Bu empedansın mutlak değeri, topraklayıcıların yayılma dirençleri ile toprak iletkenleri ve topraklayıcı etkisi olan kablolar gibi zincir etkili iletken empedanslarının paralel bağlanması ile elde edilir.

Darbe Topraklama Direnci: Bir topraklama tesisinin herhangi bir noktası ile referans toprağı arasında, yıldırım akımlarının geçmesi sırasında etkili olan dirençtir.

Potansiyel Sürüklenmesi: Bir topraklama tesisinin yükselen potansiyelinin, bu tesise bağı bir iletken (örneğin, metal kablo kılıfları, PEN iletkeni, su borusu, demiryolu) ile potansiyeli daha düşük olan bölgeye veya referans toprak bölgesine taşınmasıdır. Bu iletkende, çevresine göre bir potansiyel farkı oluşur.

Potansiyel Düzenlenmesi: Bir topraklama tesisinin adım ve dokunma gerilimlerini küçültmek için, topraklama tesis çevresine düzenleyici elektrotlar yerleştirerek potansiyel dağılımına etki etmektedir.

Potansiyel Dengelenmesi: İletken kısımlar arasında potansiyel farkların ortadan kaldırılmasıdır. Koruma iletkenleri ile iletken yapı kısımları arasında veya yapı bölümleri arasında potansiyel farkların giderilmesi amacıyla potansiyel dengeleme hattı oluşturularak yapılan düzenlemelerdir.

4. Topraklama İşlem Sırası

- Topraklanacak yerin belirlenmesi
- Toprak özgül direncinin ölçülmesi
- Toprak yayılma direncinin hesaplanması
- Topraklayıcı tipinin seçilerek tesisin kurulması
- Bağlantıların kontrol edilmesi
- Ölçümlerin tekrar yapılması

5. Topraklama Direnci Hesaplama Yöntemleri

Topraklama direncinin hesaplanması için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan bazıları Laurent, Koch, Sverak, Schwarz yöntemleridir. En çok öne çıkan yöntemlerden biri Schwarz yöntemidir. Bu yöntemde yatay iletkenlerin ve düşey çubukların dirençleri ile bunlar arasındaki karşılıklı dirençler dikkate alınmaktadır.

Ağın Topraklama Direnci

$$R_g = \frac{\rho}{\pi l_c} \left[\ln \left(\frac{2l_c}{\sqrt{d_1 h}} \right) + \frac{k_1 l_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (1)$$

Çubukların Topraklama Direnci

$$R_k = \frac{\rho}{2\pi n_p l_k} \left[\ln \left(\frac{8l_k}{d_2} \right) - 1 - \frac{2k_1 l_k}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_p} - 1)^2 \right] \quad (2)$$

Ağ İletkenlerin ve Kazıklar Arasındaki Karşılıklı Direnç

$$R_m = \frac{\rho}{2l_c} \left[\ln \left(\frac{2l_c}{l_k} \right) + \frac{k_1 l_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (3)$$

Topraklama Direnci

$$R = \frac{R_g R_k - R_m^2}{R_g + R_k - 2R_m} \quad (4)$$

- ρ : Toprak özgül direnci
 l_c : Ağ meydana getiren iletkenlerin toplam uzunluğu
 l_k : Çubuk boyu
 n_p : Çubuk sayısı
 k_1 ve k_2 : Schwarz Katsayıları
 A : Ağın alanı
 d_1 : Ağ meydana getiren iletken çapı
 h : Gömülme derinliği
 d_2 : Çubuk çapı

Schwarz sabitleri aşağıdaki formüller yardımıyla bulunur. Elde edilen değerler yardımıyla topraklama sisteminin gömülme derinliğindeki k_1 ve k_2 sabitleri enterpolasyon ile bulunur.

$h_i = 0$	$k_1 = -0.04x + 1.41$	$k_2 = 0.15x + 5.50$
$h_i = \frac{1}{10} \sqrt{A}$	$k_1 = -0.05x + 1.20$	$k_2 = 0.1x + 4.68$
$h_i = \frac{1}{6} \sqrt{A}$	$k_1 = -0.05x + 1.13$	$k_2 = -0.05x + 4.40$

$$x = \frac{\text{ağın uzun kenarı}}{\text{ağın kısa kenarı}} \quad (5)$$

$$F_1 = k_{1_1} - k_{1_2} \quad (6)$$

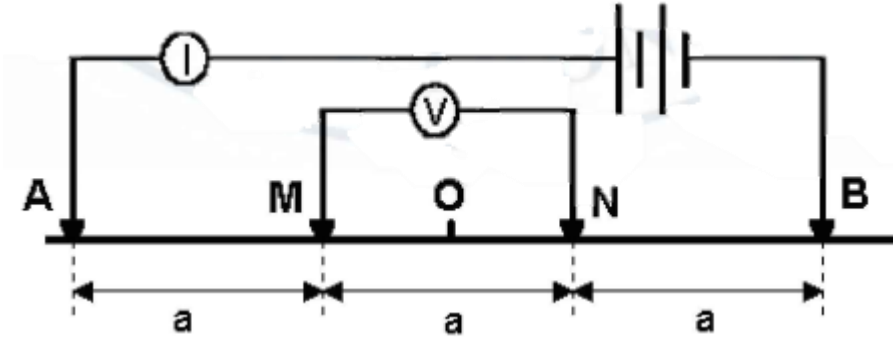
$$k_1 = k_{1_1} - \frac{F_1 * h}{h_i} \quad (7)$$

$$F_2 = k_{2_1} - k_{2_2} \quad (8)$$

$$k_2 = k_{2_1} - \frac{F_2 * h}{h_i} \quad (9)$$

6. Toprak Megeri

Toprak özgül direncinin ölçülmesi için kullanılan ölçü aletidir. Dört ucu vardır. Bunlardan ikisi akım için, diğer ikisi ise gerilim için kullanılır. En çok kullanılan yöntemlerden Wenner yöntemine göre eşit aralıklarla dört elektrot toprağa çakılır. En dıştaki iki elektrot akım elektrotu, ortadaki iki elektrot gerilim elektrotu olarak kullanılır. Elektrotlar dik olarak 20 – 30 cm derinliğe kadar toprağa çakılır. Akım elektrotları megerin akım uçlarına, gerilim elektrotları gerilim uçlarına bağlanır.



Şekil 3. Wenner Dizilimi

Toprak megeri, O noktasındaki toprağın direncini (R) verir. Elde edilen direnç değeri ile toprak özgül direnci hesaplanır. Wenner yöntemi için özgül direnç hesaplama formülü Eşitlik 10'da verilmiştir.

$$\rho = 2\pi aR \quad (10)$$