

TOPRAKLAMA DİRENCİ HESAPLARI

İsa İlisu-Elektrik Yüksek Mühendisi

Elektrik enerji sistemleri içerisinde topraklama tesislerinin güvenlik açısından ve şebekenin teknik beklentileri açısından önemli bir yer tuttuğu bilinmektedir. Canlılar için elektrik çarpması tehlikesine karşı artan hassasiyetler, topraklama tesislerinin daha dikkatli boyutlandırılmasını gerektirmektedir.

Topraklama tesislerinde değişik elektrot şekilleri kullanıla gelmiştir. Yurdu-muzda çubuk elektrot yaygın olarak tercih edilirken, dış kaynaklarda ağırlıklı olarak ağ topraklama sisteminin daha önde geldiği görülmektedir.

Yine ülkemizde topraklama sisteminin yayılma direncine önem verilirken, dış kaynaklarda dokunma geriliminin hesaplanması yoluna gidilmektedir. Bu yazımızda toprak yayılma direncinin hesaplanması üzerine bilgiler vermeye çalışılacaktır.

Toprak yayılma direnci, topraklama sisteminin şekline, boyutlarına ve toprağın özgül direncine bağlıdır. Topraklama tesisinin bulunduğu yerdeki toprak tabakası hem düşey yönde hem de yatay yönde farklı özgül dirençli tabakalardan oluşabilir. Toprak yayılma direncinin hesaplanması için çeşitli araştırmacılar analitik hesaplara dayanan değişik hesap yöntemleri ortaya koymuşlardır. Bu formüller ve hesap tarzları en fazla iki düşey tabakalı bölgelere kadar uygun sonuçlar vermektedir.

Bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile "Sonlu Elemanlar Yöntemi" kullanılan bilgisayar programları da geliştirilmiştir. Analitik yöntemler ve bilgisayar programlarının karşılaştırılması sonucunda iki sistem arasında hata payının yüzde 10'u geçmediği görülmektedir. Bu duruma göre küçük çaplı işler için pahalı bilgisayar programları kullanılması tavsiye edilemez.

Analitik yöntemler içinde Sverak ve Schwarz yöntemleri öne çıkarken Thapar-Gerez yöntemi de dikkat çekmektedir.

IEEE'nin IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding isimli Std 80-2000 nolu yayınında Sverak ve Schwarz yöntemlerinin açıklamaları verilmiştir. Ayrıca değişik yapıda ağlar için nümerik hesap örnekleri de bulunmaktadır. Hesapların Sverak yöntemi ile yapıldığı gözlemlenmiştir. Her iki yöntem aşağıda açıklanmaktadır.

Sverak Yöntemi:

Laurent ve Niemann tarafından verilen formüle ağ derinliğini de ilave eden Sverak ağ şeklinde yapılmış bir topraklama tesisinin yayılma direncini

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

şeklinde vermektedir. Burada

ρ : Toprağın özgül direnci ($\Omega \cdot m$)
 R : Yayılma direnci (Ω)

L : Gömülmüş toplam iletken boyu (m) (Çubuklar dahil)

A : Ağın kapladığı alan (m^2)

h : Ağın gömülme derinliği (m) dir.

Schwarz Yöntemi:

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

R : Sistem direnci (Ω)

R_1 : Ağ iletkenleri grubunun toprak direnci (Ω)

R_2 : Çubuk grubunun toprak direnci (Ω)

R_m : İki grup arasındaki karşılıklı direnç (Ω)

olmak üzere, sistem direnci

$$R = \frac{R_2 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

şeklinde verilmektedir. Ağ iletkenlerinin toplam topraklama direnci R_1

ρ : Toprağın özgül direnci ($\Omega \cdot m$)

L_c : Ağdaki yatay iletkenlerin toplam uzunluğu (m)

$2a$: İletken çapı (m)

h : Ağın gömülme derinliği (m)

A : Ağın kapladığı alan (m^2)

k_1, k_2 : Aşağıdaki tablodan alınacak katsayılar

$$a = \sqrt{2ha}$$

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

dir. Çubukların toplam direnci R_2 ise

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

L_R : Bir çubuğun boyu (m)

$2b$: Çubuk çapı (m)

n_R : Toplam çubuk sayısı

şeklinde hesaplanır.

R_m çubuklar ve ağ iletkenleri arasındaki karşılıklı direnç ise

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

dir.

k_1 ve k_2 katsayıları ağın boy/en oranına (α), ağın gömülme derinliğine (h) ve ağın kapladığı alana (A) bağlıdır.

K_1 ve k_2 katsayıları hesaplama tablosu

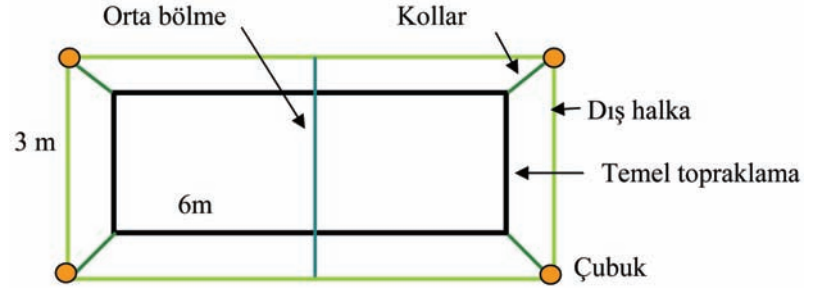
| h | k_1 | k_2 |
|----------------|-----------------------|----------------------|
| 0 | - 0.04 α +1.41 | 0.15 α +5.50 |
| $1/10\sqrt{A}$ | -0.05 α +1.20 | 0.10 α +4.68 |
| $1/6\sqrt{A}$ | -0.05 α +1.13 | -0.05 α +4.40 |

Tablodan görüldüğü gibi k_1 ve k_2 katsayıları ağ alanına bağlı olarak verilmektedir. Belirli bir ağ derinliği için katsayıları bulmak maksadı ile ağ alanına bağlı değerler elde edildikten sonra bu değerlerle gerçek ağ derinliği değeri arasında enterpolasyon yapılarak katsayılar bulunmalıdır.

Görüldüğü gibi Schwarz yöntemi oldukça uzun hesaplamalar gerektirmektedir. Her iki yöntem bir EXCEL dosyasında düzenlenirse kolay bir şekilde kullanım imkanı bulunur. Hangi yöntemin daha güvenilir olduğu hakkında yabancı yayınlarda bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Uygulamalar:

Örnek-1



3m x 6m boyutunda 100 Ω .m özgül direnci üniform bir toprak ortamında 0.5 m derinliğe gömülmüş bir temel topraklayıcının dört köşesine 2 m boyunda 2.5 cm çapında kazıklar çakılmıştır. Ayrıca temelin çevresinden 1m açıktaki ikinci bir halka topraklayıcı dönülmüştür. Bu topraklama sisteminin çeşitli durumlar için yukarıda verilen her iki yöntemle hesaplanan toprak yayılma dirençleri karşılaştırmalı olarak aşağıda verilmiştir.

| Şekil | Halka (Ω) | Ağ (Ω) | Sverak (Ω) | Schwarz (Ω) |
|------------------|--------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| Temel topraklama | 13.91 | 16 | 14.27 | 10.51 |
| Dış halka ilave | 11.83 | 9.28 | 8.42 | 7.36 |
| Ara kollar ilave | " | 9.01 | 8.15 | 7.26 |
| Çubuklar ilave | " | 9.01 | 7.87 | 7.01 |
| Orta bölme ilave | " | 8.82 | 7.73 | 6.98 |

Örnek-2

100 Ω .m özgül dirençli toprak ortamına, 0.5m derinliğe 90mm² kesitli iletken ile 40m x 50m boyutunda bir ağ yapılması ve ağın 10m aralıklı gözlerden oluşması planlanmıştır. Ağın direnci çubuklu ve çubuksuz haller için incelenmiş sonuçlar aşağıda verilmiştir.

| Durum | Sverak (Ω) | Schwarz (Ω) |
|------------------|---------------------|----------------------|
| Çubuksuz | 1.18 | 1.20 |
| 8 çubuklu | 1.17 | 1.20 |
| 30 çubuklu | 1.16 | 1.19 |
| 4m boy, 30 çubuk | 1.14 | 1.15 |

Görüldüğü gibi homojen ortamlarda kullanılan çubukların topraklama direnci üzerindeki etkisi çok azdır.

İki tabakalı topraklarda yapılacak hesaplar ve ağ gözlerinde dokunma gerilimi hesapları başka bir yazının konusu olacaktır.

Ek-A da örnek-1 için çubuklu durumun çıktısı verilmiştir.

Ek-A

ÇEŞİTLİ TOPRAKLAMA DİRENCİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

| HALKA TOPRAKLAYICI | | |
|--------------------|---|-------------------------|
| Genel formül | $R_g = \rho \cdot \ln(2\pi \cdot D/d) / (\pi^2 \cdot D)$ | 11.83 Ω |
| Yaklaşık formül | $R_g = 2 \cdot \rho / (3 \cdot D)$ $D = 1.13 \sqrt{A}$ | 9.33 Ω 7.15 m |

| AĞ TOPRAKLAYICI | | |
|---|---|---------------|
| Toprak üzerinde iletken plaka h = 0 | $R_g = \rho / 4 \cdot \sqrt{\pi/A}$ | 7.01 Ω |
| Laurent ilavesi* max direnç h = 0.25 | $R_g = \rho / 4 \cdot \sqrt{\pi/A} + \rho/L$ | 9.01 Ω |
| * Topraklamalar yönetmeliğinde verilen formül | | |
| Sverak yaklaşımı 0.25-2.5 derinlik için | $R_g = \rho(1/L_T + 1/\sqrt{20A})(1 + 1/(1 + h \cdot \sqrt{20/A}))$ | 7.87 Ω |
| Ağ iletkenleri + çubuk boyları toplamı | L_T 58 m | |

SCHWARZ YÖNTEMİNE GÖRE AĞ TOPRAKLAYICILARIN YAYILMA DİRENCİ HESABI **

| Verilenler | Hesaplananlar | |
|---|---------------|--|
| h derinlikteki elektrot çevresinde özgül direnç | ρ | 100 $\Omega \cdot m$ |
| Ağdaki iletkenlerin toplam boyu | L | 50 m |
| Ağdaki çubukların ortalama boyu | l_2 | 2 m |
| Ağın gömülme derinliği | h | 0.5 m |
| $(d1 \cdot h)^{1/2}$ | h' | $(d1 \cdot h)^{1/2}$ |
| Kısa kenar uzunluğu | a | 5 m |
| Uzun kenar uzunluğu | b | 8 m |
| Ağ alanı a.b | A | a.b |
| Çubuk sayısı | n | 4 adet |
| Ağ iletkeni çapı | d_1 | 0.0107 m |
| Çubuk çapı | d_2 | 0.021 m |
| 0.50 m için Enterpolasyonlu değerler | K_1 | 1.17 |
| " " " " | K_2 | 5.03 |
| Boy / En b/a | x | 1.60 |
| Ağ iletkenleri direnci | R_1 | $(\rho/\pi L)(\ln(2L/h') + K_1(L/A^{1/2}) - K_2)$ |
| Çubukların direnci | R_2 | $(\rho/2n\pi l_2)(\ln(8l_2/d_2) - 1 + 2K_1(l_2/A^{1/2})(n^{1/2} - 1)^2)$ |
| Ağ ve çubuklar arası karşılıklı direnç | R_{12} | $(\rho/\pi L)(\ln(2L/l_2) + K_1(L/A^{1/2}) - K_2 + 1)$ |
| Toplam direnç | R_g | $(R_1 R_2 - R_{12}^2) / (R_1 + R_2 - 2R_{12})$ |

** IEEE Std 80 -2000'den alınmıştır.

K_1 ve K_2 katsayıları hesabı

| | | |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| h=0 | $K_1 = -0.04x + 1.41$ | $K_2 = 0.15x + 5.50$ |
| $h = 1/10 \cdot A^{1/2}$ | $K_1 = -0.05x + 1.20$ | $K_2 = 0.1x + 4.68$ |
| $h = 1/6 \cdot A^{1/2}$ | $K_1 = -0.05x + 1.13$ | $K_2 = -0.05x + 4.40$ |

| h | K_1 | K_2 |
|------|-------|-------|
| 0 | 1.35 | 5.74 |
| 0.63 | 1.12 | 4.84 |
| 1.05 | 1.05 | 4.32 |

0.50 m için Enterpolasyonlu değerler

| | |
|------|------|
| 1.17 | 5.03 |
|------|------|