



İsa İLİSU [Elektrik Yüksek Mühendisi]

Elektrik enerji sistemleri içerisinde topraklama tesislerinin canlıların güvenliği açısından ve sebekenin 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 kullanılmaktadır. Yurdumuzda 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.

Değişik ortamlarda karşılaştığımız topraklama projeleri ve hesaplarında kullanılan yöntemler ve hesap tarzlarında hatalar olduğu görülmektedir. Karşılaşılan başlıca hata, çeşitli elektrotların birlikte kullanılması halinde topraklama direncinin hesap tarzında yapılanlardır.

Değişik tip elektrotlar tesis edilecek ise bunlar birbirlerinin etki alanında olmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Çubuk elektrotlar kullanılması halinde çubuklar arası en az uzaklık çubuk boyunun iki katından daha büyük olmalıdır.

Toprak yayılma direnci, topraklama sisteminin şekline, boyutlarına ve toprağın özgül direncine bağlıdır.

Halka elektrot ve çubuk kullanılması halinde en az uzaklık halka boyutlarına bağlı olarak değişir.

Bu esaslara uyulmadan, her tip için ayrı ayrı toprak geçiş direnci hesaplanıp bunların paralel eşdeğer direncinin topraklama direnci olarak sunulması yanlış sonuçlar doğurmaktadır.

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 yatay tabakalı bölgelere kadar uygun sonuçlar vermektedir.

Bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile “Sonu 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

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

şeklinde vermektedir. Burada

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

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 ($\Omega.m$)

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	$-0.04\alpha + 1.41$	$0.15\alpha + 5.50$
$1/10\sqrt{A}$	$-0.05\alpha + 1.20$	$0.10\alpha + 4.68$
$1/6\sqrt{A}$	$-0.05\alpha + 1.13$	$-0.05\alpha + 4.40$

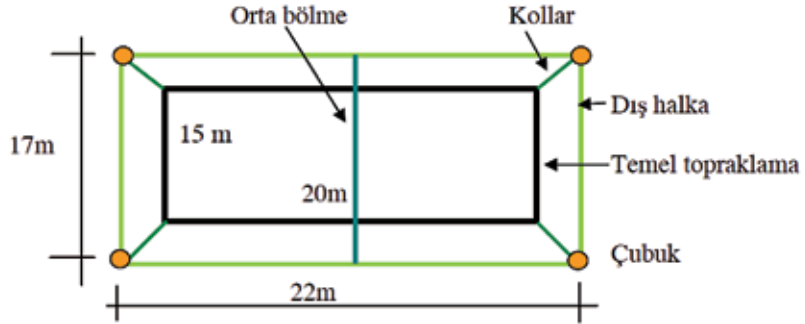
Tablodan görüldüğü gibi k_1 ve k_2 katsayıları ağ alanına bağlı olarak verilmektedir. Belirli bir ağ derinliği için katsayıları bulmak maksadı ile ağ alanına bağlı değerler elde edildikten sonra bu değerlerle gerçek ağ derinliği değeri arasında enterpolasyon yapılarak katsayılar bulunmalıdır.

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 yanda verilmiştir.



Şekil	Halka (Ω)	Ağ (Ω)	Sverak (Ω)	Schwarz (Ω)
Temel topraklama	4,87	-	3,86	3,34
Dış halka ilave		2,96	2,87	2,76
Ara kollar ilave	-	2,93	2,84	2,74
Orta bölme ilave	-	2,87	2,78	2,70
Çubuklar ilave	-		2,75	2,68

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 yanda verilmiştir.

Görüldüğü gibi homojen ortamlarda kullanılan çubukların topraklama direnci üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

Başta da sözü edildiği gibi insan güvenliği açısından dokunma gerilimi değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde bulunması önemlidir. Elektrot şeklinin uygun seçilmesi, potansiyel düzenleme yapılması, eşpotansiyel bağlamalar ve global topraklama güvenliği sağlayıcı uygulamalardır.

Durum	Sverak (Ω)	Schwarz (Ω)
Çubuksuz	1.18	1.21
2m, 8 çubuklu	1.17	1.20
2m, 30 çubuklu	1.16	1.19
4m boy, 30 çubuk	1.14	1.15

Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü gibi çubukların topraklama direnci üzerinde etkisi yoktur. Ancak çubukların açık hava Y.gerilim tesislerinde en büyük dokunma gerilimini düşürücü etkisi bulunmaktadır.

Aşağıdaki tabloda, topraklama direnci ve dokunma geriliminin değişimi görülmektedir.

Tesisin bulunduğu mahallin altındaki derinliklerde küçük özgül dirençli tabakalar veya su damarları bulunması halinde, çubukların bu derinliklere kadar ulaştırılması durumunda topraklama direnci üzerinde olumlu etkileri olacaktır.

IEEE Std.80 verilen iki örneğin sonuçları tablo halinde gösterilmiştir.

Örnek	Boyutlar	Topraklama direnci (Ω)	Dokunma gerilimi (V)
1	70m x 70m 10m x 10m gözlü	2,78	1002,1
2	Boyutlar aynı 7,5 m boyunda 20 çubuk ilave	2,76	747,4

Her iki örnekte toprak özgül direnci 400 Ω .m ve ağın gömülme derinliği 0,5 m dir.

Bir sonraki bültenimizde "Tesislerin Topraklama Dirençlerinin En Büyük Değerleri" yazısı yayınlanacaktır.