

# 154 kV TRANSFORMATÖR MERKEZİ TOPRAKLAMA AĞI HESABI

Ali Çelik  
Elektrik Yüksek Mühendisi  
TEİAŞ 14. Bölge Müdürlüğü/Trabzon  
alichelik29@yahoo.com

Bu çalışmanın amacı, 154 kV Transformatör Merkezinde güvenlik ve işletme topraklaması ağının IEEE Std 80-2000 AC Şalt Tesisinde Topraklama Güvenliği Rehberi ve Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği'ne uygun olarak tesis edilmesini sağlamaktır. Hesaplamalarda kabul edilebilecek kısa devre akımı 20 kA ve kısa devre temizleme süresi de 0.5 sn alınarak topraklama hesabı yapılmıştır.

Yapılan toprak özgül direnci ölçüm değeri, iklim ve arazi şartlarından dolayı ortalama 1082 Ω.m bulunduğundan hesaplamalarda bu değer alınmıştır. Yüksek sayılan bu değere göre açık şalt sahasının ortalama 3 metrelik topraklama ağı gözleri ile donatılacağı öngörülmüştür.

Topraklama ağı şalt sahasının dışına taşırılarak, projesinde gösterildiği gibi tüm sahaya tesis edilecektir.

Bu işlemler sonucunda yapılacak saha testleri neticesinde toprak geçiş direnci ve dokunma gerilimi istenilen emniyetli değerlerinin sağlanması için, IEEE Std 80-2000 standardına göre yapılan hesap sonucu, topraklama sisteminin toprak geçiş direnci ve dokunma geriliminin uygun olmaması durumunda; IEEE Std 80-2000 AC Şalt Tesisinde Topraklama Güvenliği Rehberi Sayfa 31, "9.5 Zor Koşullarda Tasarım" kısmında belirtilen yöntemler uygulanacaktır.

## 1. Topraklama Sistemi Hesabı ve Tasarımı

Şalt sahasındaki ölçümlerde bulunan toprak özgül direncine göre yapılan topraklama hesabı sunulmaktadır. Ölçme yapılan 10 ayrı noktada bulunan değerlerin ortalaması olarak 1082 Ω.m değeri baz alınmıştır. Topraklama hesabı için;

Yatay eksenindeki en uzun iletken boyu ( $L_x$ ): 87.0 m  
Dikey eksenindeki en uzun iletken boyu ( $L_y$ ): 50.0 m  
Topraklama ağı alanı ( $A$ ): 4350 m<sup>2</sup> olarak alınmıştır.

Tablo 1'de topraklama hesabı ile ilgili teknik değerler verilmektedir.

Tablo 1. Topraklama Hesabı ile İlgili Teknik Değerler

Sistem kısa devre akımı	31.5 kA
Topraklama ağında dolaşan arıza akımı	20 kA
Kısa devre maksimum temizleme süresi	0.50 s
İnsan ağırlığı	70 kg
Serilecek çakıl özgül direnci	2500 Ω.m
Serilecek çakıl tabakası kalınlığı	0.15 m
Toprak özgül direnci	1082 Ω.m
Ağın gömülme derinliği	0.70 m
Gömülecek ana topraklama iletkeni	120 m <sup>2</sup>
Topraklama elektrotu (kaziği) sayısı	32 adet
Topraklama elektrotu boyu	2.5 m

Topraklama uzun iletken miktarı: 1566 m (Topraklama ağı uzunluk hesabından)

Topraklama kısa iletken miktarı: 1500 m (Topraklama ağı uzunluk hesabından)

Topraklama ağı toplam iletken uzunluğu: 3066 m (Topraklama ağı uzunluk hesabından)

Ortalama ağın göz aralığı ( $D$ ): 3 m

$K_1$  katsayısı; Schwarz eğrisinden veya  $K_1 = 1.41 - 0.04 (L_x/L_y) = 1.316$

$K_2$  katsayısı; Schwarz eğrisinden veya  $K_2 = 5.5 - 0.15 (L_x/L_y) = 5.665$

Tablo 2'de topraklama hesabında kullanılacak notasyonlar ve değerleri görülmektedir.

Tablo 2. Topraklama Hesabında Kullanılacak Değerler

Simge	Anlamı	Değeri	Birimi
$R_g$	Topraklama ağı direnci		Ω
$R_k$	Topraklama elektrotu direnci		Ω
$R_m$	Toprak ağı-elektrot karşılıklı direnci		Ω
$R$	Topraklama sistemi ortak direnci		Ω
$\rho$	Topraklama özgül direnci	1082	Ω.m
$L_c$	Topraklama iletkeni uzunluğu	3066	m

d1	Topraklama iletkeninin çapı	0.01236	m
d2	Topraklama elektrotu çapı	0.020	m
Lr	Topraklama elektrotu boyu	2.5	m
Rn	Topraklama elektrotu sayısı	32	adet
h	Serilecek çakıl (mıcır) tabakası kalınlığı	0.15	m
A	Topraklama ağının alanı	4350	m <sup>2</sup>
K1	Schwarz eğrisinden alınan değer	1.316	
K2	Schwarz eğrisinden alınan değer	5.665	
Ki		4.019	
Kii	1 Kazıklar köşe veya ağ (grid) üzerinde ise		

Tablo 3'te adım ve dokunma gerilimlerinin kontrolünde kullanılan değerler verilmektedir.

**Tablo 3.** Adım ve Dokunma Gerilimlerinin Kontrolü

Simge	Anlamı	Değeri	Birimi
$\rho$	Topraklama özgül direnci	1082	$\Omega.m$
$\rho_s$	Kaplanan çakıl özgül direnci	2500	$\Omega.m$
$t_c$	Kısa devrenin temizlenme süresi	0.50	s
Rf	İnsan vücudunun direnci	1000	$\Omega$
$C_s$	Yansıma katsayısı		
I	Faz-toprak kısa devre akımı	20	kA
IGR	Elektromanyetik etkileşim	20	kA
h	Topraklama ağının derinliği	0.70	m
$h_s$	Serilen çakıl kalınlığı	0.15	m
$h_0$	Referans gömülme derinliği	1.00	m
D	Ortalama göz aralığı	3.00	m
$D_c$	Topraklama iletkeninin çapı	0.01236	m
Lc	Topraklama iletkeni uzunluğu	3066	m
Lr	Topraklama elektrotu boyu	2.5	m
$L_R$	Toplam topraklama elektrotu boyu	80.0	m
Lx	Yatay eksenindeki en uzun iletken boyu	87.0	m
Ly	Dikey eksenindeki en uzun iletken boyu	50.0	m
Ls	Toplam topraklama ağının çevresi	274.0	m
A	Topraklama ağının alanı	4350	m <sup>2</sup>
Dm	Herhangi iki nokta arasındaki maksimum mesafe	100.34	m

Tablo 4'te 154 kV transformatör merkezi topraklama ağında hesaplanacak değerler görülmektedir.

**Tablo 4.** Hesaplanacak Olan Değerler

Simge	Anlamı
C	İndirgeme faktörü
Kg	Topraklama ağı gerilimi yayılma faktörü
Ki	Topraklama ağının geometrik düzeltme faktörü
Kh	Ağ geriliminin derinliğe bağlı düzeltme katsayısı
n	Bir yöndeki ortalama paralel iletken sayısı
$E_{step}$ 70	Müsaade edilebilir adım gerilimi (V)
$E_{touch}$ 70	Müsaade edilebilir dokunma gerilimi (V)
$E_m$	Hesaplanan göz (mesh) gerilimi
$E_s$	Hesaplanan adım gerilimi (V)
$E_t$	Hesaplanan dokunma gerilimi (V)

**K1 ve K2 katsayıları Schwarz yöntemi ile hesaplanmaktadır.**

$$x = L_x/L_y = 1.74$$

$$h' = 0, h'' = 1/10 \cdot \sqrt{A}, h''' = 1/6 \cdot \sqrt{A}$$

Enterpolasyon ile;

$$K1 = -0.04x + 1.41 \quad K2 = 0.15x + 5.5$$

$$K1 = -0.05x + 1.2 \quad K2 = 0.1x + 4.68$$

$$K1 = -0.05x + 1.13 \quad K2 = -0.05x + 4.4$$

h	K1	K2
0	1.3404	5.761
6.595453	1.113	4.854
10.99242	1.043	4.313

$h = 0.7m$  derinliğe göre K1 ve K2 değerleri;

$$K1: 1.3163$$

$$K2: 5.6647$$

## 2. İletken Kesiti Hesabı

Bakır toprak iletkeni kesiti Eşitlik 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$A_{mm^2} = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} \quad (2.1)$$

I: Kısa devre akımı: 20 kA

Ta: Ortam Sıcaklığı: 20 °C

Tm: Müsaade edilen maksimum sıcaklık: 300 °C

$K_0$ : Akım taşıyan kısmın sıcaklık katsayısı: 234

$\rho_r$ : Referans sıcaklıkta toprak iletken direnci: 1.7241

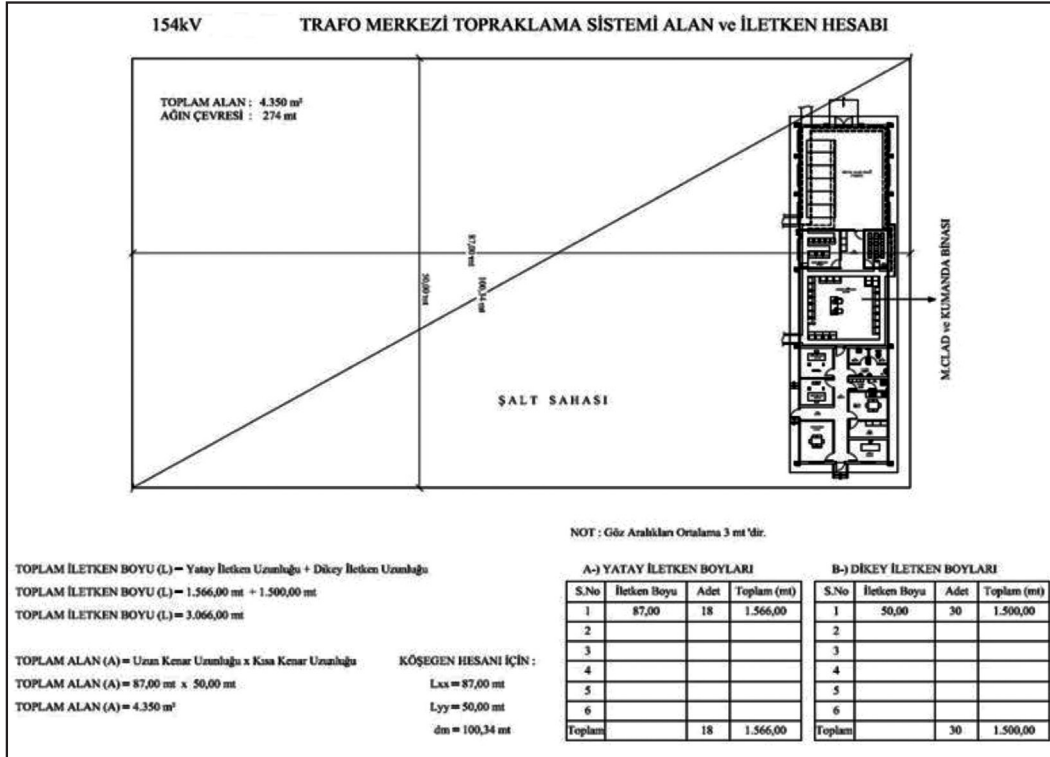
$\alpha_r$ : Isıl katsayısı: 0.00393

$T_{CAP}$ : Birim hacim başına ısıl kapasitesi: 3.422 J/(cm<sup>3</sup>.°C)

$t_c$ : Hata akımının süresi: 0.50 sn

$K_0$ : Akım taşıyan kısmın sıcaklık katsayısı

$A_{mm}^2$ : Bakır toprak iletkeni kesiti: 73.0029 olarak bulunmuştur. İletken kesiti bir üst kesit alınmalıdır. Şartname gereği norm iletken kesiti 120 mm<sup>2</sup> kullanılır. Bakır iletkenine ait katsayılar aşağıda verilen Tablo 5'ten alınmıştır. Şekil 1'de şalt sahası topraklama sistemi alan ve iletken uzunluğu hesabı görülmektedir.



Şekil 1. Şalt Sahası Topraklama Sistemi Alan ve İletken Uzunluğu Hesabı

Tablo 5. Malzeme Sabitleri (IEEE Std 80-2000)

Tanım	İletkenlik (%)	$\alpha_r$ katsayısı 20 °C de, 1/°C	$K_p$ , 0 °C'de (0 °C)	İzin verilen <sup>a</sup> Max. Sıc. $T_m$ (°C)	$\rho_r$ katsayısı 20 °C de, ( $\mu\Omega$ -cm)	TCAP Term. Kap. [J/(cm <sup>3</sup> .°C)]
Bakır, tavlanmış, yumuşak çekilmiş	100,0	0,00393	234	1083	1,72	3,42
Bakır, ticari, sert çekilmiş	97,0	0,00381	242	1084	1,78	3,42
Bakır kaplı çelik tel	40,0	0,00378	245	1084	4,40	3,85
Bakır kaplı çelik tel	30,0	0,00378	245	1084	5,86	3,85
Bakır kaplı <sup>b</sup> çelik çubuk	20,0	0,00378	245	1084	8,62	3,85
Alüminyum, EC sınıfı	61,0	0,00403	228	657	2,86	2,56
Alüminyum, 5005 alaşım	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,60
Alüminyum, 6201 alaşım	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,60
Alüminyum kaplı çelik tel	20,3	0,00360	258	657	8,48	3,58
Çelik,1020	10,8	0,00160	605	1510	15,90	3,28
Paslanmaz kaplı çelik çubuk <sup>c</sup>	9,8	0,00160	605	1400	17,50	4,44
Çinko kaplı çelik çubuk	8,6	0,00320	293	419	20,10	3,93
Paslanmaz çelik, 304	2,4	0,00130	749	1400	72,0	4,03

a: ASTM standardına göre

b: 0,254 mm kalınlığında bakır kaplı

c: 1020 çelik çekirdek üstüne 0.508 mm kalınlığında 304 paslanmaz çelik kaplı

### 3. Topraklama Ağı Direnci Hesabı

Schwarz yöntemi ile; hesaplanan-K1: 1.316265, K2: 5.664737 değerlerinden topraklama ağı direnci hesabı Eşitlik 3.1 ile  $R_g = 7.4836 \Omega$  olarak bulunur.

$$R_g = \left( \frac{\rho}{\pi L_c} \right) \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{a'} \right) + K_1 \left( \frac{L_c}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right] \quad (3.1)$$

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

$L_c$ : Tüm ağ iletkenlerinin toplam uzunluğu (m)

$a'$ : h derinliğinde gömülü iletkenler için

$\sqrt{2a'xh}$  (m) (m) veya toprak yüzeyi iletkeni için a (m)

2a: İletkenin çapı (m)

A: iletkenler tarafından kaplanmış alan ( $m^2$ )

$K_1, K_2$ : Schwarz Katsayıları

$a' = 0.0930$

Topraklama çubuğu direnci Eşitlik 3.2 ile hesaplanarak  $R_k = 17.3750 \Omega$  olarak bulunur.

$$R_2 = \left( \frac{\rho}{2\pi n_r L_r} \right) \left[ \ln \left( \frac{4L_r}{b} \right) - 1 + 2K_1 \left( \frac{L_r}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \quad (3.2)$$

$L_r$ : Her bir çubuğun uzunluğu (m)

2b: Çubuğun çapı (m)

$n_r$ : A alanındaki çubuk sayısı

Toprak ağı kazık karşılıklı direnci eşitlik 3.3 ile hesaplanarak  $R_m = 7.2262 \Omega$  değerinde bulunmuştur.

$$R_m = \left( \frac{\rho}{\pi L_c} \right) \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{L_r} \right) + K_1 \left( \frac{L_c}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right] \quad (3.3)$$

Topraklama Sistemi Ortak Direnci eşitlik 3 ile  $R = 7.4772 \Omega$  olarak hesaplanmaktadır.

$$R = \frac{R_g R_k - R_m^2}{R_g + R_k - 2R_m} \quad (3.4)$$

$R < 1\Omega$  koşulu sağlanmadığından hesaplanan topraklama direnci uygun değildir.

### 4. Hesaplanan Dokunma, Göz ve Adım Gerilimleri Hesabı

Müsaade edilebilir dokunma gerilimi;

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} = 945.67 V \quad (4.1)$$

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2hs + 0.09} = 0.869108 \quad (4.2)$$

olarak elde edilmektedir.

Göz (mesh) gerilimi eşitlik 4.3 ile hesaplanmaktadır.

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + \left[ 1.55 + 1.22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R} \quad (4.3)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left[ \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ij}}{K_h} \ln \left[ \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \right] \quad (4.4)$$

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 4.02$$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} = 22.38, n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot A}} = 1.02, n_c = \left[ \frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{0.7} = 1, n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} = 0.99$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d = 22.81 \quad (4.5)$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = 1.30 \quad (h_0 = 1m \text{ (ağın referans derinliği)})$$

$L_c$ : Ağdaki yatay iletkenlerin toplam uzunluğu (m)

$L_p$ : Ağın çevresel uzunluğu (m)

A: Ağın alanı ( $m^2$ )

$L_x$ : X yönünde ağın maksimum uzunluğu (m)

$L_y$ : Y yönünde ağın maksimum uzunluğu (m)

$D_m$ : Ağda herhangi iki nokta arasındaki maksimum mesafe (m)

$E_m = 11094 V, E_{touch70} = 945.67 V$  değerleri hesaplanmıştır.

$E_m < E_{touch}$  koşulu sağlanamadığından hesaplanan dokunma gerilimi uygun değildir.

Adım gerilimi Eşitlik 4.6 ile;

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_G}{L_s} = 15868 V \quad (4.6)$$

Topraklama çubuklu veya çubuksuz ağlar için etkin gömülü iletken uzunluğu  $L_s$ ;

$$L_s = 0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_R \quad (4.7)$$

Maksimum adım geriliminin ağın en uç köşesini ikiye bölen açıda çevre iletkeninde başlayan ve dışına doğru uzanan 1 m üzerinde bir mesafede oluştuğu varsayılır.

0.25 m < h < 2.5 m normal derinlik için (Sverak),  $K_s$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] = 0.419497 \quad (4.8)$$

Müsaade edilebilir adım gerilimi;

$$E_{step70} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} = 3117 V \quad (4.9)$$

$$E_s = 15868 V, E_{step70} = 3117 V$$

$E_s < E_{step70}$  koşulu sağlanamadığından hesaplanan adım gerilimi uygun değildir.

Yapılan hesaplamalarda;

Sistemin Topraklama Direnci:  $R = 7.48 \Omega$

Müsaade Edilen Maksimum Dokunma Gerilimi  $E_{touch70} = 946 V$

Hesaplanan Dokunma Gerilimi:  $E_t = 11094 V$

Müsaade Edilen Maksimum Adım Gerilimi:

$E_{step70} = 3117 V$

Hesaplanan Adım Gerilimi:  $E_s = 15868 V$

olarak bulunmaktadır.

$R < 1 \Omega$  koşulu sağlanmadığından hesaplanan topraklama direnci uygun değildir.

$E_m < E_{touch}$  koşulu sağlanmadığından hesaplanan dokunma gerilimi uygun değildir.

$E_s < E_{step70}$  koşulu sağlanmadığından hesaplanan adım gerilimi uygun değildir.

Bu üç koşulun sağlanması gerekir. Burada özellikle uygun olmayan bir örnek Transformator Merkezi seçilerek bu durumda nasıl bir çözüm üretilebileceği vurgulanmak istenmiştir.

154 kV Transformator Merkezi için tasarımı yapılan topraklama sistemi; geçiş direnci, adım ve dokunma gerilimlerinin değerleri müsaade edilir değerleri sağlamamaktadır. Söz konusu bu değerleri sağlaması için IEEE Std 80-2000 AC Şalt Tesisinde Topraklama Güvenliği Rehberi, sayfa 31 "9.5 Zor Koşullarda Tasarım" maddesinde belirtilen yöntemler uygulanmalıdır.

Şalt sahasında yapılan toprak özgül direnç ölçümünde toprak direncinin yüksek çıktığı görülmektedir. Bu sebeple uydu alan topraklaması yapılarak istenilen topraklama direnci, dokunma gerilimi ve adım gerilimi değerlerinin sağlanacağı öngörülmüştür. Onaylı projesinde görüleceği üzere istimlak sınırları içerisinde şalt sahası ana topraklamasından hariç, şalt sahası cephelerine karşılıklı olarak 2 adet 15x15 m boyutlarında uydu topraklama ağı tesis edilecektir. Bu uydu topraklama sistemleri 3x3 metrelik göz aralıklarından oluşacak olup, 120 mm<sup>2</sup> çıplak örgülü bakır iletken ile yapılacaktır. Topraklama kanalları 3 metre derinliğinde kazılarak tabandan 2 metre yukarı doğru ilk 2 metrelik kısma özgül direnci düşük (15-20  $\Omega$ .m) toprak serilecek, toprak tabakasının üstüne topraklama ağı tesis edilecek ve bu ağın üzerine yine 1 metre toprak özgül direnci düşük (15-20  $\Omega$ .m) toprak serilecektir. En üst kısmına 15 cm kalınlığında özgül direnci 2500  $\Omega$ .m olan çakıl, topraklama ağının 1 metre dışına taşacak şekilde serilecektir. Serilen çakılın dağılması için uydu alanının 1 metre dışından itibaren bordürler ile çevrilecektir. Uydu alanları etrafına başka herhangi bir yapı tesis edilmeyecek olup, söz konusu alan etrafına uyarı levhaları dikilecektir.

Uydu ağı ile ana topraklama ağı planda görüldüğü gibi 120 mm<sup>2</sup> örgülü bakır iletkenler ile irtibatlandırılacaktır. TEİAŞ gözetiminde yapılacak testler neticesinde IEEE Std 80-2000 standardında istenen adım gerilimi, dokunma gerilimi ve topraklama direnç değerlerine ulaşılması, yüklenici firma tarafından taahhüt edilmektedir. İstenilen değerlere ulaşılması halinde IEEE Std 80-2000 AC Şalt Tesisinde Topraklama Güvenliği Rehberi, sayfa 31 "9.5 Zor Koşullarda Tasarım" maddesinde belirtilen yöntemler

ücretsiz olarak yüklenici tarafından uygulanacaktır. Ayrıca şalt sahası ana topraklama sistemi yapımında açılan topraklama kanallarının dolgusu, özgül direnci düşük nebatli toprak (15-20  $\Omega$ .m) ile yapılarak toprak özgül direnci düşürülecektir.

Topraklama sistemi yapıldıktan sonra toprak geçiş direnci, adım gerilim ve dokunma gerilim testleri, TEİAŞ kontrol ekibi gözetiminde yapılarak istenen değerlerin sağlanmasını yüklenici taahhüt etmektedir. İstenen değerler sağlanmadığı takdirde yüklenici tarafından ek önlemler alınarak IEEE Std 80-2000 AC Şalt Tesisinde Topraklama Güvenliği Rehberi, sayfa 31 "9.5 Zor Koşullarda Tasarım" maddesinde belirtilen yöntemler ücretsiz olarak uygulanacaktır. İstenilen değerlerin sağlanamaması takdirde sistem enerjilendirilmeyecektir.

### Kaynaklar ve Referanslar

- [1] IEEE Std 80-2000, AC Şalt Tesisinde Topraklama Güvenliği Rehberi, IEEE Güç Mühendisliği Topluluğu Şalt Sahaları Komisyonu, ABD, 30 Ocak 2000.
- [2] T.C. Resmi Gazete, Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, (24500), 21.08.2001.
- [3] Bayram, M., Elektrik Tesislerinde Topraklama, İstanbul, 2000.
- [4] Kültür, D., Amerikan IEEE-80 Standardına Göre Yüksek Gerilim Elektrik Tesislerinde Topraklama Hesap ve Örnekleri, Gediz Elektrik A.Ş., 2005, İzmir.
- [5] Güner, E., Yüksek Gerilim Merkezlerinin Topraklaması, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı:242, Şubat 1977.
- [6] ÜRESİN, F., Yüksek Gerilim Elektrik Tesislerinde Topraklama Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
- [7] F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity; Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, s. 478-496; 1915/16.
- [8] İlisu, İ., Elektrik Tesislerinde Dolaylı Dokunmaya Karşı Koruma ve Topraklama, Elektrik Mühendisleri Odası Meslek İçi Sürekli Eğitim Merkezi, 2005, Ankara.
- [9] İlisu, İ., Topraklama Direnci Hesapları, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 438.Sayı, Mart 2010.
- [10] Kaşıkçı, İ., Yüksek Gerilim Elektrik Tesislerinde Topraklama, 2005, İzmir.
- [11] Laurent, P.G., Topraklama Sisteminin Tasarımı, Yapımı ve Ölçümü, EMO Elektrik Mühendisliği Dergisi (1977).
- [12] Saraç, H., Topraklamalar, TEİAŞ SETGEM Yayınları, (1991).
- [13] MEGEP, Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Elektrik Elektronik Teknolojisi, Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklama Sistemi, Ankara, 2006. ■