

## Yüksek Gerilim Şalt Sahası Topraklama Ağının Elektriksel Bazda Projelendirilmesi

Nihat PAMUK<sup>1</sup>

**ÖZET:** Günümüzde topraklama sistemi geniş alanları kapsayan karmaşık bir yapıya sahiptir. İnsanlar için hayati tehlike oluşturabilecek toprak potansiyel yükselme değerinin sınırlandırılması güvenli bir topraklama şebekesinin temelini oluşturur. Yüksek gerilim tesislerinde açma-kapama olayları, yıldırım, elektrostatik deşarjlar, kısa devreler ve toprak temasları gibi nedenlerle meydana gelen darbe akımlarının direkt olarak toprağa akıtılması gerekmekte ve bu nedenle güç sistemlerindeki topraklama ağı tasarımının kusursuz olması istenmektedir. Yüksek gerilim şalt sahalarına ait topraklama direnç değerleri SELVAZ (Seçilmiş Gerilim (V), Akım (A), Empedans (Z)) yöntemi kullanılarak ölçülmektedir. SELVAZ yöntemi kullanılarak tasarlanan topraklama ağlarında, temas ve adım gerilimlerinin müsaade edilebilir maksimum temas ve adım gerilimlerinden küçük olması, topraklama direnç değerlerinin standartlarda öngörülen sınır değerler içinde kalması, topraklama ağı gömülme derinliğinin en uygun değerlerde olması ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, SELVAZ yöntemi ile bir yüksek gerilim şalt sahasının topraklama direnç değerleri ölçümü yapılarak, topraklama ağı tasarımı gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Topraklama ağı tasarımı, topraklama direnci, SELVAZ yöntemi, temas ve adım gerilimi

## The Electrical Project of High Voltage Switchyard Grounding Net



**ABSTRACT:** Nowadays, grounding system has a complex structure covering large areas. Limiting the ground potential rise value threatening people life forms the basis of a safe grounding net. Shock currents occurring in high voltage facilities because of events like opening and closing, lightning, electrostatic discharges, short circuits and ground contacts must be directly transferred into the ground, therefore the design of power system grounding net requires to be perfect. Grounding resistance values of high voltage switchyard are measured using SELVAZ (Selected Voltage (V), Current (A), Impedance (Z)) method. The grounding net designed according to SELVAZ method makes touch and step voltages smaller than maximum tolerable touch and step voltages, keeps grounding resistances and the depth of buried grounding net within the standard limits giving possibility to obtain the most appropriate values. In this study, grounding net design was formed according to SELVAZ method using high voltage switchyard grounding resistance values

**Keywords:** Grounding net design, ground resistance, SELVAZ method, touch and step voltage

<sup>1</sup> Teiaş, Test Grup Başmühendisliği, 5. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü, Sakarya, Türkiye  
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Nihat PAMUK, nihatpamuk@gmail.com

## GİRİŞ

Elektrik enerjisi ihtiyacının artmasına paralel olarak yeni yüksek gerilim şalt sahalarının kurulması gerekmektedir. Güç sistemlerinin en önemli ve en değerli bölümü yüksek gerilim şalt sahalarıdır. Yüksek gerilim şalt sahaları kurulmadan önce yapılması gereken ilk ve en önemli adımlardan biri, topraklama ağının doğru olarak projelendirilmesidir. Büyük elektrik tesislerinde ve şalt sahalarında her bir cihaz için topraklama yapmak hem pahalı, hem de birbirine karşı potansiyel farklar doğuracağından bu elektrotlar arasında gerilim sürüklenmesine neden olacaktır. Bu potansiyel farkları sıfıra indirmek, gerilim sürüklenmesini de önleyebilmek için bütün tesisin altına ağ topraklayıcı sisteminin kurulması gerekmektedir.

Yıldırım, açma - kapama manevraları, kısa devreler ve toprak arızaları yüksek gerilim şalt sahalarında, yüksek akımlar ve dolayısıyla yüksek potansiyel artışları oluştururlar. Ortaya çıkan bu gerilimler insanlar için yaşamsal tehlikelere neden olduğu gibi, trafo merkezindeki teçhizatlar da büyük hasarlar meydana getirmektedir. Bu durumlardan kaçınmak için tek yol gerek şebekenin gerekse işletme teçhizatlarının topraklanmasıdır (Mürtezaoğlu, 1998). Yüksek gerilim şalt sahalarında topraklama sistemi olarak, topraklama ağı ile birlikte topraklama çubuklarından ve topraklama iletkenlerinden faydalanılır (Gürsu & İnce, 2007). Topraklama ağları, toprak içine gömülmüş, toprak yüzeyine paralel olarak yerleştirilmiş, ağ oluşturacak şekilde

birbirine birleştirilmiş iletkenlerden oluşur. Şekil 1’de örnek bir yüksek gerilim şalt sahası topraklama ağının yapımı gösterilmiştir.

Bu ağlar başta insanlar olmak üzere bütün canlıların ve elektrikle çalışan teçhizatların tehlikeli gerilimlere maruz kalmasını önleyecek ve koruduğu tesisin işletme geriliminde sürekliliğini güvenle sürdürmesi için ihtiyaç duyulan toprak potansiyelini sağlayacak yalıtım tesisleridir. Topraklamalar güç sistemlerinde ve trafo merkezlerinde topraklama direncini, adım ve temas gerilimini küçük tutmak, sistemde enerji kesilmelerini azaltmak, insan emniyetini sağlamak ve meydana gelebilecek arızalarda rölelerin arızaları algılayabilmelerine yardımcı olmak amacı ile kullanılırlar.

Enerjili bir ağ üzerinde yüzeydeki potansiyel değer ifadeleri, hem ağ iletkenlerindeki kaçak akımların hem de ağ iletkenlerinin karşılıklı direnç değerleri alınarak hesaplanmaktadır (Neri, 2004). Topraklama ağlarının analizi yük benzetim yöntemi kullanılarak yapılmakta ve akım dağılımı, toprak geçiş direnci, toprak yüzeyinde meydana gelen potansiyel dağılımı ile incelenmektedir (Çelikyay, 1995). Topraklama ağı ile referans toprak arasındaki potansiyel dağılımın sayısal analizi sonlu farklar yöntemi ile yapılmaktadır (Darman, 2006). Bu çalışmada çok katmanlı toprakta, elektrotlar arasındaki mesafeye göre toprak öz direnç değişimi ve yüzey potansiyel değişimi deneysel ölçüm değerleri ile incelenmiştir.



Şekil 1. Yüksek gerilim şalt sahası topraklama ağı

## MATERYAL VE YÖNTEM

Şalt sahası topraklama ağı tasarımının matematiksel hesaplamaları: **Şalt sahası topraklama ağı tasarımının da ilk olarak proje ve yapılacak olan çalışma tanımlanmakta, sonrasında ise kullanılacak olan toprak modeline karar verilmektedir. Üçüncü aşamada ise, şalt sahasında meydana gelebilecek en kötü arıza parametreleri hesaba katılarak iletkenlerin ve kazık elektrotların boyutları kararlaştırılmaktadır. Bir sonraki aşamada ise, şalt sahasının koordinatları, iletkenlerin gömülme derinliği ve fiziksel boyutları gibi geometrik boyut ve biçim bilgileri incelenerek, tasarımı yapılan şalt sahasının istenilen güvenlik ölçütlerini karşılayıp karşılamadığına bakılmaktadır (Jones, 2001).**

Adım geriliminin matematiksel hesabı: **Herhangi topraklanmış bir nesneye temas etmeksizin, bir kişinin ayakları arasındaki bir metre mesafede oluşan yüzeydeki potansiyel fark adım gerilimi olarak tanımlanır. Yüksek gerilim tesislerinde insan ve hayvan hayatı bakımından önemli bir tehlike kaynağıdır (Katipoğulları, 2003). Adım gerilimi,  $K_s$  geometrik faktör  $K_i$  düzeltme faktörü,  $r$  toprak özdirenci ve  $I_G/L_s$  topraklama sistemine gömülen toplam iletken uzunluğunun maksimum ağ akımına oranına bağlı olarak elde edilen denklemler ile ifade edilir.**

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_G}{L_s} \quad (1)$$

$$L_s = 0.75 \cdot LC + 0.85 \cdot LR \quad (2)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1-0.5^{n-2}) \right] \quad (3)$$

Temas geriliminin matematiksel hesabı: **Topraklanmış yapıya temas ederek duran bir insan elinin bulunduğu noktadaki yüzey potansiyeli ve toprak potansiyel yükselmesi arasındaki potansiyel farkı temas gerilimi olarak tanımlanır (IEEE Std 80-2000, 2000). IEEE Std 80-2000 standardı topraklama ağında kullanılacak iletkenlerin toplam uzunluğunun, kesitinin, çubukların sayısının, çapının, boyunun, ağıdaki göz sayısının, göz boyutunun ve ağ kurulacak alanın boyutunun müsaade edilebilir maksimum temas gerilimini etkilemediğini göstermektedir. Canlılar için müsaade edilebilir maksimum temas gerilimi, direkt olarak ağ kurulacak alanın toprağının özdirenci ve şok akım süresi ile orantılıdır. Eğer yüzey tabakası kullanılıyorsa, bu tabakanın özelliklerine de bağlıdır. 70 kg ağırlığındaki insan için müsaade edilebilir maksimum temas**

**gerilimi ve müsaade edilebilir maksimum adım gerilimi 4 ve 5 eşitliklerinde verilmektedir.**

$$E_{tm70kg} = (1000 + 1.5Cs\rho_s) \times 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (4)$$

$$E_{sm70kg} = (1000 + 6Cs\rho_s) \times 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (5)$$

Bu eşitliklerde;  $t_s$  kısa devre akım süresini ve  $C_s$  ise yüzey tabakası düzeltme katsayısını temsil etmektedir.  $C_s$  yüzey tabakası düzeltme katsayısı;

$$C_s = 1 - 0.09 \times \left[ \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}}{2h_s + 0.09} \right] \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu ifadeye  $h_s$  yüzey tabakası kalınlığı olmak üzere, trafo merkezinin yüzeyine özdirenci yüksek bir çakıl tabakasının serilmesi müsaade edilebilir maksimum temas gerilimi değerini arttıracaktır. 6 eşitliğindeki  $r_a$  değeri ise 7 ve 8 eşitliklerinde verilmektedir

$$\rho_a = \left[ \frac{\rho_1}{1 + \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right) \times \left( \frac{1}{1 - e^{-K \cdot (hr + 2hb)}} \right)} \right] \rho_2 < \rho_1 \quad (7)$$

$$\rho_a = \left[ \frac{\rho_2}{1 + \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right) \times \left( \frac{-1}{1 - e^{-K \cdot (hr + 2hb)}} \right)} \right] \rho_2 > \rho_1 \quad (8)$$

Bu eşitliklerde;  $h_b$  ağı gömülme derinliği,  $h_r$  yansıma sınır derinliği,  $r_1$  üst katman toprak özdirenci,  $r_2$  alt katman toprak özdirenci ve  $K$  ise iki katmanlı toprak modelinde 9 eşitliğindeki yansıma faktörüdür.

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (9)$$

Yüzey tabakası kullanılmazsa, tek katmanlı toprak modelinde  $r_s = r$ , iki katmanlı toprak modelinde  $r_s = r_a$  ve her iki modelde de  $C_s=1$ 'dir.

Topraklama ağı iletken kesitinin matematiksel hesabı: **Hata akımının topraklama ağının içerisinde farklı kollara ayrılması göz önüne alınarak ağına iletken sıcaklığına göre topraklama tasarımı yapılır. İletkenlerin bir kısa devre esnasında ortaya çıkan ısıdan zarar görmemesi için;**

$$A_k = I \cdot \sqrt{\frac{tc \cdot ar \cdot pr \cdot 10000}{TCAP \cdot \ln \left[ 1 + \left( \frac{T_m - T_a}{K O + T_a} \right) \right]}} \quad (10)$$

kesitinde olması gerekir. Bu eşitlikte;  $A_k$  topraklama iletkeninin kesiti ( $\text{mm}^2$ ),  $I$  kısa devre akımı (A),  $t_c$  arıza süresi (sn),  $a_r$  referans sıcaklıkta öz direncin ısıl katsayısıdır.  $P_r$  referans sıcaklıkta topraklama iletkeninin öz direnci ( $\text{mW/cm}$ ),  $T_{\text{CAP}}$  ısıl kapasite faktörü ( $\text{J/cm}^3/^\circ\text{C}$ ),  $T_m$  arıza esnasında izin verilen en büyük iletken sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_o$  ise ortam sıcaklığıdır ( $^\circ\text{C}$ ).

$$K_o = \left( \frac{1}{ar} \right) - Tr \quad (11)$$

Eşitlik 11 malzeme sabitleri için referans sıcaklık değeridir ( $^\circ\text{C}$ ). Topraklama iletkeninin kesitini belirleyen en önemli faktörler, topraklama iletkeni olarak kullanılacak olan malzemenin sabitleridir (Sverak, 1984).

Ağ gözü geriliminin matematiksel hesabı: **Topraklama ağ tasarımı müsaade edilebilir maksimum temas gerilimi, tasarlanan topraklama ağının göz geriliminden büyük olmalıdır. Bir topraklama ağının bir gözü içerisindeki maksimum temas gerilimi göz gerilimi olarak ifade edilmekte ve eşitlik 12'deki gibi hesaplanmaktadır.**

$$E_m = \frac{p \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{LM} \quad (12)$$

Bu eşitlikte;  $E_m$  göz gerilimi (V),  $r$  toprak öz direnci (W.m),  $K_m$  göz gerilimi için mesafe faktörü,  $K_i$  ızgara geometrisi için düzeltme faktörü  $I_G$  ise toprak çevresi ve topraklama ağ arasında akan maksimum ağ akımıdır. Hiç topraklama çubuğu yok veya ağa rastgele dağıtılmış sadece birkaç topraklama çubuğu varsa ve bunlarda köşelere yerleştirilmemiş veya ağ çevresi boyunca konulmamış ise;

$$LM = LC + LR \quad (13)$$

Bu eşitlikte;  $L_C$  yatay olarak gömülmüş olan topraklama iletkenlerinin toplam uzunluğunu (m),  $L_R$  ise dikey olarak gömülmüş olan tüm topraklama çubuklarının toplam uzunluğunu (m) ifade eder. Köşelerde topraklama çubuğunun olmasının yanı sıra ağın her yerinde ve çevresi boyunca topraklama çubuğu varsa;

$$LM = LC + \left[ 1.55 + 1.22x \left( \frac{L_r}{\sqrt{L^2_x + L^2_y}} \right) \right] \cdot LR \quad (14)$$

Bu eşitlikte;  $L_r$  her bir topraklama çubuğunun uzunluğudur (m). Göz gerilimi için mesafe faktörü olarak tanımlanan  $K_m$  eşitlik 15'deki gibi hesaplanır.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi \cdot (2n-1)} \right) \right] \quad (15)$$

Bu eşitlikte;  $D$  paralel iletkenler arası mesafe (m),  $d$  ağ iletkeninin çapı (m),  $h$  topraklama ağ iletkenlerinin gömüldüğü derinliktir (m). Ağın çevresi boyunca veya ağın köşelerinde topraklama çubuğu varsa, ayrıca hem çevresi boyunca hem de ağ alanının her yerinde topraklama çubukları varsa  $K_{ii} = 1$ 'dir. Ağda hiç topraklama çubuğu yok veya birkaç topraklama çubuğu var ve bunlarda çevresinde ya da köşelerinde yerleştirilmemiş ise:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \quad (16)$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (17)$$

$h_0$  ızgara referans derinliğidir ve  $h_0 = 1\text{m}$ 'dir.

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \quad (18)$$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p}, n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} \quad (19)$$

$$n_c = \left[ \frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{0.7A}, n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L^2_x + L^2_y}} \quad (20)$$

Bu eşitliklerde; kare ağ için  $n_b = 1$ , kare ve dikdörtgen ağlar için  $n_c = 1$ , kare dikdörtgen ve L şekilli ağlar için ise  $n_d = 1$ 'dir. A topraklama ağının kapladığı toplam alanı ( $\text{m}^2$ ),  $L_p$  topraklanacak yerin çevresini (m),  $L_x$  yatay yönde ağın maksimum uzunluğunu (m),  $L_y$  düşey yönde ağın maksimum uzunluğunu (m) ve  $D_m$  ise ağda bulunan herhangi iki nokta arasındaki maksimum mesafeyi (m) ifade eder.

**Schwarz denklemleri:** Schwarz homojen toprak içinde yatay olarak topraklama ızgarasını, dikey olarak ise topraklama çubuklarını kullanarak istenilen toplam topraklama direncini hesaplamada yeni bir denklem geliştirmiştir (Schwarz, 1954). Toplam topraklama direncini hesaplamada kullanılan Schwarz denklemleri eşitlik 21'de verilmektedir.

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_M^2}{R_1 + R_2 - 2R_M} \quad (21)$$

Bu eşitlikte;  $R_1$  topraklama ızgarası iletkenlerinin topraklama direncini (W),  $R_2$  topraklama çubuklarının topraklama direncini (W),  $R_M$  topraklama ızgarasının topraklama direnci  $R_1$  ile topraklama çubuklarının topraklama direnci  $R_2$  arasındaki karşılıklı direnci (W) ifade eder. Topraklama ızgarasının topraklama direnci eşitlik 22'deki gibi hesaplanır.

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{a} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (22)$$

Bu eşitlikte;  $r$  toprak öz direncini,  $L_c$  topraklama ızgarasında kullanılan toplam iletken uzunluğunu (m),  $a = (a.2h)^{0.5}$  h derinliğindeki iletken uzunluğunu (m),  $2a$  iletken çapını (m),  $A$  topraklama ızgarasının kapladığı alanı (m<sup>2</sup>) ifade eder. Topraklama çubuklarının topraklama direnci eşitlik 23'deki gibi hesaplanır.

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_r L_r} \left[ \ln \left( \frac{4L_r}{b} \right) - 1 + \frac{2k_1 L_r}{\sqrt{A}} \cdot (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right] \quad (23)$$

Bu eşitlikte;  $L_r$  topraklama çubuklarının boyunu (m),  $2b$  topraklama çubuklarının çapını (m),  $n_r$  toplam alanda kullanılan topraklama çubuğu sayısını ifade eder. Topraklama ızgarası ile topraklama çubukları arasındaki karşılıklı direnç eşitlik 24'deki gibi hesaplanır.

$$R_M = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{L_r} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (24)$$

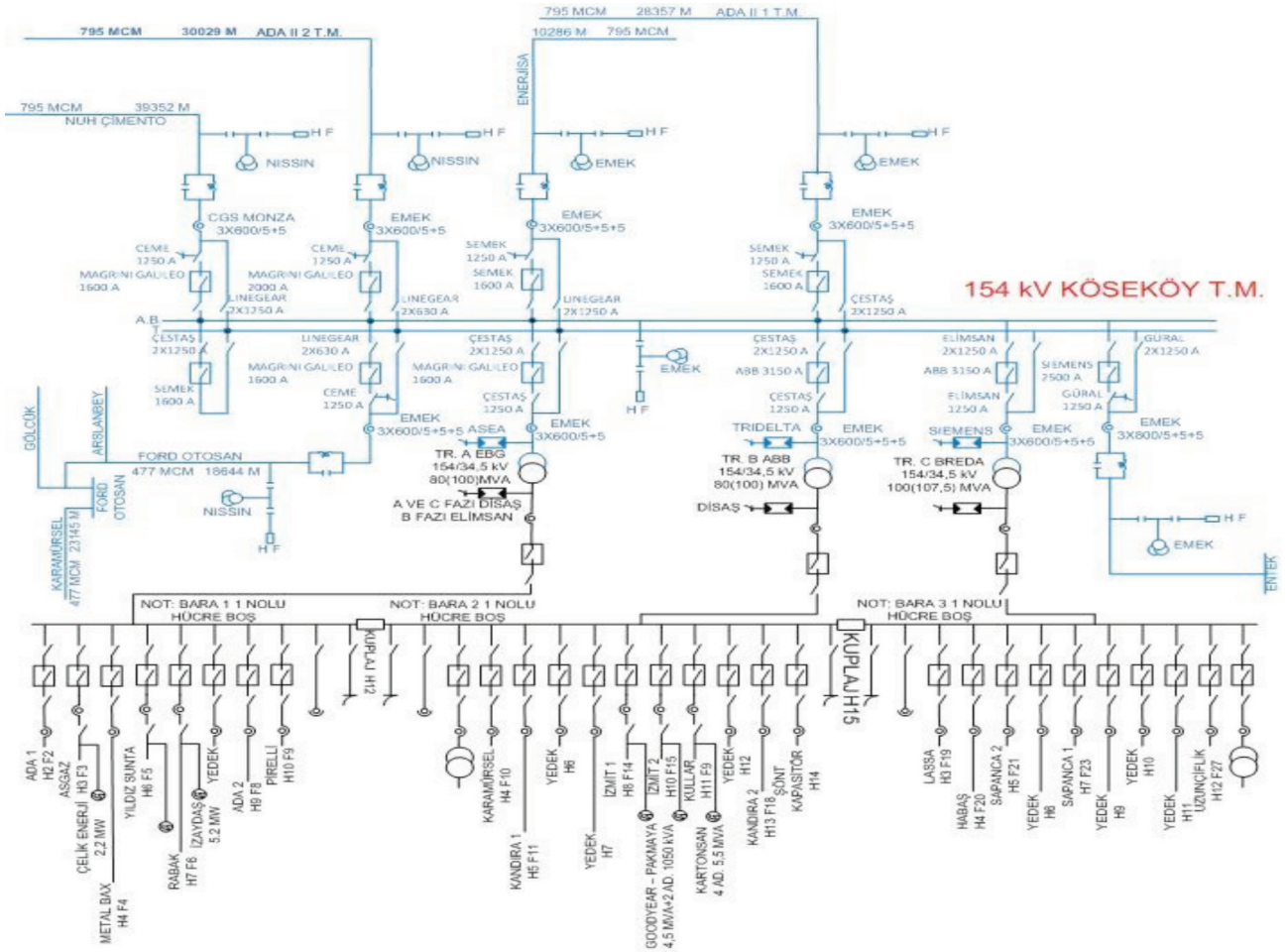
Topraklama sisteminde topraklama çubukları kullanıldıysa topraklama direnci hesabında schwarzs denklemlerinin kullanılması ile daha iyi sonuç elde edilmektedir (Katipoğulları, 2003).

## TOPRAKLAMA AĞI PROJELENDİRİLMESİ YAPILAN 154 KV KÖSEKÖY TRAFİ MERKEZİNİN TANITILMASI

154 kV Köseköy trafo merkezi tek hat şeması şekil 2'de verilmiştir.

154 kV Köseköy trafo merkezinde 1 adet EBG marka 154/34.5 kV 80(100) MVA, 1 adet ABB marka 154/34.5 kV 80(100) MVA ve 1 adet BRED A marka 154/34.5 kV 80(100) MVA olmak üzere toplam üç adet güç trafosu mevcuttur.

Güç trafolarının nötr noktalarında 3 adet nötr direnci bulunmaktadır. Bu nötr dirençleri trafo A için tek



Şekil 2. 154 kv köseköy trafo merkezinin tek hat şeması

imali 34500/Ö3 V, 600 A, 33.2 W, trafo B için öz direnç imali 33000/Ö3 V, 600 A, 33.2 W, trafo C için öz direnç imali 36000/Ö3 V, 1000 A, 20.78 W'dur.

154 kV bara sistemi 2x795 MCM iletkenli çift baralı (Ana bara + Transfer bara) sistem olup; 3 adet trafo fideri, 1 adet transfer fideri ile 6 adet hat fiderinden oluşmaktadır. Köseköy trafo merkezindeki hat fider isimleri; Fordotosan, Entek, Ada II 1. devre, Ada II 2. devre, Enerjisa ve Nuh çimento'dur.

34.5 kV bara sistemi ise Bara-1, Bara-2 ve Bara-3 olmak üzere toplam 36 adet metal clad hücreden oluşmaktadır. Bara-1'de 9 adet çıkış fideri, 1 adet gerilim trafosu ile iki barayı birleştiren 1 adet kublaj hücresi bulunmaktadır.

Bara-1'e ait 34.5 kV hat fider isimleri; Ada-I, As-gaz, Metalbox, Yıldız-Sunta, Rabak, İzaydaş, Ada-II, Pirelli'dir. Bara-2'de 9 adet çıkış fideri, 1 adet şönt kapasitör fideri, 1 adet gerilim trafosu, 1 adet servis trafosu fideri (Best marka 36/0.4 kV, 160kVA) ile iki barayı birleştiren 1 adet kublaj hücresi bulunmaktadır. Bara-2'e ait 34.5 kV hat fider isimleri; Karamürsel, Kandıra-I, Kandıra-II, Kullar, İzmit-I, İzmit-II'dir. Bara-3'de 9 adet çıkış fideri, 1 adet gerilim trafosu ile 1 adet servis trafosu fideri (Etitaş marka, 34.5/0.4kV, 100kVA) bulunmaktadır. Bara-3'e ait 34.5 kV hat fider isimleri; Habaş, Sapanca-I, Sapanca-II, Uzunçiftlik, Lassa'dır.

Standart SELVAZ yöntemi ölçme kuralları: **Yüksek gerilim şalt sahası büyüklüğü ne olursa olsun toprakta dolaşan akımlarla birlikte, bu akımların toprakta yarattığı gerilim farkları da büyüktür. Bu gerilim farklarının toprak megerine etkisi yüzünden toprak megeri ile yapılan ölçümler doğru sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle yüksek gerilim şalt sahalarında SELVAZ yöntemi ile ölçüm yapılması gerekmektedir. SELVAZ yöntemi ile ölçüm yaparken uyulması gereken kurallar;**

- Şalt sahasının tüm enerjisi kesilecektir. (Şalt sahası çıkış ve giriş fiderleri hem merkezden hem de karşı taraftan açılır ve topraklanır. İç ihtiyaç trafosu açılır, tersten beslemeye karşı önlem alınarak müşteriler uyarılır ve hatları topraklanır. Tüm ayırıcılar emniyet tedbiri olarak açılır. Trafo merkezi yakınından direk geçen enerji iletim hatlarının koruma teli iletkenleri şalt sahasına irtibatlı ise, bu iletim

hatlarının enerjisi kesilir ve topraklanır. Eğer şalt sahasına 100 m' den daha yakın mesafede dağıtım hatları var ise tehlike arz edeceğinden söz konusu dağıtım hatları açılır ve topraklanır.)

- Trafo merkezi toprağı ile akım elektrotu arasında en az 5 A, en fazla 10 A akım akıtılacaktır.
- Akım elektrotlarının ters istikametinde gerilim elektrotu ile ölçüme başlanacak ve ters istikamette testlere devam edilecektir.
- İlk ölçüme çit telinden başlanacaktır. Çit teli trafo merkezi toprağına bağlanmamış olacaktır. (Yeni trafo merkezleri için)
- Akım elektrotları mutlaka 5a uzaklığında şalt sahasının topraklama sisteminden uzağına yerleştirilecektir.
- Test elektrotları mutlaka 90 derecelik bir açıyla yere çakılacaktır.
- Akım elektrotlarının direnci küçük olacaktır. (Direnci düşürmek amacıyla 2 – 5 adet kazık elektrot çakılır ve kazıklar paralel bağlanır.)
- Devreden 10 A geçirmek amacıyla 720 volttan yukarı tehlikeli gerilim değerlerine çıkılmayacaktır.
- Canlıların ölçüm sırasında akım elektrotlarına yaklaşması önlenecektir.
- Gerilim elektrotu direnç ölçümünü etkilemeyecek şekilde olacak ve mukavemet bakımından ise dayanıklı olacaktır.
- Akım ve gerilim elektrotları diğer topraklama alanlarının mutlaka 10 m açığına yerleştirilecektir. (Yüksek gerilim direkleri de dahil.)
- Ölçmeler en az 50 m aralıklarla gerilim elektrotu yer değiştirmek suretiyle yapılacaktır.
- Gerilim elektrotunun derinliği 70 cm derinlikten az olmayacaktır.
- Trafo merkezinin etrafında çit teli tesis edilmemiş ise, ilk ölçme gerilim elektrotu çit telinin tesis edileceğı yere çakılarak yapılacaktır. Trafo merkezine çit teli tesis edilmiş ancak trafo merkezi toprağı ile irtibatlı değil ise, çit teli ilk gerilim elektrotu olarak kabul edilecektir.

- Ölçme işlemi arka arkaya % 10 toleransla üç eşit değer alınıncaya kadar devam edecektir.
- Akım ve gerilim elektrotlarının yeri, birbirleri arasında en az 90 derece en fazla ise 180 derece açı olacak şekilde seçilecektir.
- SELVAZ bağlantısındaki trafo merkezi – toprak irtibatı mümkün olan en kısa kablolarla iki ayrı yerden bağlanacaktır.
- Maksimum gerilim verildiği halde sistem düzeneğinde akıtılan akım 2 A 'den düşük ise, akım elektrotuna ilave elektrotlar bağlanacaktır.
- Son gerilim elektrotunun bulunduğu yerde çit telinin topraklama direnci mutlaka ölçülecektir.
- Arka arkaya alınan üç değer birbirlerine % 10 toleransla eşit olur ise, bu üç değerın ortalaması topraklama direncinin değeri olarak alınacaktır.

#### 154 KV KÖSEKÖY TRAFÖ MERKEZİ TOPRAKLAMA EMPEDANSININ ÖLÇÜLMESİ

**Topraklama empedansının ölçülmesi, mevcut trafo merkezi topraklama sisteminin kaç ohm olduğu tespit etmek için kullanılır. İşletmede olan veya yeni işletmeye girecek olan trafo merkezlerinin topraklama ağı kazıkları çakılmış, ağı üstü toprakla örtülmüş, yüksek gerilim teçhizatları döşenmiş ve çit teli çekilmiş vaziyette topraklama empedansı ölçümüne başlanır. Ölçme sırasında kullanılan cihazlar;**

**Tek fazlı transformatör (220 / 660 V 6,6 KVA):** Bu trafonun kullanılmasının sebebi gerilim düşmesini önlemektir. Ölçme sırasında 220 V kullanılır ise gerilimde elde edilen değerler çok küçük seviyelerde kalır. Mili volt seviyesinde elde edilecek olan değerler mikro volt seviyesine düşeceğinden esas değerlere ulaşılamaz.

**Tek fazlı ayarlanabilir oto transformatör (varyak):** Tek fazlı ayarlanabilir oto transformatörün görevi jeneratörden gelen 220 V AC gerilimin düzenli bir şekilde verilmesini sağlamaktır. Ölçüm yapılırken I giriş akımını sabit değerde tutularak hesaplamalarda kolaylık sağlanır.

**AC mikro voltmetre:** Bu voltmetre ile  $V$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  sistem kayıpları okunur. İstenmeyen ölçüm dışı geri-

limlerden etkilenmemesi için transistörlü bir yapıya sahiptir.

**Üniversal Voltmetre:** Tek fazlı transformatörün çıkışına paralel olarak bağlanır. Analog olanlar, dijital olanlara göre daha az salınım yaptığından dolayı tercih edilir.

**Filtre grubu (10 kW, 33 nF 600 V):** Direnç mili voltmetreye seri, kondansatör ise mili voltmetreye ve dirence paralel olarak bağlanarak filtre grubunu oluşturulur.

50 Hz frekans dışında oluşacak olan gerilim değerlerinin ölçülmesini önlemek amacıyla kullanılır.

**Jeneratör (220 V 2,5 kVA):** Ölçümlerin yapılması için gerekli olan enerji sağlamak amacıyla kullanılır.

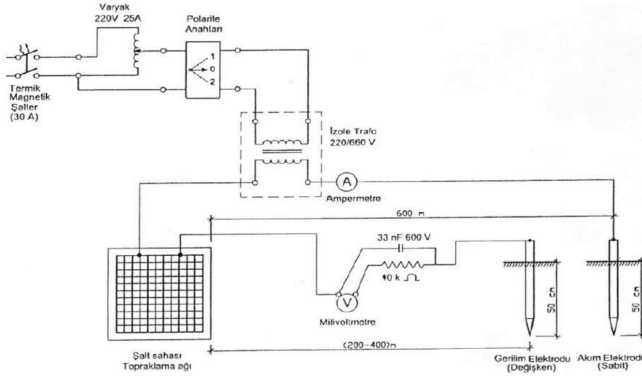
**Kablo:** En az 2000 m uzunluğunda çok telli – iyi izoleli 2 x 4 mm<sup>2</sup> 'lik kablo kullanılır.

#### 154 KV KÖSEKÖY TRAFÖ MERKEZİNDE SELVAZ YÖNTEMİNE GÖRE TESTLERİN YAPILMASI

Topraklama ağı projelendirilen 154 kV Köseköy trafo merkezine ait topraklanacak alanın eni 180 m, boyu 480 m olup, toplam alan 86400 m<sup>2</sup>'dir. 154 kV Köseköy trafo merkezinde testlere başlamadan önce SELVAZ yöntemine uygun cihaz ve bağlantı devresi kurulmuştur. SELVAZ yöntemi bağlantı şeması şekil 3'de verilmiştir. Akım ve gerilim elektrotları birbirlerine 180 derece açı oluşturacak ve akım elektrotları 5 m uzaklığında olacak şekilde toprağa çakılmıştır. Ölçmeye başlanmış ve devreden 5 A akım akıtılmıştır.

Bunun sonucunda 220 / 660 V 6,6 kVA'lık transformatörden 440 V olan devre gerilimi 710 V 'a çıkarılmış, devreden geçen akım ancak 5,02 A okunabilmiştir. Bu sırada devre gerilimi 714 V olmuştur.

5 adet 1 m uzunluğundaki bakır elektrotlar 75 cm toprağa çakılmıştır. Paralel bağlı akım elektrotunun direncini küçültmek amacıyla 2 adet daha kazık elektrot ilave çakılarak paralel bağlı kazık elektrot adedi 7 olmuştur. Bu durumda sistemden akan devre akımının 5.1 A olduğu görülmüştür.



Şekil 3. SELVAZ yöntemi bağlantı şeması

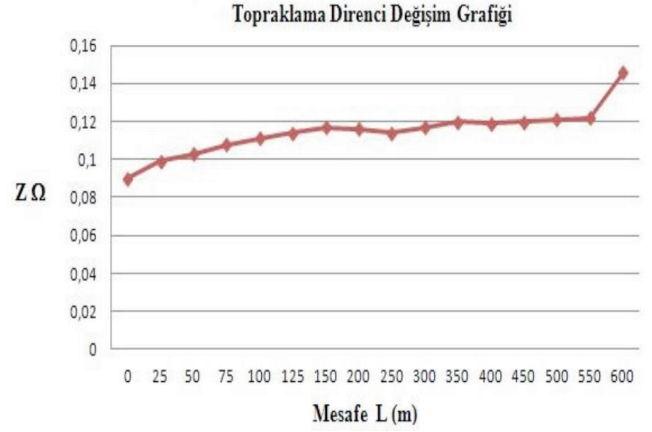
Gerilim elektrotunun yeri 50 – 100 – 150 m mesafelerle çakılmış ve devre akımının 5.1 A olarak sabit kalması sağlanmıştır. Akım elektrotlarının altına tuzlu su dökülmüş ve tuzlu suyun elektrot altına nüfus etmesi amacıyla 10 – 15 dakika beklenmiş ve devre akımı 5.23 A olarak ölçülmüştür. Bunun üzerine akım elektrotlarının yeri şalt sahasına göre kuzey istikametinden alınıp batı istikametine doğru çakılmıştır. Gerilim elektrotu da bu istikametten 130 derece ters istikamette çakılarak devre akımı ölçülmüştür. Yapılan topraklama direnç ölçümleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Şekil 4’de 154 kv köseköy trafo merkezindeki topraklama direnci değişim grafiği, çizelge 2’de temas gerilimi ölçüm değerleri, çizelge 3’de ise adım gerilimi ölçüm değerleri verilmiştir. 154 kv Köseköy trafo merkezindeki toprak özgül direncinin bulunması için ise 10 değişik noktadan 16 ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda toprak özgül direnci 27.64 Wm

Çizelge 1. Topraklama direnç ölçümleri

Uzaklık (L)	Test Akımı / Gerilimi		Kayıp $U_0$ (m V)	Ölçülen Gerilimler		Hesaplanan Değerler	
	Gerilim (V)	Akım (A)		$U_1$ (m V)	$U_2$ (m V)	$U$ (m V)	$Z$ (W)
0	248	5	7,2	446	456	451	<b>0,090</b>
25	248	5	6,8	495	500	497	<b>0,099</b>
50	248	5	7,5	512	521	516	<b>0,103</b>
75	248	5	8,7	540	545	542	<b>0,108</b>
100	248	5	8,1	551	557	554	<b>0,111</b>
125	248	5	8,5	567	571	569	<b>0,114</b>
150	248	5	11,2	581	585	583	<b>0,117</b>
200	248	5	11,5	578	583	580	<b>0,116</b>
250	248	5	13	570	575	572	<b>0,114</b>
300	248	5	13	585	590	587	<b>0,117</b>
350	248	5	14,8	598	598	598	<b>0,120</b>
400	248	5	12,2	597	596	596	<b>0,119</b>
450	248	5	9,8	601	601	601	<b>0,120</b>
500	248	5	13,5	605	601	603	<b>0,121</b>
550	248	5	15	613	606	609	<b>0,122</b>
600	248	5	10,86	728	734	731	<b>0,146</b>

bulunmuştur. 154 kv Köseköy trafo merkezindeki topraklama direnci ise 0.115 Wm bulunmuştur.



Şekil 4. Topraklama direnci değişim grafiği

Çizelge 2’deki ölçüm noktaları sırasıyla;

**T1:** Ada II – 2 fideri akım trafosudur.

**T2:** Ada II – 2 fideri ana bara – 1 ayırıcısıdır.

**T3:** Ana bara – II gerilim trafosudur.

**T4:** Ada – II – 2 fideri gerilim trafosudur. **T5:** Trafo A fideri parafudur’udur.

**T6:** Trafo A rayıdır.

**T7:** Trafo A fideridir.

**T8:** Çit teli – I’ dir.

**T9:** Çit teli – II’ dir.

**T10:** Şarpant kule – I’ dir.



Çizelge 2. Temas gerilimi ölçümleri

Ölçüm Noktası	Test Akımı / Gerilimi		Kayıp U <sub>0</sub> (m V)	Ölçülen Gerilimler		Hesaplanan Değerler	
	Gerilim (V)	Akım (A)		U <sub>1</sub> (m V)	U <sub>2</sub> (m V)	U (m V)	Temas (V)
T1	248	5	0,9	52,8	53	53	264
T2	248	5	0,9	17,7	17,8	18	89
T3	248	5	1,1	10,7	11,8	11	56
T4	248	5	1,1	37,2	37,3	37	186
T5	248	5	1,1	14,3	14,5	14	72
T6	248	5	0,9	5,6	5,7	6	28
T7	248	5	0,8	5,7	5,9	6	29
T8	248	5	0,9	6,5	6,7	7	33
T9	248	5	0,8	6,7	6,9	7	34
T10	248	5	1,1	20,1	20,3	20	101
T11	248	5	1,0	22,8	22,9	23	114
T12	248	5	0,8	10,7	10,8	11	54
T13	248	5	0,9	8,7	8,2	8	42
T14	248	5	0,9	16,5	16,6	17	83
T15	248	5	0,9	12,3	12,4	12	62
T16	248	5	0,9	29,9	30,5	30	151
T17	248	5	1,1	35,4	35,5	35	177
T18	248	5	1,0	15,3	15,5	15	77
T19	248	5	1,1	40,0	40,5	40	201
T20	248	5	1,1	38,9	39,3	39	195

**T11:** Şarpank kule – II' dir.

**T12:** Trafo A fideri akım trafosudur.

**T13:** Trafo A fideri kesicisidir.

**T14:** Transfer ayırıcısıdır.

**T15:** Entek fideri kesicisidir.

**T16:** Entek fideri gerilim trafosudur.

**T17:** Nuh çimento gerilim trafosudur.

**T18:** Transfer fideri kesicisidir.

**T19:** Ada II – 1 fideri akım trafosudur.

**T20:** Arslanbey fideri akım trafosudur.

Çizelge 3'deki ölçüm noktaları sırasıyla;

**A1:** Ada II – 2 fideri akım trafosudur.

**A2:** Ada II – 2 fideri ana bara – 1 ayırıcısıdır.

**A3:** Ana bara – II gerilim trafosudur.

**A4:** Ada – II – 2 fideri gerilim trafosudur.

Çizelge 3. Adım gerilimi ölçümleri

Ölçüm Noktası	Test Akımı / Gerilimi		Kayıp U <sub>0</sub> (m V)	Ölçülen Gerilimler		Hesaplanan Değerler	
	Gerilim (V)	Akım (A)		U <sub>1</sub> (m V)	U <sub>2</sub> (m V)	U (m V)	Adım (V)
A1	248	5	0,7	3,1	3,2	3	19
A2	248	5	0,7	5,2	5,4	5	33
A3	248	5	0,8	0,9	1,0	1	3
A4	248	5	0,7	4,8	4,6	5	29
A5	248	5	1,5	2,5	2,7	2	13
A6	248	5	0,7	4,2	4,4	4	27
A7	248	5	1,0	15,7	16,0	16	100
A8	248	5	0,7	1,3	1,3	1	7
A9	248	5	0,6	0,9	0,8	1	4
A10	248	5	0,7	1,8	1,9	2	11
A11	248	5	0,6	3,6	3,5	3	22
A12	248	5	0,7	2,7	2,9	3	17
A13	248	5	0,7	6,7	6,2	6	42
A14	248	5	0,7	6,1	6,2	6	41
A15	248	5	0,8	1,5	1,1	1	7
A16	248	5	0,7	6,2	6,3	6	44

- A5:** Trafo A fideri parafudur'udur.  
**A6:** Trafo A rayıdır.  
**A7:** Trafo A fideridir.  
**A8:** Trafo A fideri akım trafosudur.  
**A9:** Trafo A fideri kesicisidir.  
**A10:** Entek fideri kesicisidir.  
**A11:** Transfer ayırıcısıdır.  
**A12:** Entek fideri gerilim trafosudur.  
**A13:** Nuh çimento fideri gerilim trafosudur.  
**A14:** Transfer fideri kesicisidir.  
**A15:** Ada II – 1 fideri akım trafosudur.  
**A16:** Arslanbey fideri akım trafosudur.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüksek gerilim tesislerinin kurulumuna başlanırken ilk ve en önemli adımı olarak değerlendirilen topraklama ağlarının elektriksel bazda projelendirilmesi ele alınmıştır. Topraklama ağının projelendirilmesi, topraklama direncini standartların öngördüğü limitler içerisinde tutarken, aynı zamanda ağın hesaplanan temas ve adım gerilimlerini müsaade edilebilir maksimum temas ve adım gerilimlerinden küçük olmasını sağlar.

Topraklama sistemlerinde topraklama direnci ile topraklama empedansı ölçülmesinde temel ölçme metodlarının benzer olduğu görülmektedir. Topraklama sistemlerinin daha karmaşık bir yapıya sahip olmalarından dolayı, akım enjekte edilecek merkez noktanın yerinin belirlenmesi oldukça güçtür.

Gerçek trafo merkezi verileri temel alınarak yapılan tasarımlarda, toprak öz direncinin etkin bir ağ parametresi olduğunu, ağda kullanılacak toplam iletken ve çubuk uzunluğunu ve dolayısıyla maliyeti, ayrıca temas ve adım gerilimleri ile topraklama direncini de doğru orantılı olarak etkilediğini göstermiştir.

Toprak öz direnci düşük olan alanlarda, az iletken ve çubuk, az derinlik kullanılarak az maliyette sağlanmış olunacak, ayrıca düşük temas ve adım gerilimleri

elde edilmiş olunacaktır. Topraklama ağının uygun olarak elektriksel bazda projelendirilmesi, hem canlıların hem de çalışacak olan teçhizatların tehlikeli gerilim değerlerine maruz kalmasını engelleyerek, en az maliyeti sağlamış olacaktır.

## TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmaya vermiş oldukları desteklerden dolayı, TEİAŞ 5. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Çelikyay, M., 1995. Enerji sistemlerinde topraklama ağlarının bilgisayar destekli analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83.
- Darman, A., 2006. Sonlu farklar yöntemi ile topraklama ağlarındaki potansiyel dağılımının hesaplanması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67.
- Gürsu, B., İnce, M.C., 2007. Genetik algoritmalar ile yüksek gerilim istasyonlarında optimum topraklama ağı tasarımı. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (4) 511-524.
- IEEE Std.80-2000. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- Jones, P., 2001. Electrical measurement of large area substation earth grids. The University of Sydney Ph.D. Thesis.
- Katipoğulları, O., 2003. Karmaşık topraklama sistemlerinde topraklama empedansının ölçülmesi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 47-59.
- Mürtezaoğlu, K., 1998. Yüksek gerilim istasyonlarında topraklama sistemi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92.
- Neri, F., 2004. A new evolutionary method for designing grounding grids by touch voltage control. IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 2, 1501-1505.
- Schwarz, S.J., 1954. Analytical expression for resistance of grounding systems. AIEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 73 (13), Part III-B: 1011-1016.
- Sverak, J.G., 1984. Simplified analysis of electrical gradients above a ground grid. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 103 (1): 7-25.