

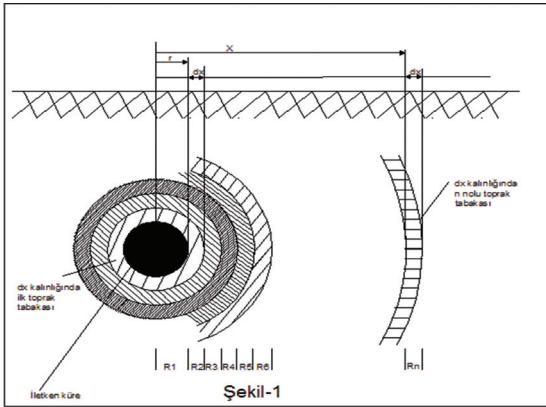
TOPRAKLAMA TESTLERİNİN İLERİ İRDELENMESİ BÖLÜM-1

Nebi MUTLU

Elektrik Mühendisi
EMO Ankara Şubesi Üyesi
nebi.mutlu@emo.org.tr

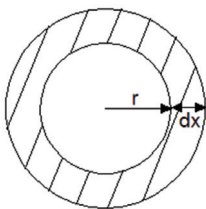
1- TOPRAKLAYICI İÇİN GENEL BAKIŞ:

Kolay anlatılabilir olması nedeniyle bir adet küre iletkenin toprağa gömülmesi yoluyla elde edilen topraklama sisteminin toprak geçiş direncini irdeleyeceğiz. Bunun için iletken küre etrafını saran toprağı ard arda gelen dx kalınlığında içi toprak dolu katmanlara ayıralım. Küreden başlayan sonsuz uzaklığa kadar sonsuz sayıda katman oluşur.



Şekil-1 de bir iletken küre etrafını kapatan toprak kütlesini dx kalınlığında n adet içi boş küre olarak göz önüne alalım. İlk küre r yarı çapında dx kalınlığında, n no lu küre ise d+n.dx yarıçapında dx kalınlığındadır. İlk kürenin iç yüzeyine gelen I elektrik akımı dx kalınlığını geçip dış yüzeye oradan 2. katmana ve ara katmanları geçtikten sonra n no lu katmanın iç yüzeyinden girer dış yüzeyden çıkar bu şekilde sonsuza doğru gider. Akıma karşı duran toplam direnç 1 den n no lu katmana oradan da sonsuza kadar katmanların dirençleri toplamıdır. Elektrik akımına karşı bir katmanın gösterdiği direnç toprak küresinin yüzeyi ile ters ve katmanın kalınlığı ile doğru orantılıdır. Elektrik akımı içten dışa doğru giderken her katmanın direnci bir önceki katmana göre uzaklaştıkça ihmal edilecek seviyeye ulaşır. n nolu katmanın yarıçapı rn, katmanın toprak özgül direnci p olsun direnci ise ,

$$R_n = p \cdot \frac{dx}{4 \cdot 3,14 \cdot r_n \cdot r_n} \text{ Olur.}$$



Burda Rn direncini oluşturan malzemenin kalınlığı dx, kesiti $4 \cdot 3,14 \cdot r_n^2$, özgül direnci p 1 nolu katmanın direnci ise,

$$R_1 = p \cdot \frac{dx}{4 \cdot 3,14 \cdot r_1 \cdot r_1} \text{ dir.}$$

$$R_N = p \cdot \frac{dx}{4 \cdot 3,14 \cdot N \cdot r_1 \cdot N \cdot r_1} \text{ dir.}$$

Şekil-2

R1 direnci ile RN direnci arasındaki bağıntıyı bulalım

$$R_N = p \cdot \frac{dx}{4 \cdot 3,14 \cdot N \cdot r_1 \cdot N \cdot r_1} = p \cdot \frac{dx}{4 \cdot 3,14 \cdot r_1 \cdot r_1 \cdot N \cdot N}$$

$$R_N = R_1 \cdot \frac{1}{N^2}$$

r1 topraklama elektrodu olan iletken kürenin yarıçapı, rn ise bu küre merkezinin yer yüzü hizasından n. noktanın uzaklığı. Sayısal örnek üzerinde çalışalım. Topraklama elektrodu olan kürenin yarıçapı r1= 1 m, kürenin yarıçapından 20 kat uzaklıktaki nokta için rn=20 m olur. Ozaman ilk kürenin direnci ile 20 metre uzaktaki kürenin direnci şöyle ilişkilendirir. $R_{20} = R_1 \cdot 1 / (20 \cdot 20)$ $R_{20} = R_1 \cdot 0.0025$ ilk kürenin direnci ile 20 metre uzaktaki kürenin direnci $R_{20} = R_1 \cdot 0.0025$ şeklinde ilişkilendirilir. $R_1 = 10$ ohm ise $R_{20} = 0.025$ ohm olur. 0.5 metre uzaktaki katmanın direnci $R_2 = R_1 \cdot 1 / ((1+0.5) \cdot (1+0.5))$ $R_2 = R_1 \cdot 0.44 = 10 \cdot 0.44$ $R_2 = 4.4$ ohm olur. Elektrottan toprağa akan akıma karşı gösterilen direnç akımın karşılaştığı her katmanın dirençlerinin toplamı yani $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ $R = 10 + 4.4 + \dots + 0.025$ olur. Burda 0.025 ohm ihmal edilecek kadar küçüktür. Doğal olarak ondan daha uzak olan katmanların direnci zaten ihmal edilebilir. Uzaklık arttıkça akan akım aynı ama aktığı katman yüzeyi karesel büyüdüğünden direnç gittikçe küçülür. Toplam direnç içinde ihmal edilebilir. Dirençler böyle iken her katmanda akan akımla orantılı gerilim oluşur. Katmanlarda düşen toplam gerilimi ölçer akan akıma bölürsek toprak yayılma direncini buluruz. Burda bir proplem topraklama küresinden sonsuz uzaklığa kadar olan katmanlarda düşen gerilimlerin toplamını ölçmemiz gerekir ama pratik olarak mümkün değil. Çünkü Voltmetre propunun bir ucu iletken küredeyken diğer ucu sonsuz uzaklıkta katmanda olmalı yani sonsuz uzaklıkta voltmetre kablosu gerekli ki bu mümkün değil. Ozaman pratik olarak uygulanabilir voltmetre kablosu seçmeliyiz. Ozaman voltmetre kablosunun ulaştığı katmandan sonraki katman dirençleri toplama dahil

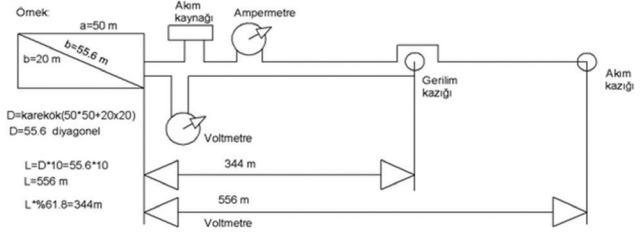
olmayacaktır. Bu nokta yaklaştıkça toplama katılmayan direnç miktarı artacaktır. Öyle bir uzaklık seçmeliyiz ki toplama girmeyen dirençlerden dolayı hesaplanan yayılma direnç hatası kabul edebileceğimiz seviyede olmalıdır. O zaman toprak yayılma direnci ölçümü için topraklama elektrodundan ne kadar uzağa voltaj probunu batıracağımız çok önemlidir. İkinci önemli nokta, ölçme için toprak elektroduna verilen akımın toprakta yayıldıktan sonra ilerde bir noktadan toplanıp akımı temin eden kaynağa dönmesi gerekir. Akımın toplanacağı ilerdeki bu nokta nerde olmalı. İlerdeki akım toplanma elektroduna doğru akım gelirken çok geniş toprak katman yüzeylerinden geçerek çok küçük toplanma elektrod yüzeyinden dönüş iletkenine çıkar. Bu sırada toprak katmanlarına gerilim düşümü oluşur. Bu gerilim düşümlerinin etki edebilecek seviyede olanlarının voltaj ölçme kablosuna erişmemesi gerekir ki ölçme hatası izin verdiğimiz seviyede kalsın. Burdan da anlaşılan dikkate alınabilecek en önemli ikinci konu akımın toplanacağı akım kazığının ne kadar uzağa batıracağımız konusudur. Özet olarak önemle dikkate alacağımız üç büyüklük sırası ile , topraklama küresinin çapı, gerilim kazığının bu küreden uzaklığı, akım kazığının bu küreden uzaklığıdır.

2- BİR TOPRAKLAMA SİSTEMİNE VERİLEN AKIMIN YER YÜZÜNDE TOPLAYIP ALACAĞIMIZ NOKTA SEÇİMİ:

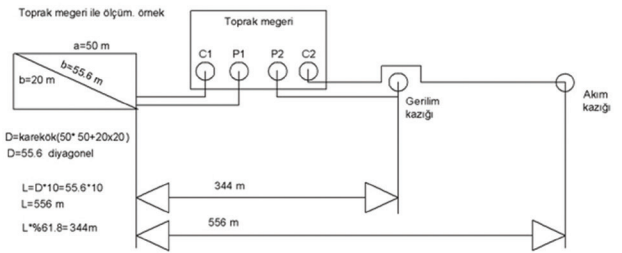
Bu uzaklıkları ölçmede %95 doğruluk sağlayabilmemiz için küre yarı çapı r_1 olsun küre merkezinden 20 kat ($L=20r_1$) uzaklığa akım kazığını, akım kazığı uzaklığının %61,8 kadar uzaklığa gerilim kazığını çıkarız. Gerilim kazığı ile toprak elektrodu arasında ölçülen voltajı topraklama elektroduna akıtılan akıma bölersek %95 doğrulukla bu topraklama küresinin topraklama yayılma direncini ölçmüş oluruz.

Aşağıda bir akım kaynağı ile topraklama ağına akım akıtıp o akımı yeryüzüne yeterince uzak bir noktada oluşturulan akım toplayıcı kazıkla kaynağa tekrar giriş yapıp bu akımın toprağa geçişine karşı koyan test altında olan topraklayıcımızın yayılma direncinin oluşturduğu toplam gerilim düşümünü ölçüp akıttığımız akıma bölerek ölçmeye örnek bir şekil aşağıdadır. Aynı işlemi toprak megeri dediğimiz cihazlar yapmaktadır. Farklı cihaz bizim dışımızda kendi belirlediği akımı akıtmakta , topraklayıcımızın sebep olduğu gerilimi ölçüp akıttığı akıma bölüp ekranında bize direnç olarak vermektedir. Yalnız ağ çapı büyüdükçe akım akıtacağımız uzak akım toplama kazığının topraklayıcımız mesafesi büyüyeceğinden meger dediğim cihazlar test akımını sağlayamayacağı gibi topraklayıcıdan uzak noktaya

akım taşıyan kablonun yere olan kondansatör davranışı nedeniyle büyük çapta kapasitif akım akacaktır. Bu kapasitif akım esas ölçme için olanın yanında önemsenerek seviyeye erişebileceğinden. Büyük hatalara sebep olabilir.



Hatalı ölçüm sonuçlarına rağmen konunun anlaşılır olması için akım kaynağı yerine meger denilen cihazla ölçüm devresini aşağıda gösterdim.



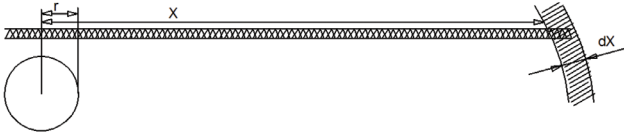
Burada Toprak megerinin C1 ucundan cihaz toprak ağına akım akıtır. C2 ucundan bağlı olduğu kazık vasıtasıyla C1 den çıkan akımın dönüşünü sağlar ve bu sırada akan akımı ölçer. P1 ucunun bağlı olduğu topraklama sistemi ile P2 ucuna bağlanan kazık noktası arasında ki gerilim düşümünü ölçer ve bu gerilimi , ölçmüş olduğu akıma bölerek ekranında ohm cinsinden toprak geçiş direncini görüntüler.

Toprak megerini satın alıp kutusundan çıkarttığımız zaman C2 ucuna bağlanacak iletken $L=30\sim 40$ m uzunluğundadır. dolayısıyla mevcut kablolarla %95 doğrulukla ölçebileceğimiz topraklama ağ boyutu şöyle olur. $L=40$ metre olsun $L=20 \times D$

$D=L/20$ $D=40/20=2$ metredir. Topraklama ağ çapı 2 metreden büyük olduğu zaman ölçme hatamız %5 den büyük olacaktır. %5 den fazla hataya sebep olmak için C2 akım ve P2 gerilim uçlarına bağlanacak kabloların boyu gerektiği kadar uzatılmalıdır. Ancak kablo boyu uzadıkça zemin üzerine serilen kablo ile zemin arası oluşan kondansatör büyüyecek ve 128 Hz lik cihaz akımının büyük bir bölümü de akım kazığı yerine zeminin o kazıktan daha yakın noktalardan oluşan kondansatör yoluyla dönecektir. Bu da ölçme hatasına sebep olacaktır. Tesiste elektrik enerjisi bağlantısı varsa topraktaki kaçak akımlarda akım kablosundan cihaza

erişerek ölçme hatasına sebep olacaktır. Cihazın C1 ucu ile bu uçtan çıkan ölçme kablosu arasına bir avometre bağlanır ve mAmper kademesinde ölçme yapacak şekilde kademe seçilir. Akım kablosu kazığa bağlanmadan Okunan mAmper değeri 1 mA olsun akım kablosu kazığa bağlandıktan sonra okunan akım 10 mA olsun. 1/10 oranında yani %10 hata yapmış oluruz. Bu hataya razıysak ölçmeye devam ederiz. Kaçak akımlar fazla ise devam edemeyiz. Kaçak akımın fazlalığı şöyle anlaşılır. Cihazın test butonuna her basışımızda farklı direnç okuyorsak kaçak akımlar fazladır. Test butonuna her basışımızda aynı direnci okuyorsak kaçak akımlar ihmal edilecek seviyededir.

BİR TOPRAKLAMA AĞI ÖLÇÜLMESİNDE KULLANACAĞIMIZ KABLO UZUNLUĞU NE OLMALI KONUSUNDA MATEMATİK YAKLAŞIM:



X yarıçapında kürenin yüzey alanı $4 \cdot 3.14 \cdot X \cdot X$ olduğuna göre dx kalınlığında ve bu küreyi oluşturan toprak özgül direnci Q ise bu kürenin iç yüzeyinden dış yüzeyine çıkan akıma göstereceği direnç dR şöyledir:

$dR = \rho \cdot dx / (4 \cdot \pi \cdot X \cdot X)$ küreden X uzaklıkta dX kalınlığında toprak katmanının dienci dR dir. Gerilim ölçme kazığı X uzaklığına çakıldığında toprak katmanlarının X uzaklığından sonraki kısmı kadar direnç topraklama sisteminin topraklama yayılma direncinde eksik olacaktır bu ne kadar hataya sebep olur. İşte bunu bilirsek bu duruma göre davranırız. Örneğin kabul edeceğimiz hata oranına göre gerilim kazığı uzaklığını seçeriz.

L bilinen uzaklığa gerilim kazığı çakalım o zaman:

Ölçülen direnç= r uzaklığından (yani iletken küre yüzeyinden) $L = n \cdot r$ uzaklığına kadar olan direnç toplamı.

Ölçüye girmeyen direnç kısmı= $L = n \cdot r$ uzaklığından sonsuz noktaya kadar olan dirençler toplamı.

$$\text{Ölçülen direnç} = \int_{X=r}^L dR_x = \int_{X=r}^{n \cdot r} \frac{Q \cdot dx}{(4 \cdot \pi \cdot X \cdot X)} = - \left(\frac{Q}{(4 \cdot \pi)} \right) \cdot \frac{1}{X} \Big|_{X=r}^{n \cdot r}$$

$$\text{Ölçülemeyen direnç} = \int_{X=L}^{\infty} dR_x = \int_{X=L=n \cdot r}^{\infty} \frac{Q \cdot dx}{(4 \cdot \pi \cdot X \cdot X)} = - \left(\frac{Q}{(4 \cdot \pi)} \right) \cdot \frac{1}{X} \Big|_{X=n \cdot r}^{\infty}$$

R ölçülen = $\left(\left(\frac{Q}{(4 \cdot \pi)} \right) / r \right) - \left(\left(\frac{Q}{(4 \cdot \pi)} \right) / n \cdot r \right) =$
R ölçülen = $\left(\frac{Q}{(4 \cdot 3.14)} \right) \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n \cdot r} \right)$ ölçü kazığına çakacağımız uzaklık r nin n katı olsun. %5 hata için n ne olur ?

$$R \text{ ölçülen} = \left(\frac{Q}{(4 \cdot 3.14)} \right) \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n \cdot r} \right) \quad k = \left(\frac{Q}{(4 \cdot 3.14 \cdot r)} \right) \quad R \text{ ölçülen} = k(1 - 1/n) = k \left(\frac{n-1}{n} \right)$$

R ölçüye girmeyen kısım (hata) = L uzaklığından sonsuza kadar olan toprak bölümü = $\left(\frac{Q}{(4 \cdot 3.14)} \right) \cdot \left(\frac{1}{L} \right)$ $L = n \cdot r$ e göre = $\left(\frac{Q}{(4 \cdot 3.14)} \right) \cdot \left(\frac{1}{n \cdot r} \right) = k \cdot \left(\frac{1}{n} \right)$ hata %5 = R ölçüye girmeyen kısım (hata) / R ölçülen = $\left(k \cdot \left(\frac{1}{n} \right) \right) / \left(k \cdot \left(\frac{n-1}{n} \right) \right) = \left(\frac{1}{n} \right) / \left(\frac{n-1}{n} \right) = 1 / (n-1)$ $0.05 = 1 / (n-1)$ $n-1 = 1 / 0.05 = 20$ $n = 21$ çıkar yani gerilim kazığı topraklama ağ çapının 21 katı uzakta olursa %5 hata yaparız tabii ki bu gerilim kazığı olup akım kazığı da yeterli uzaklıkta olup ona akım toplanırken oluşan gerilimden ciddi miktar karışması. Yukarıdaki hesaba benzer hesap akım kazığının boyutu ile orantılı bir maksimum yaklaşma miktarı hesaplanır ki ölçüde sebep olacağı hata kabul edilebilir boyutta olsun.

Amerikan silahlı kuvvetler topraklama ile ilgili MIL-HDBK-419A nolu el kitabı sayfa 2-43 de tablo 2-6 nın 2. sırasında %95 doğruluk için elektrot aralığını topraklama sisteminin diyagonalinin 10 katı olması gerektiği kaydedilmiştir. Bu ise yarı çapın 20 katı demektir. Yukarıda anlattıklarımız bu el kitabı ile de hesabımız uyumludur.

Sonuç olarak ölçme sistemi kurulumu hatalı olursa cihazlarımız ne kadar doğru olursa olsun hatalı sonuçlar alırız , yetersiz ve tehlikeli bir topraklayıcıyı yeterli ve güvenilir olarak görebiliriz !

Bundan sonraki devam edecek ilk bölüm "TOPRAKLAMA SİSTEMİNE GÖRE REFERANS NOKTA" dır.

Yitirdiklerimiz...

Odamız 1475 sicil no'lu üyesi Yılmaz YAZAROĞLU, 1553 sicil no'lu üyesi Sami Sevinç TOPGAÇ , 54898 sicil no'lu üyesi Abdullah DİKİLİ, EMO Eski Onur Kurulu Üyesi Adnan BİLSEL ve Odamız 18290 sicil no'lu üyesi Zekeriya ARSLAN vefat etmiştir.

Hayatını kaybeden üyelerimizin ailesine ve sevenlerine sabır mühendislik camiasına başsağlığı diliyoruz.