

TÜRK MÜHENDİS VE MİMAR ODALARI BİRLİĞİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI



JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA YERİ TESPİT ETÜDÜ
NORMU

Şubat - 2016

Yönetim Kurulu'nun 23/02/2016 tarih ve 105 sayılı kararı ile Oda Normu olarak kabul edilmiştir.



Normun amacı; elektrik tesislerinin, baraj, şalt ve trafo sahalarının vb tesislerin topraklanması için en uygun toprak seviyesinin ve derinliklerinin belirlenmesidir. Bu amaçla; norm içerisinde temel topraklama bilgileri, yapılabilecek jeofizik çalışmalar ve jeofizik çalışma sonuçlarına dayalı hesaplanması gereken topraklama parametrelerinden bahsedilmiştir.

1. AMAÇ ve KAPSAM

Bu normun amacı, en uygun topraklamanın yapılabilmesi için yerin adım ve temas gerilimlerinin belirlenmesinde kullanılacak özdirenç değerlerini ve değişimlerini ölçmektir. Jeofizik özdirenç yöntemi uygulanarak elektrik tesislerinin baraj, şalt ve trafo sahalarının vb tesislerin topraklanması için en uygun (en iletken) yer altı seviyelerinin saptanmasını kapsar.

2. TOPRAKLAMA

Elektrik tesislerinde, baraj, şalt ve trafo sahalarında (şekil 1) vb gerilim altında olmayan bütün tesisat kısımlarının, olmayan bölümler ile sıfır iletkenleri ve bunlara bağlı bölümlerin uygun iletkenlerle toprak kütlesi içerisine yerleştirilmiş bir iletken cisme (elektrot) bağlanması, topraklama olarak adlandırılmaktadır. Bir diğer tanımla topraklama, elektriksel gerilim altına girebilecek tesislerin uygun iletkenlerle yer kütlesi içine yerleştirilmiş bir iletken cisme bağlanması işlemidir (şekil 2).



Şekil 1. Örnek trafo şalt sahaları

Topraklama sayesinde kaçak akımlar ve statik elektrik toprağa akacaktır ve bu şekilde hem can güvenliği sağlanacak hem de tesis ve ekipmanların zarar görmesi önlenecektir. Bir diğer amacı da meydana gelebilecek bir hata durumunda oluşacak “adım ve temas (dokunma) gerilimlerinin” insan hayatını tehlikeye sokacak mertebede olmasını önlemek veya bu tehlikeli gerilimleri tamamen ortadan kaldırmaktır. Topraklama; koruma, işletme, fonksiyon ve yıldırıma karşı topraklama şeklinde dört sınıfa ayrılabilir.



Şekil 2. Topraklama örnekleri

2.1. Topraklama ile İlgili Tarifler

2.1.1. Yayılma Direnci

Topraklama geriliminin, toprak kütesine giren akıma olan oranıdır.

2.1.2. Topraklama Gerilimi

Toprak kütesi içindeki toprak elektrodu dış yüzeyi ile çok uzakta olan bir nokta arasındaki gerilim düşümleri toplamıdır.

2.1.3. Topraklama Direnci

Yayıma direnci, topraklanan tesisat kısmında topraklayıcıya gelen iletkenlerin direnci ile topraklayıcı elektrodun kendi direnci toplamına eşittir.

2.1.4. Topraklayıcı

Gerilimin aktarılması için yerin içine yerleştirilmiş halka, ızgara, yuvarlak plaka, levha, kazık, bant vb şeklindeki cisimdir.

2.1.5. Temas (Dokunma) Gerilimi (U_T)

Herhangi bir canlının topraklama geriliminden köprülemiş olduğu kısma temas gerilimi denilir.

2.1.6. Adım Gerilimi (U_S)

Bir canlının iki ayağı vasıtasıyla köprülediği topraklama gerilimi miktarıdır. Topraklama geriliminin insanın 1 m'lik adım açıklığı ile köprüleyebildiği bölümüdür. Bu durumda insan vücudu üzerindeki akım yolu ayaktan ayağıdır. Düzenleyici *topraklayıcılar* ile dokunma ve adım gerilimlerini düşürmek mümkündür.

2.2. Mevzuat/Yönetmelikler ve Standartlar

Topraklama ile ilgili mevzuatta yer alan bazı yönetmelikler ve standartlar aşağıda verilmiştir.

- 21.08.2001 tarih ve 24500 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "*Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği*"
- 25.04.2013 tarih ve 28628 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "*İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği*"
- 30.11.2000 tarih ve 24246 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "*Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği*"
- TSE 4363 "*Doğal zeminlerin elektrik özgül dirençlerinin sahada tayini – Wenner dört elektrot metodu*" (11.12.1984)

-Kapsam : Bu standart, zeminlerin arazide doğal haldeki elektrik özgül direncinin dört elektrot metodu ile ölçülmesini kapsar.

-Türü : Method



3. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Topraklama yeri tespit etütlerinde jeofizik yöntemler, hızlı ve etkili sonuçlar üretmesi sebebiyle uzun yıllardır kullanılmaktadır. Temel amaç, elektrik tesislerinde oluşabilecek arızalar esnasında personelin can güvenliğinin sağlanması, elektrikli cihazlardaki tahribatın önlenmesi ve yıldırımların kontrol altına alınabilmesi için baraj ve santrallerin, trafo ve şalt merkezlerinin, enerji nakil hat direklerinin ve yıldırımların potansiyel tehlike oluşturduğu diğer yapıların topraklanmasında gerekli olan yer özdirençinin hesaplanmasıdır. Topraklama tespit etütlerinde elektrik yöntemler kullanılmaktadır.

Etüdü gerçekleştirecek mühendis tarafından çalışılacak sahasının büyüklüğü, proje detayları, imalatın türü, boyutları, avan projesi, çevresel etkiler, gerekliyse jeolojik koşullar vb göz önüne alınarak bir saha dizaynı ve ölçü planı yapılacaktır.

Topraklama yeri tespit etütleri için kullanılacak jeofizik yöntemler aşağıda verilmiştir. Hedef derinlikler, olası işletme planları, imalat özellikleri, finansal kısıtlamalar vb göz önüne alınarak bu yöntemlerden harici başka metotlar da kullanılabilir.

3.1. Elektrik Yöntemler

Topraklama etütlerinde kullanılan temel jeofizik uygulama, elektrik yöntemlerdir.

3.1.1. Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) Yöntemi

Bilindiği üzere; yeraltına bir akım kaynağından iki elektrot vasıtasıyla elektrik akımı gönderilirse, elektrik akımı yer içindeki metalik ortamlarda elektronlar, sıvı ortamlarda ise iyonlar ile veya her iki ortamın birlikte olduğu durumlarda elektron ve iyonlarla taşınır. İki akım elektrotu vasıtasıyla gönderilen elektrik akımı ile elektrot açıklığına ve yeraltının akım iletme özelliğine bağlı olarak yeryüzünde ve yeraltında elektrik potansiyel dağılımı oluşur ve bu potansiyel diğer iki elektrot vasıtasıyla ölçülür. Uygulanan elektrik akım miktarı ve ölçülen potansiyel değeri ile elektrotlar arasındaki ilişki özdirenç değerine dönüştürülür. Uygulanan akımın nüfuz derinliği, elektrotlar arasındaki uzaklık arttıkça artar (Keçeli, 2012).

Topraklama yeri tespit etütlerinde ölçülmesi gereken temel parametre elektrik özdirençtir. Yüze yakın özdirenç yapı araştırmalarında en çok kullanılan jeofizik yöntem Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemidir. DAÖ yöntemi, klasik rezistivite cihazları ile uygulanabileceği gibi; çok kanallı ve çok elektrotlu cihazlar kullanılarak uygulanabilmekte ve çok kısa zamanda veri toplanabilmektedir



(Candansayar ve Demirel, 2015). Uygulamalarda doğru ölçü dizaynı parametrelerinin (elektrot aralığı, profil boyu, dizilim türü vb.) seçilmesine dikkat edilmelidir.

Doğru akım özdirenç yöntemi kullanılarak çok elektrotlu ve çok kanallı cihazlar ile ölçüler alınmalı ve verilerin iki boyutlu (2B) veya üç boyutlu (3B) ters çözümü ile yer altı özdirenç modelleri elde edilmelidir. Bu şekilde hat veya hatlar boyunca veri toplanabilmektedir. Birbirine paralel hatlar boyunca toplanan veriler ayrı ayrı 2B özdirenç modelleri olarak görüntülenebileceği gibi, 3B ters çözüm yapılarak hacim olarak da görüntülenebilmektedir (Candansayar ve Demirel, 2015). Bu şekilde; topraklama yeri ve hesaplamalarına ilişkin değerlendirmeler, tek nokta üzerinden değil alan veya hacim modelleri üzerinden yapılabilecektir. Bu tür çalışmalarda farklı elektrot dizilimleri kullanmak ve birleşik ters çözüm yapmak elde edilen özdirenç modelinin doğruluğunu arttıracaktır (Candansayar, 2008).

Topraklama yapılacak alanda uygun olduğu takdirde en az 3- 5 m aralıklarla karelej yapılarak ölçüm noktaları belirlenir. Ardından Wenner veya Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak (mühendis tarafından istenirse başka elektrot dizgeleri de kullanılabilir) bu ölçüm noktalarında yer özdirenç değerlerinin derinlikle değişimi hesaplanır ve belli derinlikler için eş özdirenç haritaları hazırlanarak **“topraklayıcının yerleştirileceği en iletken zon ve bu zonen derinliği”** belirlenir. Ayrıca o alan için topraklama projesinde kullanılacak olan **“adım gerilimi”** ve **“tesiste izin verilebilecek en büyük temas (dokunma) gerilimi”** değerleri de hesaplanır. Hesaplamanın ayrıntısı, “Değerlendirme, Yorum ve Hesaplamalar” bölümünde verilmiştir.

Kullanılması gereken cihaz ve ölçü alınırken dikkat edilmesi gereken hususlar

Özdirenç ölçü sistemi; akım kaynağı, özdirenç cihazı, kablo ve elektrotlardan oluşur. Akım kaynağının gücü 0.5 – 160 kW arasında değişmektedir. Akım kaynağı olarak sulu / susuz akü veya kuru batarya yeterli olabilmektedir. Bunların yeterli olmadığı durumlarda akım kaynağı olarak benzin veya mazotla çalışan motor ile alternatif akım üreten alternatörlerden oluşan jeneratörler kullanılmaktadır. Jeneratörden üretilen sinüsoidal alternatif elektrik akımı 400 Hz frekansta olmaktadır. Alternatif akım kaynağının 400 Hz frekanslı olması alternatör hacim ve ağırlığını küçültmek ve aynı zamanda cihaz içinde dönüştürülmesi gereken yer içine gönderilecek akım şeklinin düzgün elde edilmesini sağlamak içindir. Özdirenç cihazına güç kaynağından gelen 100 veya 220 voltluk akım bir trafo yardımıyla voltajı 1000 volt civarına yükseltir, dolayısıyla akım değeri küçültülür. Buna neden; yüksek gerilimde akımın yer içinde kolay ve düzgün dağılımının sağlanması ve alçak akım seviyesinde ısı kaybının minimuma indirilmesidir. Kabloların dış kısımları dayanıklı olmalıdır. Elektrot olarak, polarize olmayan içinde bakır sülfat eriyiği olan potlar veya paslanmaz çelikten çubuk elektrotlar kullanılmalıdır. Çubuk elektrot boyları 50-60 cm civarında olmalıdır.



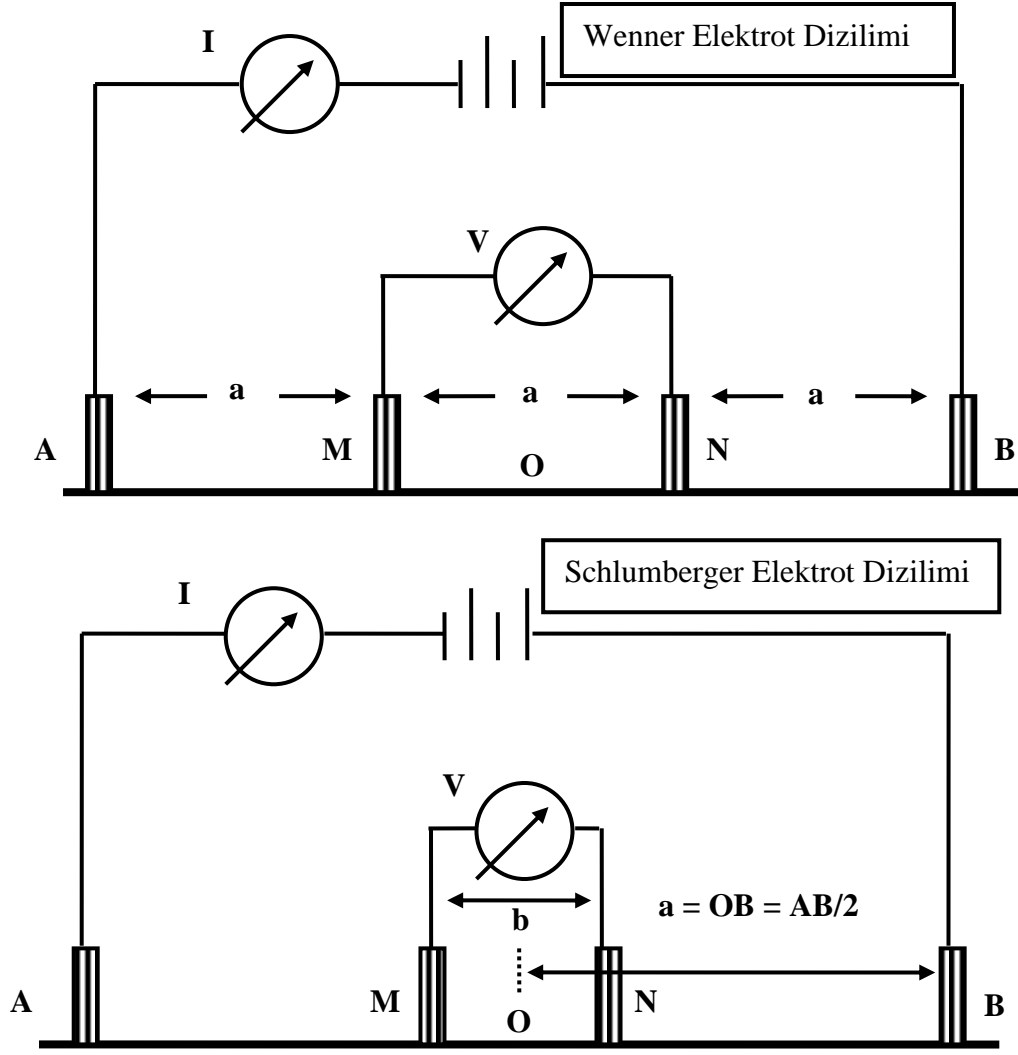
Cihaz gücünün seçimi etüt derinliğine ve jeolojik yapıların özdirençlerine bağlı olarak güç ≥ 0.5 kW olmalıdır. Yeryüzünde doğal veya yapay olarak bozucu etki yapabilecek ve bastırılması gereken yerde mevcut olan elektrik potansiyellerin olma olasılığı sebebiyle herhangi bir ölçü sisteminde ölçü alırken uygulanan akım miktarına bağlı olarak ölçülen potansiyel miktarı tercihen 10 milivolttan küçük olmamalıdır (Keçeli, 2012).

Hangi tür elektrot kullanılırsa kullanılsın elektrotlar arasında 2-3 milivolt (mV) gerilim farkı olabilmektedir. Islak ve nemli ortamlarda akım taşıyan elektrotun yüzeyinde elektrodializ olduğundan yüzeyi kirlenen elektrotlar polarizlenerek elektrot direnci yükselir. Bu nedenle, elektrotlar temiz olmalı ve polarize olmayan veya paslanmaz çelik elektrotlar kullanılmalıdır. Cihaz etüt başlangıcında kalibre edilmelidir. Akım ve potansiyel kabloları yapay bozucu etkilerin oluşmaması için birbirinden mümkün olduğunca uzak serilmeli ve birbirine karıştırılmamalıdır. Kablo uzunlukları en büyük elektrot açılımlarından çok fazla uzun olmamalıdır. Kablo kaçakları olup olmadığı veya cihaz başında iken kabloların uzaktaki görünmeyen elektrotlara bağlı olup olmadıkları bir avometrenin direnç kademesi ile bir ucu toprağa diğer ucu şüpheli kabloya bağlanarak kontrol edilmelidir. Çok kuru satırlarda daha uygun akım miktarı geçirebilmek için elektrot yerleştirilecek noktalarda açılan çukura su veya tercihen tuzlu su dökülerek kontak direnci düşürülmelidir (Keçeli, 2012). Ölçü profil doğrultusu engebeli bir topografya üzerinde olduğunda, akım hatları tepe bölgelerinde seyrek, vadilerde sıklaşır. Akım hatlarının seyredtiği ortamların özdirenç değerleri göreceli olarak büyür, akım hatlarının sıklaştığı ortamlarda ise özdirenç değerleri göreceli olarak küçülür. Kısacası bu tip durumlarda ölçü hataları ile karşılaşılabilir. Bu nedenle, topografya etkilerini minimuma indirmek için ölçü profil doğrultusu, eğim doğrultusuna paralel olmalıdır (Keçeli, 2012). Kent içi etütlerde ölçü profili ve ölçü kabloları doğrultusu; su şebekesi, elektrik gücü, telefon, demiryolu hatlarına ve metal çitlere dik olacak şekilde dizayn edilmelidir.

Elektrot Dizilimleri

Topraklama yeri tespit etütlerinde kullanılacak elektrot dizilimlerinden iki tanesi (Wenner elektrot dizilimi ve Schlumberger elektrot dizilim) aşağıda verilmiştir. Proje içeriği, arazi şartları, araştırma derinliği vb birçok nedenle farklı elektrot dizilimlerin de kullanılması mümkündür. Aşağıda örnek elektrot dizilimleri şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 3).



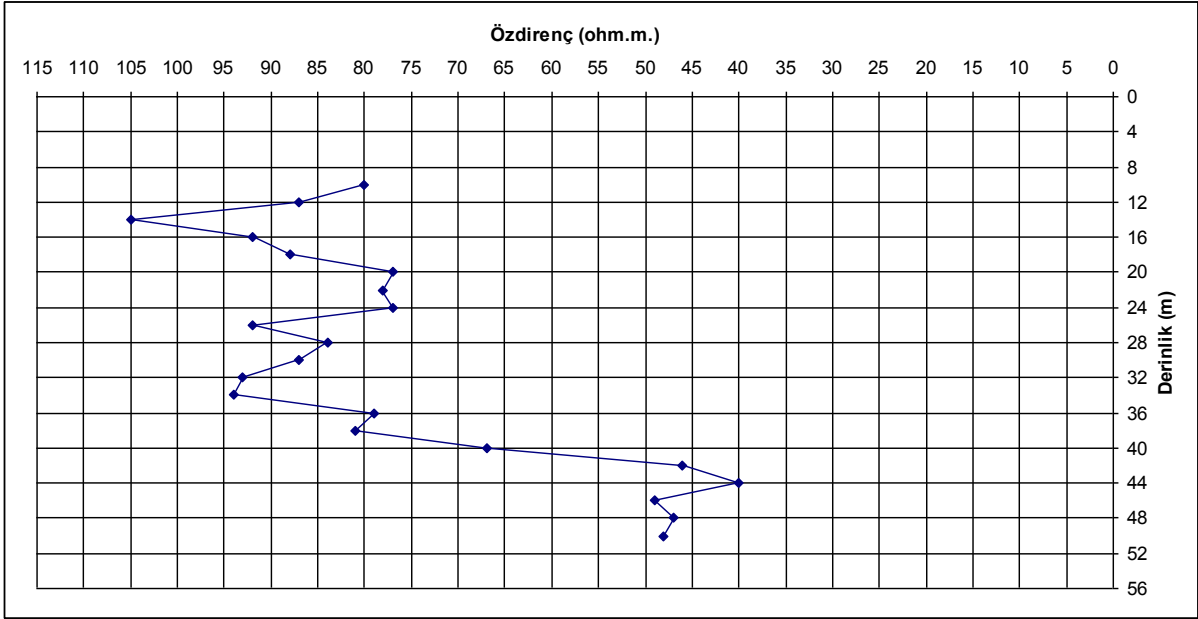


Şekil 3. Örnek elektrot dizilimleri

Çok-elektrotlu cihazlarla ölçü alınması durumunda ilgili ölçü dizaynı ve kullanılacak elektrot dizilimi sorumlu mühendis tarafından kararlaştırılacaktır.

4. Değerlendirme, Yorum ve Hesaplamalar

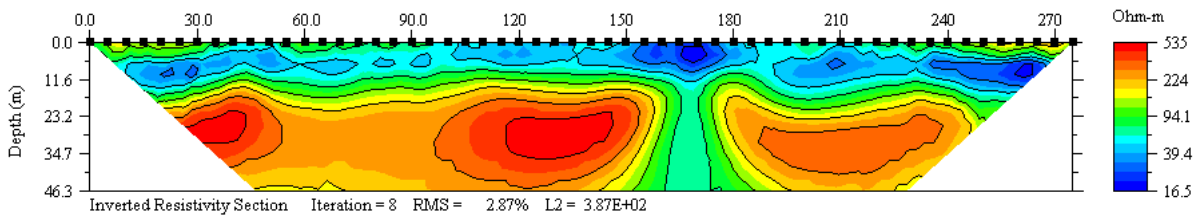
Özdirenç değerleri, her bir ölçü noktası için ayrı ayrı özdirenç-derinlik değişimi şeklinde loglanabilir (Şekil 4) ve tek nokta üzerinden yorum yapılır.



Şekil 4. Topraklama amaçlı hazırlanmış özdirenç-derinlik logu

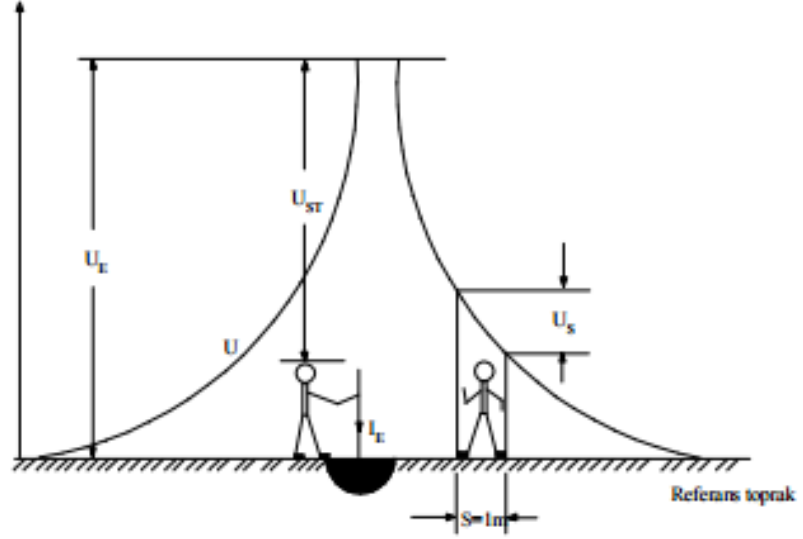
Etüt sahası içinde oluşturulacak bir grid sistemiyle ölçüler alınarak belli derinlikler için eş rezistivite haritaları hazırlanarak, topraklayıcının yerleştirilebileceği en iletken lokasyon ve derinlik belirlenir.

Bununla birlikte; elektrik özdirenç ölçülerinin, çok-elektrotlu özdirenç cihazı ile sondaj-profil ölçüsü şeklinde alınması faydalı olacaktır. Örneğin, yanal ayrırlılığı en iyi olan dipol-dipol elektrod dizilimi ile en büyük elektrod aralığı açıklığı (n-seviyesi) araştırma derinliğinin 6 katı olacak şekilde ölçüler dizayn edilmelidir. Ölçülen sondaj-profil verilerinin iki boyutlu ters çözümü yapmalı, sonuçta elde edilen iki boyutlu özdirenç modelleri kullanılarak etüt alanı içinde düşey ve yanal yönde iletken zonlar görüntülenebilecektir (Şekil 5) (Candansayar ve Demirel, 2015).



Şekil 5. 2 B yer altı özdirenç modeli (URL1)

Bununla birlikte; hesaplanan özdirenç değerleri kullanılarak “*adım gerilimi (U_s)*” (şekil 6) ve “*tesiste izin verilebilecek en büyük temas (dokunma) gerilimi (U_{Tmax})*” değerleri hesaplanır.



Şekil 6. Adım gerilimi

Örnek adım gerilim hesabı (1), (2), (3), (4), (5), (6) nolu bağıntılarda verilmiştir.

Toprak öz direncinin 150 ohm.m, topraklayıcı yarıçapının 0,5 m ve topraklayıcıdaki gerilimin 100 V verildiğini varsayarak, topraklayıcıdan 4 metre uzaktaki bir noktaya kadar olan direnç:

$$R_E = \rho_E / (2\pi r) \quad (1)$$

$$R_E = \rho_E / (2\pi r) = 150 \Omega \text{m} / (2\pi)(0.5\text{m}) = 47.7 \Omega \quad (2)$$

Topraklayıcıdan akacak akım değeri:

$$I = U_E / R_E \quad (3)$$

$$I = U_E / R_E = 100 / 47.7 = 2.1 \text{ A} \quad (4)$$

4 metredeki potansiyelin değeri:

$$U_S = I(\rho_E / (2\pi x)) \quad (5)$$

$$U_S = I(\rho_E / (2\pi x)) = 2 \text{ A} (150 \Omega \text{m} / 2\pi 4\text{m}) = 12.5 \text{ V} \quad (6)$$

Tesiste izin verilebilecek en büyük temas (dokunma) gerilimi ise (7) nolu bağıntı ile hesaplanır.

$$U_T = \frac{116 + 0.25\rho}{\sqrt{t}} \quad (7)$$

U_{Tmax} : Temas (Dokunma) gerilimi (V)

ρ : Özdirenç (ohm.m.)

t : Kısa devrenin başlayıp şalterin açmasına kadar geçen zaman olan arıza temizleme zamanı olup, maksimum 0.15 sn olarak alınır.

5. Topraklama Yeri Tespitine İlişkin Değerlendirmeler, Sonuçlar ve Rapor Hazırlanması

Jeofizik çalışmalar neticesinde;

- Hesaplanan görünür özdirenç değerleri, arazi ölçü hatlarının dizaynına göre modellenerek topraklama yeri tespiti için bir özdirenç modeli ortaya konulmalıdır.
- Proje kapsamında belirlenen derinlikler için eş-özdirenç kontur haritaları hazırlanmalıdır.
- Tek nokta ölçümler yapıldıysa veri sunumu aşağıdaki çizelgede verildiği gibi yapılabilir. Ayrıca, derinlik-özdirenç grafiği ile de sonuçlar görsel hale getirilebilir.

NOKTA NO	KOORDİNAT	DERİNLİK (m)	ÖZDİRENÇ (ohm.m)	İLETKENLİK DEĞERLENDİRMESİ

Eğer 2B veya 3B modelleme yapılarak özdirenç kesitleri hazırlandıysa; kesitler üzerinde varsa iletken zonlar işaretlenmeli, sınıflandırılmalı, ayrıca bir çizelgeyle sonuçlar ifade edilmelidir.

- Özdirenç değerleri kullanılarak, projede görevli elektrik mühendisi ile birlikte “adım gerilimi” ve “tesiste izin verilebilecek en büyük temas (dokunma) gerilimi” değerleri hesaplanmalıdır.

Etütler sonucunda “Topraklama Yeri Tespiti Etüt Raporu” hazırlanacaktır. Jeofizik çalışmanın amacı, hangi yöntem ve cihaz ile yapıldığı açıklanacak, ölçüm noktaları haritasına işlenecektir. Ayrıca, hazırlanacak tablo, grafikler ve kesitleri bölüm içinde ek olarak verilecektir. Gerekirse şartların dışında eksik ve yeterli olmayan konularda açıklamalar ve önerilerde bulunacaktır.

6235 sayılı Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kanunu ve 4958 sayılı Mühendislik ve Mimarlık Hakkında Kanun ve ilgili diğer mevzuat hükümlerince “topraklama yeri tespiti etüt raporunu” hazırlayan mühendisin mesleki faaliyetini sürdürdüğünü gösteren jeofizik mühendislik hizmetleriyle ilgili meslek odasından, bulunduğu yılda alınmış tescil belgesinin olması zorunludur. Ayrıca aynı



mevzuatlar gereğince; üretilen mühendislik ürününü Oda kayıt siciline işletilmesi ve mesleki denetimden geçirilmesi amacıyla ilgili odasından ürettiği mühendislik ürününe ait “Sicil Durum Belgesi” alınması gerekmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Candansayar M. E. ve Demirel C., 2015. Boru hatları ve korozyon etütlerinde jeofizik çalışmalar. Prof. Dr. Ali Keçeli Jeofizik-Jeoteknik Çalıştay Bildiriler Kitabı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası yayını.
- Keçeli, A. 2012. Uygulamalı Jeofizik, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınlar No:12.
- Candansayar M. E., 2008. Two-dimensional individual and joint inversion of three-and four-electrode array dc resistivity data. Journal of Geophysics and Engineering, 5:290-300.
- mülga Elektirik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Mühendislik Hizmetleri Normaları, Norm No: EİE-073

www.sakaryateias.gov.tr

www.dsi.gov.tr

www.elektrikuretimi.org

www.isguncesi.com

