

Çok-Elektrotlu Öz direnç Ölçümlerinin Mühendislik Jeolojisi, Çevre ve Yeraltısuyu Kirliliği Araştırmalarındaki Uygulamalarının Değerlendirilmesi

Adil ÖZDEMİR

adilozdemir2000@yahoo.com
www.adilozdemir.com

1. GİRİŞ

Jeofizik yöntemlerden biri olan elektrik öz direnç (rezistivite) yöntemi ile yeraltına ait parametrelerin belirlenmesi uzun yıllardan beri yapılmaktadır. İlk defa 1915 yılında Wenner tarafından uygulanan öz direnç yöntemi, Schlumberger, 1920 tarafından geliştirilerek başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bilgisayar ve jeofizik cihaz teknolojisinin gelişmesiyle elektrik öz direnç yöntemi, yeraltının öz direnç değişimlerinin bir, iki ve üç boyutta incelenmesine olanak vermiştir. Böylelikle yönebağımlı ve tekdüze olmayan yeraltının gerçeğe daha yakın öz direnç değişimleri incelenebilmiştir. İlk bir boyutlu (1B) olarak düşey elektrik sondaj (DES) yöntemleri ile incelenen bu değişim, 1990'lı yıllardan itibaren iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) araştırmalara doğru gelişmiştir (Berge, 2002; Drahor ve diğ., 2004).

Klasik bir yöntem olan elektrik öz direnç yöntemi, jeolojik sorunların çözümünde jeoloji mühendisleri tarafından başvurulan başlıca yöntemler arasında yer alır. Kayaçların yatay veya düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farklarından yararlanarak jeolojik yapının ortaya konması elektrik öz direnç yöntemlerinin uygulamasındaki temel amaçtır.

Mühendislik yapılarının zemin araştırmaları, yeraltısuyu ve çevre kirliliği araştırmaları, yeraltısuyu ve jeotermal enerji arama, maden arama, arkeolojik aramalarda ve petrol aramalarında kullanılır. Bu açıdan uygulama alanlarının çokluğu ile hala güncel olan bu yöntem gelişmiş ölçme cihazlarının ve modelleme aşamasında ileri teknikler kullanılarak uygulandığında oldukça iyi so-

nuçlar verebilmektedir. İki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) çözüm yöntemlerinin uygulanması son yıllarda yöntemin etkinliğini arttırmıştır. İki boyutlu (2B) modellemenin kullanılması artık standart hale gelmiştir.

2B etütlerin uygulanması, çözümlülük gücünün artmasına paralel olarak ölçülerin süratle alınması ve değerlendirilmesi konusunda jeofizik mühendislerine önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Geleneksel 1B etütlerde karşılaşılan kısıtlamalarda büyük ölçüde ortadan kalkmıştır. Örneğin, elektrotların aynı kotta olması, nehre paralel açılım gibi (Aksu, 2006).

Son yıllarda, elektronik ve bilgisayar bileşenlerinin evrimi, bir doğrultu boyunca sondaj-profil ölçüsü almayı sağlayacak otomatik olarak değiştirilebilen çok-elektrotlu öz direnç ölçü yönteminin (elektrik öz direnç görüntüleme de denilmektedir) geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu şekilde ölçülen görünür öz direnç (GÖ) yapma-kesit (pseudo-section) verileri, bir ters çözüm algoritması ile yorumlanarak profil boyunca olası belirti yerlerini gösteren öz direnç derinlik kesitleri elde edilmektedir (Bernard ve diğ., 2004).

Çok-elektrotlu öz direnç ölçü yöntemi, konusunda ilk çalışma van Overmeeren ve Ritsema, 1988 tarafından yapılmıştır. Daha sonra Griffiths ve diğ., 1990 ve Dahlin, 1996'ın çalışmaları vardır. Son 4-5 yıldır ise, bu yöntem geniş kapsamlı olarak tartışılmakta ve kullanılmaktadır. Yöntemin uygulanmasının ülkemizde de yaygınlaşmaya başladığı görülmektedir.

Çok-elektrotlu öz direnç yöntemi; eşit aralıklı (örneğin 5 m) olarak ça-



• Mesleğe jeoteknik sondaj ve enjeksiyon işçisi olarak 1995 yılında başladı. Cumhuriyet Üniversitesi Sondajcılık Meslek Yüksek Okulu'nu, daha sonra Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. Halen Gazi Üniversitesi'nde Yüksek Mühendislik eğitimi devam etmektedir.

• Yurtiçi ve Yurtdışında birçok Su, Jeotermal, Jeoteknik, Maden Arama, Enjeksiyon, Patlatma ve Yönlendirilebilir Yatay Sondaj çalışmasında, Zemin İyileştirme ve Güçlendirme uygulamasında, Yeraltısuyu ve Jeotermal Enerji araştırmalarında Sondaj İşçisi, Sondör, Sondaj Mühendisi, Şantiye Şefi, Kontrol Mühendisi ve Danışman olarak görev yaptı. Ayrıca, birçok yeraltısuyu, jeotermal enerji ve jeolojik-jeoteknik etüt yapmış ve bu etütlere ait raporları hazırlamıştır. Halen bu konulardaki çalışmalarına devam etmektedir.

• Sondaj Tekniğine Giriş, Jeoteknik ve Su Sondajları (Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını), Jeoteknik Etüt Sondajları, Jeoloji Mühendisleri için Mesleki İngilizce isimleri ile yayınlanmış 4 adet mesleki kitabı bulunmaktadır.

• Su Sondajları, Jeoteknik Sondajlar, Jeotermal Sondajlar, Petrol Sondajları, Maden Arama Sondajları, Yönlendirilebilir Yatay Sondajlar, Jeotermal Enerji, Zemin İyileştirme, Forekazık Uygulamaları, Bütünlük Testleri, Mikrotünel Tekniği, Delme-Patlatma, Kayaların Delinebilirliği ve Delme Hızı Tahmini konularında 9'u uluslararası, 42'si de ulusal dergi, sempozyum ve kongrelerde yayınlanmış 51 adet makale ve bildirisi bulunmaktadır.

• Sondajcılar Birliği, Jeoloji, Jeofizik ve Maden Mühendisleri Odaları Genel Merkez ve Şubelerinde binlerce mühendis ve sondörün sertifikası aldığı ve "Sondaj Tekniği, Jeotermal Enerji, Zemin İyileştirme ve Jeoteknik Uygulamalar" konularının işlendiği seminerlerde hem yönetici hem de öğretici olarak görev aldı.

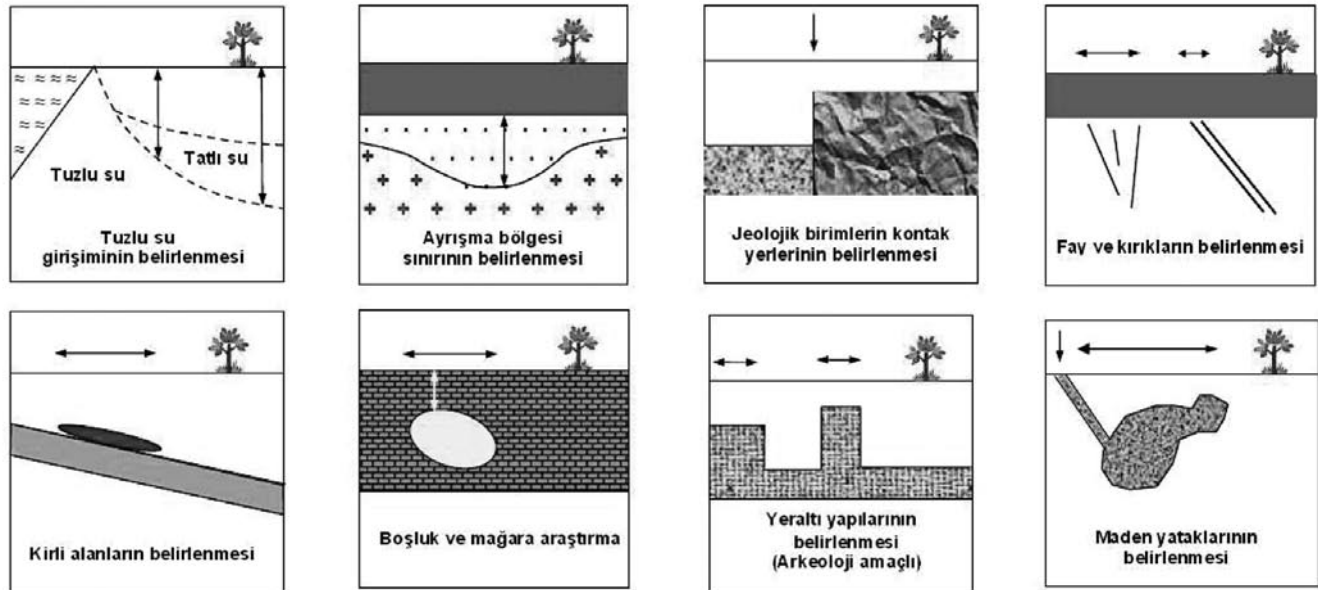
• Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, Balıkesir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, Niğde Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, Fırat Üniversitesi Jeoloji ve Makine Mühendisliği, İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği, Sondajcılık ve Jeoteknik Teknikerliği, Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümlerinde Sondaj Tekniği ve Uygulamaları, Jeotermal Enerji, Zemin İyileştirme ve Jeoteknik Uygulamalar konularında lisans ve lisansüstü düzeyde birçok seminer ve konferans verdi.

• Birçok forekazık, geçirimsizlik perdesi, mikrotünel vb. gibi jeoteknik mühendisliği uygulamalarındaki kazı duraylılığı güçlüklerinin giderilmesi için kimyasal madde esaslı çözümler üretti ve bu tür projelerdeki ilk uygulamalarını yaptırdı.

• Çeşitli kuruluşlara hazırladığı birçok araştırma ve danışmanlık raporu vardır.

kılmış elektrotlar ile bu elektrotların bağlantısını sağlayan çoklu bir kablodan (birçok tel içeren) oluşmaktadır. Özdirenç ölçü aleti içinde, bu elektrotların önceden tanımlanan ölçü alım sıralamasına göre (akım ve gerilim elektrotlarının belirlenen bir sistemde numaralandırıldığı bir dosya) değiştiren ve saklayan bir hafızası vardır. Akım (A,B) ve gerilim (M,N) elektrotlarının çeşitli kombinasyonları ile karmaşık bir sondaj-profil kesiti, kablunun toplam boyuna bağlı olan en büyük araştırma derinliği ile elde edilmektedir (Bernard ve diğ., 2004).

İki boyutlu elektrik özdirenç yönteminde, araziden ölçülen görünür özdirenç değerlerinden yeraltının gerçek model parametrelerine ulaşmak hedeflenmektedir. Shima ve Sakayama,1987 belli bir elektrot sayısı ile çevrelenen çalışma alanının iki boyutlu bir özdirenç kesitini oluşturmak için kullandıkları tekniği ilk olarak "Özdirenç Görüntüleme" diye adlandırmışlardır. Bu terimin kullanımı, özdirenç metodu ile X-ışını görüntülemesine benzer bir çözünürlükte sonuçların elde edilmesiyle yerine daha iyi oturmuş ve elde edilen çözünürlüğün geleneksel özdirenç yöntemine göre daha iyi ve kullanışlı sonuçlar verdiği görülünce yöntemin tercihi diğer jeofizik yöntemlere oranla artmıştır (Sasaki, 1992). Bunu takiben özdirenç yöntemi gelişen veri toplama ve değerlendirme aşamaları ile günümüzde yeraltının iki ve üç boyuttaki özdirenç dağılımını gerçeğe çok yakın verebilmesi sebebiyle birçok jeolojik sorunun çözümünde kullanılır hale gelmiştir (Şekil-1).



Şekil-1. Çok-elektrotlu özdirenç görüntüleme yönteminin bazı uygulama alanları (Bernard ve diğ., 2008)

Son yıllarda, 2B özdirenç görüntüleme yöntemleri, geleneksel özdirenç sondaj veya profil araştırmalarının yetersiz kaldığı karmaşık yeraltı jeolojisine sahip bölgeleri haritalamak için kullanılmaktadır. 2B özdirenç veri toplama, hidrojeolojik, çevre ve mühendislik amaçlı çalışmalar için oldukça faydalıdır (Griffiths ve Barker, 1993).

Birçok jeolojik malzemenin özdirenç değerleri hemen hemen aynı özdirenç aralıklarına girmektedir. Bu

durum bize, çok önemli bir bilgi sağlamaktadır. Elektrik özdirenç yöntemi ile yapılan etüt sonucunda hesaplanan özdirenç değeri ile sahada ne tip kayalar olduğunu yazmak pek doğru bir iş olmayacaktır. Bu kanyaya varmadan önce jeofizik mühendisi etüt alanına ait varsa jeoloji haritaları, raporlar ve sondaj bilgilerini incelemelidir. İmkan dahilinde ise, ölçüm çalışmasını bir jeoloji mühendisi ile birlikte yapmalıdır. Daha sonra elektrik özdirenç verisinin yorumu yapılabilir ve çalışılan alandaki jeolojik birimlerin ne olabileceği söylenebilir.

Bu yazı kapsamında; çok-elektrotlu yöntemin genel özellikleri ve kullanılan ekipmanlar, ölçüm yöntemi, güvenilirliği, mühendislik jeolojisi, yeraltısuyu ve çevre kirliliği araştırma alanlarındaki uygulamaları ele alınmıştır.

2. ELEKTRİK ÖZDİRENÇ (REZİSTİVİTE) YÖNTEMİNİN ESASLARI

Araştırılması istenilen bölgenin jeolojik yapısının ortaya konulabilmesi için uygulanan birçok jeofizik yöntem vardır. En yaygın kullanılan ölçüm şekli, iki akım elektrotu (A,B) ile yerin içine elektrik göndermek ve iki potansiyel elektrotu (M,N) ile bu akımın meydana getirdiği potansiyel dağılımının yüzeyden yapılan ölçümler yoluyla belirlendiği elektrik özdirenç yöntemidir (Şekil-2).

Yapay kaynaklı elektrik özdirenç yönteminde çözümü istenen jeolojik problemlerin farklı olması durumunda farklı ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Sabit bir noktadan simetrik açılım yaparak yerin düşey yöndeki değişimini izlemek amacıyla geliştirilen düşey elektrik sondaj (DES) ölçümü, yanal süreksizliklerin araştırılması için geliştirilen profil (yatay kaydırma) ölçümü, hem yanal hem düşey yöndeki değişimlerin saptanması amacıyla geliştirilen sondaj-profil ölçümü özdirenç yönteminde kullanılan ölçüm teknikleridir.

DES ölçümü, akım elektrotları arasındaki uzaklığın artırılması, akımın derinlere inmesine dolayısıyla daha derinlerdeki yapıların özdirenç özellikleri hakkında bilgi toplanmasını sağlar. Böylece sabit bir noktanın düşey yöndeki değişimi belirlenmiş olur.

Profil ölçümü, bir hat boyunca yanal süreksizliklerin belirlenmesi amacıyla uygulanır. Araştırılmak istenen derinliğe göre belirlenmiş sabit bir elektrot aralığı ile kurulan dizilim her ölçüden sonra profil boyunca kaydırılarak ölçme işlemi sürdürülür. Bu ölçü tekniği daha çok kırık-çatlakların, fayların yerlerinin belirlenmesinde ve dayk gibi yapıların araştırılmasında kullanılır.

Sondaj-Profil ölçümü, bu ölçümde sondaj ve profil ölçü teknikleri birlikte kullanılır. Bir hat boyunca belirlenmiş noktalar üzerinde ölçülmüş DES değerleri birlikte sunulur. Bu yöntem ile yeraltında hem yanal hem de düşey yöndeki özdirenç dağılımı belirlenir.

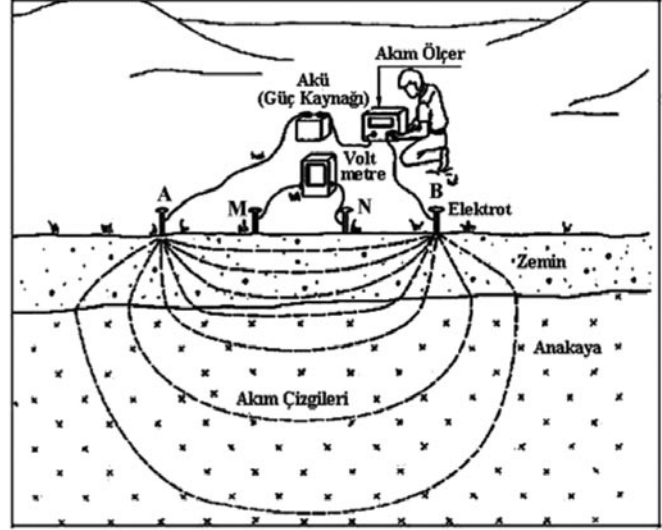
Jeofizik ölçümlerde, genel dizilim yerine akım ve potansiyel elektrotlarının yerleri değiştirilerek türetilmiş özel dizilimler kullanılır. Bu dizilimlerin özellikleri göz önünde bulundurularak karşılaşılan jeolojik probleme göre sonuca gitmede en etkili olan dizilim seçilir. Klasik elektrot dizilimlerinden birkaçı, simetri merkezine göre bir çizgi boyunca dizilen Schlumberger ve Wenner dizilimleridir. Bir başka yaygın kullanılan dizilim türü Dipol-Dipol'dür.

Schlumberger elektrot dizilimi, genellikle düşey elektrik sondaj (DES) ölçüm tekniği ile birlikte kullanılır ve yatay veya yataya yakın tabaka sınırlarının derinlik ve özdirençlerinin belirlenmesinde kullanılır. Arazide uygulanması oldukça pratiktir ve bu nedenle çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Wenner dizilimine göre daha derinlerden bilgi alınmasını sağlar. Bu dizilim de elektrotlar düzgün bir çizgi üzerine simetrik olarak akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içeride olmak üzere yerleştirilir ve simetri merkezi olan ölçü noktasındaki elektrik alan ölçülür (Şekil-3). Potansiyel elektrotları arasındaki mesafe akım elektrotları arasındakine göre küçüktür. Ölçme esnasında potansiyel elektrotlarının yer değiştirmesine gerek yoktur. Hem sığ hem derin araştırmalar için kullanılabilmesi, birçok teorik değerlendirme eğrisinin olması, daha az kablo ve personel gerektirmesi Schlumberger diziliminin üstünlükleridir.

Wenner diziliminde, akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içeride ve birbirlerinden eşit uzaklıkta olmak üzere dizilirler. Dıştaki iki elektrottan yere akım verilir. İçte yer alan iki elektrottan ise verilen akımın yarattığı gerilim alanı ölçülür (Şekil-3).

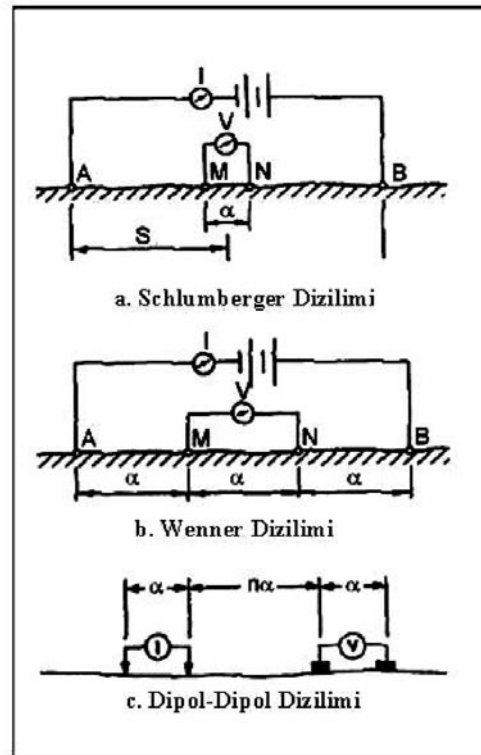
Wenner elektrot dizilimi, düşey süreksizliklerin belirlenmesi için kaydırma ölçü tekniği kullanılarak oldukça hassas bir şekilde yapılabilir. Ölçme işlemi elektrot arası mesafe değişmeden profil boyunca kayarak veya ölçü noktası etrafında simetrik biçimde açılarak devam eder. Yanal yöndeki değişimler bu dizilimle daha kolay saptanır. Ancak, bu dizilim geometrisinde araştırma derinliği diğer yöntemlere göre daha azdır (akım elektrotları arasındaki uzaklığın yaklaşık üçte birine kadar derinlikten bilgi alınabilir). Nüfuz derinliği az

olduğundan sığ yapıları yüksek çözünürlükle belirleyebilmektedir (Wightman ve diğ., 2003). Daha fazla kablo ve personel gerektirmesi dizilimin diğer dezavantajıdır. Dizilimin gürültüye karşı daha az duyarlı olması ise avantajıdır.



Şekil-2. Özdirenç yönteminin arazi uygulaması (Robinson ve Coruh, 1988)

Dipol-Dipol elektrot dizilimi, nüfuz derinliği en fazla olan dizilimdir, ayrıca düşey süreksizliklerin belirlenmesinde oldukça duyarlıdır. Dizilim dayk ve boşluklar gibi derindeki ayrımlılığın önemli olmadığı düşey yapıların haritalanmasında iyi sonuçlar vermektedir (Şekil-3).



Şekil-3. Elektrik özdirenç ölçümlerinde elektrot dizilimleri (Wightman ve diğ., 2003)

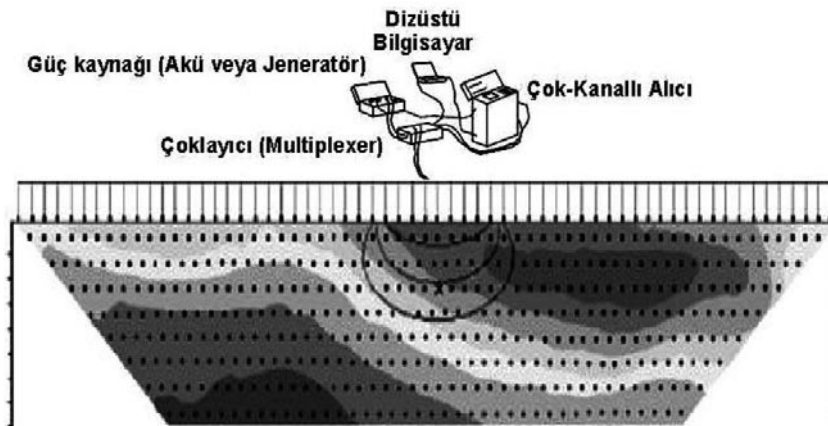
3. ÇOK-ELEKTROTLU ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNİN ESASLARI

Son yıllarda, elektronik ve bilgisayar bileşenlerinin evrimi, bir doğrultu boyunca sondaj-profil ölçüsü alınmasını sağlayacak otomatik olarak değiştirilebilen çok-elektrotlu özdirenç ölçü sisteminin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Elde edilen görüntü (görünür özdirenç yapma kesiti) bir ters çözüm algoritması ile işlenerek, profil boyunca belirtilerin özdirenç-derinlik değerleri hesaplanmaktadır (Bernard ve diğ., 2004).

Çok-elektrotlu özdirenç yöntemi; eşit aralıklı (örneğin 5 m) olarak ve bir hat boyunca çakılmış elektrotlar ile bunların bağlantısını sağlayan çoklu kablodan (birçok tel içeren) oluşmaktadır. Elektrot sayısı, çalışma amaç ve kapsamına göre farklı olabilir. Üreticiler genel olarak 28, 56, 84 ve 112 elektrotlu veya 20, 30, 50 elektrotlu düzenekler üretmektedirler. Kablo sistemin en pahalı gereçlerindedir. Örneğin, 20 elektrotlu ve her elektrot arası 5 metre olacak şekilde bir düzenek için kullanılan kablo 9-10 bin dolar civarındadır. Kullanılan elektrotlar ise, eski düzeneklerde kullanılan paslanmaz çelik elektrotlardır.

Özdirenç ölçü aleti içinde, bu elektrotların önceden tanımlanan ölçü alım sıralamasına göre (akım ve gerilim elektrotlarının belirlenen bir sistemde numaralandırıldığı bir dosya) değiştiren ve saklayan bir hafızası vardır. Akım (A,B) ve gerilim (M,N) elektrotlarının çeşitli kombinasyonları ile karmaşık bir sondaj-profil kesiti, kablonun toplam boyuna bağlı olan en büyük araştırma derinliği ile elde edilmektedir. Çeşitli elektrot dizilimleri (Wenner-Schlumberger, Dipole-Dipole vb.) kullanılabilir (Bernard ve diğ., 2004).

Çok-elektrotlu yöntemde, ölçü cihazı bilgisayar kontrollüdür (Şekil-4 ve Şekil-5). Tüm elektrotlar tek kablo ile ölçü cihazına bağlandıktan sonra, istenilen elektrot dizilimi için sıralı olarak ölçü alınır. Sonuçta, belli istasyonlarda (noktalarda) ve belli AB/2 değerleri için ölçümü ve doğrudan sondaj-profil ölçüsü alınmış olur. Bu veriler ile yapma kesit elde edilir. Cihaz üreticileri Çizelge-1'de, yaklaşık cihaz fiyatları Çizelge-2'de verilmiştir.



Şekil-4. Yöntemin ana bileşenleri ve elde edilen 2B görüntü (Tapiasa ve diğ., 2006'dan uyarlanmıştır)



Şekil-5. Çok-elektrotlu elektriksel özdirenç yöntemi ile arazide ölçü alımı (www.agiusa.com)

Günümüzde çok-elektrotlu ölçü cihazları sayesinde, ölçü alımı hızlı ve kolay olmaktadır. Bu nedenle, sondaj-profil ölçüsü yaygın ölçü tekniği olmuştur. Bu yöntem ile ölçülen verilerden yeraltının hem düşey hem de yatay yöndeki özdirenç yapısı hakkında bilgi edinilebilir. Yöntem sondaj ve profil ölçü yöntemlerinin avantajlarını kapsamaktadır (Candansayar, 2005).

Sondaj-profil ölçü tekniği ile edilen veriler, hem yanal yönde hem de düşey yönde yerininin 2B özdirenç yapısı hakkında bilgi vermektedir. Bu yöntem ile ölçülen GÖ (görünür özdirenç) değerleri ile yapma-kesit çizilebilir. Çizilen bu veriler üzerinden nitel yorum yapılabilir. Nicel yorum için ise, GÖ yapma kesit verilerinin 2B ters çözümünün yapılması gerekmektedir (Candansayar, 2005).

Çok elektrot ünitesi, birçok okumanın sırayla alınabilmesini sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Bu özellik, toplam ölçü süresini çok büyük oranda düşürmektedir. Buna benzer yeni tasarımlar, günümüzde jeolojik yapıların yüzeyden aydınlatılmasına 2B ve 3B çözümler getirmektedir.

4. UYGULAMALAR

4.1. Mühendislik Jeolojisi Araştırmalarındaki Uygulamaları

Yeraltının jeolojik yapısının belirlenmesinde çok-elektrotlu özdirenç yöntemi etkili bir yöntemdir. Şekil-6, Şekil-7, Şekil-8, Şekil-9 ve Şekil-10'da çok-elektrotlu elektrik özdirenç yöntemi ile yapılan jeolojik yapı belirleme çalışmalarına örnekler verilmiştir.

Doğadaki pasif veya aktif fayların

incelenen bölgedeki konumu, tipleri, eğim ve doğrultuları, fay zonunun genişliği, dolgu maddesinin türü vb. gibi konuların belirlenmesi tüm jeolojik ve mühendislik çalışmaları için önemli bir gereksinimdir. Ayrıca, kırık ve çatlakların belirlenmesi de önemli bir konudur. Şekil-11, Şekil-12 ve Şekil-13'de çok-elektrotlu elektrik özdirenç yöntemi ile çeşitli jeolojik yapıya sahip alanlarda yapılan fay ve kırık-çatlak yeri belirleme çalışmalarına örnekler verilmiştir.

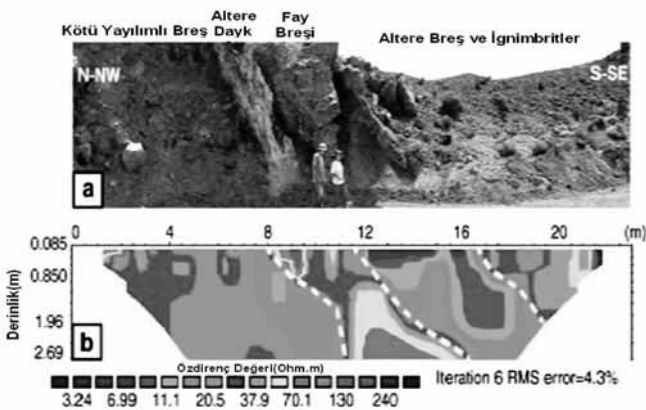
Üretici	Web
Abem Instruments, İsviçre	www.abem.se
Advanced Geophysical Instruments, ABD	www.agiusa.com
Campus Geophysical Instruments, İngiltere	www.campusinternational.co.uk
GF Instruments, Çek Cumhuriyeti	www.gfinstruments.cz
Geolog, Almanya	www.geolog2000.de
IDS Scintrex, Kanada	www.scintrex.com
Iris Instruments, Fransa	www.iris-instruments.com
OYO, Japonya	www.oyo.jp
MAE srl, İtalya	www.mae-srl.it
Pasi Geophysics, İtalya	www.pasigeophysics.com
Zonge Engineering, ABD	www.zonge.com

Çizelge-1. Çok-elektrotlu özdirenç görüntüleme cihazı üreticileri

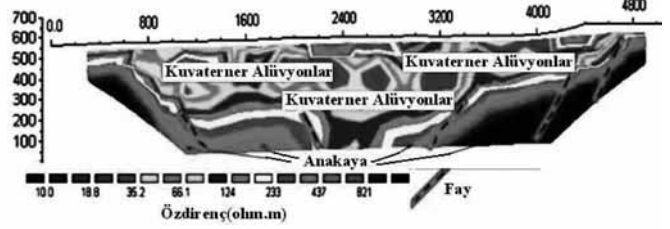
Elektrot Sayısı	Tek Kanallı (\$)	8-Kanallı (bin \$)
28	22,5	30,25
56	30,5	38,25
84	38,5	46,75
112	49,5	58,25

Çizelge-2. Çok elektrotlu özdirenç cihazı yaklaşık fiyatları (Langmanson, 2005)

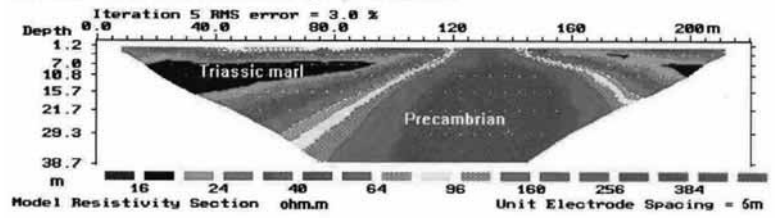
* Fiyatlara cihaz, elektrot kabloları, potlar, destek dahil * 2B program 2 800 \$, 2B-3B birleşik program 4 000 \$ fiyatla ayrıca temin edilmektedir



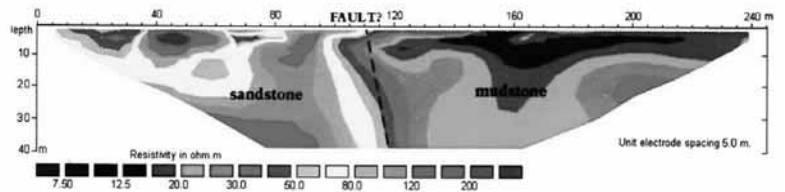
Şekil-6. Canary Adalarında/İspanya çok-elektrotlu ölçüm ile belirlenen jeolojik yapı (Ortiz ve diğ., 2002)



Şekil-7. Yüksek Agri Vadisinin (İtalya) çok-elektrotlu ölçüm ile belirlenen jeolojik yapısı (Rizzo ve diğ., 2004)



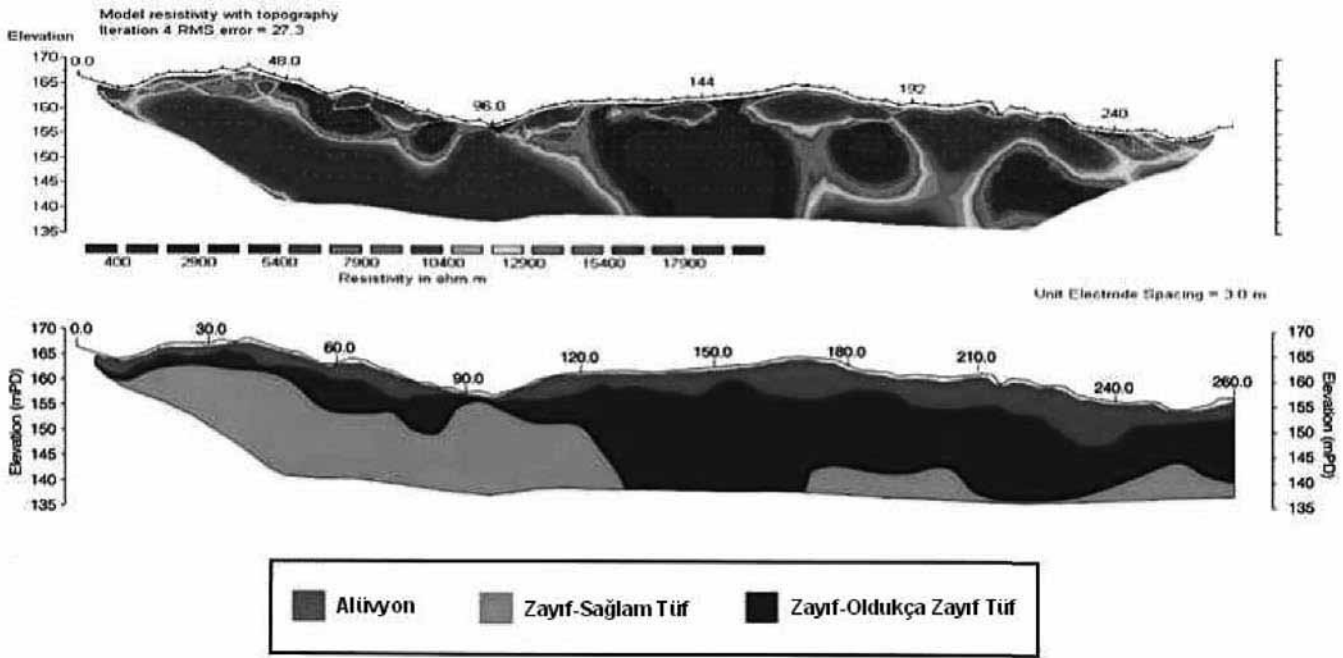
Şekil-8. Çok elektrotlu özdirenç ölçümü ile belirlenen jeolojik yapı (McDowel ve diğ., 2002)



Şekil-9. Çok elektrotlu özdirenç ölçümü ile belirlenen jeolojik yapı (McDowel ve diğ., 2002)

Mühendislik jeolojisi uygulamalarında özellikle sağlam temel kayasının derinliği oldukça önemlidir. Sondajlarla sadece noktasal olarak zemin profili belirlenirken çok-elektrotlu ölçüm tekniği ile 2 ve 3 boyutta sağlam tabakanın konumu belirlenebilir. Bununla birlikte mühendislik yapılarının temelini oluşturan jeolojik birimlerin (zemin ve/veya kaya) etüt sahasındaki geometrisinin (yayılmı, kalınlık ve derinlik) belirlenmesi ve mühendislik özelliklerinin ayrıntılı bir biçimde ortaya konabilmesi için yapılan gözlemsel jeolojik etütlerin, jeofizik ölçümler ve sondajlar ile desteklenmesi gereklidir. Araştırmanın sondajlar ile desteklenmesi, özellikle büyük ölçekli mühendislik yapılarında sonradan ortaya çıkabilecek problemlerin önlenmesi açısından son derece önemlidir (Özdemir ve Özdemir, 2006). Şekil-14'de çok-elektrotlu elektrik özdirenç ölçümlerinin zemin araştırmalarında kullanımına örnek verilmiştir.

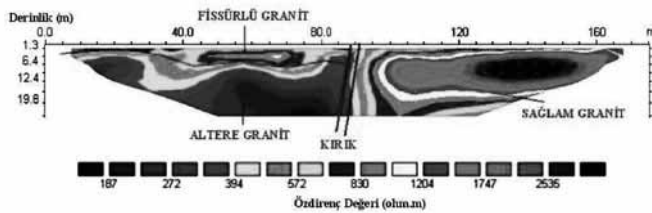
Heyelanlardaki tehlikeli durumu saptamak için önemli olgu, taban kaya üzerinde kayan kütle kalınlığını ve su içeriğini araştırmaktır. Bunlara ek olarak yamaç duraylılığı değerleri bölgesel iklime, hidrolojik verilere, insanın ekonomik etkinliğine ve yerel heyelanların tarihi gibi verilere bağlıdır. Mühendislik jeolojisinin bilinen yöntemleri ile bütün bu sorunların tam olarak yorumlarını yapmak bazen olanaksızdır. Yamaç duraylılığı için heyelanların yapıları, suya doygunlukları, ana kaya üzerindeki kütle kalınlığı ve kaymaya neden olan ayrışma bölgesi belirlenmeye çalışılmaktadır. Jeoelektrik yöntemler heyelan araştırmalarında kullanılarak; heyelan



Şekil-10. Çok elektrotlu özdirenç ölçümü ile belirlenen jeolojik yapı (www.fes.co.uk)

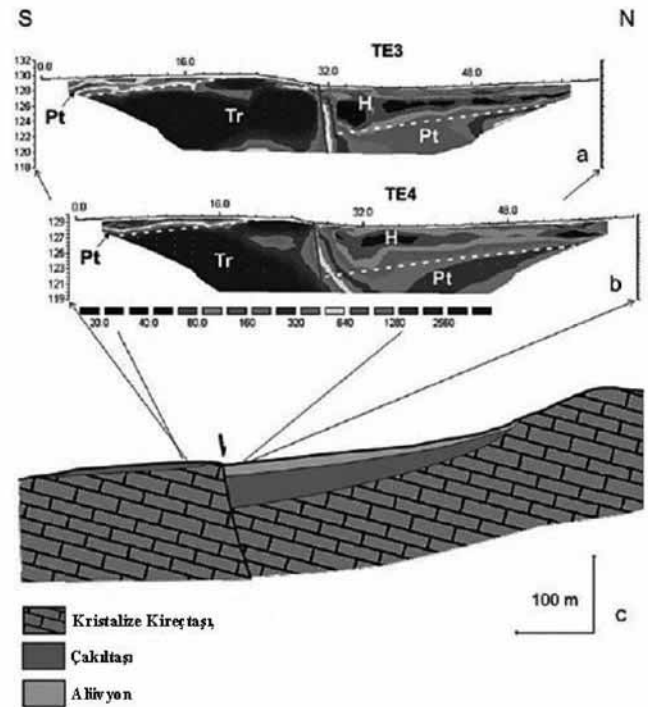


Şekil-11. Çok elektrotlu özdirenç ölçümü ile belirlenen bir fay (Bernard ve diğ.,2008)



Şekil-12. Basque Şehri/İspanya granitik kayalarında belirlenen kırık hattı (Bernard ve diğ., 2008) (Altere granit 200 ohm.m'den düşük, Sağlam granit 2000 ohm.m'den yüksek)

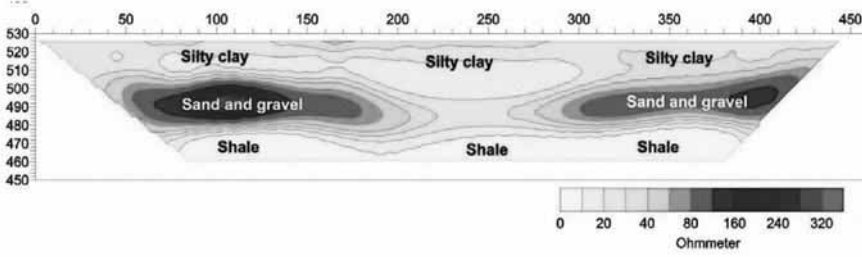
bölgesinin sınırları, kayan malzemenin kalınlığı ve kayma düzleminin topografyası, heyelandaki değişik malzemelerin dağılım düzeni, su rejimi ve hareketin şekli belirlenebilmektedir. Hareket eden, zemin-kaya kütleleri maruz kaldığı yüksek kayma birim deformasyonlarından dolayı daha zayıf-kırıklı hale gelecektir. Bu durum da kayan kütlelerin geçirgenliğinin dolayısıyla suya doygunluğunun artmasına ve ölçülen rezistivite değerinin düşmesine neden olacaktır. Böylelikle kayma dairesi çok-elektrotlu rezistivite yöntemiyle başarılı bir şekilde



Şekil-13. Tyrnavos havzasında(Yunanistan) çok-elektrotlu ölçüm ile belirlenen fay (Piscitelli ve diğ., 2002)

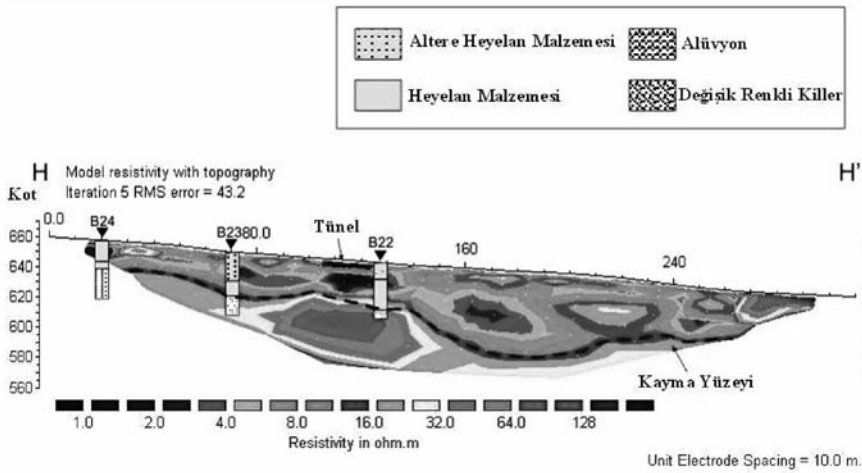
belirlenebilir. Şekil-15'de çok-elektrotlu elektrik özdirenç ölçümlerinin heyelan kayma yüzeyinin belirlenmesi (heyelan geometrisinin ortaya çıkartılması) amaçlı kullanımına örnek verilmiştir.

Alt yapı inşası ve iyileştirilmesinde benimsenecek yöntemleri, alınacak önlemleri planlamak için alt yapıların geçtiği güzergahlardaki heyelanlar, yeraltındaki zayıf kırıklı veya ayrılmış zonlar, tünellerde ortaya çıkacak faylar ve bunların tünelin geçeceği derinlikte oluşturacağı ani birim değiştirmeleri mühendislik çözümleri



Şekil-14. Mühendislik yapılarının temelini oluşturan zemin veya kayaların etüt sahasındaki geometrisi (Langmanson, 2005)

gerektirecek problemlerdir ve çalışma başlamadan önce bölgedeki jeolojik yapılar ve mühendislik özellikleri tanımlanmalıdır. Tünel açımı sırasında meydana gelen problemlerde en büyük sorumlu yeraltısu yurudur. Bu nedenle tünel inşaatına başlamadan önce yeraltısu seviyesinin de belirlenmesi gerekmektedir. Şekil-16'da çok-elektrotlu elektrik özdirenç ölçümlerinin tüneli boyunca zayıf ve kırıkli hatların belirlenmesi ve Şekil-17'de tünel hattı boyunca yer alan kayaların mühendislik jeolojisi özelliklerinin belirlenmesi amaçlı kullanımına örnekler verilmiştir.



Şekil-15. Basilicata bölgesi (Güney İtalya) Varco Izzo heyelanının kayma yüzeyinin belirlenmesi (Perona ve diğ., 2002)

Herhangi bir bölgeye baraj kurulacağı zaman yüzeyde toplanacak suyun hidrostatik basıncı ile kayaların kırık ve çatlaklarından kaçıp kaçmayacağını araştırmak, eğer kaçırıyorsa kaçığa neden olan boşlukların (kırık ve çatlak sistem ve/veya sistemlerinin) izlenmesi gereklidir. Şekil-18'de çok-elektrotlu elektrik özdirenç ölçümlerinin barajlardaki su kaçıklarının bulunması amaçlı kullanımına bir örnektir.

Çatlaklı ve kırıkli kireçtaşları içerisinde suyun etkisiyle oluşan ve içi boş veya çatlaklardan giren sulu malzeme ile dolu olabilen, yeraltı yapılarına karstik boşluk adı verilir. Bu boşluklar (cave), yerleşim yerlerinde bulduklarında ve üzerine herhangi bir mühendislik yapısının yapılması düşünüldüğünde, yapılar açısından tehlike oluşturabilmektedir. Dolayısıyla karstik yapılar mühendislik uygulamalarda önemli bir sorun olarak karşımıza çıkar ve saptanması şif jeofiziğin yaygın

uygulamalarından biridir. Özellikle elektrik özdirenç yöntemi bu tür yapıların yerlerinin belirlenmesinde önemli bir araştırma tekniğidir (Drahor ve diğ., 2004). Şekil-19'da çok-elektrotlu elektrik özdirenç ölçümlerinin yeraltı boşluklarının ve mağaraların tespiti amaçlı kullanımına bir örnektir.

4.2. Çevre ve Yeraltısu Kirliliği Araştırmalarındaki Uygulamaları

Dünyada ve ülkemizde genel olarak bakıldığında jeofizik yöntemlerle araştırılabilen yeraltısu kirliliğine neden olan faktörler şu şekilde sıralanabilir: Kıyı bölgelerindeki tatlı su akiferlerine tuzlu su girişimi, katı atık alanlarından kaynaklanan kirlenici sızıntı suyu, gömülü atık alanlarından kaynaklanan kirlilik. Jeofizik yöntemler kirliliğin yayılımının haritalanması amacıyla kullanılabilirdiği gibi son yıllarda alternatif biçimlerde zaman içinde izleme amaçlı da kullanılmaktadır (Özürlan, 2007).

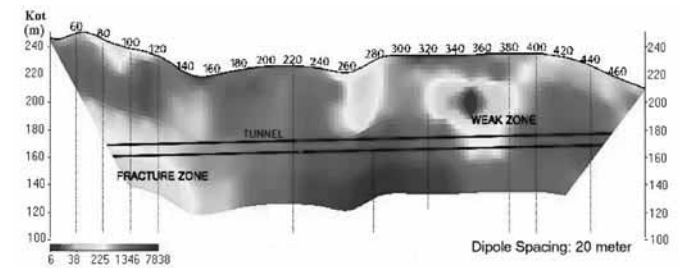
Çevre ve yeraltısu kirliliğinde oluşan kimyasal değişimler doğrudan yeraltındaki suyun ve içinde bulunduğu kayacın iletkenliği ile ilişkili olması nedeniyle elektrik ve elektromanyetik yöntemler jeofizik yöntemler içinde öne çıkmaktadır (Özürlan, 2007).

Kirliliğin araştırılması için jeofizik yöntemlerin uygulanması ile kirliliğin yatay ve düşey sınırları, yayılımı, doğrultusu ve derinliği araştırılmaktadır. Bu araştırmalarda, daha önce sözü edildiği gibi jeoloji, hidrojeoloji ve jeokimya, hidrokimya ile ortak çalışma gereklidir. Kirliliğin araştırılması için jeofizik yöntemlerin uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Özürlan, 2007);

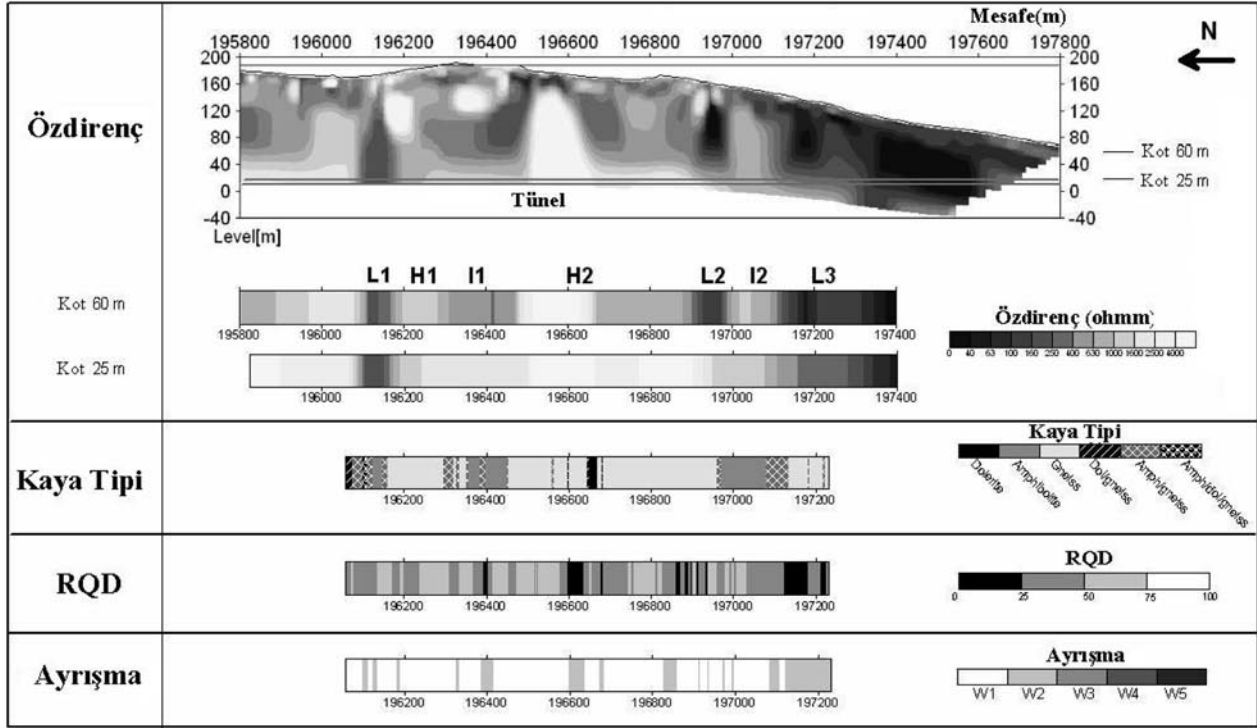
- Gömülü atık alanlarının yanal ve düşey sınırlarının belirlenmesi

- Açık katı atık alanlarından sızan kirliliğin yeraltısu içindeki yayılımının haritalanması

- Kıyı bölgelerindeki tuzlu su girişiminin haritalanması



Şekil-16. Güney Seoul (Kore) Karayolu Tüneli boyunca zayıf ve kırıkli hatların belirlenmesi (www.agiusa.com)



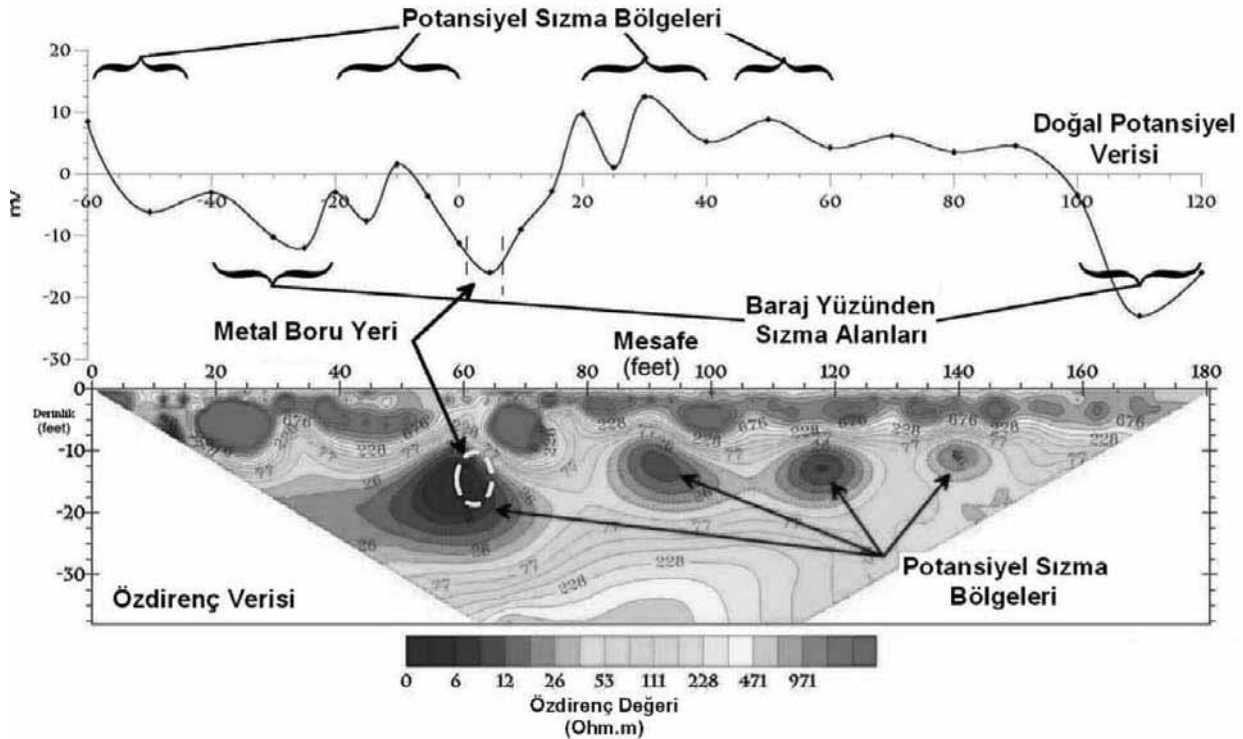
Şekil-17. Tünel hattı boyunca yer alan kayaların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi (Danielsen ve Dahlin, 2007) H:Yüksek, L:Düşük, I: Orta

- Rafineri ve benzin istasyonlarından yayılan hidrokarbon kirliliğinin araştırılması

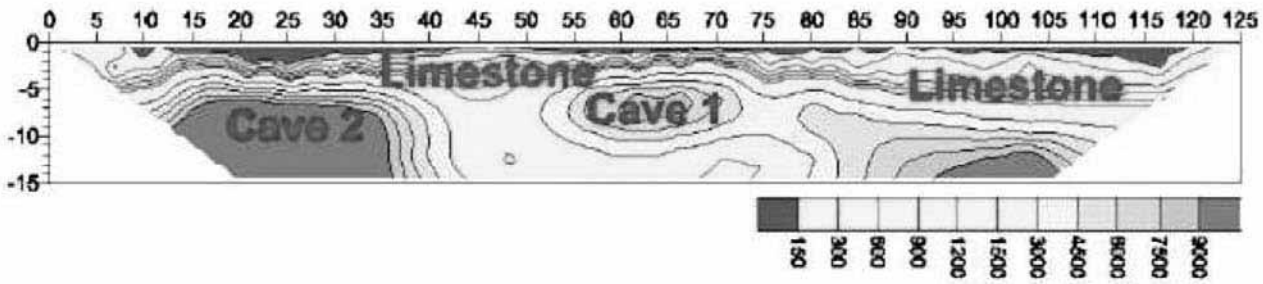
Yeraltı sularının toplandığı akiferlerdeki su tablası genellikle topografyaya bağlı bir hidrolik eğimle denize ulaşmaktadır. Ancak denize yakın akiferlerde yeraltından fazla miktarda ve devamlı olarak su çekilmesi ile karadan denize doğru olan hidrolik eğim yön değiştirmekte, tuzlu olan deniz suları akiferlere doğru kilometrelerce sokulmaktadır. Bu sorunun kontrol edilmesindeki en

önemli unsur, kuyulardan çekilen su miktarı ile havzayı besleyen su miktarı arasındaki dengedir. Sondaj yapmanın mümkün olmadığı yerlerde, tatlı ve tuzlu suyun öz dirençleri arasındaki farklılık, her iki su sınırının öz direnç yöntemi ile bulunmasını olanaklı kılmaktadır.

Şekil-20, Bernard ve diğ.,2004 tarafından İspanya kıyılarında Wenner-Schlumberger dizilimi ile ölçülmüştür. Sondaj-profil verilerinin 2B ters çözümü sonucu elde edilen model'de, 1 ohm.m'den küçük değerli yerler, sedi-



Şekil-18. Barajlardaki su kaçaklarının bulunması (www.agiusa.com)



Şekil-19. Karstik boşlukların tespiti (Langmanson, 2005)

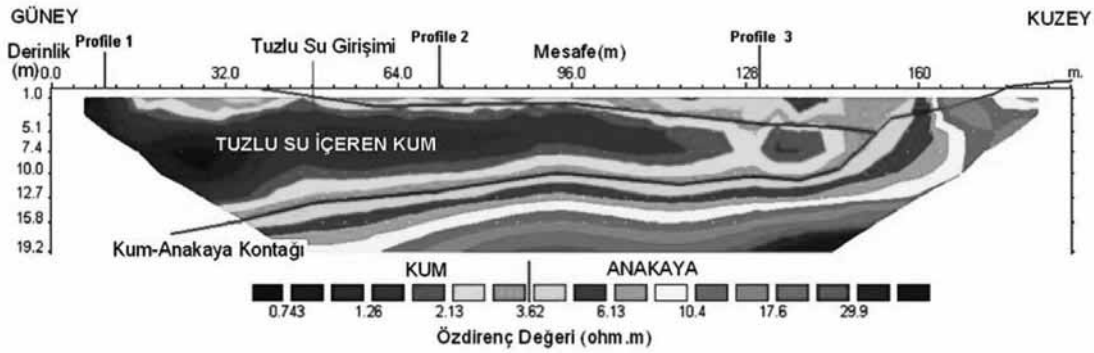
mana tuzlu suyun karıştığı yeri göstermektedir. Doymun olmayan zon yaklaşık 20 ohm.m özdirenç değerindedir (Bernard ve diğ., 2004). Şekil-21'de de, bir tuzlu su yayılımını gösterir elektrik özdirenç kesiti verilmiştir.

Dolgu alanlardan kaynaklanan sorunlar, çevresel araştırmalarda önemli bir etkidir. Özellikle kentlerin yakınlarında bulunan eski ve yeni çöplük sahaları büyük sorunlar üretebilir. Bu aşamada çöp sahası ve çevresindeki jeolojik özellikler oldukça önemlidir. Jeofizik araştırmalar, kirletilmiş alanlardaki değişik sorunları belirlemede yaygın olarak uygulanmaktadır. Elektrik özdirenç yöntemi, bu tür alanlardaki değişik sorunların belirlenmesinde çok yararlı olup, yöntem atık ve dolgu alan araştırmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Drahor ve diğ., 2004). Şekil-22 ve Şekil-23, çok-elektrotlu elektrik özdirenç ölçümlerinin çevre kirliliği araştırmaları amaçlı kullanımına örneklerdir.

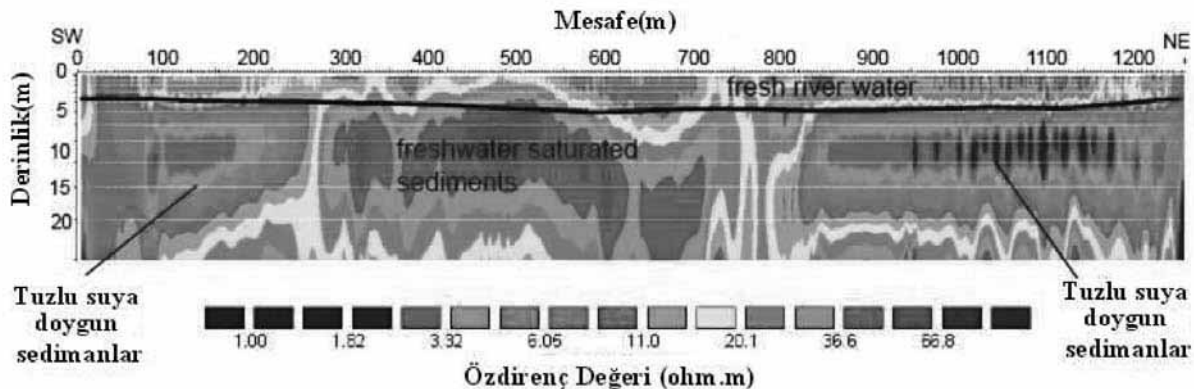
5. SONUÇLAR

Klasik bir yöntem olan özdirenç yöntemi, yeraltısuyu ve jeotermal kaynak arama, maden arama, mühendislik yapıları zemin araştırmaları, arkeolojik aramalarda ve petrol aramalarında kullanılır. Bu açıdan uygulama alanlarının çokluğu ile hala güncel olan bu yöntem gelişmiş ölçme cihazlarının kullanılmasıyla ve modelleme aşamasında gelişmiş teknikler kullanılarak uygulandığında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. İki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) çözüm yöntemlerinin uygulanması son yıllarda yöntemin etkinliğini arttırmıştır.

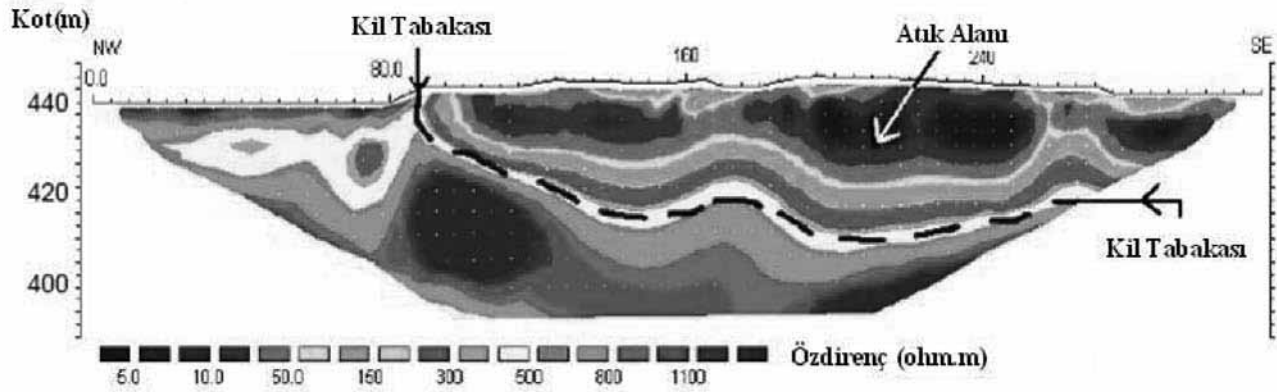
Yeraltı jeolojisinin daha anlaşılır ve daha ayrıntılı olarak ortaya konulabilmesi için bir boyutlu (1B) modellemeler yerine günümüzdeki teknolojik gelişmeler ve yapılan araştırmaların sonuçları dikkate alınarak iki boyutlu (2B) modellemenin kullanılması artık standart hale gelmiştir.



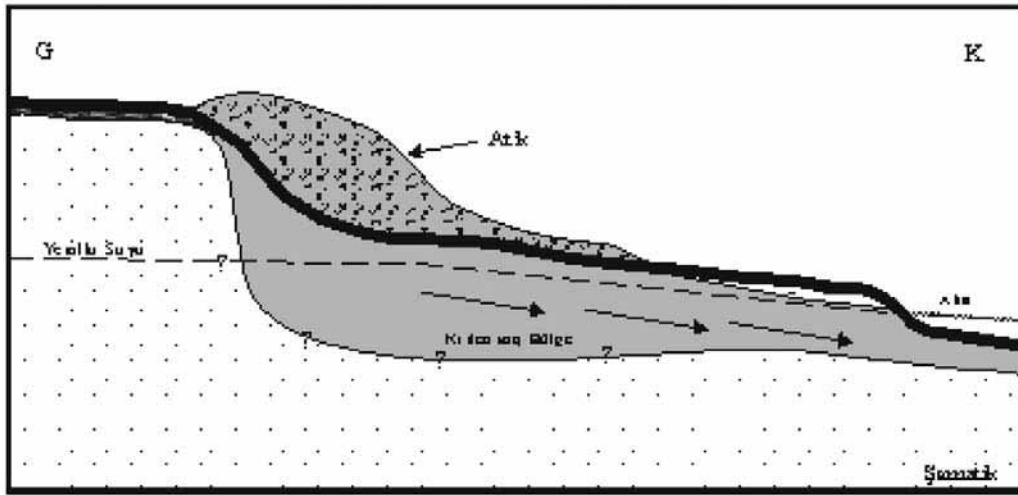
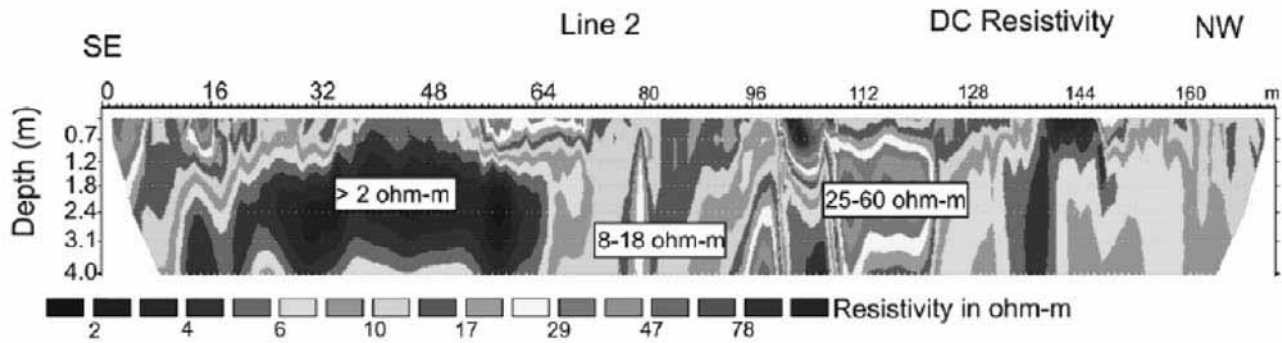
Şekil-20. Kıyı akiferleri içerisinde tuzlu suyun girişi (tatlı su-tuzlu su girişi) (Bernard ve diğ., 2004)



Şekil-21. Tuzlu su yayılımını gösterir elektrik özdirenç kesitleri (Beleval vd., 2003).



Şekil-22. Alpler/Fransa atık alanı uygulaması (Bernard ve diğ, 2008)
Atıklar: 10 ohm.m'den küçük , Alüvyon: 1 000 oh.m'den büyük



Şekil.-23. Çanakkale düzensiz katı atık depolama alanından yayılan kirlilik (Şengül, 2004)

2B etütlerin uygulanması çözünürlük gücünün artmasına paralel olarak ölçülerin süratle alınması ve değerlendirilmesi konusunda jeofizik mühendislerine önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Geleneksel 1B etütlerde karşılaşılan kısıtlamalar büyük ölçüde ortadan kalkmıştır. Örneğin, elektrotların aynı kotta olması, nehre paralel açılım gibi.

Çok elektrotlu özdirenç yönteminin uygulanması ile çok geniş alanlarda hızlı araştırmalar yapılmakta ve yeraltı ile ilgili daha fazla veri üretilebilmektedir. Ölçüm sonucunda saptanan parametreler yeraltının jeolojik ve mühendislik özelliklerini birlikte yansıtmaktadır. Bu ne-

denle; mühendislik jeolojisi araştırmaları, çevre ve yeraltısuyu kirliliği araştırmalarında yeraltının iki ve üç boyutlu modellenilebildiği çok-elektrotlu özdirenç ölçümlerinin diğer araştırma yöntemleri ile birlikte uygulanışı son derece yararlı ve yerinde bir karar olacaktır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

Aksu, T.F., 2006, Jeofizik elektrik yöntemlerinde 2 boyutlu tomografi ve arazi uygulamaları, Yeraltısuyu Araştırmalarında Uygulanan Yöntemler ve Saha Uygulamaları Seminer Notları, Jeofizik Mühendisleri Odası

Beval, M., Lane, J.W., Lesmes, D.P. and Kineke, G.C.,

2003, Continuous-resistivity profiling for coastal groundwater investigation: three case studies, in SAGEEP,EEGS,CD-ROM,14 p.

Berge, M.A., 2002, Sığ aramacılıkta sonlu farklar yöntemi ile iki-boyutlu düz çözüm özdirenç modellemesi,Lisans Tezi,Dokuz Eylül Üniversitesi,Jeofizik Mühendisliği Bölümü (yayımlanmamış).

Bernard, J., Orlando, L., and Vermeersch, F., 2008, Multi-electrode resistivity imaging for environmental applications, 31 p. (www.iris-instruments.com)

Bernard, J., Orlando, L., and Vermeersch, F., 2004, Electrical resistivity imaging for environmental applications. 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, Abstracts Book,376-379

Candansayar, M.E., 2005, Doğru akım özdirenç yöntemi ile yeraltısuyu aramaları, Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları Semineri Notları, Jeofizik Mühendisleri Odası,52-114

Dahlin, T., 1996, 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications,First Break,14(7), 275-283

Danielsen, B.E. and Dahlin, T., 2007, Comparison between geoelectrical imaging and tunnel documentation, Near Surface 2007,13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, P04

Drahor, M. G., Göktürkler, G., Berge, M. A. ve Kurtulmuş, Ö. T., 2004, Dört farklı elektrot dizilimine göre bazı üç-boyutlu sığ yeraltı yapılarının görünür özdirenç modellemesi,Yer-bilimleri,30,115-128

Griffiths, D. H., and Barker, R. D., 1993, Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology, Journal of Applied Geophysics,29,211-226

Griffiths, D.H., Turnbull, J. ve Olayinka, A.I., 1990, Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array,First Break,8(4),121-129

Langmanson, M., 2005, Electrical resistivity imaging,Advanced Geosciences Inc.,41 p.

McDowel, P.W., Barker R.D., Butcher A.P, Culshaw M.G., Jackson, P.D., McCann, D.M., Skip, B.O., Matthews, S.L. and Arthur, J.C.R., 2002, Geophysics in engineering investigations, Geological Society Publication 19,250 p.

Ortiz, D.G., Velazquez, S.M., Crespo, T.M., Marquez, A., Lillo, J., Lopez, I., Carreno, F., Gonzalez, F.M., Herrera, R. and Pablo, M.A.D., 2007, Joint application of ground penetrating

radar and electrical resistivity imaging to investigate volcanic materials and structures in Tenerife (Canary Islands, Spain), Journal of Applied Geophysics,62,287-300

Özdemir, A. ve Özdemir,M.,2006; Jeoteknik Etüt Sondajları, Belen Yayıncılık,234 s.

Özürlan,G., 2007, Jeofizik yöntemlerle çevre ve yeraltısuyu kirliliğinin araştırılması,Seminer Notları,Jeofizik Mühendisleri Odası, 96 s.

Perrone, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Sdao, F., and Rizzo,E., 2002, 2D electrical resistivity imaging for the study of trans-rotasyonel earthflows in Basilicata region (Southern Italy), Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Atti del 21° Convegno Nazionale

Piscitelli, S., Caputo, R., Lapenna, V., Oliveto, A., and Rizzo, E., 2002, Electrical imaging survey across active faults: examples from the Tyrnavos basin (Greece), GNGTS 2002, Atti del 21° Convegno Nazionale

Robinson, E.S., and Coruh, C., 1988, Basic exploration geophysics Wiley, New York,562 p.

Rizzo, E., Colella, A., Lapenna, V. and Piscitelli, S., 2004, High-resolution images of the fault-controlled High Agri Valley basin (Southern Italy) with deep and shallow electrical resistivity tomographies, Physics and Chemistry of the Earth,29,321-327

Sasaki, Y., 1992, Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation, Geophysical Prospecting, 40,453-464.

Schlumberger, C., 1920, Etude sur la prospection électrique du sous-sol, Gaultier-Villars et Cie.,Paris.

Şengül, E., 2004, Çanakkale düzensiz atık depolama sahasının yüzey ve yeraltısularına etkisinin uygulamalı jeofizik yöntemlerle araştırılması,Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,Yüksek Lisans Tezi, 76 s.

Tapiasa, J.C., Himib, M., Masachsa, A., Nietoc, C., Brissaudd, F., Salgota, M. and Casasb., 2006, Using electrical imaging for assessing suitability of reclaimed water recharge at Begur(Spain), Desalination,188,69-77

vanOvermeeren, R.A. and Ritsema, I.L., 1988, Continuous vertical electrical sounding,First Break,6(10),313-324

Wightman, W.E., Jalinoos, F., Sirles, P., and Hanna, K., 2003, Application of geophysical methods to highway related problems, Federal Highway Administration,716 p.

