

**JEOFİZİK YÖNTEMLERİN
YERALTISUYU KİRLİLİĞİ ARAŞTIRMALARINDAKİ UYGULAMALARI
ve GELİŞMELER**

Developments and Groundwater Contaminant Applications of Geophysics Methods

Jeo.Müh.Adil ÖZDEMİR

ADİL ÖZDEMİR MÜHENDİSLİK VE SONDAJ

Kumrular Cad. 22/8 Kızılay/Çankaya/ANKARA

adilozdemir2000@yahoo.com

ÖZ

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

Çevre ve yeraltısuyu 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.

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

- Gömülü atık alanlarının yanal ve düşey sınırlarının belirlenmesi
- Açık katı atık alanlarından sızan kirliliğin yeraltısuyu içindeki yayılımının haritalanması
- Kıyı bölgelerindeki tuzlu su girişiminin haritalanması
- Rafineri ve benzin istasyonlarından yayılan hidrokarbon kirliliğinin araştırılması

Yeraltısularının 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

özdirençleri arasındaki farklılık, her iki su sınırının özdirenç yöntemi ile bulunmasını olanaklı kılmaktadır.

Bu çalışmada, jeofizik yöntemlerin yeraltısuyu kirliliği araştırmalarındaki uygulamaları örnek çalışmalar üzerinden irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltısuyu Kirliliği, Jeofizik, Çok-Kanallı Rezistivite

ABSTRACT

In generally, groundwater contamination factors that can be studied with geophysical methods in the world and our country are classified like that: sea water leakage to the coast line water aquifers, solid disposal site sourced contaminater, buried disposal site contamination. geophysical methods can be used for mapping the contamination emission, it can be also used for monitoring in recent years.

Chemical reactions which can be occurred during contamination in groundwater and environment is directly in relation with the electric conductivity of groundwater and the reservoir rock. Therefore, electric and electromagnetic methods are prominenced.

For studying the contamination, vertical and horizontal limits, emmision, direction and depth of contamination are studied with geophysical methods. These studies are required co-working with geology, hydrogeology, geochemistry and hydrochemistry. for contamination studies application areas of geophysical methods are:

- vertical and horizontal limits of buried disposal sites.
- mapping the groundwater contamination emmision which is caused by leakage of contamination of solid disposal sites.
- mapping the sea water leakage in coast lines.
- studying the hydrocarbon contamination caused by oil stations and rafineries.

water table in the aquifer that the groundwater deposited is generally reach to the sea with topographically hydraulic slope. however, hydraulic slope from coast to sea changes direction by huge, continuous dewatering process in the aquifers near the sea and sea water leaks to the aquifers. the most important component of controlling this problem is the balance of the quantity of coming water and water consume of the wells. resistivity difference of sea water and water where drilling impossible is make possible finding the border of two water with resistivity method.

In this study, geophysical methods on groundwater contamination study applications are mentioned with examples.

Keywords: Groundwater Contaminant, Geophysic, Multi-cannel Resistivity

1. GİRİŞ

Jeofizik yöntemlerden biri olan elektrik özdirenç (rezistivite) yöntemi ile yeraltına ait parametrelerin belirlenmesi uzun yıllardan beri yapılmaktadır. İlk defa 1915 yılında Wenner tarafından uygulanan özdirenç yöntemi, Schlumberger,1920 tarafından geliştirilerek başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bilgisayar ve jeofizik cihaz teknolojisinin gelişmesiyle elektrik özdirenç yöntemi, yeraltının özdirenç değişimlerinin bir, iki ve üç boyutta incelenmesine olanak vermiştir. Böylelikle yönebağımlı ve tekdüze olmayan yeraltının gerçeğe daha yakın özdirenç 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 özdirenç 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 özdirenç 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 sonuçlar 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, çözünürlük 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).

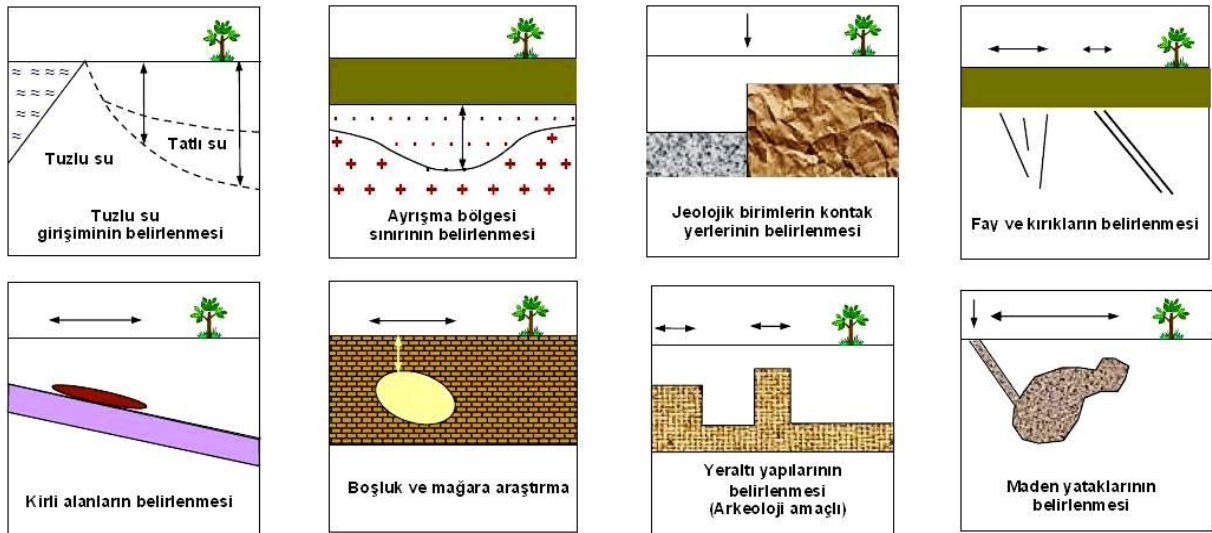
Son yıllarda, elektronik ve bilgisayar bileşenlerinin evrimi, bir doğrultu boyunca sondaj-profil ölçüsü almayı sağlayacak otomatik olarak değiştirilebilen çok-elektrotlu özdirenç ölçü yönteminin (elektrik özdirenç görüntüleme de denilmektedir) geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu şekilde ölçülen görünür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

Çok-elektrotlu özdirenç ölçü yöntemi, konusunda ilk çalışma vanOvermeeren ve Ritsema,1988 tarafından yapılmıştır. Daha sonra Griffiths ve diğ.,1990 ve Dahlin,1996'in 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 çakılmış elektrotlar ile bu elektrotların bağlantısını sağlayan çoklu bir kablodan (birçok tel içeren) oluşmaktadır. Öz direnç 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 öz direnç yönteminde, araziden ölçülen görünür öz direnç değerlerinden yeraltının gerçek model parametrelerine ulaşmak hedeflenmektedir. Shima ve Sakayama,1987 belli bir elektrot sayısı ile çevrelenen çalışma alanının iki boyutlu bir öz direnç kesitini oluşturmak için kullandıkları tekniği ilk olarak “Öz direnç Görüntüleme” diye adlandırmışlardır. Bu terimin kullanımı, öz direnç metodu ile X-ışını görüntülemesine benzer bir çözünürlükte sonuçların elde edilmesiyle yerine daha iyi oturmuş ve elde edilen çözünürlüğün geleneksel öz direnç yöntemine göre daha iyi ve kullanışlı sonuçlar verdiği görülünce yöntemin tercihi diğer jeofizik yöntemlere oranla artmıştır (Sasaki, 1992). Bunu takiben öz direnç yöntemi gelişen veri toplama ve değerlendirme aşamaları ile günümüzde yeraltının iki ve üç boyuttaki öz direnç dağılımını gerçeğe çok yakın verebilmesi sebebiyle birçok jeolojik sorunun çözümünde kullanılır hale gelmiştir (Şekil-1).



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

Son yıllarda, 2B öz direnç görüntüleme yöntemleri, geleneksel öz direnç 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).

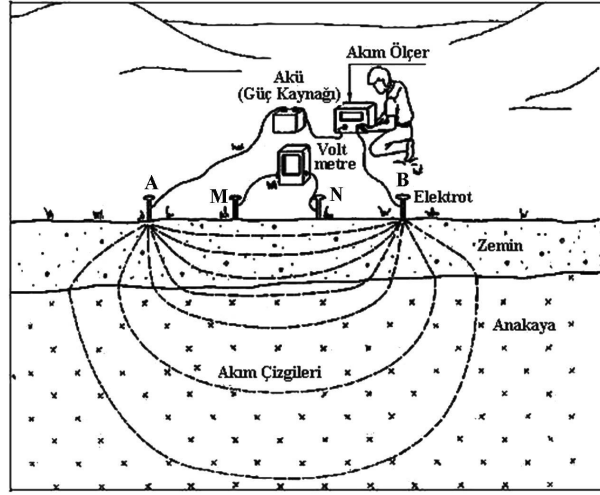
Birçok jeolojik malzemenin özdirenç değerleri hemen hemen aynı özdirenç aralıklarına girmektedir. Bu durum bize, çok önemli bir bilgi sağlamaktadır. Elektrik özdirenç yöntemi ile yapılan etüt sonucunda hesaplanan özdirenç değeri ile sahada ne tip kayalar olduğunu yazmak pek doğru bir iş olmayacaktır. Bu kaniya 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, 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-1).

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.



Şekil-1. Özdirenç yönteminin arazi uygulaması (Robinson ve Coruh, 1988)

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 yanıl 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 yanıl 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.

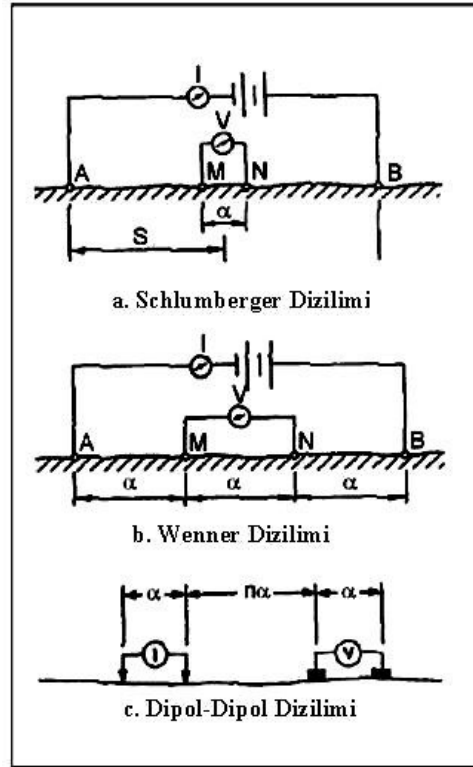
Schlumberger elektrot dizilimi, genellikle düşey elektrik sondaj (DES) ölçüm tekniği ile birlikte kullanılır ve yatay veya yataya yakın tabaka sınırlarının derinlik ve özdirençlerinin belirlenmesinde kullanılır. Arazide uygulanması oldukça pratiktir ve bu nedenle çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Wenner 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-2). 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-2).

Wenner elektrot dizilimi, düşey süreksizliklerin belirlenmesi için kaydırma ölçü tekniği kullanılarak oldukça hassas bir şekilde yapılabilmektedir. 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.

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-2).



Şekil-2. Elektrik özdirenç ölçümlerinde elektrot dizilimleri (Wightman ve diğ., 2003)

3. ÇOK-ELEKTROTLU ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNİN ESASLARI

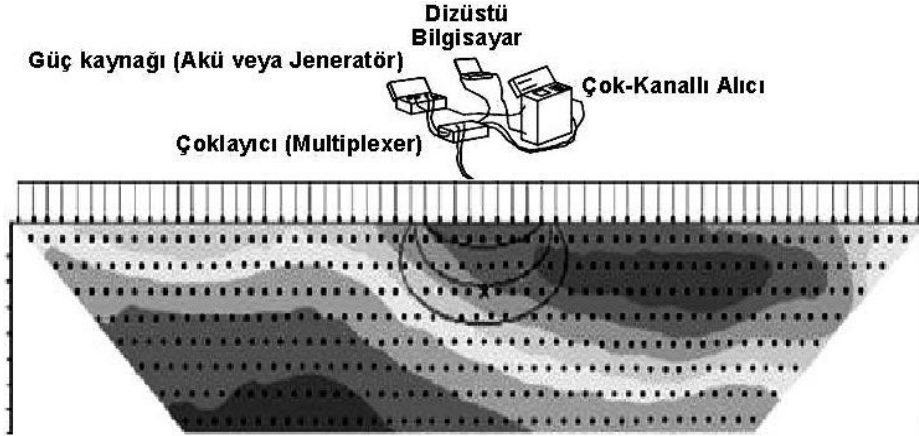
Son yıllarda, elektronik ve bilgisayar bileşenlerinin evrimi, bir doğrultu boyunca sondaj-profil ölçüsü alınmasını sağlayacak otomatik olarak değiştirilebilen çok-elektrotlu özdirenç ölçü sisteminin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Elde edilen görüntü (görünür özdirenç yapma kesiti) bir ters çözüm 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-3 ve Şekil-4). 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.



Şekil-3. Yöntemin ana bileşenleri ve elde edilen 2B görüntü (Tapiasa ve diğ., 2006'dan uyarlanmıştır)

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 öz direnç 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 öz direnç yapısı hakkında bilgi vermektedir. Bu yöntem ile ölçülen GÖ (görünür öz direnç) 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.





Şekil-4. Çok-elektrotlu elektriksel özdirenç yöntemi ile arazide ölçü alımı (www.agiusa.com)

4. YERALTISUYU KİRLİLİĞİ ARAŞTIRMALARINDAKİ UYGULAMALARI

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

Çevre ve yeraltısuyu 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 (Özürkan, 2007).

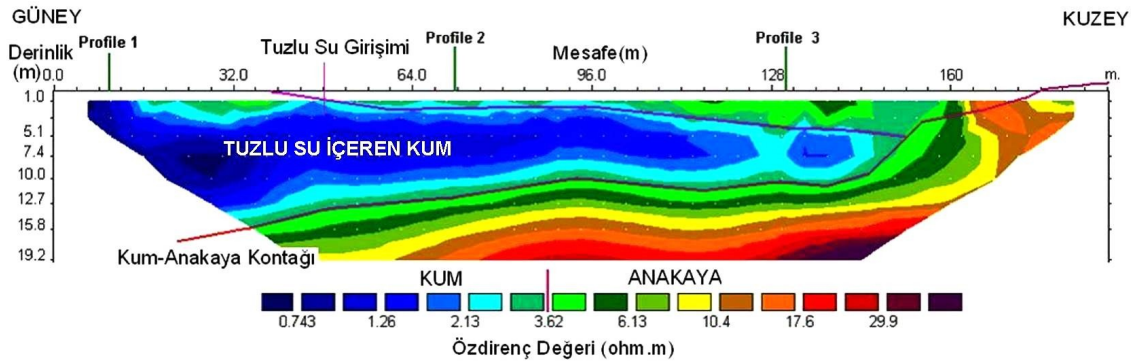
Kirliliğin araştırılması için jeofizik yöntemlerin uygulanması ile kirliliğin yatay ve düşey sınırları, yayılımı, doğrultusu ve derinliği araştırılmaktadır. Bu araştırmalarda, daha önce sözü edildiği gibi jeoloji, hidrojeoloji ve jeokimya, hidrokimya ile ortak çalışma gereklidir. Kirliliğin araştırılması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

- Gömülü atık alanlarının yanal ve düşey sınırlarının belirlenmesi
- Açık katı atık alanlarından sızan kirliliğin yeraltısuyu içindeki yayılımının haritalanması
- Kıyı bölgelerindeki tuzlu su girişiminin haritalanması
- Rafineri ve benzin istasyonlarından yayılan hidrokarbon kirliliğinin araştırılması

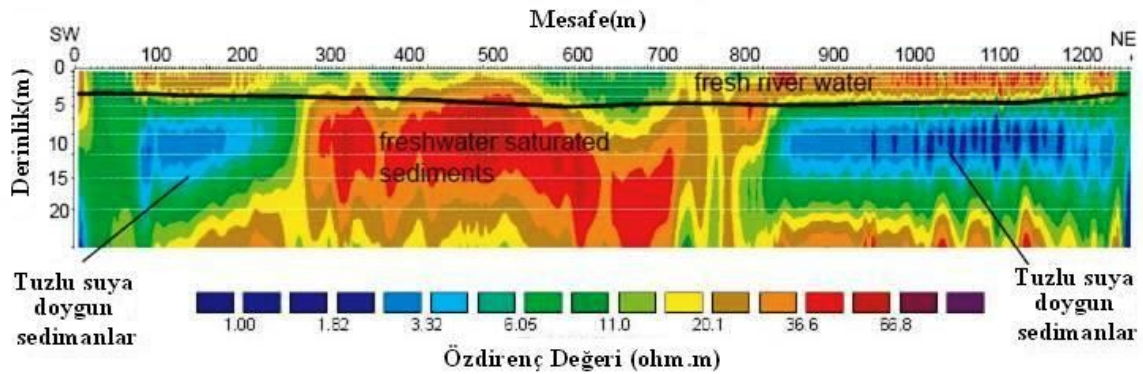
Yeraltısularının toplandığı akiferlerdeki su tablası genellikle topografyaya bağlı bir hidrolik eğimle denize ulaşmaktadır. Ancak denize yakın akiferlerde yeraltından fazla miktarda ve devamlı olarak su çekilmesi ile karadan denize doğru olan hidrolik eğim yön değiştirmekte,

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 özdirençleri arasındaki farklılık, her iki su sınırının özdirenç yöntemi ile bulunmasını olanaklı kılmaktadır.

Şekil-5'de, Bernard ve diğ.,2004 tarafından İspanya kıyılarında Wenner-Schlumberger dizilimi ile ölçülmüş sondaj-profil verilerinin 2B ters çözümü sonucu elde edilen model'de, 1 ohm.m'den küçük değerli yerler, sedimana tuzlu suyun karıştığı yeri göstermektedir. Doygun olmayan zon yaklaşık 20 ohm.m özdirenç değerindedir (Bernard ve diğ., 2004). Şekil-6'da da, bir tuzlu su yayılımını gösterir elektrik özdirenç kesiti verilmiştir.



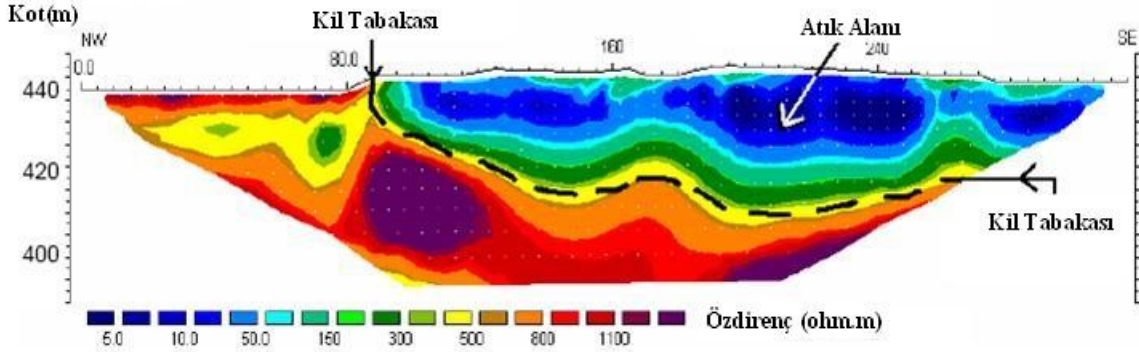
Şekil-5. Kıyı akiferleri içerisinde tuzlu suyun girişi (tatlı su-tuzlu su girişi) (Bernard ve diğ., 2004)



Şekil-6. Tuzlu su yayılımını gösterir elektrik özdirenç kesitleri (Beval vd., 2003).

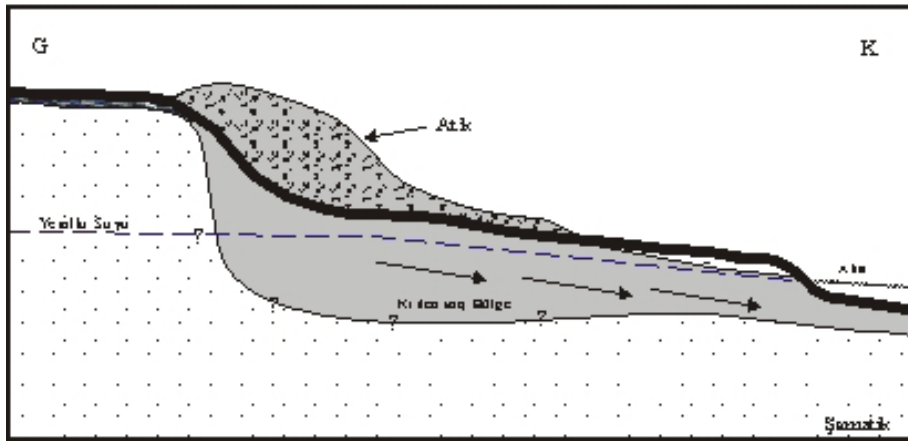
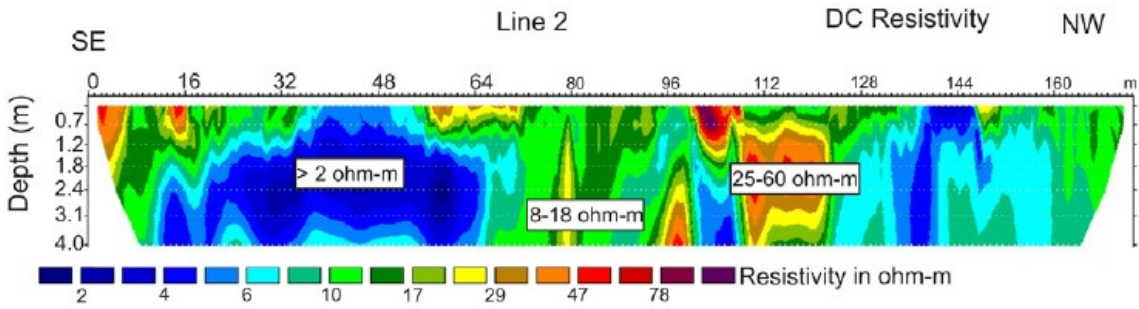
Dolgu alanlardan kaynaklanan sorunlar, çevresel araştırmalarda önemli bir etkidir. Özellikle kentlerin yakınında bulunan eski ve yeni çöplük sahaları büyük sorunlar üretebilir. Bu aşamada çöp sahası ve çevresindeki jeolojik özellikler oldukça önemlidir. Jeofizik aramalar, kirletilmiş alanlardaki değişik sorunları belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. 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-7 ve Şekil-8, çok-elektrotlu elektrik özdirenç ölçümlerinin çevre kirliliği araştırmaları amaçlı kullanımına örneklerdir.



Şekil-7 Alpler/Fransa atık alanı uygulaması (Bernard ve diğ., 2008)

Atıklar: 10 ohm.m'den küçük , Alüvyon: 1 000 oh.m'den büyük



Şekil-8. Çanakkale düzensiz katı atık depolama alanından yayılan kirlilik (Şengül, 2004)

5. SONUÇLAR

Dünyada ve ülkemizde genel olarak bakıldığında, jeofizik yöntemlerle araştırılabilen yeraltısuyu kirliliğine neden olan faktörler Şu Şekilde sıralanabilir: Kıyı bölgelerindeki tatlı su

akiferlerine tuzlu su girişimi, katı atık alanlarından kaynaklanan kirletici sızıntı suyu, gömülü atık alanlarından kaynaklanan kirlilik. Jeofizik yöntemler kirliliğin yayılımın haritalanması amacıyla kullanılabildiği gibi son yıllarda alternatif biçimlerde zaman içinde izleme amaçlı da kullanılmaktadır.

Çevre ve yeraltısuyu 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.

Klasik bir yöntem olan özdirenç yöntemi, 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.

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 nedenle; mühendislik jeolojisi araştırmaları, çevre ve yeraltısuyu kirliliği araştırmalarında yeraltının iki ve üç boyutlu modellenebildiği çok-elektrotlu özdirenç ölçümlerin 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
- 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
- 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 öz direnç modellemesi, *Yerbilimleri*, 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
- Özürkan, G., 2007, Jeofizik yöntemlerle çevre ve yeraltı suyu kirliliğinin araştırılması, *Seminer Notları*, Jeofizik Mühendisleri Odası, 96 s.
- Robinson, E.S., and Coruh, C., 1988, *Basic exploration geophysics* Wiley, New York, 562 p.
- 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 yeraltı sularına 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
- Wightman, W.E., Jalinoos, F., Sirles, P., and Hanna, K., 2003, Application of geophysical methods to highway related problems, *Federal Highway Administration*, 716 p.