

TÜRK MÜHENDİS VE MİMAR ODALARI BİRLİĞİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI



İÇME- KULLANMA VE SULAMA AMAÇLI
YERALTISUYU ARAMALARI
(HİDROJEOFİZİK)
NORMU

Ocak - 2016

Yönetim Kurulu'nun 26/01/2016 tarih ve 100 sayılı kararı ile Oda Normu olarak kabul edilmiştir.



1. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Etüdü gerçekleştirecek mühendis tarafından sahanın jeolojisi, hidrojeolojik koşullar, çevresel etkiler vb göz önüne alınarak kullanılacak jeofizik yöntem seçilecektir. Seçilen yönteme göre bir saha dizaynı ve ölçü planı yapılacaktır.

Yeraltısuyu aramaları için belli başlı jeofizik yöntemler aşağıda verilmiştir. Sahanın jeolojik/hidrojeolojik özellikleri, hedef derinlikler, olası işletme planları, finansal kısıtlamalar vb göz önüne alınarak bu yöntemlerden bir ya da birkaçı veya harici başka metotlar da kullanılabilir.

1.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi

Yeraltısuyu aramalarında ve yeraltısuları ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümünde, elektrik ve elektromanyetik yöntemler tüm dünyada etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemler, yeraltının elektriksel özelliklerinin (özdirenç) su içeriği tarafından değiştirilmesi esasına dayanmaktadır ve su varlığı hakkında dolaylı bir bilgi edinilmektedir. Özdirenç değişimi hem su varlığı hem de kayaçların diğer petrofiziksel durumları ile ilgilidir (Başokur ve Akça, 2014). Özdirenç yöntemi, yeraltısuyu araştırmalarında jeolojik birimlerin elektrik özdirenç değerlerinin saptanarak su içerebilecek formasyonların belirlenmesini sağlayan bir jeofizik yöntemdir.

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).

1.1.1. Kayaçların Elektriksel Özellikleri

Yeryüzüne yakın kayaçların elektrik iletkenlikleri, basit olarak; metalik ortamlarda elektron, bunun dışındaki ortamlarda iyonların taşınmasına bağlıdır. Kayaçların iletkenliği çoğunlukla birbirine bağlı gözeneklerde, tane sınırları boyunca, kırıklarda, ezilme bölgelerinde bulunan sıvıya, onun içindeki iyon türüne ve konsantrasyonuna bağlıdır. Elektrik akımının akışını sağlayan iyonlar, su içindeki, tuzların çözülmesiyle oluşur. Dolayısıyla kayaçların iletkenliği, içlerinde taşıdıkları çözünmüş iyon konsantrasyonu ile artar. Kayaçların gözenekliliği, su içeriği, geçirgenliği ve bunlara bağlı özdirenç birinden diğerine fark etmektedir. Çoğu yer altı suyu etütlerinde kayaçların katı kısımları elektrik



iletimi yapmadığı ve bu sebepten elektrik akımı sadece kayaç içindeki sudan geçtiği, su içinde de iyonlar tarafından taşındığı kabul edilmektedir. Bu durumda; kayacın elektrik iletkenliğine en büyük etkiler; gözenek, gözenek sıvısının özdirenci, suya doygunluk derecesi, toprak veya kaya gözenek boşluğunun şekli, ısı derecesi ve yüksek miktarda katyon değişim kapasiteli killer şeklinde sıralanabilir (Keçeli, 2012).

1.1.2. Kullanılması gereken cihaz ve ölçü alımında 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). Islak ortamların özdirençleri yer içindeki akım yoğunluğu ile değişebildiğinden farklı bir katman görüntüsü oluşturabilmektedir. Özdirenç saptanacak farklı derinliklerde yaklaşık aynı akım yoğunluğunu sağlamak için küçük elektrot açılımlarda küçük akım miktarları, büyük elektrot açılımlarında büyük akım miktarları kademeli arttırılarak sağlanmalıdır.

Hangi tür elektrot kullanılırsa kullanılsın elektrotlar arasında 2-3 milivolt 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 öz direnç değerleri göreceli olarak büyür, akım hatlarının sıklaştığı ortamlarda ise öz direnç 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.

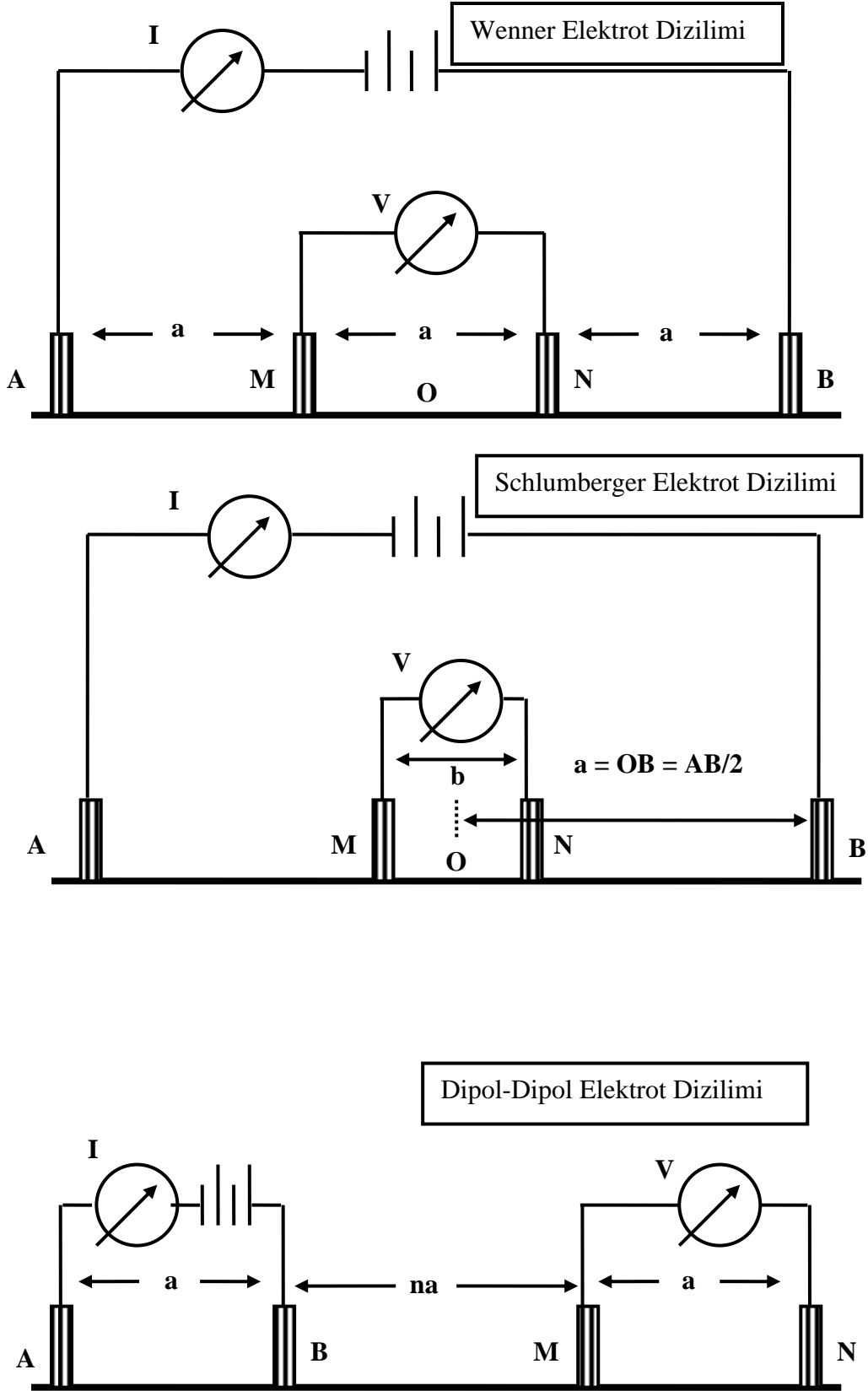
1.1.3. Düşey Elektrik Sondaj (DES)

Düşey elektrik sondaj; elektrot aralıkları bir merkez etrafında büyütülerek düşey yönde yeraltının öz direnç dağılımının hesaplanması olarak tanımlanabilir. Kayaçların yatay ya da düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farklarından yararlanarak jeolojik yapının ortaya konması elektrik yöntemlerin uygulamasındaki temel amaçtır. Bu amaç doğrultusunda; sahada gerçekleştirilen ölçümler sonucu elde edilen görünür öz direnç değerleri modellenerek ortamdaki katmanlara ait kalınlık ve öz direnç parametreleri saptanır. Saptanan bu parametrelerden yararlanarak ortama ilişkin jeolojik model ortaya konulur (Keçeli, 2012).

1.1.4. Elektrot Dizilimleri

Yeraltısuyu araştırma etütlerinde kullanılacak elektrot dizilimlerinden bazıları şu şekildedir: Wenner elektrot dizilimi, Schlumberger elektrot dizilim, Dipol-Dipol elektrot dizilim vb. Proje içeriği, arazi şartları, jeolojik durum, araştırma derinliği vb birçok nedenle farklı elektrot dizilimlerin de kullanılması mümkündür. Aşağıda örnek elektrot dizilimleri şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 1).





Şekil 1. Örnek elektrot dizilimleri

1.1.4. Düşey Elektrik Sondaj Eğrilerinin Değerlendirilmesi, Yorumlama ve Hidrojeofizik Çözümler

Hesaplanan görünür özdirenç değerleri, arazi ölçü hatlarının dizaynına göre modellenerek etüt sahası için bir hidrojeofizik model ortaya konulmalı ve hidrojeolojik yorumlar yapılmalıdır. Özdirenç değişimleri ve hidrojeolojik koşullardan hareketle varsa akifer özelliği taşıdığı düşünülen seviyeler belirlenmeli ve mekanik sondaj lokasyonları (mümkünse alternatifli olarak) ve derinlikleri önerilmelidir. Su alınması düşünülen litoloji ve ilerlemeye son verilecek formasyon cinsi açıklanmalıdır. Proje kapsamında belirlenen derinlikler için eş-özdirenç kontur haritaları hazırlanmalıdır.

Killi seviyelerin olup olmadığı tespit edilmeli, bu seviyeler haritalanmalıdır. Özellikle yeraltısuyu kirliliği riski öngörülen sahalarda killi seviyeler, kirlenici alanın alt sınırı olarak davranmaktadır. Yer altı suyu kirliliği ile ilgili yorumlar getirilmelidir.

Özdirenç değerlerine bağlı olarak, akiferin gözeneklilik ve hidrolik iletkenliğinin hesaplanması için yarı-deneysel bağıntılar kullanılabilir.

Özellikle tuzlu su girişimi tahmin edilen sahalarda, girişim yapan yerlerin tespiti yapılmalı, eğer mekanik sondaj yapılacaksa, teçhiz planına tecrit önerileri getirilmelidir.

1.2. Self-Potansiyel (SP) Yöntemi

Self-potansiyel yöntemi (SP), yer içine herhangi bir elektrik akımı uygulamadan yer içinin elektrokimyasal ve fizikokimyasal özelliklerinden doğal olarak oluşan elektrik potansiyelinin ölçülmesiyle yer altı özelliklerini saptamaya çalışan bir jeofizik yöntemdir. Yerin sığ derinliklerindeki farklı özelliklerinden dolayı doğal olarak kendiliğinden oluşan çeşitli elektrik gerilimler bulunmaktadır (Keçeli, 2012). Bunlar;

- Gözenekli kayaç içinde gözeneklerin dar ve kılcal geçitleri veya bağlantılarındaki yer altı suyu akış hareketi kapiler boruda olduğu gibi geçit uçlarında kutuplaşma meydana getiren “*elektrokinetik potansiyel*”.
- Tatlı su – tuzlu su girişimlerinde ve yer altı kirlenmelerinde iyon konsantrasyonu farklı ortamlar arasında veya farklı iyon konsantrasyonlu ortamlar arasında iyon nüfuzu ile meydana gelen potansiyel olan “*difüzyon potansiyeli*”.



- Yer içinde farklı iyon ve farklı iyon konsantrasyon ortamları arasında iletken bir bağlantı olduğunda elektrokimyasal veya konsantrasyon elektromotor kuvvetinin meydana gelmesiyle oluşan doğal gerilim farkı olan “*nernst potansiyeli*”. Bu özellikten yararlanarak yer altı suyu kirlilik bölgeleri ve tatlı su – tuzlu su geçiş sınırları saptanabilmektedir. Bu tür ortamlarda ± 400 milivolt ve civarında doğal gerilim değerleri ölçülebilmektedir.
- Mineralizasyon potansiyeli bölgelerinin meydana getirdiği kutuplaşmanın oluşturduğu doğal gerilim olan “*mineralizasyon potansiyeli*”. Bu tür ortamlarda, ortam doğal pil gibi davranış göstermekte ve -1.5 volt değerine kadar doğal gerilim ölçülebilmektedir.

Endüstriyel akım kaçakları ve yerkürenin kendisinin oluşturduğu tellürik akımlar da doğal potansiyel meydana getirebilmekte ve SP uygulamasında bozucu etki veya gürültü olarak adlandırılırlar. İstenmeyen bozucu etkiler, küçük değerler de olsa dahi, ölçü sahasının dışında alınacak ölçü değerinin etüt sahasındaki değerlerden düşülmesi gerekmektedir (Keçeli, 2012).

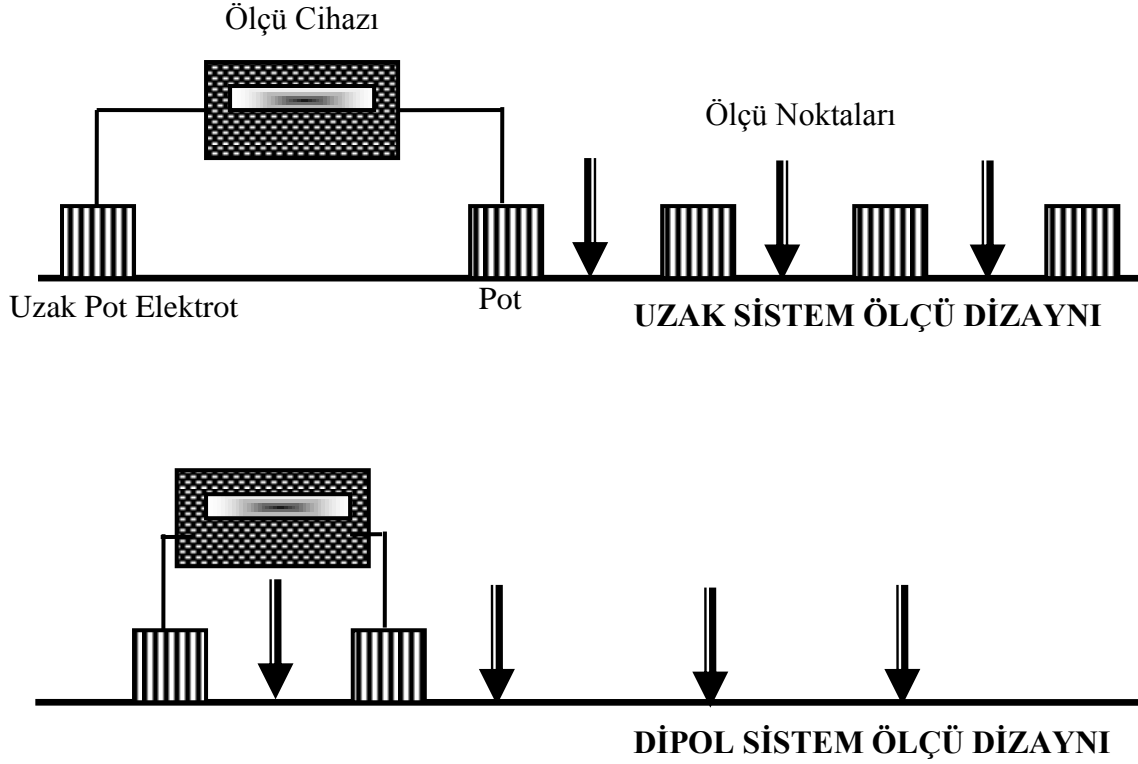
1.2.1. Kullanılması gereken cihaz ve polarize olmayan elektrotlar

Self-potansiyel (SP) ölçümlerinde; mikrovolt mertebesinde ölçü alabilen ve giriş empedansı 10^8 ohm olan bir doğru akım voltmetresi, doğal potansiyel ölçü cihazı olarak kullanılabilir. Ölçülecek doğal potansiyel değerleri milivolt mertebelerinde olduğundan yer ile devreyi tamamlayacak olan iki elektrotun kutuplaşmaması şarttır. Yerle temas eden bir elektrot ile yer arasında kutuplaşma, yani yapay gerilim meydana gelmemesi esastır. Bu nedenle; doğal potansiyel ölçülerinde polarize olmayan elektrotlar kullanılmalıdır. “Pot” olarak adlandırılan polarize olmayan elektrot, içerisinde bakır sülfat çözeltisi bulunan, tabanı gözenekli porselen iki fincan, bundan başka paslanmaz tam çelik veya grafit iki çubuklar kullanılmaktadır. İki elektrot arasında 2 mV civarında olabilecek farkın dengelenmesi gerekmektedir. Buna rağmen, ne tür elektrot kullanılırsa kullanılsın homojen ortama batırılan iki elektrot arasında potansiyel farkı saptanıp etüt sahası değerlerinden düşülmesi gerekmektedir (Keçeli, 2012).

1.2.2. Ölçü Dizaynı

Saha incelemesi ölçülerinde iki profil arasındaki açıklık 3 ile 30 metre arasında değişebilir. Ölçü dizaynı aşağıdaki gibi iki şekilde yapılabilir (Şekil 2).





Şekil 2. Ölçü dizaynları

Birincisinde elektrotlardan biri baz noktasında sabit, diğeri bir profil üzerinde çeşitli noktalara yerleştirilir. Bu dizayna “*Uzak Sistem*” de denilir. İkincisinde ise iki elektrot arası sabit tutularak bir profil üzerinde kaydırılır. Bu dizayn ise “*Dipol Sistem*” olarak adlandırılır. Uzak sistemin avantajı, uzun bir profil boyunca aynı baz noktasına göre ölçüsü alınabildiğinden ölçülen potansiyel değerlerindeki hata oranı sıfır mertebesindedir. Sabit elektrot aralığındaki sistemde ise iki elektrot birlikte kaydırma veya kaydırma esnasında gerideki elektrot öne geçecek şekilde kaydırılır. Atlamalı kaydırmada kümülatif hata azalır. Ölçülen potansiyel (V), dV/dS gradiyent değeri olarak iki elektrot ortasına yerleştirilir (Keçeli, 2012).

1.2.3. Değerlendirme ve Yorum

Self-potansiyel verileri; jeolojik, hidrojeolojik ve diğer jeofizik verilerin de katkısıyla veri kalitesine ve mühendislik amacına bağlı olarak kalitatif, geometrik veya analitik olarak yorumlanmalıdır (Keçeli, 2012). Kalitatif olarak; örneğin, herhangi bir etüt sahasında elde edilmiş self-potansiyel kontur haritasında negatif SP anomalileri yer altı suyu hareketlerini gösterir. Geometrik olarak; elde edilmiş kontur ve anomali tiplerinden anomali kaynağının küre, silindir, tabaka ve diğer geometrik şekillerden benzeşimi sağlanabilir.

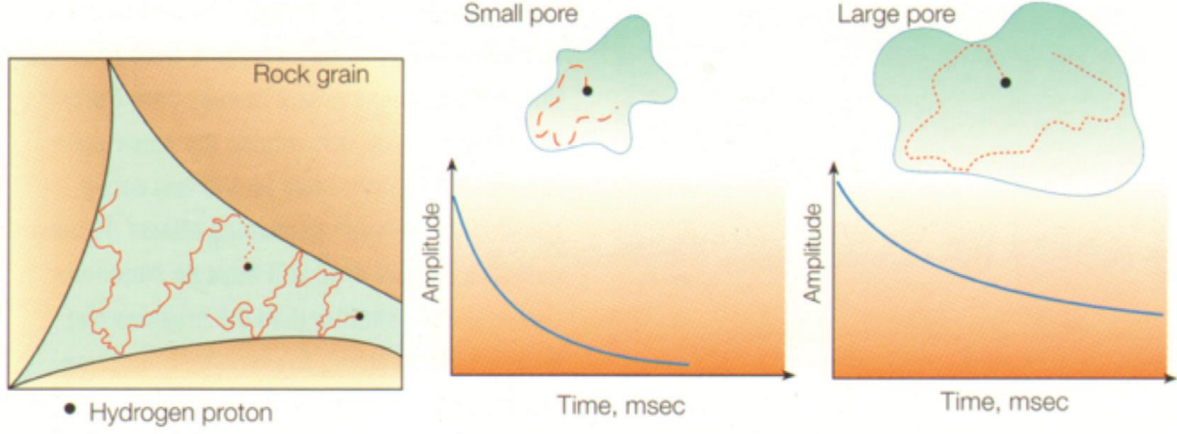
1.3. Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) Yöntemi

Tüm jeofizik yöntemler içerisinde arama hedefi ile hesaplanan parametrenin aynı olduğu tek durum, nükleer manyetik rezonans (NMR) yöntemidir. Bu yöntemde ölçülen sinyalin kaynağı serbest su molekülleridir ve bu nedenle hidrojeofizik hedefi oluşturan yeraltındaki toplam su miktarı doğrudan kestirilebilir. Yöntem; hidrojeolojik incelemelerde yeryüzüne serilmiş bir dikdörtgen veya dairesel kablodan geçen belirli bir frekanstaki akım ile yeraltındaki su moleküllerinin uyarılması ve akım kesilmesini takip eden süreçte sönüm eğrisinin kayıt edilmesi şeklinde uygulanmaktadır. NMR teknolojisinin bu tür kullanımı yüzey manyetik rezonans (SNMR) olarak adlandırılır. Manyetik özelliği bulunan püskürük kayalar dışında SNMR, kayaların petrofiziksel özelliklerine duyarlı değildir. Bu nedenle; yer altı suyu varlığı ve miktarı, gözeneklilik ve geçirgenlik gibi akifer özelliklerinin belirlenmesinde doğrudan kullanılabilir (Başokur ve Akça, 2014).

1.3.1. NMR Yönteminin İlkeleri ve Uygulanışı

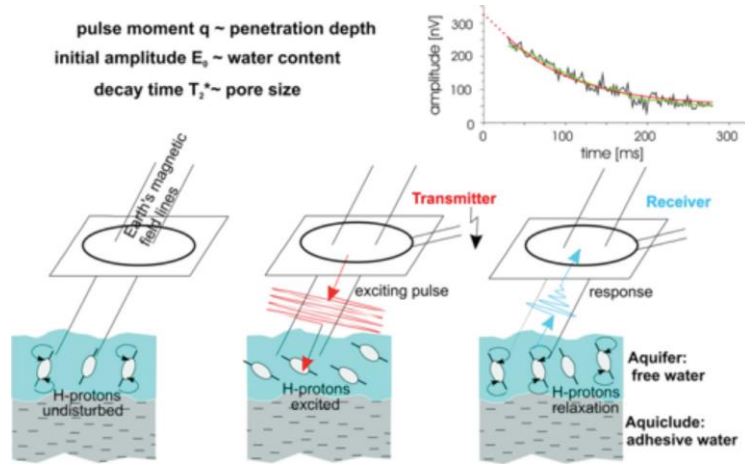
Sudaki hidrojen atomunun çekirdeği, elektriksel olarak yüklü protondan oluşur. Bu çekirdeğin manyetik momenti vardır ve dönme hareketi (spin) yapar. Dönme eksenini manyetik eksen yönündedir. Dış bir manyetik alan yok ise dönme eksenlerinin doğrultuları rastgeledir. Dış bir manyetik alan etkisinde, bu alan doğrultusunda dizilen protonlar bir yalpalayarak dönme (precession) hareketinde bulunur. Spin hareketi Larmor frekansı olarak adlandırılan özel bir frekansta gerçekleşir (Shirov ve diğ., 1991). Bu frekans jeomanyetik sabit ile statik alan şiddetinin çarpımından elde edilir. Normal koşullarda, uygulanan dış alan yerin doğal manyetik alanıdır ve protonlar yer manyetik alanı yönündeki bir ekseninde spin hareketi yaparlar. Eğer, Larmor frekansındaki bir değişken akım ile farklı yönde daha güçlü bir dış manyetik alan uygulanır ise hidrojen protonları farklı bir spin eksenini kullanmaya zorlanacaklardır. Dış alan kaldırıldığında, protonlar eski denge durumuna gelmeye çalışacak ve bu sırada, diğer protonlar ve tane yüzeyi ile etkileşimden dolayı üstel olarak sönen bir sinyal üretilmektedir (Şekil 3) (Başokur ve Akça, 2014).





Şekil 3. Protonların tane yüzeyi ile etkileşimi. Küçük gözeneklerde sönüm hızlı, büyük gözeneklerde ise yavaştır (Allen ve diğ., 1997).

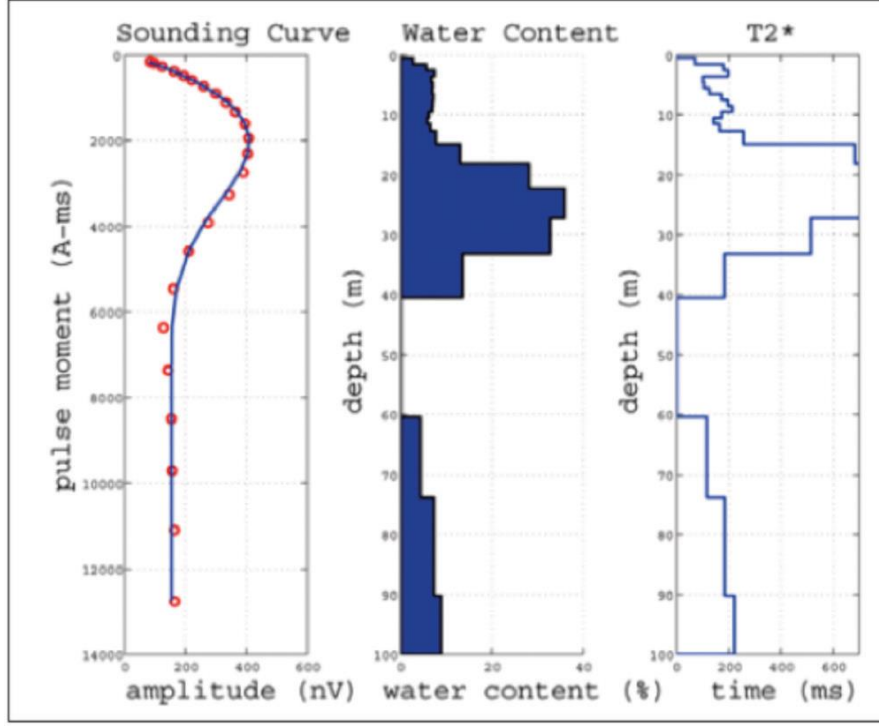
Tane yüzeyi ile etkileşim sönümü etkileyen en önemli etmendir. Eğer gözenekler küçük ise sönüm hızlı, büyük ise yavaştır. Sönüm eğrisinin ilk genliği yer altındaki serbest suyun miktarı ile orantılıdır. Sönüm eğrisinin şekli ve süresi gözeneklilik hakkında ek bilgi sağlar. SNMR ölçüm düzeneği temel olarak verici ve alıcı halkalar, güç kaynağı, kayıtçı ve isteğe bağlı olarak uzak alıcıdan oluşur (Şekil 4) (Başokur ve Akça, 2014).



Şekil 4. MRS sinyalinin oluşumu ve ölçümü (Yaramancı ve Hertrich, 2006).

Alıcı-verici halkalar dairesel, kare ya da 8 rakamına benzer şekilde olabilir. Halkaların şeklinden başka birbirlerine göre konumları da farklılıklar gösterebilir. Buna göre alıcı-verici halkalar üst üste, yarım bindirmeli ve uç uca eklemeli olarak yerleştirilebilir. Sinyal nanovolt ölçeğinde olduğundan tekrarlı ölçüler birbiri üzerine yığılarak sinyal/gürültü oranı artırılmaya çalışılır. Aynı işlem çeşitli puls momentleri için tekrarlanarak, yatay eksen moment ve düşey eksen ilksel gerilim olmak üzere ölçüler tamamlanır. Farklı moment değerlerinde ölçülen ilksel genliklerden elde edilen eğrinin 1-B model

kullanılarak ters-çözümünden derinliğe bağlı olarak % su içeriği hesaplanabilir (Lange ve diğ., 2006) ve bu işlem manyetik rezonans sondajı (magnetic resonance sounding) veya kısaca MRS olarak adlandırılır (Şekil 5) (Başokur ve Akça, 2014).



Şekil 5. MRS eğrisinden % su içeriği modelinin elde edilmesi (Lange ve diğ., 2006).

MRS yönteminde araştırma derinliği, verilen akımın genliği ve uygulama süresinin çarpımına eşit olan moment ile denetlenir. Momentin artırılması ile araştırma derinliği artırılır. Ancak belirli bir moment değeri ile elde edilen sinyal büyüklüğü yüzeyden itibaren bu sinyalin etkin olduğu bir hacimden etkilenir. MRS yöntemi ile yer altındaki toplam su içeriği hesaplanabilmekle birlikte dağılımın kestirilmesinde belirsizlik oluşur ve bu nedenle çözümde eşdeğerlilik sorunu ile karşılaşılır. Yani daha kalın ancak daha az su içeriği olan bir akifer ile daha ince ve daha fazla su içeriği olan bir akifer eşdeğer çözümleri oluşturur. Şekil 5’de ölçülen veriye aynı şekilde çakışan modeller görülmektedir. Bu modellerde katman kalınlığı ve % su içeriğinin çeşitli bileşimleri ile yaklaşık aynı kuramsal verileri üretilmektedir. MRS yönteminde diğer bir eşdeğerlilik problemi ise iki akifer seviyesi arasında su içermeyen bir katman bulunması ve bu üç katmanın % su içeriği görece az kalın tek bir katman olarak çözülmesidir. Bu belirsizlik yer altı jeolojisinin bilinmesi ile büyük oranda giderilebilir. Eşdeğerlilik sorununun azaltılması ters-çözüm işlemine farklı kaynaklı ek bir bilgi veya kısıtın eklenmesi ile olasıdır. Ek bilgi başka bir jeofizik yöntemin aynı arazide kullanımı ile elde edilebilir. Bu amaçla, MRS verisinin ölçüldüğü noktada, düşey elektrik sondajı (DES) veya geçici elektromanyetik (TEM) yöntemlerinden biri ile yer altı katmanlarının öz direnç ve kalınlıkları hesaplanır. Ortama ait kalınlık-

özdirenç dağılımının bilinmesi MRS verisinden % su içeriği hesaplanmasındaki doğruluğu çok önemli oranda artırır ve jeofizik verisi kullanılarak yapılacak olan su arama faaliyetlerinin başarısına önemli katkı sağlar (Başokur ve Akça, 2014).

SNMR ve onun bir boyutlu uygulaması olan MRS, doğrudan yer altı su içeriğine duyarlı olduğundan, yeraltı suyu aramalarında ve yeraltı suyu ile ilişkili problemlerin çözümünde değerli bilgi sağlarlar. Eşdeğerlilik sorunu nedeni ile geleneksel elektrik-elektromanyetik yöntemler ile birlikte kullanılmalıdır. Bugünkü koşullarda en fazla araştırma derinliği ortama bağlı olarak 150-200 metre civarındadır (Başokur ve Akça, 2014).

1.4. Geçici Elektromanyetik (TEM) Yöntem

Geçici elektromanyetik yöntemde çoğunlukla uygulanan işlem, araştırılacak saha üzerine geniş bir halkanın serilmesidir. Verici halka üzerine akım pulsları verilerek, yeraltında enerji yaratılır. Vericideki hızlı akım değişimi, değişken bir manyetik alana neden olur. Bu birincil manyetik alan civardaki iletkenlerde bir elektromanyetik kuvvet yaratır. Bu elektromotor kuvvet nedeni ile iletken içinde akan akım, zamanla sönen bir ikincil manyetik alan oluşturur. Bu ikincil alan, vericideki akımın kapalı olduğu dönemde yani birincil alanın yokluğunda ölçülür. İkincil manyetik alanın sönüm oranı, iletkenin boyutu, şekli ve öziletkenliği ile orantılıdır. Verici dikdörtgen kablo genellikle 800 x 400 metre boyutlarındadır ve hedef cismin özelliklerine göre boyutları değiştirilebilir. Verici birim genellikle 20-40 amper akım çıkışlı ve 10-25 kW gücündedir. Alıcıda, ikincil manyetik alan bir bobin yardımı ile ölçülür. İkincil manyetik alanın geçici sönümünü doğrulukla ölçmek için örnekleme aralığı kısa olmalı ve çok sayıda logaritmik örneklenmiş dar zaman aralıkları kullanılmalıdır. 80 mikrosaniye - 800 milisaniye aralığında, yaklaşık 30 kanalda ve 4 logaritmik devirde veri ölçümü en sık kullanılan biçimdir (Başokur, 2003).

Diğer elektrik yöntemlere benzer olarak TEM verisi iki türlü sunulabilir. Görünür özdirençin zamana bağlı görüntülenmesi TEM sondaj yönteminde kullanılır. Bu yöntem genellikle yeraltı suyu çalışmalarında özdirençin düşey yönde değişimini saptamak için kullanılmaktadır. Her örnekleme zamanı için birçok ölçü noktasında TEM verisinin değişiminin görüntülenmesi yanal özdirenç değişimlerini saptamak amacı ile kullanılır ve profil ölçüsü olarak adlandırılır (Başokur, 2003).



2. Akiferler ile İlgili Değerlendirmeler, Sonuçlar ve Rapor Hazırlanması

Jeofizik çalışmalar, hidrojeolojik ön bilgiler ve jeolojik gözlemler neticesinde;

- Hesaplanan görünür özdirenç değerleri, arazi ölçü hatlarının dizaynına göre modellenerek etüt sahası için bir hidrojeofizik model ortaya konulmalı ve hidrojeolojik yorumlar yapılmalıdır.
- Proje kapsamında belirlenen derinlikler için eş-özdirenç kontur haritaları hazırlanmalıdır.
- Çalışma alanındaki akiferlerin yayılım ve derinliği/kalınlığı, litolojik özellikleri, sahanın hidrojisinde belirleyici olabilecek çatlak, kırık, kıvrım gibi yapısal unsurlar ile varsa tuzluluk içeren formasyonların derinliği/kalınlığı belirlenmelidir.
- Özdirenç değişimleri ve hidrojeolojik koşullardan hareketle varsa akifer özelliği taşıdığı düşünülen seviyeler belirlenmeli ve mekanik sondaj lokasyonları –(mümkünse alternatifli olarak) ve derinlikleri önerilmelidir. Su alınması düşünülen litoloji ve ilerlemeye son verilecek formasyon açıklanmalıdır.
- Önerilen su sondaj kuyu lokasyonunun; kotu, pafta ve koordinatı, eğer etüt bir “su temin ve isale projesi” kapsamında ise varsa mevcut depoya mesafesi - yoksa muhtemel depoya mesafesi, kuyu yeri mülkiyeti, enerjiye mesafesi, kuyu yerine ulaşım durumu ve yol standartı, birden çok kuyu önerildiye kuyular arası mesafeler verilmelidir.
- Killi seviyeler olup olmadığı tespit edilmeli, bu seviyeler haritalanmalıdır. Özellikle yeraltısuyu kirliliği riski öngörülen sahalarda killi seviyeler, kirletici alanın alt sınırı olarak davranmaktadır. Varsa yer altı suyu kirliliği ile ilgili yorumlar getirilmeli, önleme imkanları açıklanmalıdır.
- Özellikle tuzlu su girişimi tahmin edilen sahalarda, girişim yapan yerlerin tespiti yapılmalı, eğer mekanik sondaj yapılacaksa, teçhiz planına tecrit önerileri getirilmelidir. Tuzlu formasyonların belirlenmesinde ayrıca iletkenlik ve sıcaklığa bağlı log’dan yararlanılabilecektir.
- Geniş ya da aynı proje içerisinde birden çok sahada etüt yapılmış ise; yeraltısuyu işletmesine uygun sahalarda diğer disiplinlerin verileri ile birlikte elverişlilik derecelerine göre sınıflandırılacaktır.
- Mekanik sondaj sonrası kuyu teçhiz planının netleştirilmesi için jeofizik kuyu logu (well logging) önerisi getirilmelidir.
- Özdirenç değerlerine bağlı olarak, akiferin gözeneklilik ve hidrolik iletkenliğinin hesaplanması için yarı-deneysel bağıntılar kullanılabilir.
- Mevcut jeolojik çalışmalar ve sondajlar bu araştırmalara göre yapılacaktır. Yer altı suyu oluşumu, hareketi, etüt sahasının jeolojik yapısı ve formasyonlarla olan ilişkisi araştırılacak, varılan sonuçlar raporda açıklanacaktır.



Etütler sonucunda aşağıda kapsamı ve ekleri belirtilen “Hidrojeofizik Etüt Raporu” hazırlanacaktır. Yüklenici, harita ve kesitlerde açılacak yeraltısuyu yerlerini, kot ve koordinatlarını derinlikleri ile birlikte gösterecektir. Jeofizik çalışmanın amacı, hangi yöntem ve alet ile yapıldığı açıklanacak, ölçüm noktaları hidrojeoloji haritasına işlenecek veya ayrı bir lokasyon haritasında gösterilecektir. Ayrıca, hazırlanacak tablo, grafikler ve kesitleri bölüm içinde ek olarak verilecektir. Su kirlenmesi ile ilgili hususları açıklayacaktır. 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 “yeraltısuyu arama (hidrojeofizik) 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

- Allen, D., Crary, S., Freedman, B., Andreani, M., Klopf, W., Badry, R., Flaum, C., Kenyon, B., Kleinberg, R., Gossenberg, P., Horkowitz, J., Singer, J. and White, J. 1997. How to use borehole nuclear magnetic resonance. Schlumberger Oilfield Review, Summer 1997, 34-57.
- Başokur, A.T. ve Akça, İ. 2014. Manyetik Rezonans ve Düşey Elektrik Sondaj Verilerinden Yeraltısuyu Varlığının Doğrudan Saptanması, Jeofizik Bülteni, Sayı:73-74-75, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası.
- Keçeli, A. 2012. Uygulamalı Jeofizik, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınlar No:12.
- Lange, G., Meyer, R., Di Battista, M. and Müller, M. 2006. Loop configuration experiments on multiple layered primary aquifers in South Africa and Germany, Proceedings of Third Magnetic Resonance Sounding International Workshop,- Madrid 25-27 October 2006, 69-72.
- Yaramanci, U. and Hertrich, M. 2006. Magnetic resonance sounding. in: Kirsch, R. (Ed.): Groundwater Geophysics – a tool for hydrogeology. Springer, Berlin, 253-273.

