



Elektrik özdirenç kuyu logu eğrilerinden yapısal bilginin eldesi için bir yaklaşım

An approach to obtain the structural information from the electrical resistivity well logging curves

Doğan Can KARATAŞ^{a*}, Uğur ZAMAN^b ve Emin U. ULUGERGERLİ^c

^a Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Çanakkale orcid.org/0000-0001-7386-7463

^b Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara orcid.org/0000-0002-8440-9254

^c Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Çanakkale orcid.org/0000-0001-5639-1109

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Özdirenç kuyu logu,
normal log, özdirenç kuyu
logu modelleme, özdirenç
kuyu logu araştırma
derinliği, özdirenç kuyu
logu ters çözüm.

ÖZ

Kuyu logu ölçümlerinde, kuyu içindeki akışkanın özdirenç log eğrilerine etkisi ile 16 ve 64 inch loglar için araştırma derinliği/uzaklığı yer altı yapılarının bakışımı ile iki boyutlu sayısal modelleme ile incelenmiştir. Gerçek özdirenç değerlerinin eldesinde ampirik yaklaşım yerine ters çözüm kullanılması ile yapısal bilgiye ulaşılmıştır. Genel olarak, birimin kalınlığının (k) log boyuna (l) oranına (k/l) bağlı olarak, iletken akışkan (1 ohm.m <) kullanılması durumunda yalıtkan formasyonlar k/l < 1 için “M” biçimli belirti üretmekte veride sanal yapılara neden olarak iletken birim olarak görünmektedir. Araştırma derinliği /uzaklığı ise log boyuna ve uzaklığa bağlı olarak yapı özdirençinde sapmalara neden olmaktadır. Ters Çözüm çalışması ile olası modellerden biri elde edilmektedir. Bu tür çalışmalara katkısı ise, diğer yaklaşımlarda ihmal edilen, elde edilen özdirenç modelinin veriye uyumunun ortaya konmasıdır.

Geliş Tarihi: 26.07.2017
Kabul Tarihi: 08.04.2018

Keywords:

Resistivity well log,
resistivity normal log,
resistivity well log
modelling, resistivity
well log research depth,
resistivity well log
inversion.

ABSTRACT

In well logging measurements, the effect of the fluid in the well on the resistivity log curves and the investigation depth/distance for 16 and 64 inches logs were investigated in two-dimensional numerical modeling with the assumption that underground structures are symmetrical. Structural information was obtained via recovering the real resistivity values by using the inversion rather than empirical approaches. Generally, in the case of using the conductive fluid (1 ohm.m<) depending on the ratio of unit thickness (k) with respect to the length of log (l) (i.e. k/l), the insulating formations produce an “M” shaped signs for k/l<1 and appears as the conductive unit that cause fictitious structures in the data. The depth/distance of the research on the other hand causes deviations in the resistivity of structure due to tool length and distance. By the help of the inversion study one of the possible models is obtained. Contribution of this method to such studies is the reveal of compatibility of the resistivity model and data that usually neglected in other approaches.

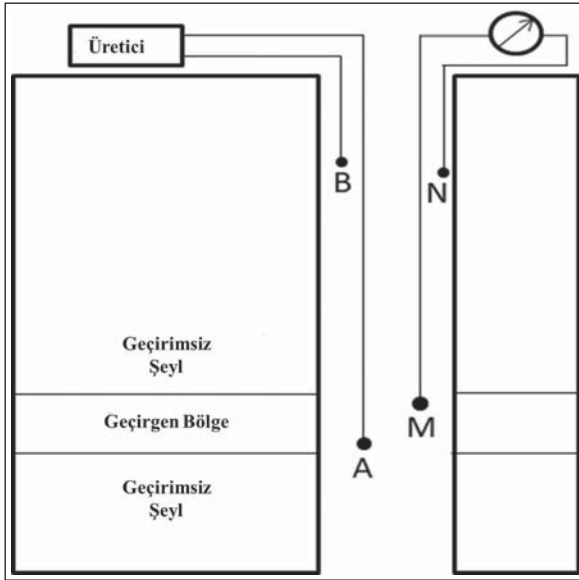
1. Giriş

Kuyu logları çalışmalarında, jeolojik birimlerin fiziksel özellikleri elde edilmeye çalışılır. Bu amaçla yapılan özdirenç log ölçümlerinde, birim kalınlığının yeterli olması durumunda akım doğrudan jeolojik birim içine uygulanır ve gerilim farkı gene aynı jeolojik

birim içinde ölçülerek gerçek özdirenç değerine ulaşılmaya çalışılır (Şekil 1). Uygulamada bu durum ile çok nadir olarak karşılaşılır. Katman kalınlığının ölçüm aygıtının boyutundan az olması nedeniyle ölçülen değer birimin gerçek özdirençinin yanında alt ve üst tarafında yer alan katmanların özdirençlerinden de etkilenir. Buna ek olarak, sondaj deliklerinin

* Başvurulacak yazar: Doğan Can KARATAŞ, karatas.can.dogan@gmail.com
<http://dx.doi.org/10.19111/bulletinofmre.451546>

MTA Dergisi hem İngilizce hem Türkçe olarak yayımlanmakta olup makalelere yapılacak atıfların İngilizce baskısına yapılması gerekmektedir.

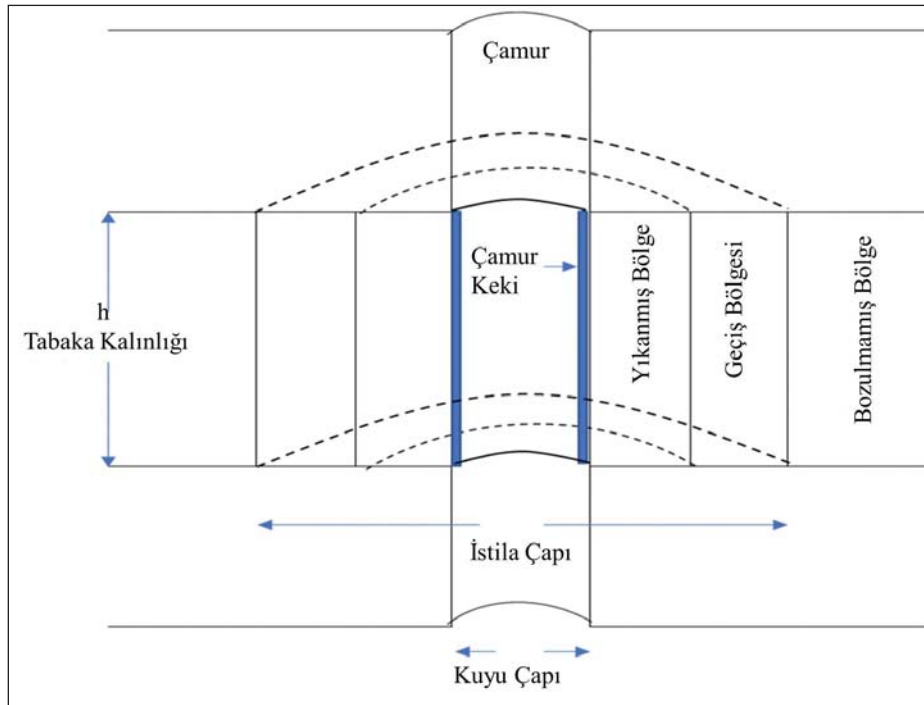


Şekil 1- Normal elektrik öz direnç logun basit şematik gösterimi.

kendisi, sondajda kullanılan akışkan ve jeolojik birim içinde istila ettiği bölgeleri ve jeolojik birim içindeki yanal geçişlerde ölçümleri etkilemektedir (Şekil 2). Gerek jeolojik koşullar gerekse ölçüm aygıtının boyu nedeniyle ortaya çıkan üst birimlerin (omuz) etkisi gibi nedenler ile karmaşık hale gelmiş verinin değerlendirilmesi farklı çalışmalara konu

olmuştur (örn. Woodhouse, 1978, Anderson, 2001 Nam vd., 2010, Rodríguez-Rozas ve Pardo, 2016). Eğrilerin davranışı yeraltı yapılarının süzülmuş ve basitleştirilmiş görüntülerini temsil etmektedir. Bir anlamda log alınmada elde edilen değerler yüzeyde yapılan öz direnç ölçümlerinin benzeri olarak görünür öz direnç eğrileri üretir (örn. Ulugergerli, 2011). Birçok Jeofizik yöntemde olduğu üzere, elektrik kuyu loglarında genelde kısıtlı sayıda alındıklarından kısıtlı sayıda veriden çok sayıda parametrenin eldesi sorunu ile karşılaşılır. Uygulamada, elde edilen görünür öz direnç eğrilerinden kuyu, istila kesimi ve formasyonun öz direncini elde etmek için ya abaklardan yararlanır (örn. Scott, 1978) ya da çok boyutlu modelleme ile karmaşık yeraltı yapıları görüntülenmeye çalışılır (örn. Liu vd., 1994, Yang ve Ward, 1984, Pardo vd., 2008).

Abaktan yararlanıldığında ince tabakalı yapılar uygulanan düzeltmeler ve varsayımlar nedeniyle hatalı sonuçlar vermektedir. Yayınlanmış abakların çoğu dikey sondaj kuyuları için üretilmiştir. Abakların giderek geçersiz hale gelmesi yorumlamaya yönelik başka bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymuştur. Modelleme, abakların işlevsizliğinden itibaren gelişmeye başlamıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişimine bağlı olarak sayısal modelleme çalışmaları



Şekil 2- Kuyu logu çalışmasında oluşan tabakaların gösterimi (Tabakalar kuyu merkezine göre bakışımı olarak gösterilmiştir).

abakların yerini almaya başlamıştır. Anderson (2001), kuyu loglarında modellemenin kullanılmaya başlayışı ve ayrıntılı tarihsel sürecini sunmuştur. Sayısal modellemenin yaygınlaşması ile log alınan ortamın ve aygıtın ölçümlere olan etkileri de araştırmalara konu olmuştur.

Örnek olarak Dutta (1994) kuyu loglarında delinme sırasında oluşan çamurun istilasının öz direnci ve derinliğini görünür öz direnç eğrilerinden hesaplanmasını sonsuz kalınlıkta bir tabaka üstünde incelemiştir. Modelleme çalışmalarını ters çözüm ile değerlendirme çalışmaları izlemiş ve gerek elektrik gerekse elektromanyetik logların birlikte ters çözümü çeşitli çalışmalara konu olmuştur. Bu çalışmalara örnek olarak Liu ve Lin (2002) verilebilir. Bu yazarlar indüksiyon, yanıl ve normal logların ortak ters çözümünü çalışmışlardır. Yerel en küçüğe (local minima) yakınsama sorunu nedeniyle, indüksiyon ve galvanik log ölçümlerinin birleşik ters çözümünü dikkatle ele alınması gereken bir yaklaşım olarak tanımlamışlardır.

Daha sonraki yıllarda, Pardo vd. (2007). Elektrik öz direnç log ölçümlerinin sapmış kuyularda, farklı elektrot düzenlemeleri ve anizotropik etkilerin üç boyutlu modellemesi üzerinde çalışmışlardır.

Yukarıda anılan ve literatürde yer alan diğer çalışmalarda, kuyu loglarından elde edilen veri sayısının azlığı ve buna karşın çözülmesi istenen parametrelerin çokluğu sayısal modelleme çalışmalarının önünde bir engel olarak yer almıştır. Bu engel aynı zamanda bu ve benzer konularda yapılan çalışmalarda farklı yaklaşımlar denenmesinin de önünü açmıştır (örn Ahmadi vd., 2013). Modelleme çalışmalarının ölçülen verilerin kuyu ve kuyuyu çevreleyen jeoloji ile olan ilişkisinin tam olarak ortaya konulması açısından gerekli olduğu yadsınamaz bir gerçektir. İzleyen bölümlerde modelleme tanım olarak hem ölçülebilir verinin eldesi (düz çözüm), hem de ölçülmüş veriden parametrelerin kestirimi (ters çözüm) işlemlerini kapsayacak biçimde kullanılmaktadır. Düz çözüm çalışmalarında tüm yapısal değişimleri içeren üç boyutlu modellerin kullanımı, ters çözümde ise tüm çözüm uzayının taranması isteği kullanıcıya ağır hesaplama yükü olarak dönmektedir. Basitleştirilmiş model ve kaynak noktaları göz önüne alındığında, bakışlı modelde veri başına çözülmesi istenen parametre sayısı n ise üç boyutlu bir modelde bu sayı n^2 olacaktır. Bu çalışmada aşırı bilgisayar hesaplama gücü gerektirmeyen bir yaklaşım seçilmiştir. Kuyu

ve çevresindeki jeolojik yapılar bakışlı kabul edilmiştir. Bu yaklaşımla jeolojik sınırların yalnızca kuyu merkezli olarak yatayda ve düşeyde olduğu kabul edilmektedir ve parametre sayısı azalmaktadır. Jeolojik birimler iç içe geçmiş silindirik yapılar olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2). Bu yaklaşım kuyunun yakın çevresi için yeterli bir doğruluk sağlayacaktır. Elektrik logların yaygın kullanıldığı kömür içeren havzalarda da bu yaklaşım geçerliliğini sürdürecektir. Buna karşın aşırı karmaşık (örneğin konglomera) veya eğimli tabakalı ortamlarda bu yaklaşımın geçersiz kalacağı akıld tutulmalıdır.

Doğru akım (DA) logları bakışlı simetrik ortamda daha önce de çalışılmıştır. Ulugergerli (2011) kısa (KN, 16 inch) ve uzun (UN, 64 inch) normal log eğrilerini eşlenik türev (conjugate gradient - CG) yumuşatma (conjugate gradient relaxation) ve geleneksel CG yaklaşımı kullanarak birleşik ters çözümü yapmış ve yeraltı modelini elde etmiştir. CG ile yapılan ters çözüm işlemlerinde kısmi türevler dizeyinin yerine yöney-dizey çarpımı sonucu elde edilen bir yöneyin kullanılması hafıza gereksiniminin azaltmakta ve hızlı bir biçimde çözüme ulaşmayı sağlamaktadır (örn. Mackie ve Madden, 1993; Zhdanov, 2002). Ulugergerli (2011) yapay ve gerçek kuyu verisi kullanılarak ters çözümde kullanılan yaklaşımların birbirine göre üstünlüklerinin yanı sıra veri (log) türlerinin ters çözüme katkısı karşılaştırmıştır. Sunulan sonuçlarda, beklendiği üzere, kısa normal log ile kuyu çevresindeki istila kesimi hakkında bilgi alınırken uzun normal log ile formasyon hakkında bilgi elde edileceği vurgulanmıştır. Logların araştırma derinliği/aralığı ise aygıt boyu ile orantılı tanımlanmıştır. Bu konulara ek olarak çamur kekinin etkisine değinilmiştir.

Bu makaleye konu olan çalışmada ise DA öz direnç eğrilerinde; araştırma derinliklerinin çamur kekinden nasıl etkilendiği ele alınacaktır. Bu amaçla izleyen bölümlerde 2B modelleme çalışmaları ve basit ancak etkin modeller yardımıyla çamur etkisi ve araştırma derinliği sayısal olarak ortaya konmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ters çözüm programı ile kuyu verisini modellenmiştir. Bu amaçla yapay ve gerçek verilerden yararlanılmıştır.

Her ne kadar kuyu loglarında kuyudan başlayan yanaldaki fiziksel değişimler incelense de, izleyen bölümlerde yüzey jeofizik çalışmaları ile dil birliği sağlamak için araştırma aralığı veya uzaklığı yerine araştırma derinliği tanımı kullanılacaktır.

2. Problemin Tanımı

Önceki bölümde de değinildiği üzere özdirenç kuyu logları çalışmalarında kuyu ölçümleri sırasında, kuyu çapı değişimleri ve kuyuda bulunan çamur ile istila edilmiş kesimler normal elektrik özdirenç eğrilerini etkilemektedir. Bu çalışmada KN ve UN özdirenç logları ele alınacaktır. Kuyu içine indirilen aygıt üzerine yerleştirilmiş dört adet bilezik elektrot yardımıyla ölçümler alınır. Uygulamada, farklı ölçekler kullanılmasına rağmen sıralama B, N, M₁ ve A olarak yerleşmiştir. B ve N elektrotları M₁ ve A'dan sonsuz sayılabilecek kadar uzağa yerleştirilmiş kabul edilir. Üretici kuruma bağlı olarak değerler değişse de yaklaşık uzaklık bilgileri izleyen biçimde verilebilir. B elektrotu N elektrotundan 328 ft yukarıdadır. N elektrotu en yakın M elektrotundan 600 veya 960'' yukarıdadır. Ölçüm AM aralığına göre adlandırılır; KN için AM = 16'' ve UN için AM = 64''. KN aralığı istila bölgelerini görüntülemek için, UN aralığı ise temiz kısmın gerçek özdirençini belirlemek amacıyla üretilmiştir ancak istila kuşakları nedeniyle ölçülen değer hem istila kuşaklarının hem de temiz birimin etkisini içerir (bkz. Zamansky, 1980; Gianzero, 1981; Timur ve Toksöz, 1985; Spiez, 1996; Anderson, 2001 ve Pekiner 2002).

Kuramsal olarak KN ve UN eğrilerinin etkilendiği araştırma derinlikleri aygıt üzerinde yer alan akım ve gerilim elektrotlarının aralıklarının iki katı olarak verilmektedir (Pekiner, 2002). Araştırma derinliği KN log için ~80 cm (2,6 ft), UN log için ~320 cm (10,4 ft) öngörülmektedir. Genelde KN log eğrisinin kuyunun oluşturduğu istila kökenli katmanların etkisinde kaldığı düşünülmektedir (Pekiner, 2002).

Loglar ile kayıt edilen değerler yüzey ölçümlerindeki görünür özdirenç eşdeğer olduğundan doğrudan yorumlamada kullanılamaz. Birimlerin gerçek özdirençleri elde edilmelidir. Sadece bir ölçüm tekniği kullanılarak yapılan log çalışmasının modellenmesi ile gerçek formasyon özdirenç değerleri elde edilemeyebilir. Jeolojik bilgi ve yardımcı log yöntemlerine gerek duyulabilir.

Bu çalışmada kullanılacak modeller, kuyu içi akışkanından dolayı oluşan katmanları içermektedir. Sırasıyla çamur, akışkanın tabaka içinde ilerlediği geçiş bölgesi ve akışkanın bulunduğu istila bölgesi olmak üzere üç model oluşturulmuştur. Bu modeller ile kuyu içi akışkanının bölgelere göre KN eğrileri üzerine etkileri araştırılmıştır.

2.1. Sayısal Modelleme

Bakışlımlı yeraltı modelinden istenilen log verisinin eldesin de kullanımı için Sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmıştır (Ulugergerli, 2011). Omuz etkisinin tam olarak işleme katabilmek için kuramsal olarak sonsuzda olması gereken B ve N elektrotları sonlu uzaklıklara konulmuş ve geometrik katsayı hesabında tüm elektrot konumlarına yer verilmiştir. Modellemede kullanılan ağ kuyu içim oldukça ince (0.1') hücrelerden başlatılmış uzaklaştıkça daha geniş hücrelere ile yapılar tanımlanmıştır. Sınır şartlarını sağlamak için, ağ sonuna çok geniş hücreler eklenmiştir.

Ters çözüm aşamasında yeniden ağırlıklandırılmalı eşlenik türevden yararlanılmıştır (örn. Zhdanov, 2002). Program, önceden belirlenen yineleme sayısına veya seçilen uyum değerine ulaşıldığında ya da ardışık iki uyum değeri arasında belirgin bir iyileşme olmaması koşullarından herhangi biri sağlandığında durmaktadır.

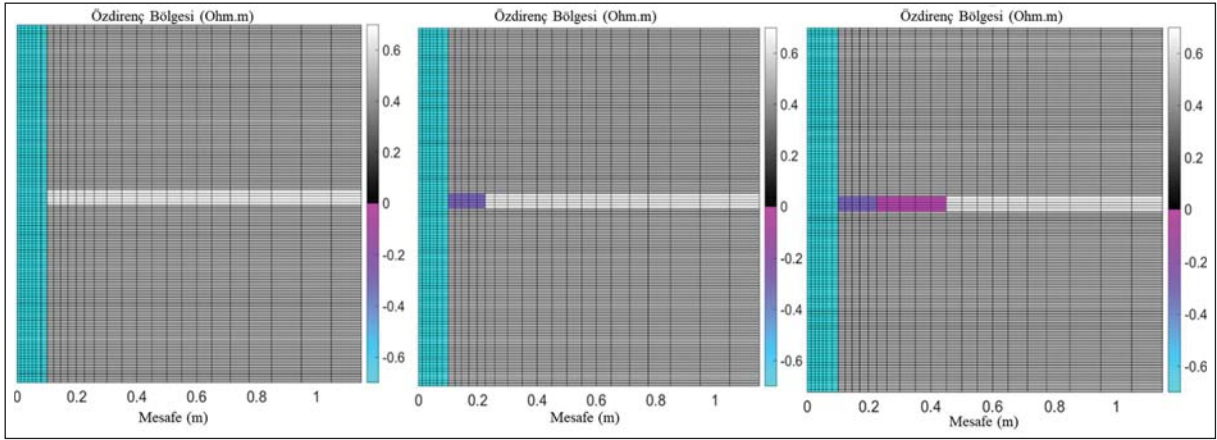
3. Çamur Kaynaklı Oluşan İstila Tabakalarının Etkisi

Ele alınan model akışkan ile dolu kuyu ve hedef katmanda istila edilmiş kesimleri içermektedir. Basitlik için ana kayada istila kesimi öngörülmemiştir. Bu birimin eklenmesi tüm özdirenç değerlerini aynı oranda kaydıracağından ek bir bilgi sağlamayacaktır.

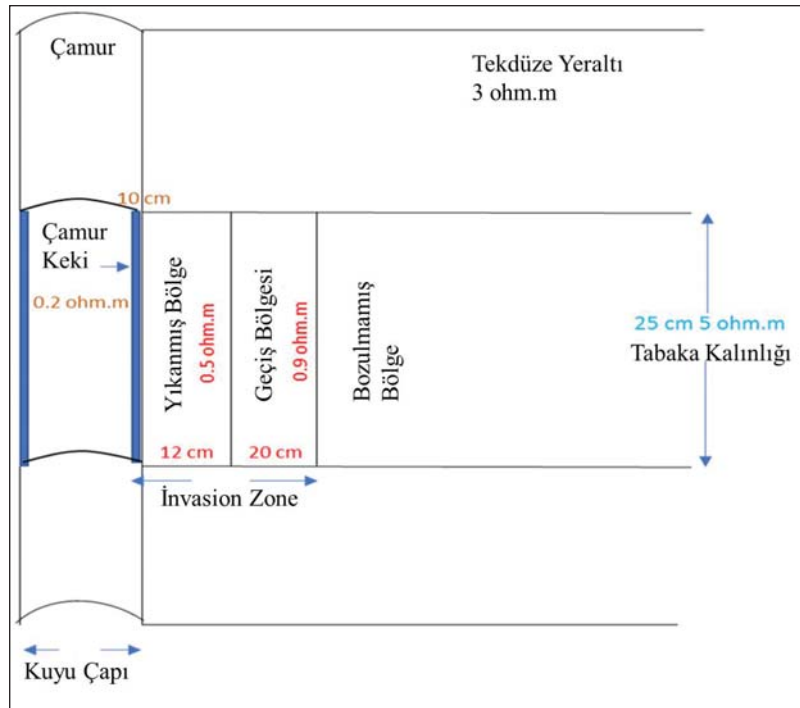
Akışkan ile ilintili modeller; (a) kuyu çeperinde sadece çamur varken, (b) çamur ve yıkanmış bölgenin bulunduğu model, (c) tüm istila kuşağının bulunduğu durumu tanımlamaktadır. Bu kısımda amaç, belirtilen modellerin KN (16'') aygıtın ölçtüğü özdirenç log eğrilerine etkisinin incelenmesidir (Şekil 3 ve Şekil 4).

16'' eğrilerinde (şekil 3a) modeli göz önüne alındığında, eğrinin (-) çamurun (0.2 ohm.m) etkisini geçerek tabakanın (R_t = 5 ohm.m) varlığını gösterdiği görülmektedir. Fakat 5 ohm.m olması gereken değer 3.6 ohm.m olarak görülmektedir.

Modele yıkanmış kuşak eklendiğinde (R_{xo} = 0.5 ohm.m, Şekil 3b), eğrinin (o) bu kuşağın etkisinde kalarak düşük özdirenç değerleri verdiği görülmektedir (3.2 ohm.m). Son model (Şekil 3c) de tüm istila kuşaklarının (çamur, yıkanmış bölge ve geçiş bölgesi) eklenmesi ile eğrinin (+) daha düşük değer verdiği (2.85 ohm.m) gözlenmektedir.



Şekil 3- Yeraltı modelleri; a) Kuyulu model b) Kuyu ve yıkanmış bölge modeli c) Kuyu, yıkanmış bölge ve geçiş kuşağı içeren model.



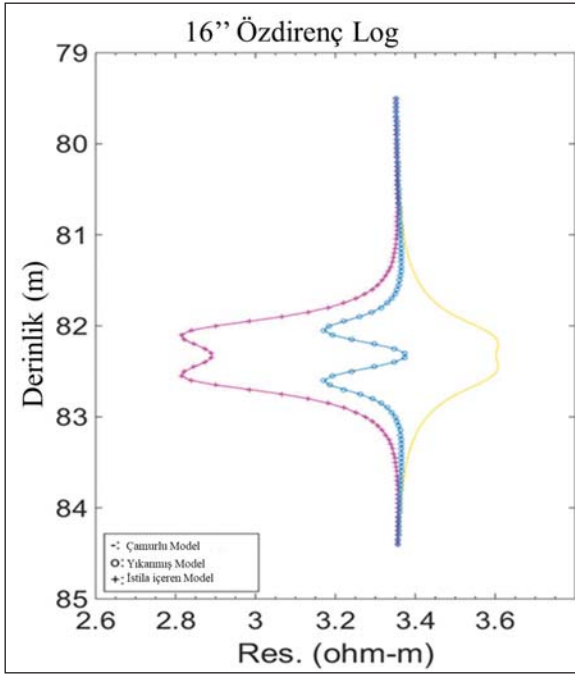
Şekil 4- Modellerde kullanılan yeraltının temsili şekli.

Yapılan modeller incelendiğinde kısa normal log eğrilerinin akışkan kaynaklı oluşan yapay tabakalaşma yüzünden ölçülmesi beklenen tabaka öz direncini (5 ohm.m) veremediği aksine düşük değerler verdiği gözlenmiştir (Şekil 5).

Akışkan kaynaklı oluşan çamurun etkisini düzeltmek için genellikle abaklar kullanılmaktadır. (bkz. Scott, 1978). Bu abaklarla elde edilen sonuçlar ile elimizdeki sonuçlar Şekil 6'da karşılaştırılmıştır, abak yardımıyla yapılan düzeltmede hedef tabakanın öz direnci için bir kestirim yapılamamaktadır ve çamurun etkisini ortadan kaldırdığı söylenemez.

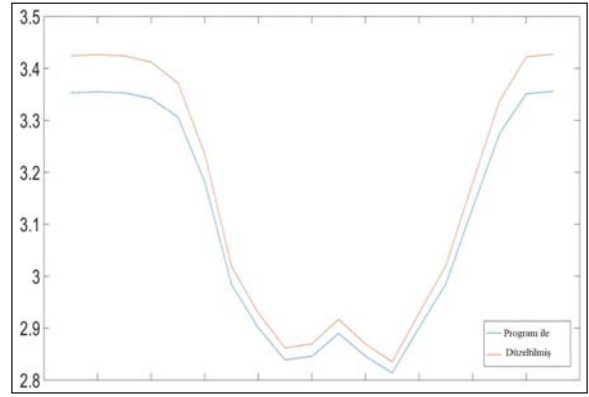
4. Araştırma Derinliği

KN ve UN log aygıtlarının araştırma derinliğini incelemek için bir dizi model oluşturulmuştur. Modeller, sonsuz uzunluktaki 10 ohm.m öz dirençli bir birim, 1 ohm.m öz dirençli tekdüze yer altında olacak şekilde hazırlanmıştır. Araştırma derinliğine etkisini gözlemleyebilmek için birimin kademeli olarak kuyu çeperinden uzaklaştırılmıştır. Oluşturulan ilk modelde, birimin kuyu çeperinden başlamaktadır. Kısa normal log aletinin kuramsal inceleme derinliği alet aralığının iki katı yani 80 cm'dir. İlk dört modelde birim kısa normal log aleti araştırma derinliği içerisinde



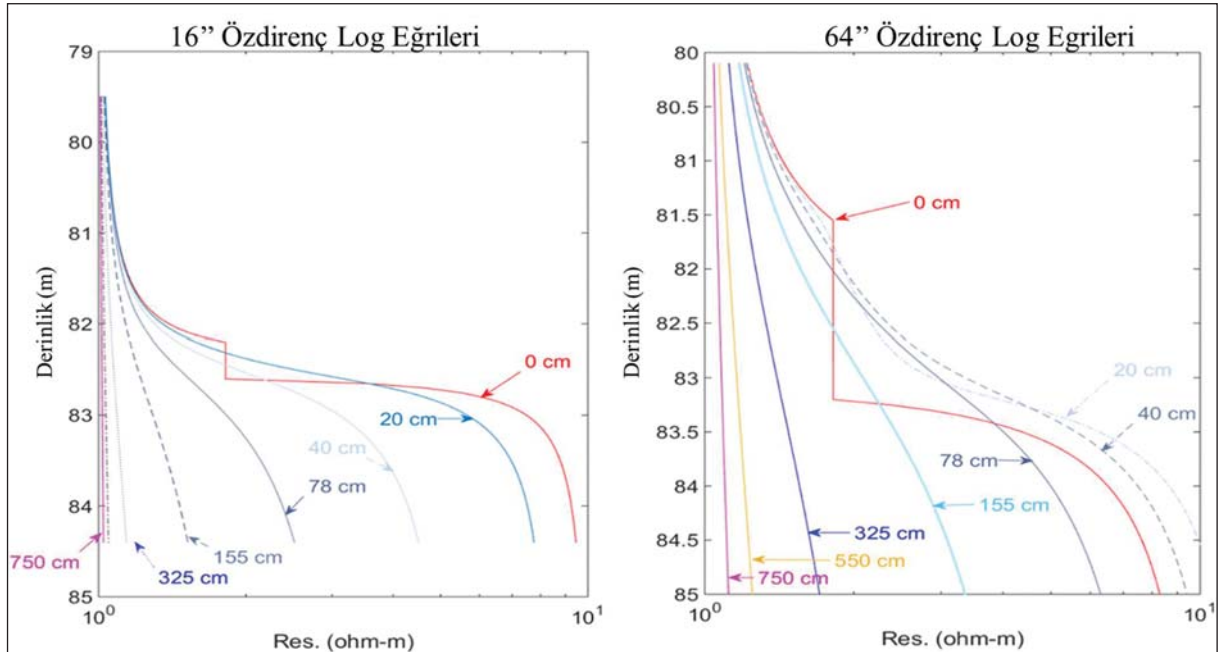
Şekil 5- 16'' normal log eğrilerinin çamur etkisi ile değişimleri ve "M" biçimli belirti örneği.

kalmaktadır. Sonraki modellerde araştırma derinliği içerisinde çıkararak uzaklaşmaktadır. Kullanılan modellerde birimin kuyu çeperine olan uzaklığı sırasıyla 0 cm, 20 cm, 40 cm, 78 cm, 155 cm, 325 cm, 550 cm ve 750 cm olarak alınmıştır.



Şekil 6- Çamur düzeltmesi uygulanmış veri (sarı) ve bu çalışmadan elde edilen veri (mavi) gösterilmektedir. Düşey eksen ohm.m, yatay eksen derinliktir.

1 ohm.m öz dirençli yer altında 10 ohm.m'lik yarı sonsuz birimin düşey ölçüm doğrultusundan uzaklaşması ile elde edilen modeller incelenirse (Şekil 7 sol); 16'' eğrilerinin öz dirençlerinde birimin uzaklaşması ile doğru orantılı bir düşüş gözlenmektedir. İlk model (0 cm) için ölçülen değer birimin öz direnci 10 ohm.m'ye yakınsamaktadır. KN inceleme derinliği sınırından uzaklaştıkça hedef tabakanın öz direnç değerinden sapmaktadır. Kuramsal inceleme derinliğine yaklaşıldığında hedef birimin öz direncini ~4.5 ohm.m olarak ölçülmektedir. Yaklaşık 1.5 m'den itibaren çok düşük değerler (<2.5 ohm.m) gözlenmektedir.



Şekil 7- Yarı sonsuz birimin uzaklaşması ile elde edilen 16'' (sol) ve 64'' (sağ) log eğrileri.

64" aletin kuramsal inceleme derinliği ilk altı modeldeki birimi kapsamaktadır fakat 20 cm ve 40 cm modellerinin verdiği eğriler ters etki göstermektedir (Şekil 7 sağ), bitişik (0 cm) uzaklıktaki birimin ürettiği UN eğrisinden daha fazla öz direnç değerleri vermektedirler. UN kuramsal inceleme derinliğine yaklaşıldığında birimin olması gereken değerinden üç kat daha az öz direnç değeri (<3.25 ohm.m) gözlenmektedir. Kuramsal inceleme derinliği aşıldığında ise 1.7 ohm.m'den daha az değerler gözlenerek düşüşe geçmiştir.

Her iki eğride de ilk ve son modeller arasında elde edilen eğrilerin yaklaşık 10 ohm.m'lik bir fark verdiği görülmektedir. Diğer bir deyişle yapı veriyi etkileyememektedir. Kuramsal inceleme derinliğinin aşılması ile KN ve UN öz direnç eğrilerindeki düşüş yapısal etkiden çok derinlikle artan doğrusal değişim halini almaktadır.

5. Arazi Verisi ile Ters Çözüm

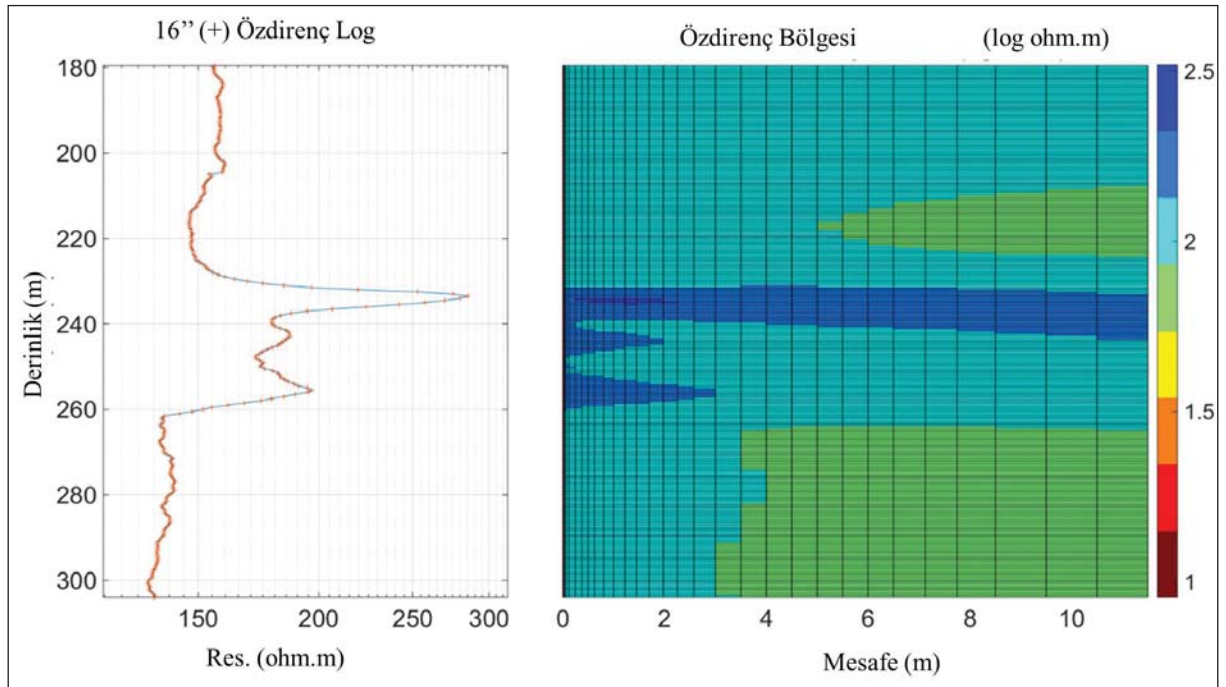
Bu bölümde kısa normal gerçek öz direnç kuyu logu verileri kullanılarak ters çözüm yardımıyla yeraltının iki boyutlu modellenimine çalışılmıştır. Ulugergerli (2011) tarafından geliştirilen ve CG ile ters çözüm yapan yazılım kullanılmıştır.

Kesit derinliği 120 metredir ve 0.5 metrede bir ölçülen kısa normal öz direnç değerleri kullanılmıştır. Kullanılan veri sayısı 240'dır. Çamur 4 cm kalınlığında verilmiştir.

Yapılan kuyu logu çalışmasından elde edilen öz direnç verileri şekil 8'de sunulmuştur. Gerçek KN veriler (+) ile hesaplanan değerler (sürekli çizgi ile) birlikte gösterilmiştir. Ters çözümde her adımda parametre değerlerinde iyileştirme yapılarak eğriler çakıştırılmaya çalışılmıştır. Başlangıç model otomatik olarak üretilmiştir. Ters çözüm işlemi yedi yineleme yapmış ve 0.0056357 uyum (misfit) değerinde durmuştur.

Bölgenin jeolojik yapısı; 1500 metreye kadar volkanik kayaç (Bazalt, Andezit, Tüf) olduğu bildirilmiştir 230-260 m aralığındaki öz dirençteki artışın bazalt yoğunluğu olarak yorumlandığı bilinmektedir.

Elde edilen yeraltı modeli incelendiğinde, öz direnç değerleri bazaltın öz direnç değerleriyle uyduğu (400 ohm.m) söylenebilir. Yaklaşık 233. metre civarındaki öz direncin keskin artışı, yeraltı modelinde kuyu çeperinden yaklaşık 25 cm sonra başlayan ve yaklaşık 2 metreye kadar uzanan bir birim (koyu mavi) oluşturmaktadır.



Şekil 8- Solda kısa normal log verileri (+) ve kestirilen model eğrisi (düz mavi çizgi). Sağda, eğriye göre yeraltının iki boyutlu modeli.

Ters çözüm çalışması genel olarak kısıtlı sayıda ve bilgi içeriği olarak yetersiz veriden aşırı fazla sayıda parametrenin çözümünü hedeflemiştir. Bu tür sorunlarla yüzey çalışmalarında özellikle potansiyel alan yöntemleri ile yapılan çalışmalarda karşılaşılmaktadır. Sonucun geçerliliğini değerlendirme koşulu olarak hesaplanan ve ölçülen verilerin uyumu hedef alındığında, farklı modellerin tepkileri de benzer uyum sağlayacaktır. Çok çözümlülük olarak tanımlanan sorun ters çözümün, matematiksel bir işlemler dizisi olarak, olası birçok model içinden birini çözüm olarak bulduğunu tanımlar. Bu çalışmada da bulunan modele ek olarak birçok farklı modelin tepkisi de benzer uyumu sağlayacaktır.

Veri azlığı nedeniyle elde edilen sonuçların geçerliliği beklentiler doğrultusunda incelenmeli ve yorumlanmalıdır.

6. Sonuçlar

Basit yeraltı modellerinde çamurun ve sondaj deliğinin etkisi, ampirik formüller yardımıyla öz direnç sapma eğrilerinden hesaplanıp giderilebilir.

Modelleme çalışmaları ile normal eğrilerinin davranışlarına göre inceleme derinliğinin değişimi ortaya konmaktadır. Bu çalışmada 16" öz direnç log eğrilerinde çamurun olumsuz etkisi çamurun oluşturduğu tabakalar ile incelenmiştir. Yıkılmış bölge ve geçiş bölgesinin inceleme derinliğine olumsuz etkisi modellerde görülmektedir.

Yarı sonsuz uzaklaşan tabakanın araştırma derinliğine etkisi modellerin yardımıyla gösterilmiştir. Kuramsal olarak verilen araştırma derinliğinin aşılması ile verilerin biçimsel değişimi etkilenmektedir.

Ters çözüm programı ile gerçek saha verisinden yeraltının temsili bir modeli üretilmiştir. Program elle yapılan diğer yöntemlere göre çok daha kısa sürede yeraltı için bir model üretmektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma ÇOMÜ BAP tarafından desteklenen 1174 numaralı proje kapsamında yapılmıştır. Kuyu logu verisinin kullanım izini veren Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

Değinen Belgeler

- Ahmadi, A.M., Zendejboudi, S., Lohi, A., Elkamel, A., Chatzis, I. 2013. Reservoir permeability prediction by neural networks combined with hybrid genetic algorithm and particle swarm optimization. *Geophysical Prospecting*, 61(3), pp.582-598.
- Anderson, B. I. 2001. *Modeling and Inversion Methods for the Interpretation of Resistivity Logging Tool Response*, DUP Science.
- Dutta, D.J. 1994. TRANS4: a FORTRAN program for computing apparent resistivity departure curves for an infinitely thick bed with transitional invaded zone in borehole geophysics. *Computers and Geosciences* 20 (3), pp.293-311.
- Gianzero, S. 1981. The mathematics of resistivity and induction logging. *The Technical Review*. 29(1), pp.4-32.
- Liu, Q. H., Anderson, B., Chew, W. C. 1994. Modeling low-frequency electrode-type resistivity tools in invaded thin beds. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(3): pp.494-498.
- Liu, Q. H., Lin, 2002. Joint inversion of induction/lateral/normal logs, case studies at Shenli field site, China
- Mackie, R. L., Madden, T. R. 1993. Three-dimensional magnetotelluric inversion using conjugate gradients. *Geophysical Journal International*, 115(1), pp.215-229.
- Nam, M .J., Pardo, D. Torres-Verdín, C. 2010. Assessment of Delaware and Groningen effects on dual-laterolog measurements with a self-adaptive hp finite-element method *Geophysics*. 75. DOI: 10.1190/1.3496670
- Pekiner, Y. 2002. *Kuyu Logları Tekniğiyle Yeraltının Keşfi*, Seçkin Yayıncılık.
- Pardo, D., Torres-Verdín, C., Paszynski, M. 2008. Simulations of 3D DC borehole resistivity measurements with a goal-oriented hp finite-element method. Part II: Through-casing resistivity instruments *Computational Geosciences*. 12: 83-89. DOI: 10.1007/s10596-007-9061-y
- Pardo, D., Paszynski, M., Torres-verdin, C., Demkowicz, L. 2007. Simulation of 3D DC borehole resistivity measurements with a goal-oriented hp finite-element method, Part I: laterolog and LWD. *Journals of the Serbian Society for Computational Mechanics* 1, pp.62-73.

- Rodríguez-Rozas Á., Pardo, D.A. 2016 priori fourier analysis for 2.5D finite elements simulations of logging-while-drilling (LWD) resistivity measurements. *Procedia Computer Science*. 80: 782-791. DOI: 10.1016/j.procs.2016.05.368
- Scott, J.H. 1978. A FORTRAN algorithm for correcting resistivity logs for borehole diameter and mud resistivity.
- Spiez, B. R. 1996. Electrical and electromagnetic borehole measurements: A review. Schlumberger-Doll Research, Old Quarry Road, Ridgefield, Connecticut 06877-4108, USA.
- Ulugergerli, E.U. 2011. Two dimensional combined inversion of short- and long-normal dc resistivity welllog data. *Journal of Applied Geophysics*, 73 (2011) pp.130–138.
- Timur, A., Toksöz, M. N. 1985. Downhole Geophysical Logging. *Ann. Rev. Earth Planet Sci.* 13:315-44
- Woodhouse, R. 1978. The Laterolog Groningen Phantom Can Cost You Money. Paper R presented at the 1978 SPWLA Annual Logging Symposium.
- Yang, F.W., Ward, S.H. 1984. Inversion of borehole normal resistivity logs. *Geophysics* 49, pp.1541–1548.
- Zamansky, P. 1980. Simulation des laterologs par la méthode des éléments finis. Schlumberger Paris Engineering internal report. Project 21-44-00.
- Zhdanov, M.S. 2002. Geophysical inverse theory and regularization problems (Vol. 36). Elsevier.

