

İSTİLANIN İKİ BOYUTLU MODELLEME İLE NORMAL ELEKTRİK ÖZDİRENÇ KUYU LOGU EĞRİLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVASION INVESTIGATION OF NORMAL RESISTIVITY WELL LOG CURVES WITH TWO DIMENSIONAL MODELING

Doğan Can Karataş

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Terzioğlu Yerleşkesi 17020 Çanakkale

Yayına Geliş (Received): 22.06.2017, Yayına Kabul (Accepted): 20.11.2017,
Basım (Published): Nisan/April 2018

*Sorumlu yazar/Corresponding author: karatas.can.dogan@gmail.com

Özet

Doğru akım öz direnç yöntemi için bakışlı iki boyutlu modelin çözümü çalışılmıştır. Bu çalışmada kuyu logu ölçümlerinde, sondaj akışkanının oluşturduğu istila kuşaklarının olumsuz etkilerini görebilmek istenmiştir. İki boyutlu modellere istila kuşakları elemanları ayrı ayrı eklenmiştir. Hedef tabakanın kalınlığı ince ve arka plan yeraltı öz direnci ile birbirine yakın olmaları istenmiştir. Elde edilen normal log eğrileri incelendiğinde istila kuşakları elemanlarının ve ince tabakanın etkisi görülmüştür. İstila edilen kesimler katman kalınlığı ile aygıt boyunun birbirine oranına bağlı olarak ölçülen değerlerde aşırı sapmalara neden olmaktadır. Bu durumun ampirik yaklaşımlar ile yapılacak düzeltme değerlerinde sorunlar yaratacağı kaçınılmazdır.

Anahtar sözcükler: öz direnç kuyu logu, normal log, öz direnç kuyu logu modelleme, öz direnç kuyu logu istila etkisi

Abstract

A solution of the symmetric two-dimensional model for the direct current resistivity method was studied. In this study, it is desired to be able to see the adverse effects of the infiltration belts formed by the drilling fluid in the well logging measurements. The inflatable belt elements are added separately to the two-dimensional models. The thickness of the target layer is required to be close to each other with a thin and background underground resistivity. When the obtained normal log curves are examined, the influence of the infiltration belt elements and the thin layer is observed. The invaded sections cause extreme deviations in the measured values, depending on the ratio of layer thickness to device neck ratio. This situation will inevitably cause problems in the correction values to be made by empirical approaches.

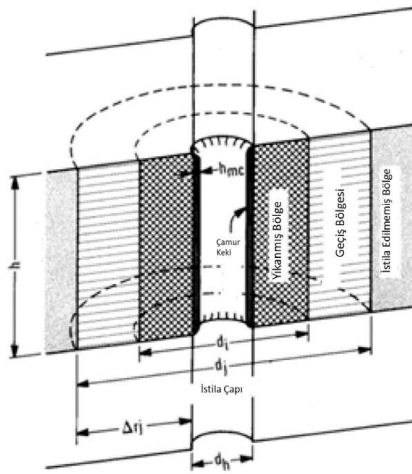
Keywords: resistivity well log, normal well log, resistivity well log modelling, resistivity well log invasion

GİRİŞ

Kuyu logu verilerinin yorumunda jeolojik birimin özdirencinin ölçüldüğü kabul edilir ve ölçülen değerlerin katman sınırlarını tam tanımlaması beklenir. Gerçekte ise gözenekli ve geçirimli bir formasyona sondayla girildiğinde, istila nedeniyle, kuyuyu çevreleyen değişik özdirençli kuşaklar oluşur. Bu kuşakların ötesinde ise belirlenmek istenen, özdirenç R_t simgesiyle gösterilen formasyonun bozulmamış kesimi vardır. İstila zonu, ince tabakalaşma, omuz etkisi (shoulder effect), sondaj kuyuları ve yöntemin doğası gereği yumuşak geçişler elde edilir ve katman sınırları tam olarak belirlenemeyebilir (Pekiner, 2002).

Geçirimli bir formasyonda, basınç farkı nedeniyle kuyu içindeki çamurun suyu formasyon içine sızar. Sızan bu suya süzölmüş su denir. İstila denilen bu olay, formasyonun özgün halini değiştirdiği gibi log aletlerini de özgün formasyondan farklı etkiler.

Formasyona sızan çamurun sıvı kısmına çamurlu süzölmüş suyu denilir. Çamurlu süzölmüş suyu formasyon içinde ilerleyerek formasyon içindeki akışkanın özelliklerini değiştirir, tüm bu kuşağa (Şekil 1’de çapı) istila (invasion) kuşağı denilir. Bu süzölmüş suyun ulaşamadığı kısma bozulmamış kuşak (uninvaded zone) denilir. İstila birkaç kuşaktan oluşur. Bunlar, çamur pastası (mud cake); kuyu çeperinde biriken çamurun katı kısmı, yıkanmış kuşak (flushed zone); çamurlu süzölmüş suyunun formasyon akışkanını tamamen öteleyerek yerleştiği kısım ve geçiş kuşağı (transition zone); çamurlu süzölmüş suyunun ulaşabildiği fakat hepsini öteleyemediği için formasyon akışkanını ile birlikte bulunduğu kuşaklardan oluşur (Pekiner, 2002) (Şekil 1).



Şekil 1. Kuyu logu çalışmasında oluşan kuşakların gösterimi (Kuşaklar kuyu merkezine göre bakışimli olarak gösterilmiştir (Anderson (2001) ’den düzenlenmiştir).

Kuyu logları uygulamalarında formasyon kalınlıkları alet boyundan daha büyük olduğunda jeolojik oluşumlar hakkında faydalı bilgiler üretilir. Yang ve Ward (1984), elektrot ve katman kalınlığı arasındaki ilişkinin katmanın elektrot aralığının on katından daha kalın olması durumunda, görünür özdirenç gerçek katman direncine daha yakın olacağını belirtmişlerdir. Ek olarak Uluggergerli (2011)’da katman kalınlığı elektrot aralığının altı katından daha az ise gerçek özdirenç hesaplanmasının zorlaştığı gösterilmiştir. Karmaşık bir ortamda ampirik bağıntılar tam olarak istenen sonucu üretemez. Bu nedenle iki boyutlu modelleme çalışmaları ile daha doğru sonuçlar üretilebilir.

Bu çalışmada kuyu içi çamurunun ve çamur tarafından istila edilen kesimin hedef yapının özdirencini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bakışimli model ve sayısal çözümleme yardımıyla, tekdüze bir ortamda yer alan katman modeli seçilmiş ve değişimlerin etkisi ortaya konmuştur. Denemelerde çamur içermeyen modelin tepkisi ile kuyuda çamur içeren, çamurun katman içine ilerlediği durumu tanımlayan modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda istila etkisinin eğri davranışlarını değiştirdiği gözlenmiştir.

Çalışmada hesaplamalar Uluggergerli (2011) tarafından hazırlanan MATLAB temelli program ile yapılmıştır.

Yöntem

Çalışmada kısa (16” short) ve uzun (64” long) normal log verileri, sayısal çözüm ile elde edilmiştir.

DC Kuyu Logu

Normal elektrikli özdirenç aletlerine kısaca, normal E-log ya da normal elektrolog denilmektedir. Bu alette N elektrotu M’den sonsuz sayılabilecek kadar uzağa yerleştirilmiştir. Bu durumda nokta akım kaynağının homojen ortamda M ve N uzaklıklarında meydana getirdiği gerilim;

$$V_{MN} = \frac{I \cdot R}{4\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right)} \quad (1)$$

ile verilir. Bu bağıntıdaki sıfır olacağından Normal E-log aletinde elektriksel potansiyel-özdirenç bağıntısı;

$$V = \frac{I \cdot R}{4\pi \cdot AM} \quad (2)$$

olur. Burada AM uzaklığı, formasyona akım göndiren A akım elektrotuyla, ölçüm yapılan M potansiyel elektrotu arasındaki uzaklıktır. Eşitlik 2' deki sabit sayısına normal aletin sabiti denir. Bağntı;

$$V = \frac{I \cdot R}{K_N} \quad (3)$$

haline gelir. Bu bağntıdan özdirenç;

$$R = \frac{K_N}{I} \cdot V \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağntıdaki KN aletin tasarımına bağlı bir katsayıdır. I akımı ise elektronik devreler yardımıyla sabit tutulduğundan, V gerilim değerlerinin devamlı kaydı, formasyonun R özdirenç logunu verir.

AM uzaklığına Normal E-log aletin aralığı denilir. AM aralığı 16'' ve 64'' olanlar standart E-log aletleri olarak kabul edilmektedir. Bir normal E-log aleti; AM = 16'' ise 16'' kısa-normal, AM = 64'' ise 64'' uzun-normal aleti adını alır. Normal E-log aletlerinin çalışması 4 numaraları bağntıyla uygun olarak gerçekleşir ama kuyu içerisindeki çamur, istila kuşağı ve komşu tabakalar tekdüzeliği bozarak aletin gerçek formasyon özdirencini (Rt) doğru biçimde kaydedilmesini engeller.

Sayısal Çözüm

Bir sistemin fiziksel özelliklerini taşıyan diferansiyel denklemlere yaklaşık çözümleri bulabilmek için kullanılan bir sayısal çözüm tekniğidir. Laplace denklemini silindirik koordinat sistemi için yazarsak;

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad (5)$$

şeklinde olur. Burada; r, ışnsal; ϕ , dairesel ve z, aksel aksellerdir. Aksel problem için değişken u, dairesel eksen ' den bağımsızdır. Alan aksel bakışlı kabul edildiğinde, belirtilen tüm yükleme ve sınır koşulları da aksel bakışlı olur. Bu durumda ana denklem;

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad (6)$$

şeklinde basitleştirilir.

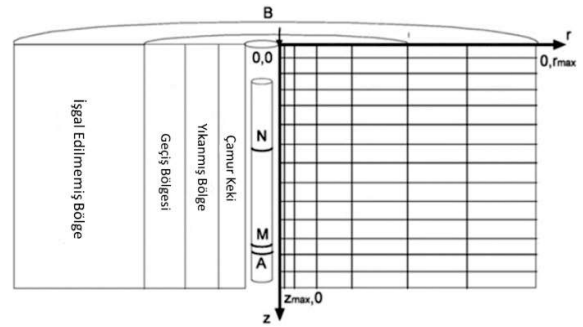
Eksel bakışlı, düzgün olmayan ortamdaki

elektrik akımının akış yönetsel denklemi (Dey ve Morrison, 1979; Mufti, 1976);

$$\frac{\partial}{\partial r^2} \left[\frac{\sigma(r, z) (\partial v(r, z))}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\sigma(r, z) (\partial v(r, z))}{\partial z} \right] + \frac{1}{r} \sigma(r, z) (\partial v(r, z)) = \frac{I_0 \delta(r) \delta(z - z_c)}{2\pi r} \quad (8)$$

ile verilir. Burada r, kuyudan ışnsal mesafe uzaklığı, z ise derinliği tanımlar (r=0 kuyu merkezi, z=0 yüzeydir). Akım I₀, kuyudaki derinlik z'ye enjekte edilir (r=0). V akımın yarattığı potansiyeldir. Dört düğümlü iki doğrultulu dikdörtgen elemanlı sonlu elemanlar yöntemi (FEM), eşitlik 7' yi çözmek için kullanılır (Kwon ve Bang, 2000).

Sonlu elemanlar yöntemi, hesaplamalarda tüm noktaları kullandığından sınırlara herhangi bir dış değer verilmez, ancak tüm sınırlar ilgi bölgesinden uzaklaştırılır (Ulugergerli, 2011). Bu nedenle örgü (mesh) ölçüm bölgesi z yönünde eşit aralıklarla incelenen bölgenin sonuna kadar gider. r ekseninde ise kademeli olarak artar (Şekil 2).



Şekil 2. Kuyu log çalışmasında basitleştirilmiş yeraltı modeli. Sağ taraf hesaplama bölgesidir (Ulugergerli, 2011).

Denklem 7'e FEM uygulandığında;

$$G \cdot v = S_i \quad (8)$$

üretilir. Burada, G; küresel veya sertlik matrisi, v; potansiyellerin vektörü, S_i; i. ölçüm için akım vektörüdür. Denklem 8 her bir kaynak konumu için çözülür (Bu hesaplamalar MATLAB'da yapılmıştır).

Hesaplama dört elektrot kullanılır. N ve M elektrotları arası mesafe 15.24 m (50 ft) olarak alınmıştır ve B elektrotu yüzey üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2). Geometrik faktör;

$$k = \frac{4\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} - \frac{1}{BM}} \quad (9)$$

ile verilir. Tüm uzaklıklar AM mesafesine göre çok büyük olduğundan, kullanılan mesafe AM' dir. Sırasıyla kısa ve uzun normal aletleri temsil eden 0.4 m ve 1.6 m olarak ayarlanır. Potansiyel ve geometrik faktör hesaplandıktan sonra görünür öz direnç;

$$\rho_a = k \frac{V_{MN}}{I} \quad (10)$$

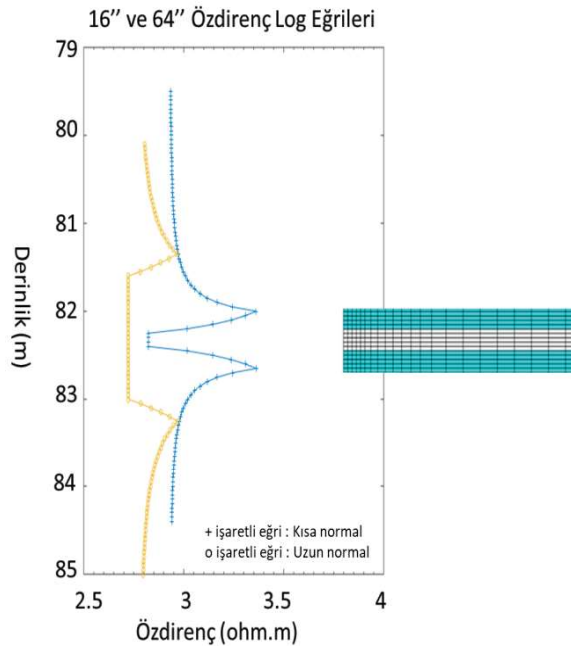
ile elde edilir.

Örnekler

Çalışmada hedef tabakanın ince olması ve tabakanın öz direnci ile tekdüze yeraltının öz direncinin yakın değerlerde olması istenmiştir. Bu şekilde modeller ile amaçlanan, öz direnç farkı az olan ortamlarda ince tabakalı bir yapının elektrik kuyu logu ölçümlerinde nasıl sonuç vereceği gözlenmiştir. Buna göre modeller aşağıdaki gibidir;

İstila İçermeyen Model

Öz direnci 3 ohm.m olan yeraltı modelinde, hedef bölgesi olarak yaklaşık 25 cm kalınlığında 5 ohm.m öz direnci olan tabaka için kısa ve uzun normal log eğrileri şekil 3'te verildiği gibi elde edilmiştir.

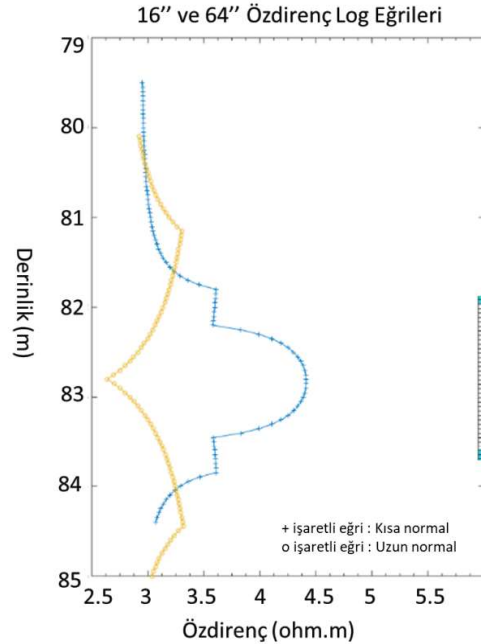


Şekil 3. Tekdüze yeraltında sabit kalınlıkta tabaka modelinden elde edilen kısa ve uzun normal log eğrileri

Birinci modelde kuyusuz bir ortamda, ölçüm alınırken oluşan engelleyici etmenler (çamur keki ve çamur suyunun ötelemesi ile oluşan istila bölgeleri) olmadan kuyu logu sonuçları elde edilmiştir.

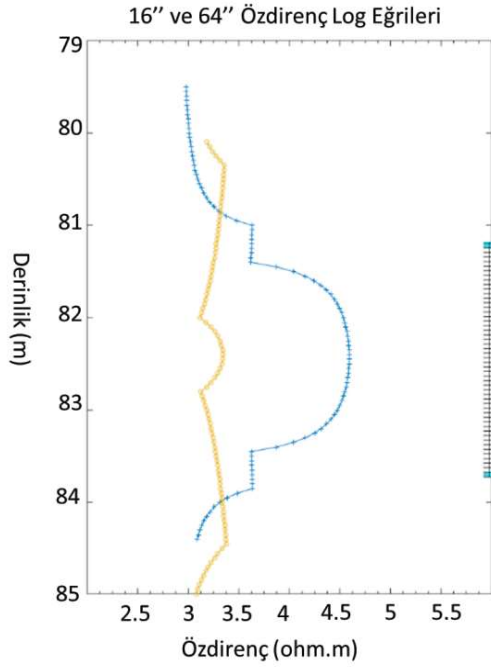
Model istilasız durumda yani kuyunun engelleyici etkileri olmadan yapılmış olsa dahi tabakanın 5 ohm.m lik öz direnci log eğrilerinde gözlenmektedir. Sonlu uzaklığa yerleştirilmiş N elektrotunun oluşu omuz etkisine (shoulder effect) sebep olmaktadır.

İnce tabaka kalınlığı ile alet aralıklarının (16" 64") arasındaki fark büyük olması durumunda, log eğrilerinde ters davranışlar görülmektedir. Tabaka kalınlığı arttırıldığında log eğrilerinin normal davranış göstermeye başladığı şekil 5'de gözlenmiştir.



Şekil 4. Tekdüze yeraltında sabit 2m kalınlıklı tabaka modelinden elde edilen kısa ve uzun normal log eğrileri

Şekil 4'de 16" eğrisinin tabakanın kalınlığı artmasıyla beraber normal davranış sergilediği görülmektedir. Fakat 64" eğrisi, tabaka kalınlığı 3m yapıldığı durumda normal davranış göstermeye başlamıştır.

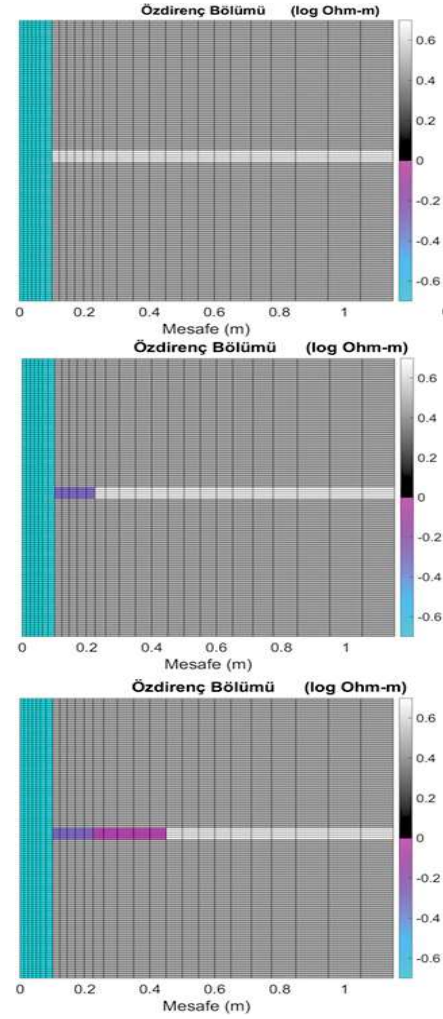


Şekil 5. Tekdüze yeraltında sabit 3m kalınlıkta tabaka modelinden elde edilen kısa ve uzun normal log eğrileri

İstila İçeren Modeller

İstilanın eğrilere etkisini incelemek için üç farklı kuyu modeli oluşturulmuştur. Bunlar sadece çamur içeren model, çamur ve yıkanmış bölge içeren model ve çamur, yıkanmış bölge ve geçiş bölgesini içeren modellerdir.

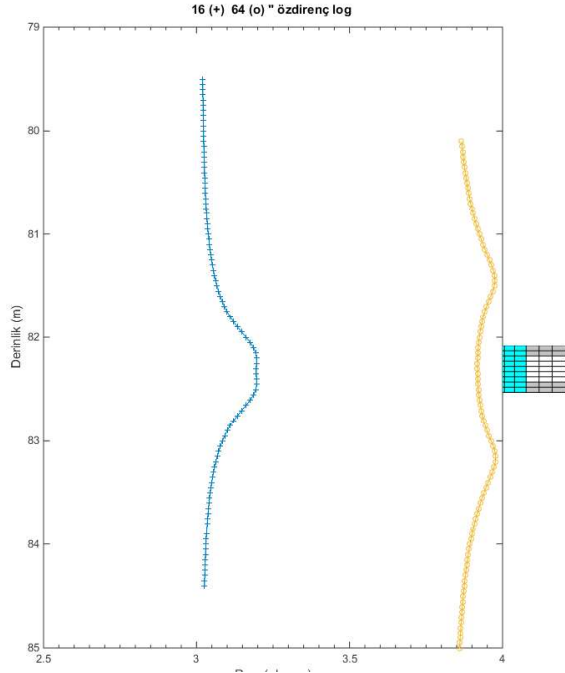
Şekil 6'daki modeldeki birimlerin özdirençleri; çamur 0.2 ohm.m, tabaka 5 ohm.m, tabakanın içinde bulunduğu tekdüze yeraltı ise 3 ohm.m olarak alınmıştır. B modeldeki birimlerin özdirençleri; çamur 0.2 ohm.m, yıkanmış bölge 0.5 ohm.m, tabaka 5 ohm.m, tabakanın içinde bulunduğu tekdüze yeraltı ise 3 ohm.m olarak alınmıştır. C modeldeki birimlerin özdirençleri; çamur 0.2 ohm.m, yıkanmış bölge 0.5 ohm.m, geçiş bölgesi 0.9 ohm.m, tabaka 5 ohm.m, tabakanın içinde bulunduğu tekdüze yeraltı ise 3 ohm.m olarak alınmıştır.



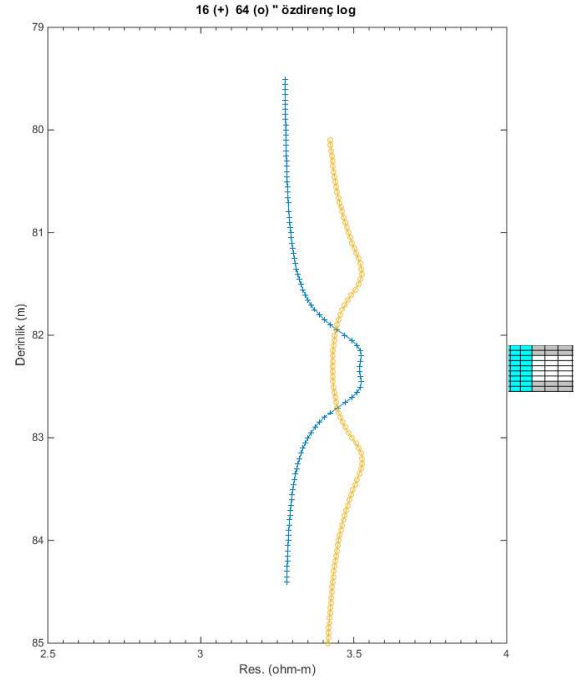
Şekil 6. Bu çalışmada kullanılan istila yeraltı modelleri; a) Kuyulu model b) Kuyu ve yıkanmış bölge modeli c) Kuyu, yıkanmış bölge ve geçiş kuşağı bulunan model

Sadece Çamurun Etkisi

Sırasıyla kuyu çeperindeki çamurun özdirençini 0.1, 0.2 ve 0.3 log ohm.m olarak belirlendiğinde elde edilen uzun ve kısa normal log eğrileri Şekil 7, 8 ve 9'daki gibi elde edilmiştir. Tüm modellerde çamur pastasının kalınlığı 10 cm alınmıştır.



Şekil 7. Çamurun özdirenci 0.1 log ohm.m olarak alındığında (Açık mavi renkli bölge çamurun yerini göstermektedir).



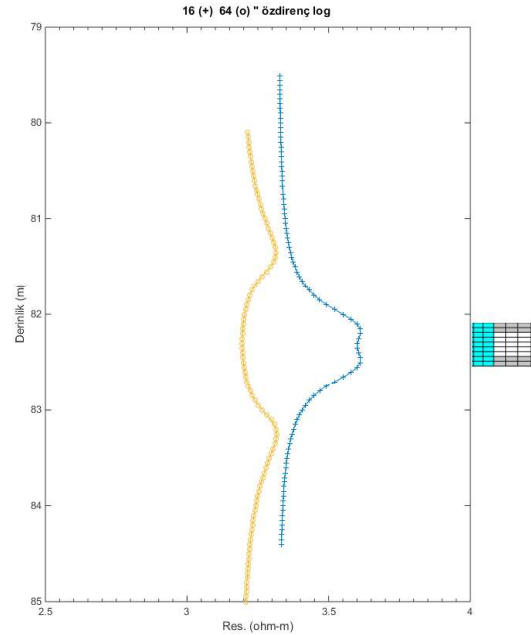
Şekil 8. Çamurun özdirenci 0.2 log ohm.m olarak alındığında elde edilen uzun ve kısa normal eğrileri

Çamurun özdirencinin artması ile kısa normal log eğri değerlerinde artış gözlenmektedir. Uzun normal eğri değerlerini ise düşürdüğü gözlenmiştir. Bu durumda çamurun log eğrilerini etkilediği, gerçek tabaka değeri ile farklılık oluşturacağı gözlenmektedir.

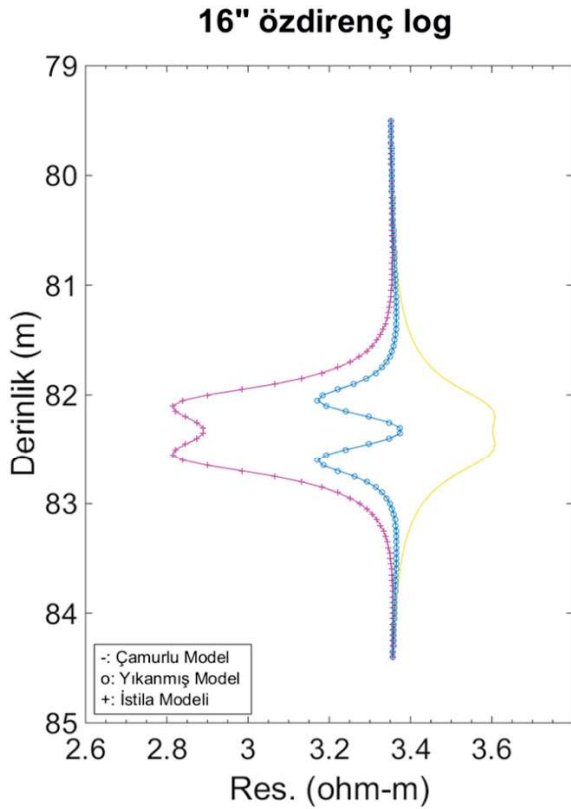
Yorumlama açısından yanlış sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir.

İstila Etkisinde Kısa Normal Log Eğri Davranışları

16" eğrilerinde (şekil 3.9 model A) modeli gözüne 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.



Şekil 9. Çamurun özdirenci 0.3 log ohm.m olarak alındığında elde edilen uzun ve kısa normal eğrileri



Şekil 10. a, b ve c yeraltı modellerinden elde edilen kısa (16") normal log eğrileri

Modele yıkanmış kuşak eklendiğinde ($R_{xo}=0.5$ ohm.m) (şekil 6 model B), eğrinin bu kuşağın etkisinde kalarak düşük özdirenç değerleri verdiği görülmektedir (3.2 ohm.m) (o işaretli). Son model (şekil 6 model C) de tüm istila kuşaklarının (çamur, yıkanmış bölge ve geçiş bölgesi) eklenmesi ile eğrinin (+ işaretli) daha düşük değer verdiği (2.85 ohm.m) gözlenmektedir.

Yapılan modeller incelendiğinde kısa normal log eğrilerinin akışkan kaynaklı oluşan tabakalanma yüzünden ölçülmesi beklenen tabaka özdirencini (5 ohm.m) vermediği aksine düşük değerler verdiği gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre istilanın log eğrilerini zararlı yönde etkilediği anlaşılmaktadır. M şeklinde eğrilerin görülmesi ince tabaka etkisi yüzünden olmaktadır.

Anılan M şeklindeki belirti ince tabakalar serisinin yarattığı belirti ile özdeştir. Aygıt boyu ile katman kalınlığının birbirine oranı arttıkça sınır geçişlerinde bu etki oluşmaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Elde edilen iki boyutlu kısa ve normal uzun log modellerine bakıldığında; istilasız bir tabakalı modelde gözlenen eğrilerin, gerçek kuyu logu çalışmalarında oluşan istila kuşaklarının eklenmesiyle değiştikleri gözlenmiştir.

Sadece sabit kalınlıkta, özdirenci gittikçe artan bir çamur tabakası eklendiğinde log eğrilerinin özdirençlerinde farklılık gözlenmektedir. Çeperdeki çamur tabakasının özdirencinin artması ile de bu eğrilerin hedef tabakasını belirlemesi zorlaşacaktır.

Hedef tabakanın aletin elektrot aralığına göre ince olması durumunda, log eğrileri ters davranış göstermektedir.

Yapılan istila modelleme örnekler karşılaştırıldığında, kuyu çeperinde farklı özdirençte tabaka sayısının artmasıyla, hedef kesiti belirlemek için elde edilen model eğrilerindeki belirginlik ve tabaka özdirencinin azaldığı görülmüştür.

SUMMARY

The direct current resistivity log data is modeled by the assumption of the axisymmetric model. In the well logging measurements, the misleading effect of the infiltration of the drilling fluid were investigated. The invaded sections cause deviations in the measured values depending on the ratio of the layer thickness to the length of the measuring device. This suggests that correction attempt by means of empirical approaches and corrections will be insufficient for complex structures. It has been shown that deviations observed in curves can point to structurally different models.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma ÇOMÜ BAP tarafından desteklenen 1174 numaralı proje kapsamında yapılmıştır.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Anderson B. I., 2001. Modeling and Inversion Methods for the Interpretation of Resistivity Logging Tool Response, DUP Science
- Dey, A., Morrison, H.F., 1979. Resistivity modelling for arbitrarily shaped twodimensional structures. *Geophys. Prospecting* 27 (1), 106–136.
- Kwon Y. W., Bang H., 1997. The Finite Element Method using MATLAB, CRC Press LLC
- Mufti, I.R., 1976. Finite-difference resistivity modeling for arbitrarily shaped twodimensional structures. *Geophysics* 41, 62–78.
- Pekiner, Y., 2002. Kuyu Logları Tekniđiyle Yeraltının Keşfi, Seçkin Yayıncılık.
- Ulugergerli E. U., 2011. Two dimensional combined inversion of short- and long-normal dc resistivity welllog data. *Journal of Applied Geophysics*, 73 (2011) 130–138.
- Yang, F.W., Ward, S.H., 1984. Inversion of borehole normal resistivity logs. *Geophysics* 49, 1541–1548.