



مدل سازی اندازه گیری های جانبی نگار دوتایی جریان متناوب به روش المان محدود

سوفیا کشاورزی پور^۱، مجید نبی بیدهدنی^۲، فرهاد خوشبخت^۳

دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

Sophia_keshavarz@yahoo.com

چکیده

میزان مقاومت ویژه لایه های زیر زمین پارامتر مهمی برای برآورد حضور احتمالی نفت و میزان ذخیره ی آن است. ابزار نگاربرداری جانبی نگار دوتایی یکی از مهمترین ابزارهای چاهنگاری برای اندازه گیری مقاومت ویژه و دارای دو مد اندازه گیری کم عمق و عمیق می باشد. به علت عدم دسترسی مستقیم به ساختارهای زیرزمینی به ویژه در عمق زیاد، مدل سازی نگارها کمک زیادی به تفسیر، طراحی ابزار و خلق چارت های تصحیح برای نگارها می کند. در این مطالعه به مدل سازی نگارهای مقاومت ویژه ی کم عمق (LLS) و مقاومت ویژه ی عمیق (LLD) مربوط به دو مد اندازه گیری جانبی نگار دوتایی (DLT) به روش المان محدود و بصورت دوبعدی پرداخته ایم. برای این منظور از برنامه ی کامسول مولتی فیزیک بهره گرفته شده و مدل های مصنوعی از محیط و ابزار نگاربرداری ساخته شده و پاسخ محیط (مقاومت ویژه) به دست آورده شد. کامسول یکی از قوی ترین نرم افزارهای تجاری است که توسط آن می توان به مدل سازی همزمان چند فیزیک به روش المان محدود پرداخت. اکثر چاه ها قائم بر ساختار لایه بندی حفر شده اند، بنابراین در اینجا مطالعه مان را محدود به این قبیل چاه ها کرده ایم. مشاهده می شود که کامسول بخوبی توانسته است پاسخ جانبی نگار دوتایی را در مدل های مصنوعی از لایه های زیرزمینی مدل سازی کرده و حتی در لایه های نازک هم مقاومت ویژه ای نزدیک به مقاومت ویژه ی واقعی بدست دهد.

واژه های کلیدی: مقاومت ویژه، جانبی نگار، کامسول، مدل سازی، المان محدود

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

۲- استاد و عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

۳- دانشجوی دکترای دانشگاه تهران

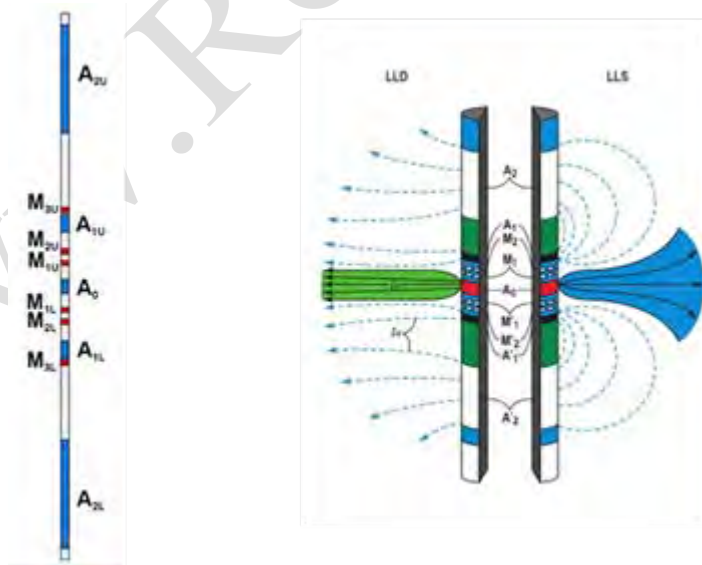


۱- مقدمه

چاه‌نگاری مقاومت ویژه اولین روش نگار برداری بود که توسط صنعت نفت در داخل چاه استفاده شد. از میان همه‌ی پارامترهای سنگ که توسط ابزارهای نگاربرداری اندازه گرفته می‌شوند مقاومت ویژه الکتریکی از اهمیت خاصی برخوردار است. برای تعیین مقدار نسبی هیدروکربن در یک سازند اندازه‌گیری مقاومت ویژه اساسی است. از آنجا که هیدروکربن‌ها عایق هستند، مقاومت‌ویژه‌ی بالا نشان دهنده‌ی حضور احتمالی نفت و گاز در حفره‌های سنگ خواهد بود. برای ارزیابی محتوای هیدروکربن یک مخزن پارامتری که بیشتر مورد نظر است مقاومت‌ویژه‌ی بخشی از لایه است که سیال حفاری به آن نفوذ نکرده است. ابزارهای مقاومت‌ویژه، مقاومت ویژه‌ی ظاهری (R_a) را اندازه می‌گیرند برای تعیین دقیق مقاومت‌ویژه‌ی واقعی (R_t). اثرات لایه‌های مجاور باید در نظر گرفته شوند.

چون چاه‌نگاری توسط ابزاری انجام می‌گیرد که در گل چاه فرو برده می‌شود، ویژگی‌های گل و اندازه چاه بر دقت اندازه‌گیری R_t تأثیر خواهند گذاشت. بنابراین بایستی اثرات چاه به حساب آورده شوند. با طراحی مناسب ابزار می‌توان اثرات چاه و لایه‌های مجاور را کاهش داد. برای حل مسئله‌ی آغستگی ابزارهایی با چند عمق بررسی به وجود آمدند. از جمله‌ی این ابزارها، ابزار جانبی نگار دوتایی (DLT) بود که دارای ویژگی‌های زیر بود:

- اثر چاه در آن‌ها کمتر بود.
 - از قدرت تفکیک قائم خوبی برخوردار بودند.
 - سه عمق بررسی شعاعی مختلف داشتند که بطور مناسبی توزیع شده بودند.
- DLT با تغییر سریع نقش الکترودها، دو اندازه‌گیری همزمان از مقاومت ویژه عمیق و کم عمق به دست می‌دهد: اندازه‌گیری با عمق بررسی کم (LLS) و اندازه‌گیری با عمق بررسی زیاد (LLD). در هر دو مد اندازه‌گیری از الکترودهای یکسانی استفاده می‌شود با این تفاوت که روش‌های کانونی کردن متفاوتی را به کار می‌برند (شکل ۱).



شکل ۱. نمایشی از ورژن جدید LLD و الگوهای جریان برای دو مد آن در یک سازند همگن بینهایت ضخیم (بین [1]، ۲۰۱۱)

در زبان نگاربرداری، واژه‌ی مدل‌سازی به محاسبه‌ی پاسخ یک دستگاه نگاربرداری در حضور محیط دربرگیرنده‌ی آن برمی‌گردد. مدل در تلاش است که همه‌ی جزئیاتی که باعث پاسخ دستگاه می‌شوند را به دست آورد و همچنین از آن برای



تفسیر نگار یا طراحی ابزار استفاده می‌شود. یک مدل مقاومت‌ویژه شامل توزیع مقاومت‌ویژه برای محیط و توصیفی از سنسورهای دستگاه می‌شود. نتیجه‌ی مدل‌سازی، پاسخی مصنوعی از ابزار یا همان نگار است که می‌توان آنرا با نگار مشاهده شده برای تفسیر یا مقادیر مقاومت ویژه‌ی مدل برای طراحی ابزار مقایسه کرد [2]. مدل‌سازی جانبی نگار دوتایی به روش المان محدود توسط اشخاصی چون آندرسون [3]، استول [4]، پارادو [5] صورت گرفته است. در اینجا این مدل‌سازی را برای جریان‌های متناوب جانبی نگار دوتایی به روش المان محدود و برای اولین بار در کامسول انجام داده‌ایم.

۲- مدل‌سازی جانبی نگار دوتایی

DLT به گونه‌ای طراحی شده است که جریان الکتروود مرکزی بطور افقی در داخل سازند متمرکز شود. DLT از پنج الکتروود جریان $A_0, A_{1u}, A_{2u}, A_{1l}, A_{2l}$ و شش الکتروود ولتاژ $M_{1u}, M_{2u}, M_{3u}, M_{1l}, M_{2l}, M_{3l}$ (الکتروودهای کنترل‌کننده) تشکیل شده است. الکتروودهای $A_{1u}, A_{1l}, A_{2u}, A_{2l}$ جریان‌ها را به گونه‌ای داخل سازند هدایت می‌کنند که باریکه‌ی جریان گسیل شده توسط الکتروود A_0 بطور کانونی وارد سازند شود. میزان تمرکز جریان اصلی با تغییر شدت این جریان‌های کمکی قابل تغییر است. در عمل شدت جریان‌های کمکی توسط یک حلقه بازگشتی به گونه‌ای کنترل می‌شوند که گرادیان پتانسیل اندازه‌گیری شده بین الکتروودهای $M_{1u}, M_{2u}, M_{1l}, M_{2l}$ صفر شوند. این شرط به این معناست که مولفه‌ی قائم جریان در مجاورت الکتروودهای ولتاژ صفر شده و باریکه‌ی جریان اصلی بطور کانونی وارد لایه‌ی مجاور الکتروود مرکزی شود. طول کل DLT حدود ۲۸ فوت است. در مدل‌سازی انجام شده، طول ابزار را ۱۸۰ اینچ (۱۵ فوت) گرفتیم. به این منظور، اندازه‌ی الکتروودها را به همان نسبت تغییر دادیم. در جدول ۱ اندازه‌ی الکتروودهای DLT که در مدل‌سازی در نظر گرفته شده‌اند را آورده‌ایم. با اینکه جانبی‌نگارها به عنوان ابزارهای جریان مستقیم (DC) در نظر گرفته می‌شوند، اندازه‌گیری‌های فرکانس صفر برای آن‌ها به علت مسائل نویزی غیر عملی است. بنابراین DLT در فرکانس کوچک ولی معینی عمل می‌کند: ۳۵ هرتز برای LLD و ۲۸۰ هرتز برای LLS.

جدول ۱. موقعیت الکتروودهای DLT به اینچ در مدل‌سازی انجام شده با کامسول

نام الکتروود	طول (اینچ)	مکان الکتروودها برای ابزاری که مرکز آن در نقطه (۰،۰) واقع است
A_{2U}	۵۲/۵	۳۴/۷۵ تا ۸۷/۲۵
M_{3U}	۰/۱	۱۹/۶۵ تا ۱۹/۷۵
A_{1U}	۷/۱۵	۱۲/۲۵ تا ۱۹/۴
M_{2U}	۰/۱	۸/۰ تا ۸/۱
M_{1U}	۰/۱	۵/۰ تا ۵/۱
A_0	۴/۵	-۲/۲۵ تا ۲/۲۵
M_{1L}	۰/۱	-۵/۰ تا -۵/۱
M_{2L}	۰/۱	-۸/۰ تا -۸/۱
A_{1L}	۷/۱۵	-۱۲/۲۵ تا -۱۹/۴
M_{3L}	۰/۱	-۱۹/۶۵ تا -۱۹/۷۵
A_{2L}	۵۲/۵	-۳۴/۷۵ تا -۸۷/۲۵

در مد عمیق جانبی‌نگارهای دوتایی، برای اطمینان از برقراری گرادیان پتانسیل یکنواخت بین الکتروودهای خنثی‌کننده در تبارین‌های بالای مقاومت ویژه، یک جفت الکتروود $M_{3U}-M_{3L}$ هم به آرایش الکتروودی اضافه شده‌اند. همچنین، الکتروودهای محافظ A_{1L}, A_{1U}, A_{2L} و A_{2U} در پتانسیل تقریباً یکسانی نگه داشته شده و جریان‌های خنثی‌کننده را به داخل



سازند دربرگیرنده‌ی ابزار نگاربرداری گسیل می‌دارند. در قدیم، همه‌ی جریان‌های گسیل شده به الکتروود B در روی سطح زمین برگشت داده می‌شد. امروزه از الکتروودی در دور دست که بر نوک بریدل قرار دارد به عنوان الکتروود برگشت استفاده می‌شود [5]. فاصله‌ی بین این الکتروود تا نزدیک‌ترین لبه‌ی ابزار را ۷۰۰ اینچ (حدود ۶۰ فوت) گرفتیم. ضخامت اسمی پرتو جریان دو فوت است. معادلات متضمن شرایط کنترل‌کننده‌ی LLD بصورت زیر هستند:

$$V_{A1U} = V_{A1L} \quad (۱)$$

$$V_{A2U} = V_{A2L} \quad (۲)$$

$$V_{M1U} + V_{M1L} = V_{M2U} + V_{M2L} \quad (۳)$$

$$V_{A2U} + V_{A2L} = V_{M3U} + V_{M3L} \quad (۴)$$

مقاومت ویژه‌ی ظاهری (R_a) برای LLD از رابطه‌ی (۵) به دست می‌آید:

$$R_a = K_{LLD} \frac{(V_{M1U} + V_{M1L})/2}{I_{A0}} \quad (۵)$$

K_{LLD} ثابت ابزار نامیده می‌شود. برای به دست آوردن آن، دستگاه نگاربرداری را در یک محیط همگن با ابعاد بینهایت (از نظر فیزیکی) که مقاومت ویژه‌ی آن از قبل معلوم است، قرار داده و به ازاء جریان معینی اندازه‌گیری را انجام می‌دهیم. آنگاه با قرائت ولتاژهای کنترل‌کننده از روی مدل و معلوم بودن مقدار شدت جریان ابزار و مقاومت ویژه‌ی محیط، از رابطه‌ی بالا قادر به محاسبه‌ی ثابت ابزار خواهیم بود.

در مد LLS، جریان از مولد خارج شده و توسط الکتروود مرکزی A_0 و دو الکتروود خنثی‌کننده‌ی A_{1U} ، A_{1L} وارد سازند شده و از آنجا بوسیله‌ی دو الکتروود خنثی‌کننده‌ی A_{2U} ، A_{2L} دریافت شده و به مولد بازگردانده می‌شود. در این مد، تنها اختلاف با مد عمیق، استفاده از الکتروودهای A_{2U} و A_{2L} به عنوان الکتروودهای برگشت برای الکتروودهای A_{1U} ، A_{1L} و A_0 است. این نوع متمرکز کردن جریان که در آن، جریان به جای برگشت به یک نقطه‌ی دور، به الکتروودهای نزدیک برمی‌گردد "جانبی نگار کاذب" نامیده می‌شود. از آنجا که جریان‌های برگشت بسیار نزدیک هستند، جریان اصلی هنگام ورود به سازند سریعاً واگرا می‌شود که این منجر به عمق بررسی کمی می‌شود. الکتروودهای برگشت کاملاً بلند هستند، در نتیجه چاه تأثیر زیادی بر روی اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه نخواهد گذاشت. بزرگی جریان اصلی A_0 بگونه‌ای کنترل می‌شود که میانگین گرادیان قائم پتانسیل بین دو جفت الکتروود کنترل‌کننده‌ی M_1 و M_2 ، مانند LLD، صفر شود. در نتیجه، ضخامت باریکه‌ی اصلی جریان در LLS تقریباً برابر با LLD است. به همین دلیل، قدرت تفکیک قائم LLS و LLD تقریباً برابر است. معادلات زیر بیان‌کننده‌ی شرایط کنترل‌کننده برای LLS هست:

$$V_{A1U} = V_{A1L} \quad (۶)$$

$$V_{A2U} = V_{A2L} \quad (۷)$$

$$V_{M1U} + V_{M1L} = V_{M2U} + V_{M2L} \quad (۸)$$

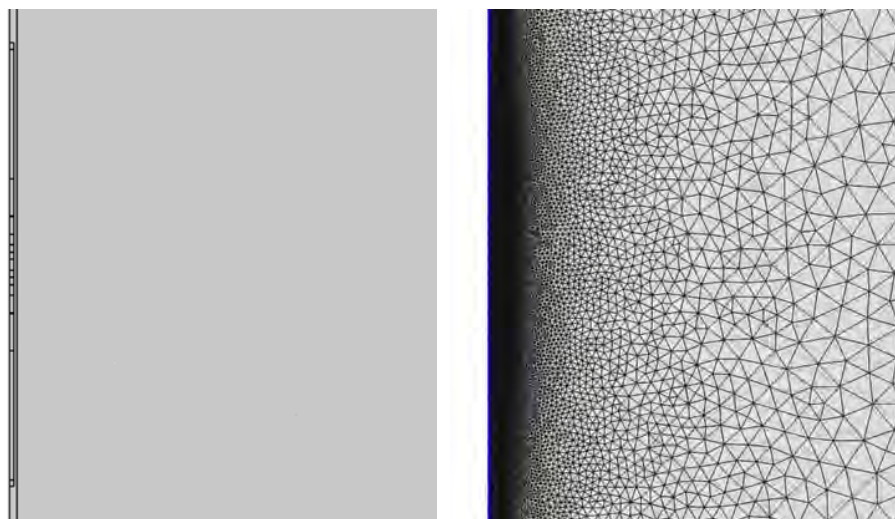
$$I_{A0} + I_{A1U} + I_{A1L} + I_{A2U} + I_{A2L} = 0 \quad (۹)$$

R_a برای LLS از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$R_a = K_{LLS} \frac{(V_{M1U} + V_{M1L})/2}{I_{A0}} \quad (۱۰)$$

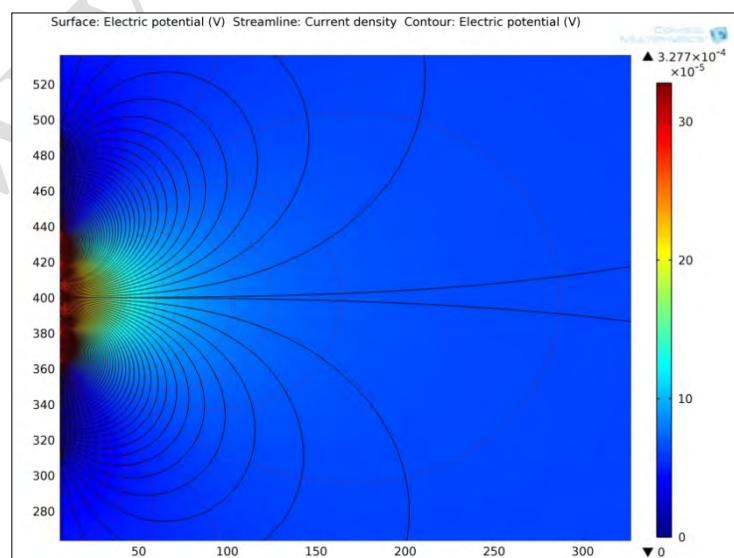


KLLS ثابت ابزار بوده و مشابه روش گفته شده در مورد LLD به دست می‌آید. در مدل‌سازی صورت گرفته، از ماژول AC/DC کامسول، از دو فیزیک *electric current* و *electrical circuit* بطور همزمان استفاده کرده و جریان متناوبی برابر با یک آمپر را از مولد می‌فرستیم (با فرکانس ۳۵ هرتز برای LLD و ۲۸۰ هرتز برای LLS). شکل ۲ آرایش الکترونی برای جدول ۱ و هندسه‌ی شبکه بندی شده‌ی آن بصورت المان محدود را نشان می‌دهد.



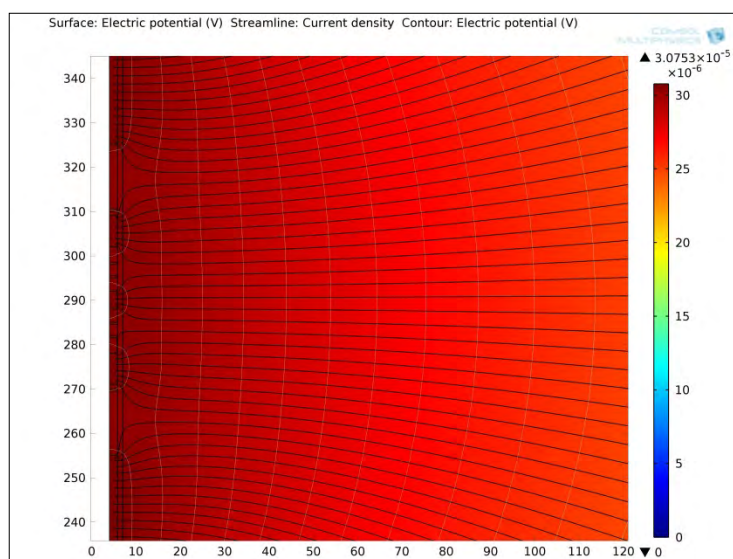
شکل ۲. نمایشی از بخشی از هندسه‌ی مورد استفاده در مدل‌سازی (سمت چپ)؛ هندسه‌ی شبکه بندی شده‌ی آن (سمت راست)

شکل ۳ و ۴ نتایج مدل‌سازی پیشروی المان محدود را برای هندسه‌ی نشان داده شده در شکل ۲ و با فرض واقع بودن ابزار در یک محیط همگن، همسانگرد و بینهایت را نمایش می‌دهند. در هر دو مدل، خطوط جریان و پتانسیل به خوبی اثر کانونی شدگی جریان را نشان می‌دهند.





شکل ۳. طرحی از الگوهای جریان و سطوح هم پتانسیل در مد LLS ابزار DLT. خطوط پررنگ نشاندهنده جریان و خطوط کم رنگ، پتانسیل هستند. زمینه نیز بیانگر مقدار پتانسیل محیط است.



شکل ۴. طرحی از الگوهای جریان و سطوح هم پتانسیل در مد LLD ابزار DLT. خطوط پررنگ نشاندهنده جریان و خطوط کم رنگ، پتانسیل هستند. زمینه نیز بیانگر مقدار پتانسیل محیط است.

۳- بررسی اثر ضخامت لایه و لایه‌های مجاور

برای بدست آوردن ثابت ابزار، ابزار را در محیطی (شامل سازند و چاه) با مقاومت ویژه‌ی 10^{-2} اهم متر قرار داده و جریان متناوب ۱ آمپری با فرکانس ۳۵ هرتز را برای LLD و با فرکانس ۱۸۰ هرتز را برای LLS اعمال می‌کنیم. برای LLD مقادیر زیر را به دست می‌آوریم:

$$V_{MIU} = 30.651 \text{ V}$$

$$V_{MIL} = 30.650 \text{ V}$$

$$I_{A0} = 5.033 \text{ A}$$

$$R_a = 10^{-2} \Omega.m$$

با جایگذاری این مقادیر در رابطه‌ی ۵ به دست می‌آوریم:

$$K_{LLD} = 0.016 \text{ m}$$

به همین ترتیب، برای LLS مقادیر زیر را به دست می‌آوریم:

$$V_{MIU} = 3.9289 \text{ V}$$

$$V_{MIL} = 3.9289 \text{ V}$$

$$I_{A0} = 0.799 \text{ A}$$

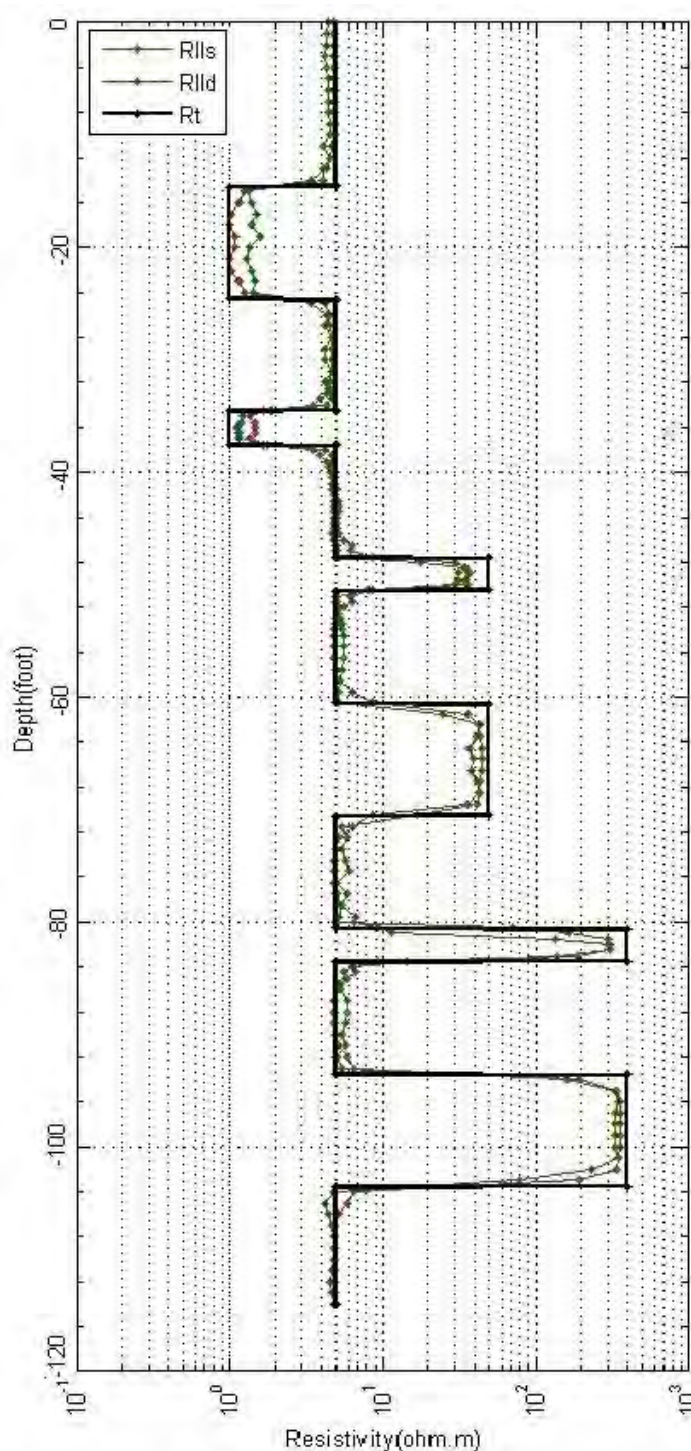


$$R_a = 10^{-2} \Omega.m$$

با جایگذاری این مقادیر در رابطه‌ی ۱۰ به دست می‌آوریم:

$$K_{LLS} = 0.322m$$

از مقادیر ثابت K_{LLS} و K_{LLD} برای محاسبه‌ی مقدار مقاومت ویژه در هر نقطه‌ی نگاربرداری از مدل‌هایمان استفاده می‌کنیم. در شکل ۵ مدلی مصنوعی از لایه‌های همگن زیر زمینی که بطور افقی روی هم قرار گرفته‌اند ساخته و به محاسبه‌ی پاسخ جانبی نگار دوتایی در آن پرداخته‌ایم. خطوط سیاه نشان‌دهنده‌ی مقاومت ویژه‌ی واقعی لایه‌ها، منحنی سبز رنگ نشان‌دهنده‌ی پاسخ مد عمیق جانبی نگار دوتایی و منحنی قهوه‌ای رنگ، پاسخ مد کم عمق آن را نشان می‌دهد.



مان انرژی کیمیا

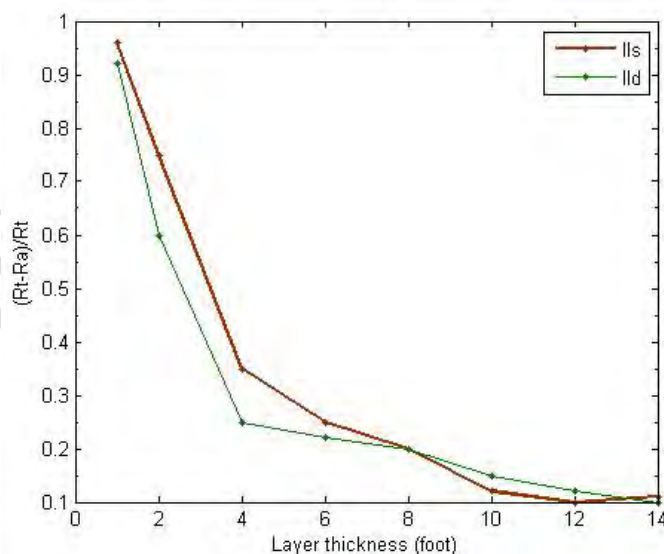
سومین همایش ملی مهندسی



شکل ۵. مدل‌سازی پاسخهای دو مد جانبی نگار دوتایی در یک مدل مصنوعی از زمین با لایه‌های افقی و چاه قائم

فرض کرده‌ایم که هیچ آغشتگی وجود ندارد و تنها مقاومت ویژه‌ی گل حفاری و لایه‌های مجاور روی پاسخ هر لایه اثر گذارند. شعاع ابزار را $1/81$ اینچ، و شعاع چاه را 3 اینچ فرض کردیم. همچنین مقاومت ویژه‌ی الکترودها را از مرتبه‌ی 10^{-5} ، مقاومت ویژه‌ی بخش‌های عایق بین الکترودها و میله‌ی مرکزی را از مرتبه‌ی 10^5 ، و مقاومت ویژه‌ی گل داخل چاه را 1 اهم متر فرض کردیم. همانطور که مشاهده می‌شود هر دو نگار در بیشتر لایه‌ها تقریباً بر هم منطبق بوده و مقاومت ویژه‌ی نزدیک به مقاومت ویژه‌ی واقعی سازند را قرائت می‌کنند. در لایه‌های نازک سه فوتی بین 35 و 38 فوت و بین 47 و 50 فوت، و بین 81 و 84 دو نگار کمی از هم فاصله می‌گیرند که علت این انحراف، ضخامت کم لایه و در نتیجه اثرات بیشتر مقاومت ویژه‌ی لایه‌های مجاور روی مقاومت ویژه‌ی لایه‌های موردنظر است. در لایه‌ی رسانی نسبتاً ضخیم بین 14 و 24 فوت باز هم دو نگار از هم کمی فاصله می‌گیرند. علت این جدایش، اثر فشردگی است که به این علت اتفاق می‌افتد که در لایه‌های رسانی که بین دو لایه‌ی نارسانا واقع شده باشند، جریان اصلی ترجیحاً در لایه‌ی رسانی جریان می‌یابد و در حالیکه جریان‌های خنثی کننده در لایه‌های نارسانا اطراف باقی مانده‌اند به الکترودها برگشت در نقطه‌ی دور برمی‌گردد.

در شکل ۶ منحنی حساسیت اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه LLS و LLD را به اندازه‌ی ضخامت لایه‌ی نگاربرداری شده محاسبه کرده‌ایم. لایه‌ی موردنظر را یک لایه‌ی بسیار مقاوم 400 اهم متری در میان لایه‌های پنج اهم متری فرض کرده‌ایم. محور قائم نماینده‌ی نسبت میزان انحراف مقدار قرائت شده از مقدار واقعی به مقدار واقعی است. همانطور که انتظار می‌رود با افزایش ضخامت لایه مقدار خطا در قرائت مقاومت ویژه کاهش یافته و به مقدار واقعی نزدیک‌تر می‌شود زیرا اثر لایه‌های مجاور کاهش می‌یابد.



شکل ۶. منحنی حساسیت اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه LLD و LLD را به اندازه‌ی ضخامت لایه‌ی نگاربرداری شده

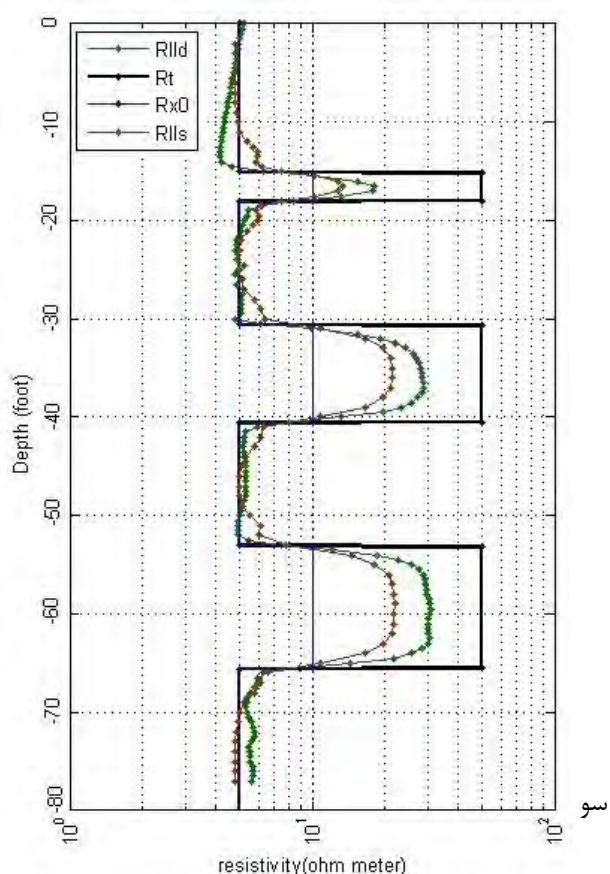
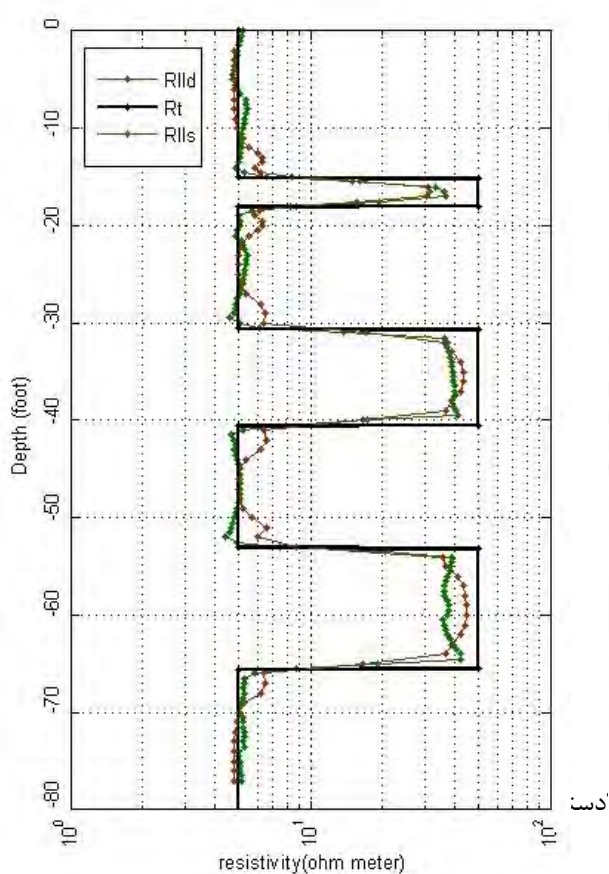
۴- بررسی اثر آغشتگی



در این بخش به بررسی اثر آغشتگی روی نگارهای جانبی نگار دوتایی می‌پردازیم. نفوذ گل حفاری از داخل چاه به لایه‌های مجاور باعث می‌شود تا لایه‌ی نازکی از گل کبره در روی دیواره‌ی چاه تشکیل شود. همچنین باعث ایجاد ناحیه‌ای در مجاورت دیواره‌ی چاه به نام ناحیه‌ی شسته شده در داخل سازند می‌شود. در ناحیه‌ی شسته شده، بخاطر نفوذ سیال سازندی در داخل حفره‌های سازند، سیال سازندی به عقب رانده شده و بنابراین مقاومت این ناحیه متفاوت با ناحیه‌ای خواهد بود که گل حفاری نتوانسته به آن راه بیابد. مقاومت ویژه‌ی ناحیه‌ی شسته شده را با R_{x0} نشان می‌دهند. مقاومت ویژه‌ی ناحیه‌ی مجاور آن که گل حفاری به آن راه نیافته را با R_t نمایش داده و آن را ناحیه‌ی دست نخورده می‌نامند.

در شکل ۷ مدلی مصنوعی از سازند با تناوبی از لایه‌های همگن با مقاومت ویژه‌های پنج و پنجاه اهم متر نشان داده‌ایم. ضخامت لایه‌های پنج اهم متری ثابت است. ولی ضخامت لایه‌های ۵۰ اهم متری را از سه فوت تا ۱۲/۵ فوت تغییر دادیم تا به این ترتیب قادر به نمایش تأثیرات همزمان ضخامت لایه و آغشتگی در مقدار مقاومت ویژه‌ی قرائت شده باشیم. مقاومت ویژه‌ی گل حفاری را برابر یک اهم متر گرفتیم. در شکل سمت چپ هیچ آغشتگی وجود ندارد، ولی در شکل سمت راست فرض کردیم که در لایه‌های مقاوم ۵۰ اهم متری، آغشتگی با عمق نفوذ ۱۰ اینچی حضور دارد. مقاومت ویژه‌ی ناحیه‌ی شسته شده را ۱۰ اهم متر فرض کردیم. همچنین برای لایه‌های آغشته، گل کبره با ضخامت ۰/۲ اینچ و مقاومت ویژه‌ی دو اهم متر را در نظر گرفتیم. مقایسه‌ی دو شکل با همدیگر به ما نشان می‌دهند که:

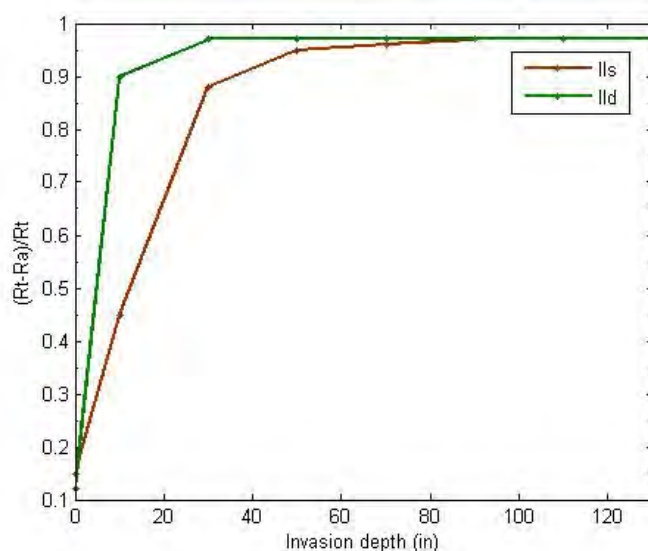
در لایه‌های ضخیم که فاقد آغشتگی باشند، LLS و LLD تقریباً یک مقدار راقرائت می‌کنند. بنابراین در لایه‌های ناتراوا که در صورت دارا بودن هیدروکربن، هیدروکربن آن‌ها غیر قابل استخراج است منحنی‌های هر دو مد بر روی هم می‌افتند. در لایه‌های آغشته که لایه‌های تراوا هستند و در صورت دارا بودن هیدروکربن، هیدروکربن آن‌ها قابل استخراج است منحنی‌های LLS و LLD از هم بمقدار زیادی فاصله می‌گیرند. در لایه‌های بسیار ضخیم و آغشته میزان این جدایش خیلی بیشتر است. آغشتگی به میزان زیادی روی قرائت‌های هر دو مد LLS و LLD اثر می‌گذارد. با افزایش عمق آغشتگی میزان مقاومت ویژه‌ی قرائت شده در مد LLD به مقدار بیشتری از R_t فاصله گرفته و به R_{x0} نزدیک می‌شود. در لایه‌های نازک آغشته، LLD بسیار نزدیک‌تر به R_{x0} قرائت می‌کند. با اینحال در لایه‌های بینهایت ضخیم با هر عمق از آغشتگی، منحنی‌های LLS و LLD جدایش زیادی از هم پیدا می‌کنند.





شکل ۷. مدلسازی پاسخهای دو مد جانبی نگار دوتایی در یک مدل مصنوعی از زمین با لایه‌های افقی و چاه قائم، در لایه‌های فاقد آغشتگی (سمت راست) و لایه‌های ۵۰ اهم متری آغشته با مقاومت ویژه ۱۰ اهم متری (سمت چپ)

در شکل ۸ تأثیر افزایش عمق آغشتگی را برای هر دو مد LLS و LLD در یک لایه‌ی بسیار مقاوم ۴۰۰ اهم متری در میان لایه‌های پنج اهم متری را نشان داده‌ایم. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش عمق آغشتگی مقدار مقاومت ویژه‌ی قرائت شده از R_t فاصله گرفته و به R_{x0} نزدیک می‌شود و برای LLD در مقایسه با LLS این روند آهسته‌تر است. به عبارت دیگر، LLD کمتر تحت تأثیر ناحیه‌ی شسته شده قرار می‌گیرد. محور قائم نسبت خطای قرائت شده در مقاومت ویژه به مقاومت ویژه واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۸. منحنی حساسیت اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه LLS و LLD را به عمق آغشتگی لایه‌ی نگاربرداری شده

۵- نتیجه گیری

در این بررسی، مدل‌سازی دوبعدی پاسخهای جانبی نگار دوتایی در دو مد آن بطور موفقیت آمیز صورت گرفت. برای این کار، از روش المان محدود استفاده شد. مدل‌های مصنوعی مختلف از زمین ساخته شد. همچنین ابزار جانبی نگار دوتایی هم بخوبی مدل شد و پاسخ آن در محیط مصنوعی گفته شده محاسبه شد. از مدل‌سازی مقاومت ویژه می‌توان برای طراحی ابزار، تفسیر و خلق چارت‌های تصحیح برای نگارها بهره گرفت. نتایج زیر مشاهده شدند:

۱- با افزایش ضخامت لایه و کاهش عمق آغشتگی، قرائت‌های انجام شده به مقدار واقعی نزدیک‌تر می‌شوند.



- ۲- LLS بیشتر از LLD تحت تأثیر مقاومت ویژه ناحیه‌ی شسته شده قرار می‌گیرد و از آن برای ارزیابی مقاومت ویژه‌ی ناحیه‌ی شسته شده استفاده می‌شود.
- ۳- در لایه‌های متخلخل و تراوای ضخیم، منحنی‌های دو مد به مقدار زیادی از هم فاصله می‌گیرند و از این شاخص می‌توان برای شناسایی این لایه‌ها استفاده کرد.
- ۴- در لایه‌های فاقد آغستگی، LLS و LLD تقریباً یک مقدار راقرائت می‌کردند و منحنی‌های آن‌ها بر روی هم می‌افتاد. در صنعت نفت، این لایه‌ها موردنظر ما نیستند.

مراجع

- [1] Yin, H., 2011, Application of resistivity tool response modeling for formation evaluation, Published by American Association of Petroleum Geologists
- [2] Anderson, B., Druskin, V., Habashy, T., Lee, P., Luling, M., Barber, T., Grove, G., Lovell, J., Rosthal, R., and Tabanou, J., 1997, New dimensions in modeling resistivity, Oilfield Review, Vol.9, no.1, page. 40-56.
- [3] Anderson, B. I., 2001, Modeling and inversion methods for the interpretation of Resistivity logging tool response: Ph.D. thesis, Delft University of Technology.
- [4] Stoll, J., 2005, FE-Modeling of electrical borehole tool response, COMSOL Multiphysics User's Conference, Frankfurt.
- [5] J. Num, M., Pardo, D., Torres-Verdin, C., 2009, Simulation of DC laterolog measurement in complex formations: A Fourier-series and approach with nonorthogonal coordinates self-adapting finite elements, Geophysics, Vol.74, no.1.
- [6] Ellis, D., Singer, J., 1987, Well logging for earth scientists, Springer, Dordrecht, The Netherland.

معرفی علائم و متغیرهای موجود در متن

DLT	Dual Laterolog Tool	ابزار جانبی نگار دوتایی
LLS	Laterolog Shallow	جانبی نگار کم عمق
LLD	Laterolog Deep	جانبی نگار عمیق
R_a	Apparent resistivity	مقاومت ویژه ظاهری
R_t	True resistivity	مقاومت ویژه واقعی
R_{xo}	Resistivity of flushed zone	مقاومت ویژه ناحیه شسته شده
v	Volt	ولت
m	meter	متر
A	Ampere	آمپر
$\epsilon \cdot m$	Ohm.meter	اهم متر
DC	Direct current	جریان مستقیم



مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
تهران، ۲۹ خرداد ماه ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
تلفن: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱
www.Reservoir.ir

www.Reservoir.ir