Archive of SID

جستاری بر قابلیت‌های نگار تصویری FMI در مطالعات مخازن کربناته

آرش رحیمی پوستین‌دوز[۱]، فرهاد خوشبخت[۲]، مجید نبی بیدهندی[۳]

دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

arash.rahimi@ut.ac.ir

چکیده

شکستگی‌های طبیعی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده رفتار هیدرولیکی مخازن نفت و گاز هستند. نگارهای متداول چاه-پیمایی به‌دلیل قدرت تفکیک پایین قادر به شناسایی این ناهمگنی‌های کوچک‌مقیاس (ترک‌ها و شکستگی‌ها) مخازن هیدروکربوری نیستند، در حالی‌که این ناهمگنی‌ها و زون‌های شکسته تاثیر به‌سزایی در کیفیت مخزن و تعیین دقیق‌تر پارامترهای پتروفیزیکی از جمله اشباع‌شدگی داشته و شناسایی محل دقیق این زون‌ها برای عملیات تکمیل چاه، شکستگی هیدرولیکی و تعیین موقعیت چاه‌های انحرافی و افقی بسیار حائز اهمیت است. بسیاری از مخازن کربناته دارای شکستگی می‌باشند بنابراین همان‌طور که ذکر شد در چنین مخازنی نیز ارزیابی این شکستگی‌ها از ملازمات مدل‌سازی‌های مخزنی می‌باشد. واضح است که بررسی مغزه و داده‌های حاصل از آن کمک زیادی به ارزیابی مخازن و شناسایی عناصر زمین‌شناسی می‌کند؛ ولی با توجه به محدودیت‌های اساسی مغزه‌های حفاری ازجمله هزینه بالای تهیه مغزه، جهت‌دار نبودن و ضریب بازیافت پایین در زون‌های شکسته همواره امکان استفاده از مغزه‌ها نیست. امروزه نگارهای تصویری ابزار مفیدتری برای مطالعه شکستگی‌ها هستند. هدف اصلی این تحقیق معرفی ابزار نگاربرداری تصویری FMI و بررسی نقاط قوت و ضعف آن در ارزیابی‌های مخزنی می‌باشد. در واقع کارآمدترین ابزار برای مطالعه ویژگی‌های شکستگی‌ها، نگارهای تصویری هستند. این نگارها هم‌چنین امکان تعیین نوع، جهت‌یابی، بازشدگی و ژرفای دقیق شکستگی‌ها را فراهم می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: شکستگی، مخارن کربناته، نگار تصویری، نگار FMI

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲-عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران.

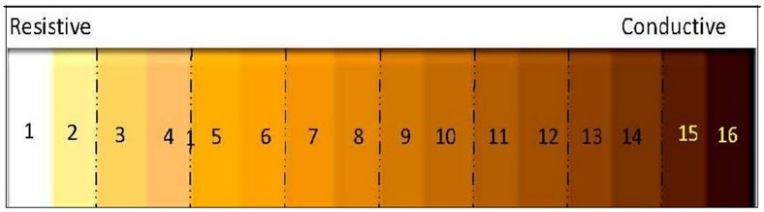
۳- عضو هیئت علمی دانشگاه تهران، موسسه ژئوفیزیک، تهران، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه و مبانی نظری

در حال حاضر، بخش عمده تولید نفت و گاز در ایران، از مخازن کربناته است. با شناخت دقیق‌تر این مخازن می‌توان حجم ذخیره هیدروکربور را با دقت بیش‌تری محاسبه نمود. شکستگی‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های سازندی موثر بر میزان حجم مخزنی می‌باشد [۱]. به‌همین دلیل تلاش‌های متعددی برای یافتن روشی موثر در جهت شناسایی این شکستگی‌ها صورت گرفته است. برای سال‌های طولانی تصویربرداری لرزه‌ای به عنوان ابزار اصلی در حل مسائل پیچیده زمین‌شناسی اکتشاف نفت مورد استفاده قرار گرفته است. متاسفانه توصیف ساختمانی در ساختارهای بسیار پیچیده تنها با استفاده از داده‌های لرزه‌ای، به علت سازندهای تغییر شکل داده و یا وارونه شده چالش برانگیز بود. از این رو تصاویر دیواره چاه به سرعت به‌عنوان مولفه‌ای با اهمیت فزاینده در تفسیر و تجزیه‌وتحلیل ساختمانی الگوی شکستگی‌ها در مخازن پذیرفته شد [۲]. با توجه به هدف اصلی مطالعه حاضر که بررسی توانمدی ها و ضعف نگار FMI در بررسی مخازن کربناته می باشد و به منظور تبیین بیشتر خصوصیات این نگار و ارائه پایه ای برای مقایسات و تجزیه و تحلیل های پیش رو به معرفی اجمالی نگار FMI پرداخته می شود. نگار FMI بر اساس تباین مقاومت ویژه در داخل چاه‌ها کار می‌کند و باید گل مورد استفاده در این چاه‌ها، گل رسانا باشد که به گل بر مبنای آب شهرت یافته‌اند. این نگار از ۸ صفحه یا بالشتک تشکیل شده‌اند؛ در هر صفحه ۲۴ حس‌گر وجود دارد .این صفحات به‌طور محکم به دیواره چاه می‌چسبند و در حیطه‌ی فرکانسی مشخص شروع به داده‌برداری از دیواره می‌کنند که اندازه فرکانس مورد استفاده بسته به رزولوشن مطلوب تغییر می‌یابد. حجم داده‌برداری در FMI بسیار گسترده است و نیازمند توجه به ملاحظات گسترده‌ای می‌باشد. این ابزارها در بهترین حالت حدود ۸۰ درصد از دیواره چاه را تصویربرداری می‌نمایند. جریان الکتریکی که تغییرات مقاومت را منعکس می‌کند، به تصویرهایی با شدت رنگ‌های مختلف تبدیل می‌شود [۳]. تصاویر را می‌توان با استفاده از مقیاس‌های رنگی متنوعی نمایش داد. معمول‌ترین این رنگ‌ها زرد و خاکستری است. گزینه زرد به‌مراتب معمول‌تر است. در این سیستم رنگی مقاوم‌ترین زون‌ها به رنگ سفید نمایش داده می‌شوند و با کاهش مقاومت به ترتیب از رنگ‌های زرد، قرمز، قهوه‌ای و سیاه استفاده می‌گردد (شکل ۱). در این مقیاس ویژگی‌های FMI در هشت طبقه توصیف می‌شود (جدول ۱).



شکل ۱: مقیاس کد رنگ‌های نگار FMI

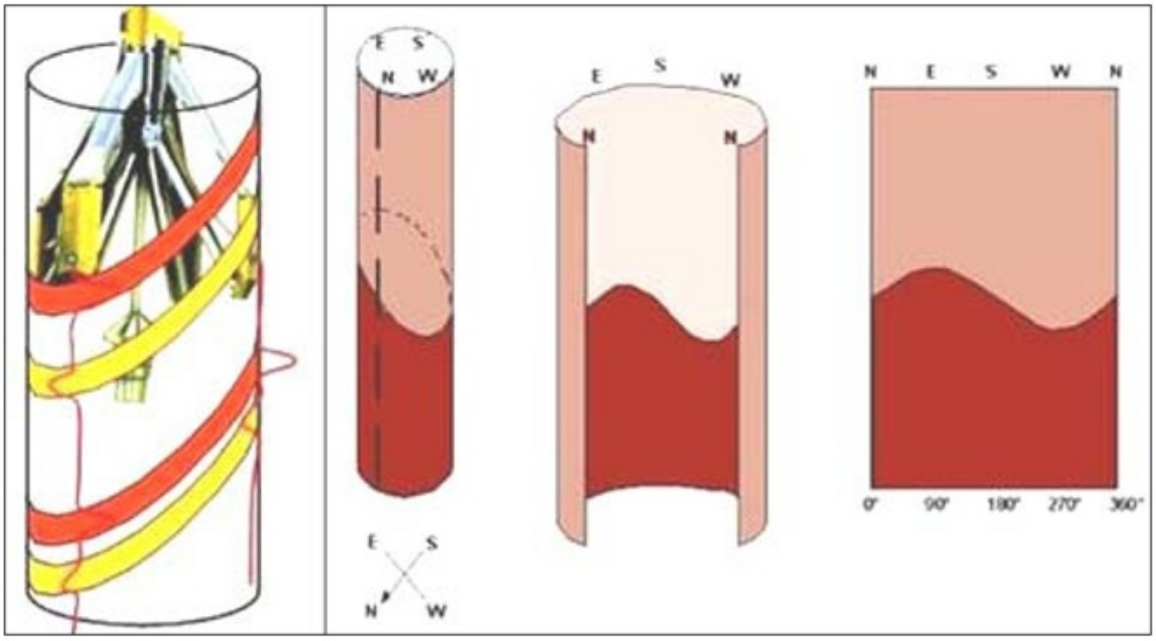
جدول ۱: توصیف کد رنگ‌های نگار FMI [۳]

توصیف	کد رنگ FMI
کاملاً مقاوم در برابر جریان الکتریکی (بالاترین مقاومت)	۱-۲
مقاوم در برابر جریان الکتریکی (مقاومت بالا)	۳-۴
نسبتاً مقاوم در برابر جریان الکتریکی	۵-۶
مقاوم - رسانا	۷-۸
رسانا - مقاوم	۹-۱۰
نسبتاً رسانا برای جریان الکتریکی (هدایت بالا)	۱۱-۱۲
رسانا برای جریان الکتریکی	۱۳-۱۴
کاملاً رسانا برای جریان الکتریکی (کمترین مقاومت)	۱۵-۱۶

www.SID.ir

Archive of SID

در این تصاویر، نمایش استاندارد شامل تصاویر فرم بازشده چاه از سمت شمال مغناطیسی (N) به‌صورت صفحه است که نقاط مختلف بر روی آن نسبت به شمال بر روی محور افقی درج شده است (شکل ۲). بنابراین یک تصویر پیوسته از دیواره چاه، ایجاد می‌گردد.



شکل ۲: مقیاس فرم بازشده و استاندارد نمایش تصاویر FMI [۴]

۲. روش و مراحل تحقیق

در این تحقیق با هدف بررسی نقاط قوت و ضعف نگار تصویری FMI در بررسی ویژگی های مخازن کربناته به خصوص شکستگی ها از روش تحقیق کتابخانه ای برای گردآوری اطلاعات پایه ای استفاده شد و در ادامه با استفاده از رویکرد قیاسی به مقایسه روش های مختلف نگار تصویری از لحاظ ویژگی های ذاتی پرداخته شد. در نهایت با مرور منابع عمیق در حیطه کاربرد نگار FMI در مطالعات مخازن کربناته به ویژه در شناسایی و بررسی شکستگی ها، اقدام به آنالیز نقاط ضعف و قوت نگار مذکور پرداخته شد.

۳. ارائه و تحلیل نتایج

۳،۱. مقایسه تطبیقی نگارهای تصویری

نگار تصویری یک تصویر مجازی از دیواره چاه است که بر اساس ویژگی‌های فیزیکی سازند، مانند مقاومت الکتریکی و تباین صوتی، برداشت می‌شود [۴]. در روش تصویربرداری الکتریکی، اختلاف مقاومت الکتریکی عوارض دیواره چاه، توسط دستگاه تصویربردار ثبت شده و تبدیل به تصویر رسانایی دیواره چاه می‌شود. این ابزارها به‌وسیله یک سری الکترود که بر روی یک بالشتک نصب شده‌اند، قادرند مقاومت میکرو یا رسانایی میکرو در دیواره چاه را اندازه‌گیری کنند [۵]. در این مطالعه طبق مرور منابع صورت گرفته در حیطه کاربرد نگارهای تصویری در مطالعات مخازن کربناته، چهار نگار FMI، FMS، SHDT و HDT بیشترین کاربرد را داشتند؛ از این رو به بررسی و مقایسه خصوصیات نگارهای فوق الذکر پرداخته شد (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: مقایسه تغییرات خصوصیات ابزار تصویربرداری از دیواره چاه [۴]

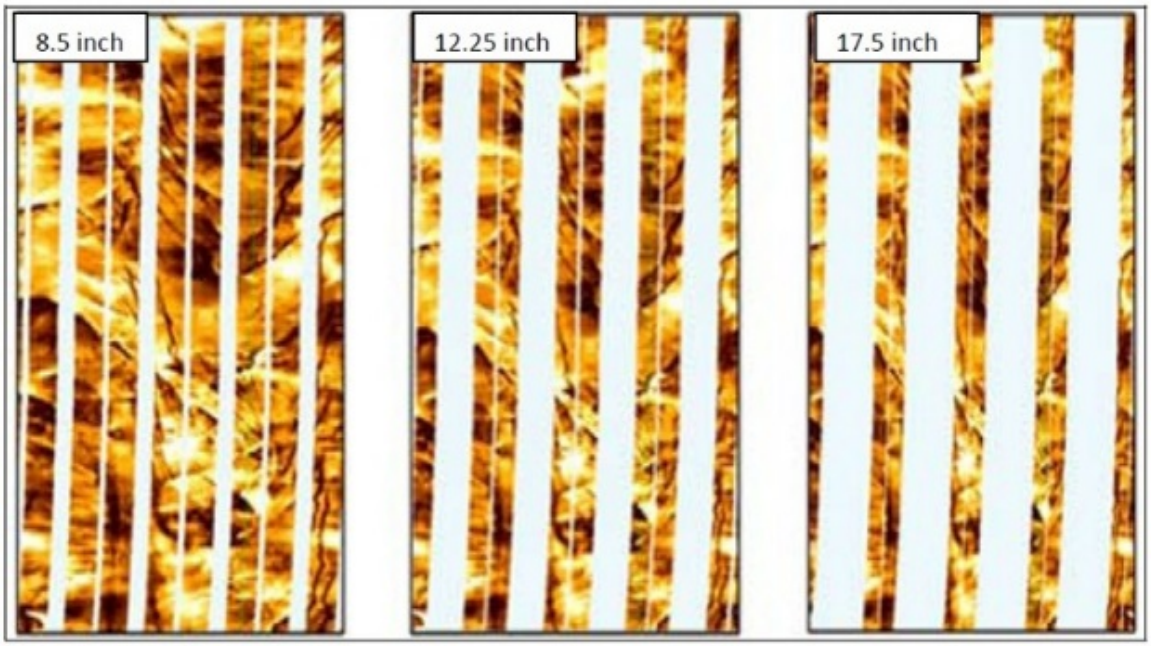
نوع دستگاه	HDT	SHDT	FMS	FMI
حداکثر سرعت نگار برداری (فوت بر ساعت)	۵۴۰۰	۵۴۰۰	۵۴۰۰	۱۸۰۰
نرخ نمونه برداری (اینچ)	۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۱
میزان پوشش در چاه به قطر ۸ اینچ (درصد)	---	---	۴۰	۸۰
تعداد بالشتک‌ها و زبانه‌ها	۴ بالشتک	۴ بالشتک	۴ بالشتک	۴ بالشتک+۴ زبانه
وضوح عمودی (اینچ)	> ۰،۷	۰،۴	۰،۳	۰،۱۶
تعداد الکترودها	۱	۸	۶۴	۱۹۲

۳,۲. آنالیز نقاط قوت و ضعف نگار FMI

۳,۲,۱. ویژگی های ذاتی و کاربردی

دستگاه FMI مشاهده مداوم و جز به جز تغییرات عمودی و جانبی ویژگی‌های سازند را طوری میسر می‌سازد که مشاهده کننده واقعا بتواند سازند را ببیند. جریان‌های الکتریکی ثبت شده توسط میکرو الکترودها، بعد از بازخوانی، نگارهایی را ارائه می‌دهند که شبیه به تصاویر برداشته شده از مغزه است. این نگارها در بخش طویلی از چاه رانده شده و نسبت به نگارهای معمولی از نرخ نمونه‌گیری افقی و عمودی بسیار بیش‌تری برخوردار هستند. بنابراین، تصاویر صوتی یا مقاومتی با کیفیت بالا و رنگ مصنوعی تولید کرده و امکان شناسایی شکستگی‌های لایه را فراهم می‌آورند. با توجه به اینکه این نگارها تصاویر با کیفیت بالایی از دیواره چاه را ارائه می‌دهند، در شناسایی عوارض ساختمانی، ناهمگونی‌های سازند به‌خصوص سازندهای کربناته، تجزیه‌وتحلیل رسوب‌شناسی، ژئومکانیک، تشخیص انواع لایه‌بندی و انواع تخلخل کاربرد دارند. بسته به قطر چاه میزان پوشش فرق می‌کند. شکل ۳ میزان پوشش این دستگاه را در چاه‌ها با قطرهای مختلف و شکل ۴ پوشش انواع دستگاه‌های تصویر بردار را نشان می‌دهد.

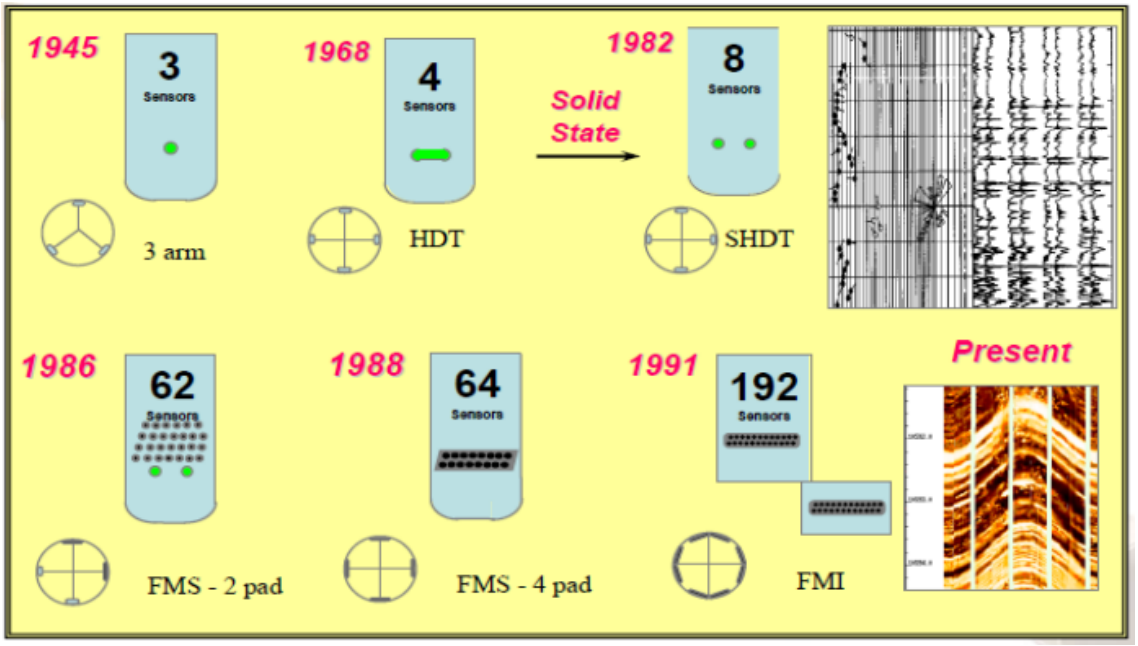
ابزار FMI نوع تکامل یافته‌تر ادوات تصویربرداری از درون چاه هستند، که نسبت به سایر ادوات مزیت‌هایی دارد که عبارت‌اند از: میزان پوشش بیشتر، قابلیت بالاتر تفکیک تصویر و تعداد داده برداری بیشتر در یک عمق مشخص (جدول ۳).



شکل ۳: میزان پوشش دیواره چاه در چاه‌هایی با قطرهای متفاوت [۵]

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴: مقایسه نگارهای تصویری الکتریکی با یکدیگر (FMI بالاترین کیفیت را در میان سایر ابزارها) [۴]

جدول ۳: مشخصات ابزار FMI [۵]

ویژگی‌های ابزار FMI	
وضوح عمودی	۰/۲ اینچ
وضوح آزیموتی	۰/۲ اینچ
تعداد الکترودهای اندازه‌گیرنده	۱۹۲
تعداد بالشتک‌ها و زبانه‌ها	۸
حداکثر میزان پوشش دستگاه	۸۰ ٪ در چاه به قطر ۸ اینچ
حداکثر میزان فشار	۲۰۰۰۰Psi
حداکثر میزان دما	۱۷۵°C
قطر چاه	
حداکثر قطر چاهی که ابزار FMI می‌تواند در آن رانده شود	۶/۲۵ اینچ
حداقل قطر چاهی که ابزار FMI می‌تواند در آن رانده شود	۲۱ اینچ
حداکثر میزان انحراف چاه که ابزار FMI	۹۰°
سرعت نگار برداری توسط ابزار FMI	
درحالتی‌که تمامی الکترودها فعال باشند	۱۸۰۰ فوت بر متر
درحالتی‌که نیمی از الکترودها فعال باشند	۳۶۰۰ فوت بر متر

۳،۲،۲. نحوه عملکرد ابزار FMI

هر الکترود موجود بر روی دستگاه با استفاده از یک ولتاژ مشخص جریان متناوب ایجاد و به داخل سازند تزریق می‌کند. این جریان از دکمه‌های موجود در بخش پایینی دستگاه به الکترودهای موجود در قسمت‌های بالائی می‌رسد. مسیر جریان پس از خروج از یک دکمه بر روی بالشتک یا فلپ، روی حجم کوچکی از سازند که درست در مقابل دکمه واقع است متمرکز می‌شود،

www.SID.ir

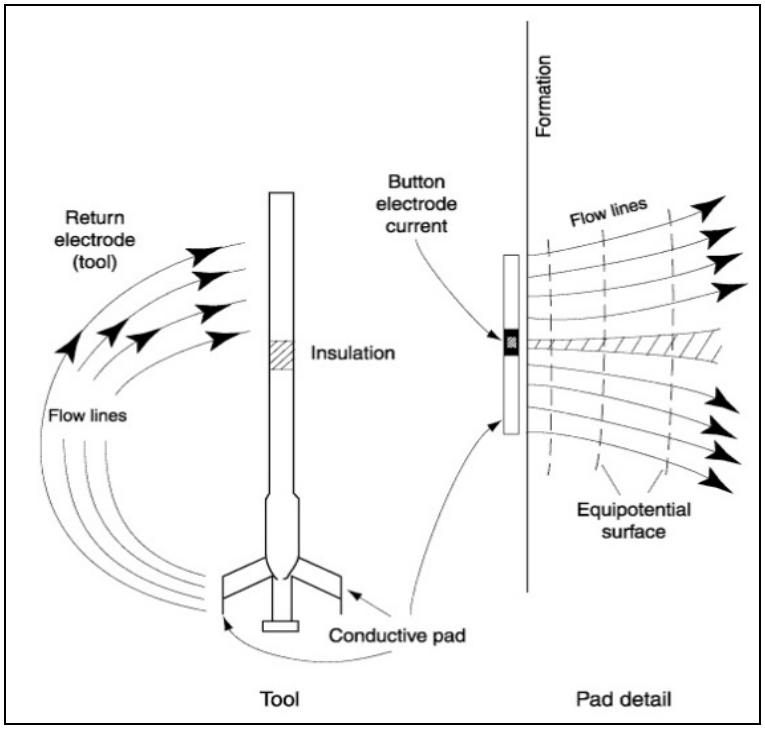
Archive of SID

ولی به‌سرعت توسعه یافته و حجم بزرگی از سازند را در فاصله‌ای بین الکترودهای پایینی و بالائی پوشش می‌دهند (شکل ۵). جریان الکتریکی که تغییرات مقاومت را منعکس می‌کند، به تصویرهایی با شدت رنگ‌های مختلف تبدیل می‌شود. مشاهده و تجزیه‌وتحلیل تصاویر، امکان بررسی تغییرات ترکیب، بافت و ساختار سنگ و نیز تغییرات در محتوای سیال آن را مشخص می‌کند [۵].

این جریان شامل دو بخش است:

- بخش با حد تفکیک بالا که توسط تغییرات مقاومت سازند که درست در مقابل دکمه است تعدیل می‌گردد.
- جز با حد تفکیک پایین مربوط به مقاومت زون بین الکترودهای بالا و پایین است.

تغییرات ریزمقاومت در سازند وابسته به تغییرات پتروفیزیکی و لیتولوژیکی در سنگ است که به‌طور عمده توسط جزء اول جریان مشخص شده و بر روی تصاویر، به‌عنوان بافت سنگ، رخساره‌های ساختمانی، استراتیگرافی[1] و شکستگی تفسیر می‌گردند درحالی‌که دومین جزء فقط سبب تغییر تدریجی در زمینه‌ای تصویر می‌گردد [۵].



شکل ۵: مکانیسم ایجاد جریان توسط الکترودها و دریافت پاسخ به‌وسیله الکترودهای بالایی [۵]

۳،۲،۳. محدودیت‌های نگارهای FMI

از مهم‌ترین محدودیت‌های استفاده از نگارهای FMI امکان اشتباه در تفسیر و شناسایی عناصر ساختاری به‌ویژه لیتولوژی است. برخی از محدودیت‌ها عبارت از این است که: امکان تفسیر لایه‌های رسانا به‌عنوان لایه‌های متخلخل لایه‌های دارای شیل و لایه‌های مارنی و شیلی، امکان تلقی لکه‌های رسانا به‌عنوان تخلخل قالبی، تخلخل حفره‌ای، خرده‌های گلی و یا بایوتوربیشن و لکه‌های روشن (مقاوم) می‌توانند تفاسیر متعددی مانند ندول‌های انیدریت، سیمان و بایوتوربیشن سیمانی شده داشته باشند [۶].

[1] stratigraphy

www.SID.ir

Archive of SID

۴. نتیجه‌گیری

در مطالعه مخازن، نگار تصویری FMI می‌تواند جایگزین مناسبی برای مغزه باشد. با استفاده از این نگارها و با به کارگیری مزیت‌های آن مانند قدرت تفکیک و درصد پوشش آن می‌توان نوع و مقدار دو نوع تخلخل اصلی (تخلخل شکستگی و تخلخل حفره‌ای) را در کربناته‌های هتروژن با دقت بالایی تعیین کرد. این نگارها امکان تعیین نوع، جهت‌یابی، بازشدگی و ژرفای دقیق شکستگی‌ها را فراهم می‌کنند. نگار تصویری FMI هم‌چنین وسیله‌ای ارزشمند در تفسیر ساختمانی، رسوب‌شناسی سازندهای چاه، شناسایی کیفی و توصیف کمی لایه‌بندی، سیماهای صفحه‌ای و سنگ‌شناسی است. زمانی‌که مغزه در دسترس باشد، سیماهای شناسایی شده بر روی تصاویر حاصل از این نگارها می‌توانند با آن کالیبره شوند و در زمانی که مغزه موجود نباشد، این تصاویر به‌عنوان یک جایگزین به کار می‌روند. هم‌چنین این تصاویر می‌توانند در تعیین جهت‌گیری مغزه، بازسازی مغزه از دست رفته، تشخیص و توصیف ساختارهای زمان رسوب‌گذاری، ساختار مخزن، تشخیص لایه‌بندی و تعیین شیب و امتداد آن، تعیین اندازه دانه، تخلخل و تراوایی، تشخیص گسل‌ها و ارزیابی تنش‌های دیواره چاه مورد استفاده قرار بگیرند.

مراجع

[۱] خوشبخت، فرهاد. ۱۳۸۵. بررسی کارایی نمودارهای الکتریکی تصویرگر در مطالعه شکستگی‌های یکی از مخازن جنوب غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

[۲] خوشبخت، فرهاد؛ معماریان، حسین؛ محمد نیا، محمد. ۱۳۸۸. مقایسه شکستگی‌ها در یک موقعیت ساختاری یکسان در یک میدان نفتی، با استفاده از لاگ تصویری. علوم زمین ۷۳: ۷۰-۶۵.

[3] Pavlovic, M, D. 2002. A new Micro-resistivity imaging device for use in wells drilled with non-conductive mud systems.
[4] Schlumberger. 1999. Oil Field Services, Schlumberger Well Services, 21.
[5] Schlumberger. 2002. Schlumberger Method, Schlumberger Well Services, 14.
[6] Serra, O. 1989. Formation MicroScanner Image Interpretation, Schlumberger Education Services.

www.SID.ir