

تفکیک و معرفی الگوهای رخساره‌ای سازند کنگان در میدان گازی پارس جنوبی با استفاده از لاگ‌های FMI

هوشنگ وفايي^{۱*}، حسین رحیم‌پور بناب^۲، داود جهانی^۳ و حسن محسنی^۴

۱- دکترای رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال

۲- استاد دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال

۴- دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

*h_vafaei1352@yahoo.com

دریافت: ۹۲/۳/۱۲ پذیرش: ۹۲/۴/۲۲

چکیده

لاگ‌های افام‌آی (FMI): ریز تصویربردارنده‌ها از سازند) اطلاعات روشنی از ویژگی‌های مختلف زمین‌شناسی چاه‌ها را فراهم می‌کنند. در این پژوهش با استفاده از لاگ‌های افام‌آی به شناسایی و تفسیر ساخت، بافت، لیتولوژی، تخلخل و فرآیندهای دیاژنزی در سنگ‌های کربناته سازند کنگان (تریاس پایینی) پرداخته شده است. این سازند در میدان عظیم گازی پارس جنوبی در خلیج فارس نهشته شده و شامل رخساره‌های آهکی، دولومیتی، دولومیت انیدریتی و لایه‌های نازک شیلی است. با استفاده از لاگ‌های افام‌آی و مقایسه آن با برش‌های نازک، مغزه، هیستوگرام و لاگ‌های تخلخل، ۱۳ الگوی رخساره‌ای شناخته شده است. الگوهای پیشنهاد شده عبارتند از: موجی، هموژن، لکه‌ای رسانا، لامینه‌ای، باندهای ضخیم، لکه‌ای منظم، خردشده، درزه‌ای قائم، استیلولیتی، ندولی، طبقه‌بندی مورب و برشی. این الگوها امکان مطالعه بسیاری از ویژگی‌های رخساره‌ای، سکانس استراتیگرافی، محیط رسوبی و دیاژنز توالی‌های سنگی را فراهم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: سازند کنگان، FMI، لاگ تصویری، الگوی رخساره‌ای

مقدمه

گاز پارس انجام شده است. اما غالب آن‌ها مطالعات رسوب‌شناسی، چینه‌شناسی و پتروفیزیکی و داده‌های مورد استفاده شامل برش نازک، مغزه و لاگ‌های الکتریکی مرسوم بوده است. ریز تصویر بردارنده‌ها از سازند^۱ دستگاه‌های الکتریکی هستند که با استفاده از ۱۹۲ عدد الکترود که بر روی ۴ زبانه^۲ و ۴ بالشتک^۳ آرایش یافته‌اند، حدود ۸۰ درصد از دیواره چاه را تصویربرداری می‌نمایند [۱۹]. در ارتباط با FMI، مطالعات بسیار کم و منحصر در ارتباط با شکستگی مخازن انجام شده است. بر اساس آنالیز کمی داده‌های حاصل از این لاگ، تفکیک و رده‌بندی مناطق و زون‌های رسانا^۴ و مقاوم^۵ انجام و گروه‌های بافتی شناسایی شده است [۱۴]. همچنین با بررسی تعداد زیادی لاگ تصویری و مقایسه آن‌ها با نتایج بررسی مغزه‌ها، بر اساس ویژگی‌های بافتی میکروفاسیس و

میدان گازی پارس جنوبی بخشی از زاگرس است که در حوضه خلیج فارس و در حاشیه شرقی و در محل تقاطع سپر عربی و بلوک قاره‌ای ایران قرار دارد. سازند کنگان در حد فاصل این دو بلوک قاره‌ای نهشته شده است [۲۴، ۲] و ۱]. سازند کنگان بخشی از گروه دهرم است که به عنوان بزرگ‌ترین میزبان ذخایر گازی دنیا، دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است و بیش از ۱۹۰ متر ستبرا دارد و شامل رخساره‌های آهکی، دولومیتی، دولومیت انیدریتی و لایه‌های نازک شیلی است [۲۳ و ۶]. با توجه به مطالعات انجام شده و جایگاه چینه‌شناسی، سن سازند کنگان تریاس پیشین می‌باشد و از بالا به سازند دالان و از پایین به سازند دشتک محدود شده است (شکل ۱) [۲۳ و ۱۷]. بخش ایرانی این میدان وسعتی معادل 3700 Km^2 و ذخیره‌ای برابر ۱۴ تریلیون متر مکعب گاز به همراه ۱۸ میلیارد بشکه میعانات گازی دارد که حدود ۷/۵ درصد از کل گاز دنیا و نزدیک به نیمی از ذخایر گاز ایران را شامل می‌شود [۶ و ۷]. مطالعات متعددی بر روی مخازن نفت و

¹ Full bore Formation Micro Imager =FMI

² Flap

³ Pad

⁴ Conductive

⁵ Resistive

لیتولوژی الگوی رخساره‌ای رسوبی FMI برای آن ارایه شده است [۹].

استفاده از FMI در ایران اغلب در ارتباط با مطالعات سیستم‌های شکستگی و درزه‌ها بوده است [۳]. اما هدف اصلی در این پژوهش آن است تا با استفاده از لاگ‌های FMI تفکیک الگوهای مختلف سازند کنندگان، که ناشی از تفاوت رخساره‌ای و سنگ‌شناسی هستند، انجام گیرد. ویژگی‌های سنگ‌شناسی، رخساره‌ای، بافت و ویژگی‌های پتروفیزیکی که لاگ‌های FMI را تحت تاثیر قرار می‌دهند، در این تفکیک دخالت دارند. این الگوها به مطالعات دیگر زمین‌شناختی کمک می‌کند.

علی‌رغم نتایج مطلوب حاصل از مطالعات مغزه، هزینه بالای مربوط به تهیه و آنالیز آن از یک سو و خطر ناشی از تهیه مغزه‌ی کامل به ویژه در اینتروال‌های شکسته شده و سست از سوی دیگر، سبب آن گردیده است که FMI به عنوان ابزاری مطرح شود که در صورت تمرکز بر استفاده از آن با وجود هزینه کمتر، نتایج مناسبی از آن قابل دریافت است. همچنین این ابزار در چاه‌هایی که یا بدون مغزه هستند یا مغزه‌ی آن‌ها به دلیل درصد بازیافت پایین چندان قابل استفاده نمی‌باشد، کاربرد موثری داشته و امکان مطالعه رخساره، سکناس استراتیگرافی، محیط رسوبی، خواص مخزنی و فرایندهای دیاژنزی را فراهم می‌کند [۵]. در بسیاری از موارد به علت معین نبودن جهت‌گیری مغزه‌ها، تعیین جهت‌گیری و شیب ساختارهایی مانند سطوح لایه‌بندی، شکستگی‌ها، گسل‌های احتمالی، لایه‌بندی متقاطع و غیره ناممکن است. فناوری ابزارهای تصویربرداری از دیواره چاه در چنین شرایطی به کمک محققین آمده است. این ابزارها با کارکردهای متفاوت تصویری واضح از دیواره چاه ارایه می‌کند که کارشناسان را قادر می‌سازد اطلاعات مورد نیاز را به صورت مستقیم و غیر مستقیم و با کمک نرم‌افزارهای طراحی شده، از این تصاویر کسب کرده و امکان مشاهده تغییرات جانبی و عمودی خصوصیات سازند را داشته باشند.

داده‌های FMI دارای قابلیت‌های متعددی است و با استفاده از آن امکان بررسی‌های ساختاری، پتروفیزیکی، رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی نیز وجود دارد. این ابزار اطلاعات مفیدی از نوع سنگ‌شناسی، تخلخل، لایه‌بندی و

لامیناسیون، فرایندهای دیاژنزی، بافت و ساخت‌های موجود در سنگ‌های کربناته ارایه کرده و امکان تفکیک بخش‌های مختلف مخازن کربناته و آواری را فراهم می‌کند [۲۰، ۱۸، ۱۵ و ۱۲]. همچنین ابزار FMI قدرت تفکیک و تشخیص گسل‌ها، چین‌خوردگی [۲۲ و ۸] و تفکیک برخی از انواع تخلخل و تخمین آن را دارد [۲۲، ۱۴ و ۱۳]. وضوح لاگ‌های FMI به اندازه قطر دکمه‌های انتهایی ابزار، یعنی $0/2$ اینچ بوده و توانایی تشخیص جزئیات تا 50 میکرون را دارد. این بدین معنی است که عوارض بزرگ‌تر از $0/2$ اینچ در اندازه واقعی خود بر روی تصویر ظاهر می‌شوند. در حالی‌که عوارض کوچک‌تر از $0/2$ اینچ ممکن است به دلیل اختلاف مقاومت آن‌ها با سنگ میزبان، بزرگ‌تر از اندازه‌ی واقعی خود نیز دیده شوند [۱۹].

روش و ابزار کار

- ابزار مطالعه عبارت است از داده‌های دو چاه بخش جنوبی میدان گازی پارس جنوبی (۱ و ۲)، شامل تعداد ۸۴ برش نازک، لاگ‌های FMI، تصاویر مغزه و نمودارهای تخلخل (شکل‌های ۲ و ۳). مراحل انجام مطالعه نیز شامل:

- مطالعه لاگ‌های FMI برای شناسایی ساختار و ویژگی‌های متفاوت زمین‌شناسی (شامل ویژگی‌ها و نشانه‌های مرتبط با بافت، سنگ‌شناسی، رسوب‌شناسی، ساخت‌های رسوبی، دیاژنز و ویژگی‌های مخزنی و تفکیک زون‌های تراوا و ناتراوا)

- مقایسه نتایج لاگ‌های FMI با مقاطع نازک، مغزه و لاگ‌های تخلخل.

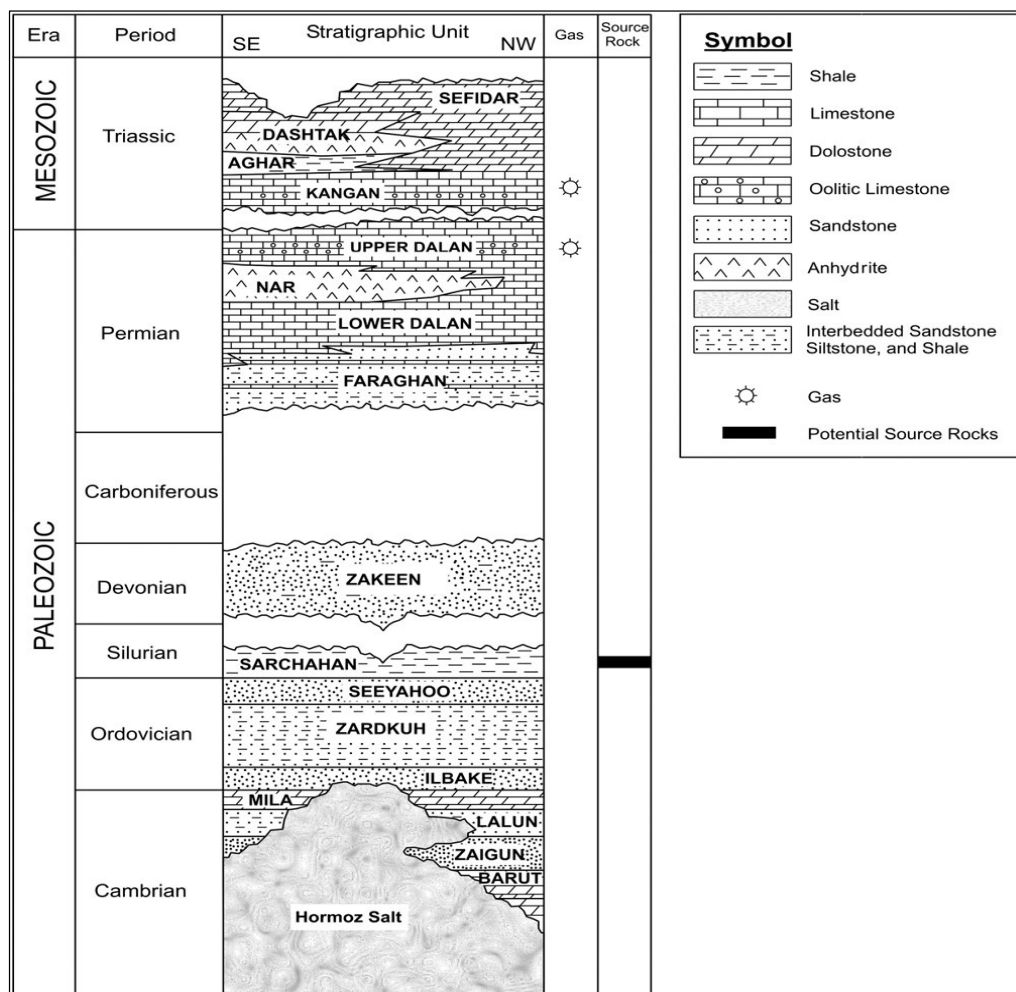
- ارائه الگوهای مختلف سازند کنندگان در لاگ‌های FMI

نمایش لاگ‌های FMI

لاگ FMI را می‌توان با استفاده از مقیاس‌های رنگی متنوعی نمایش داد. معمول‌ترین این رنگ‌ها زرد و خاکستری است. گزینه زرد به مراتب 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 روشن و سیاه استفاده می‌گردد. برای بررسی دقیق‌تر تصاویر FMI درجه‌بندی رنگ‌های حاصل

مقیاس ویژگی‌های FMI در هشت سطح توصیف شده است (جدول ۱).

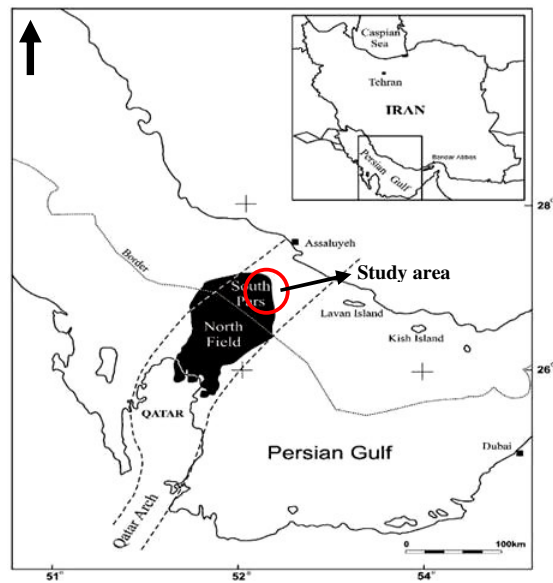
انجام شده است به طوری که کد رنگ‌ها از کمترین رسانایی (بیش‌ترین مقاومت) شروع و به بیش‌ترین رسانایی (کم‌ترین مقاومت) پایان می‌پذیرد (شکل ۴). در این



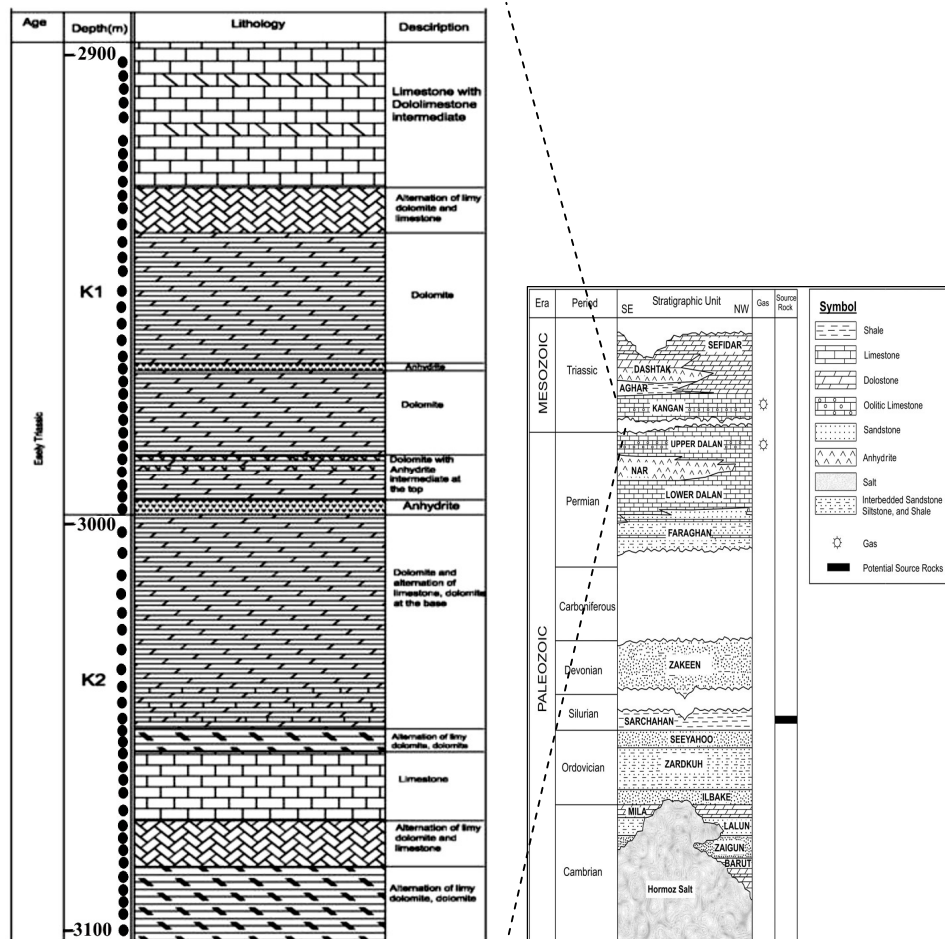
شکل ۱. جایگاه چین‌شناسی سازند کنگان در میدان گازی پارس جنوبی [۶]

جدول ۱. توصیف کد رنگ‌های لاگ FMI [۵]

کد رنگ FMI	توصیف
1-2	Absolute resistive (very high resistivity) کاملاً مقاوم (بالاترین مقاومت)
3-4	Resistive (high resistivity) مقاوم (مقاومت بالا)
5-6	(Relative resistive) نسبتاً مقاوم
7-8	(Resistive – conductive) مقاوم – رسانا
9-10	(Conductive – Resistive) رسانا – مقاوم
11-12	(Relative conductive) نسبتاً رسانا (هدایت بالا)
13-14	(Conductive) رسانا
15-16	Absolute conductive (very low resistivity) کاملاً رسانا (کم‌ترین مقاومت)



شکل ۲. موقعیت محدوده و چاه‌های مورد مطالعه در میدان پارس جنوبی



شکل ۳. ستون چینه‌شناسی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی و عمق تقریبی برش‌های نازک که با دایره سیاه مشخص شده است.



شکل ۴. مقیاس کد رنگ‌های لاگ FMI [۵]

بحث

اساس معرفی الگوهای رخساره‌ای در لاگ‌های افام‌آی بر شناسایی خصوصیات بافت سنگ‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی استوار است. هر یک از گروه‌های اصلی رخساره‌ای کنگان در لاگ‌های تصویری FMI الگوی متفاوتی دارند. لذا برای ایجاد زبان مشترک بین ویژگی‌های مختلف زمین‌شناسی و لاگ‌های FMI ابتدا این ویژگی‌ها در لاگ‌های FMI مورد بررسی قرار داده شده و سپس الگوهای مرتبط با آن‌ها در سازند کنگان تفسیر شده است.

بافت سنگ‌های کربناته

مبنای رده‌بندی بافتی سنگ‌های کربناته در این پژوهش رده‌بندی بافتی دانهام است [۱۰]. بافت گرینستون می‌تواند در شرایط پراورزی و کم انرژی تشکیل شده باشد [۴]. در شرایط محیطی پراورزی گرینستون‌های سیمانی شده در لاگ‌های FMI تصویر یکپارچه روشن دارند. این یکپارچگی به دلیل وجود سیمان شدگی تخلخل بین دانه‌ای است [۸]. در صورتی که بخش‌هایی از تخلخل این سنگ‌ها سیمانی نشده باشد، به دلیل تصاویر رسانای آن الگوی یکپارچه روشن به همراه نقاط یا مناطق رسانا ظاهر می‌شوند. این رخساره معمولاً لایه‌بندی مورب دارند. هم‌چنین گرینستون با تخلخل اولیه، دارای لاگ FMI مقاوم، گرینستون با تخلخل ثانویه دارای لاگ FMI با لکه‌های رسانا و مقاوم (با کنتراست و مرز تقریباً مشخص)، هستند. باندستون به وسیله اشکال تیره نامنظم و فسیل‌ها و قالب‌های جدا از هم، در یک زمینه خاکستری یا روشن، (اشکال بهم پیوسته نامنظم اسکلت سیمانی شده هستند) و لکه‌های روشن (خرده‌های فسیل) در آهک‌های متخلخل و گاهی دولومیتی شده، مشخص هستند. هم‌چنین باندها و لامینه‌های رسانا مناطق مقاوم را احاطه کرده و

شکل‌های برآمده- فرورفته می‌سازند. مشخصه بارز بافت وکستون- پکستون لکه‌های سفید غیرمنظم (کدهای ۱ تا ۴) در سطح خاکستری یا تیره نامنظم (با کد ۷ تا ۱۱) است. در برخی مواقع لکه‌های تیره (با کد رنگ بالای ۱۴) تخلخل حفره‌ای هستند [۵]. تغییر در میزان آلومک، زمینه و تخلخل شرایط بینابینی ایجاد می‌کند. هم‌چنین هنگامی که عوامل و شاخص‌های مشاهده شده جدا از هم بوده و در یک محدوده رسانا قرار گرفته‌اند، نشانه‌ای از وجود سنگ‌های با ذرات درشت در زمینه ریز دانه است (کنگلومرای گل‌پشتیان یا وکستون - پکستون). و زمانی که خرده‌ها به هم متصل‌اند، نمایانگر تخریبی‌ها یا کربنات‌های دانه‌پشتیان است. در بافت مادستون تصاویر FMI، تقریباً یکنواخت و قهوه‌ای روشن تا قهوه‌ای تیره (کد ۷ تا ۱۱) هستند. لکه‌های سفید آلومک یا لکه‌های بزرگ سیمان و لکه‌ها یا مناطق تیره ممکن است تخلخل‌های حفره‌ای جدا از هم باشند. بافت ریزشی توسط کنتراست قوی بین مقاومت زمینه و سایر اجزای روشن زاویه‌دار مشخص می‌گردد. بافت ندولار شامل ندول‌های با اندازه مختلف در زمینه ریزتر می‌باشد. اندازه و جنس ندول‌ها می‌تواند مختلف باشد. در واحدهای سنگی کنگان ندول‌ها اغلب از جنس انیدریت بوده و دارای مقاوت بالا و رنگ روشن در تصاویر FMI هستند.

لیتولوژی

یکی از کاربردهای لاگ‌های تصویری تعیین ترکیب سنگ‌شناسی است. البته فقط از روی لاگ‌های تصویری نمی‌توان به طور دقیق لیتولوژی را تعیین کرد. در صورتی که اطلاعات کلی از لیتولوژی در دست باشد، به کمک لاگ‌های تصویری و سایر داده‌ها می‌توان جزئیات لیتولوژی را تشخیص داد. مبنای این تخمین، تغییرات ریز مقاومت سازند است. مقاومت سنگ‌های رسوبی غیر

دهد. برخی از اشکال ساختارهای زمین‌شناسی به دلیل شکل واضح، طول و الگوی تغییر مقاومت بخش‌های مختلف آن به آسانی در لاگ‌های FMI قابل شناسایی هستند، اما همه‌ی ساختارها چنین شرایطی ندارند [۸]. شناسایی برخی از ساختارهای رسوبی نیز نیاز به وجود اطلاعات تکمیلی و داده‌های دیگر دارد. شاخص‌هایی که توانایی لاگ‌های FMI را در شناسایی ساختمان‌های رسوبی تعیین می‌کنند عبارتند از: اندازه ساخت رسوبی، میزان اختلاف مقاومت ساختمان با زمینه، ژئومتری ساخت رسوبی و مهارت بررسی کننده لاگ. بر این مبنا ساختارهای زمین‌شناسی به سه گروه تقسیم می‌شوند (جدول ۲). در این پژوهش نحوه شناسایی ساختارها و خصوصیات زیر در لاگ‌های FMI بررسی شده است: لایه‌بندی، لامیناسیون، سطوح لایه‌بندی، رگه‌های رسانا، رگه‌های متراکم، ناپیوستگی، سطح فرسایشی، لایه‌بندی متقاطع، لایه‌بندی تدریجی، لایه‌های موجی، لایه‌های فلاسر، لایه‌های عدسی، ساختارهای وزنی، اسلامپ و خردشدگی، لایه‌بندی پیچیده، ساختارهای زیست‌زاد، گسل، فرایندهای دیاژنزی شامل (انحلال، تراکم فیزیکی و انحلال فشاری).

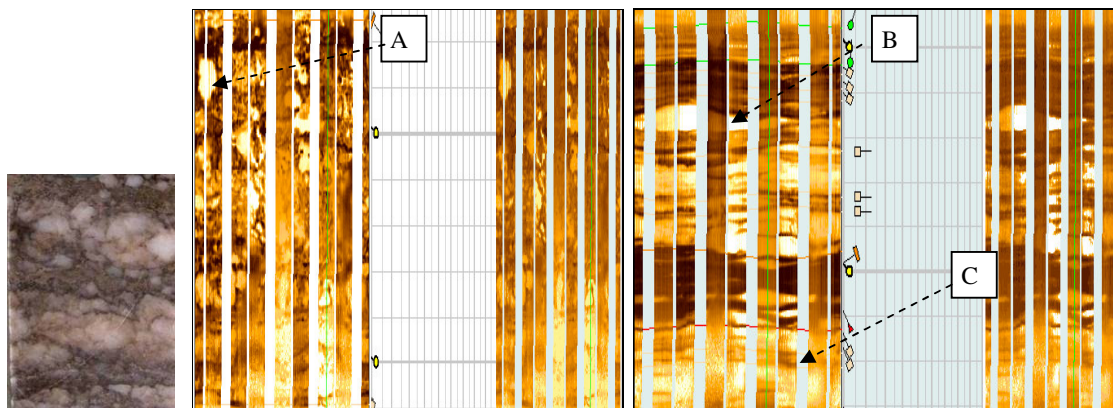
الگوهای رخساره‌ای کنگان در لاگ‌های FMI

با بررسی لاگ‌های FMI و مقایسه آن با نتایج مغزه، مقاطع نازک و لاگ‌های تخلخل، بر اساس خصوصیات مختلف مانند بافت، ساختارهای رسوبی، سنگ‌شناسی، تخلخل و سایر موارد، الگوهای تصویری سنگ‌های کربناته در سازند کنگان به ۱۳ مورد تفکیک شده است.

متخلخل به کانی‌شناسی آن بستگی دارد [۲۰ و ۸]. به عنوان مثال مقاومت انیدریت و ژپس بین 10^4 تا 10^{14} اهم متر است که به عنوان سنگ‌شناسی با مقاومت بالا تفسیر شده و با رنگ روشن (کد رنگ بین ۱ تا ۳) ظاهر می‌گردد. شیل دارای مقاومت بین ۵/۰ تا ۶۰ اهم متر است بنابراین لیتولوژی رسانا بوده و معمولاً در تصاویر FMI رنگ تیره (کد ۱۴ تا ۱۶) را نمایش می‌دهد. مقاومت سنگ آهک چگال و دولومیت چگال هر دو در حدود ۱۰۰۰ اهم متر بوده و قابل تشخیص از هم در FMI نیستند. اما توجه به همراهی واحدهای دیگر سنگی می‌تواند در تفکیک این دو لیتولوژی کمک کند. مثلاً همراهی فراوان‌تر انیدریت با دولومیت نسبت به آهک می‌تواند در این تفکیک موثر باشد [۱۶ و ۱۲]. در کنگان نیز در اینتروال بالایی چنین شرایطی وجود دارد (شکل ۳) [۱۵ و ۲]. هم‌چنین در خصوصیات پتروفیزیکی برابر، آهک دارای مقاومت کمی بیش‌تر نسبت به دولومیت است. سنگ‌های کربناته در FMI محدوده بزرگی از رنگ‌های زرد روشن تا قرمز تیره دارند. کانی‌های سیلیسی دارای مقاومت بالاتری نسبت به آهک و دولومیت هستند. انیدریت به شکل لایه لکه‌ها و ندول و لنزهای انیدریتی در تصاویر FMI روشن‌تر از سایر سنگ‌شناسی‌ها و دارای کدهای ۱ تا ۳ است (شکل ۵).

ساختارهای رسوبی

تصاویر FMI بطور مستقیم می‌توانند بسیاری از ساختارهای رسوبی را که در رده‌بندی چینه‌ای و در شناسایی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهم هستند، نشان



شکل ۵. تشخیص شکل‌های مختلف انیدریت در لاگ‌های FMI لکه‌های انیدریتی (A) لنزهای انیدریتی (B) انیدریت پراکنده در لایه (C)

جدول ۲. گروه‌بندی عناصر زمین‌شناسی مختلف قابل بررسی توسط لاگ‌های FMI [۵]

	Tectonic	Sedimentary Structure	Diagenetic
Self Evidence. G ₁	Structural Dip	Bedding Surface	Stylolite (Hight Amplitude peak)
	Natural	Lamination	
	Induced	X-Bedding	
	Breakout	Graded Bedding	
	Fold	Erosional Surface	
		Deformation Feature	
Ambiguous. G ₂		Lithology Change	
	Fault	Cobble, Pebble, Breccia	Nodular concretion
		Ripple	Chert
		Bioturbation	Vugs
Need Core and TS. G ₃		Grain size/Texture	Stylolite (Low Amplitude peak)
	Small Fracture	Bioturbation	
	Horizontal	Thin Lamination	
		Limestone Texture	

الگوی موجی^۱

این الگو شامل بخش‌های با شکل موجی و زون‌های برآمده مقاوم با لامینه رسانای موجدار احاطه کننده آن‌ها است. رخساره‌های باندستون (ترومبولیت) و رخساره‌های دارای ساخت‌های پشته‌ای و در برخی موارد ریپل‌ها دارای چنین تظاهری هستند (شکل ۶).

الگوی هموزن^۲

شامل تصویر یکنواخت و همگنی از زمینه‌ی روشن و یا تصویر یکنواخت زمینه تیره بدون لایه‌بندی و لکه است. این الگو نمایانگر لیتولوژی کربناته بدون لایه‌های رسی و ندول‌ها و همچنین شرایط هموزن از نظر پراکندگی تخلخل می‌باشد. در شرایط محیطی پرانرژی گرینستون‌های سیمانی شده و دارای تخلخل اولیه میکروسکوپی، مادستون و گرینستون با سیمان انیدریتی تصویر یکپارچه هموزن دارند. (شکل ۷). رخساره‌های گرینستون، پکستون، وکستون و مادستون بدون تخلخل ماکروسکوپی و رخساره‌های هموزن از نظر تخلخل میکروسکوپی چنین نمودی در لاگ‌های FMI دارند. لاگ‌های تخلخل ویژگی‌هایی مانند تخلخل کم و یکنواختی را در این الگو تایید می‌کند. تصویر برش‌های نازک گرینستون و مادستون انیدریتی با لاگ‌های FMI معادل آن‌ها مقایسه شده‌اند (شکل ۷).

الگوی تغییر تدریجی یکنواخت^۳

شامل زمینه یکنواختی از سیمای رسنا یا مقاوم است که توسط یکدیگر در حال جانشینی هستند. این جایگزینی پیوسته بوده و نشانه تغییر لیتولوژی و تخلخل است. بخش تیره شامل مناطق با سنگ‌شناسی رسی، کربنات‌های متخلخل و یا مناطق دارای کانی‌های با مقاومت پائین است و بخش روشن کربنات‌های سیمانی شده و یا مادستون هستند. تغییرات تدریجی مذکور نشانه‌ای از تغییرات لیتولوژیکی و پتروفیزیکی به ویژه میزان و اندازه تخلخل است. همچنین سنگ‌های دارای ساخت گریددبینگ که تغییرات ویژگی‌ها در آن تدریجی و پیوسته است، چنین تظاهری در FMI دارد. نمودارهای تخلخل و تغییرات ویژگی‌های تخلخل سنگ در مغزه تغییرات بیان‌شده در این الگو را تایید می‌کند (شکل ۶).

الگوی لکه‌ای رسانا^۴

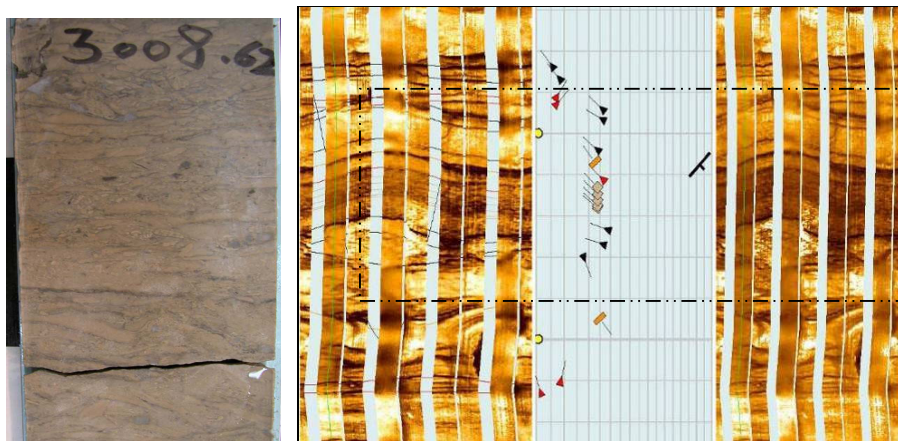
الگوی بافتی با زمینه روشن (مقاومت نسبی بالا) با لکه‌های تیره‌ای است که فاقد نظم و لایه‌بندی هستند. لکه‌های تیره می‌توانند نمایانگر تخلخل‌های ماکروسکوپی انحلالی، حفره‌ای و کانی‌های رسانا باشد. این الگوی بافتی نیز محیط پرانرژی و غلبه فرایند انحلال ماکروسکوپی را نشان می‌دهد. مقاطع نازک و لاگ‌های تخلخل در مقابل این اینتروال‌ها تغییرات معنی‌دار بیان شده در این الگو را تایید می‌کنند (شکل ۷).

^۳ Gradient change Pattern

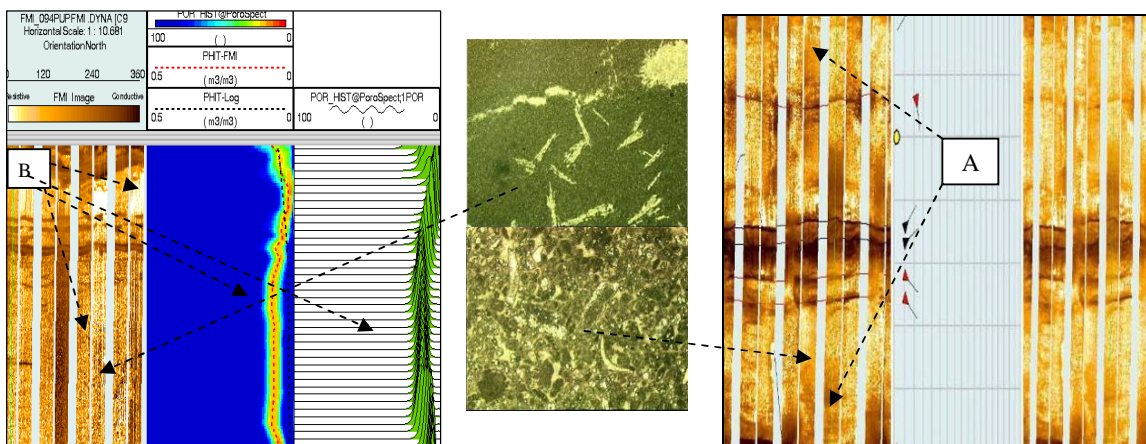
^۴ Conductive Spot Pattern

^۱ Wavy pattern

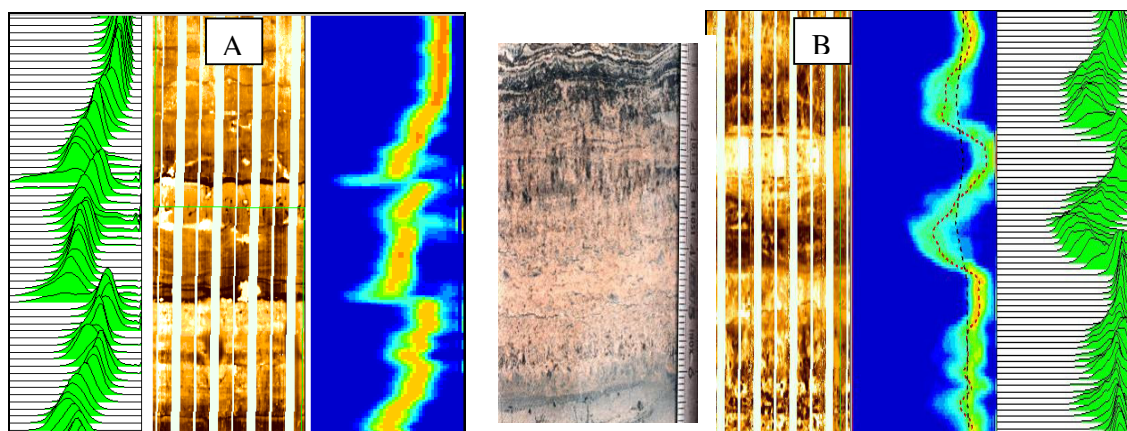
^۲ Homogenous Pattern



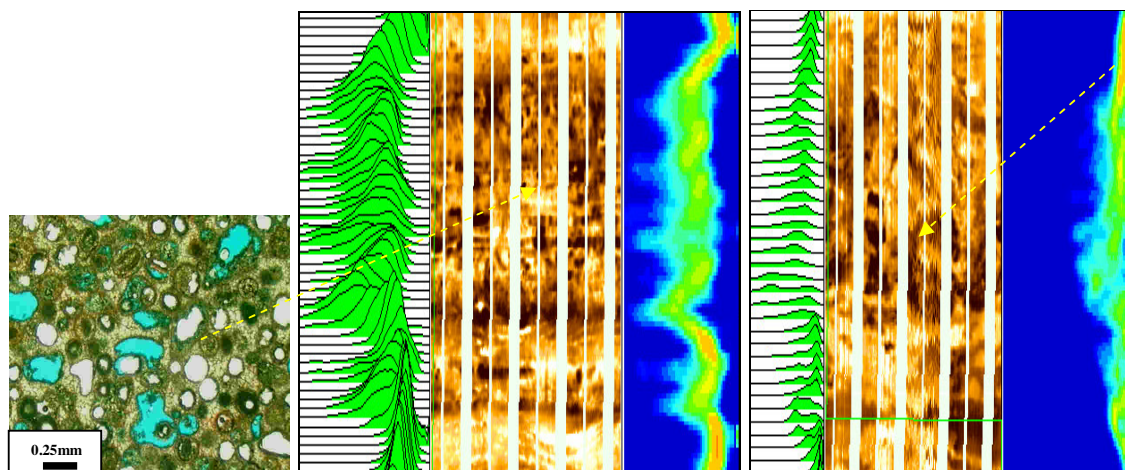
شکل ۶. الگوی موجی در پایین‌ترین بخش سازند کنگان (داخل کادر) عمق ۳۰۰۵ متری چاه SP-13 و مقایسه آن با تصویر مغزه



شکل ۷. الگوی هموزن لاگ‌های FMI گرینستون سیمانی شده با کلسیت (A) و انیدریت (پراکنده و لایه‌ای به ترتیب در پایین و بالا) (B) و تاثیر آن در لاگ‌های تخلخل (B)



شکل ۸. الگوی Gradient ۲۹۵۰ تا ۲۹۵۲ (A) و ۲۸۹۸ تا ۲۹۰۰ (B). تغییرات حاصل از این الگو در لاگ VDL و هیستوگرام تخلخل مشخص است.



شکل ۹. الگوی Conductive Spot Pattern (پیکان) در کنگان تغییرات الگو در لاگ VDL و هیستوگرام تخلخل مشخص است.

رخساره ایجاد الگوی لکه‌ای منظم و لاگ‌های FMI معادل آن نمایش داده شده است (شکل ۱۲).

الگوی خردشده^۴

شامل زمینه با رنگ روشن (مقاومت بالا) و رگه‌های تیره رسانا و نازک (شکستگی‌های باز) و یا برعکس زمینه تیره رسانا و شکستگی‌های با رنگ روشن و مقاومت بالا (شکستگی‌های پر شده) است. شکستگی‌ها می‌توانند از سیال، سیمان و رس پر شده باشد (شکل ۱۳).

الگوی درزه‌های قائم^۵

شامل تصاویر با زمینه روشن و شکستگی‌های قائم القایی ایجاد شده در اثر حفاری است این شکستگی‌ها باز بوده در اثر نفوذ گل حفاری در لاگ FMI رسانا هستند (شکل ۱۴).

الگوی استیلولیتی^۶

شامل زمینه روشن با مقاومت نسبی بالا و رگه‌های تیره مضرس که دلیل ایجاد آن وجود ساخت استیلولیت است که در نتیجه انحلال فشاری تشکیل شده است (شکل ۱۵).

الگوی ندولی^۷

شامل ندول‌های روشن به همراه باندهای رسانای محصور کننده آن‌هاست. در زون‌هایی که انیدریت ساخت (قفس مرغی) دارد و یا ندول‌های انیدریتی در داخل کربنات‌ها قرار گرفته‌اند چنین شرایطی دارد. اندازه و جنس ندول‌ها می‌تواند مختلف باشد. در سازند کنگان ندول‌ها اغلب از

الگوی لامینه^۱

تصاویر FMI با زمینه روشن و مقاومت نسبی بالا به همراه لامینه‌های نازک و تیره است. این لامینه‌ها که نشانه محیط‌های کم انرژی است، در نتیجه لامینه‌های جلبکی، شیل و یا گاهی استیلولیتی شدن با دامنه کم به وجود می‌آید. این الگو می‌تواند زمینه رسانا با لامینه‌های روشن نیز باشد. نتایج مقاطع نازک و نمودارهای تخلخل این نتایج را تأیید می‌کند (شکل ۱۰).

الگوی باندهای ضخیم^۲

دارای زمینه روشن با مقاومت نسبی بالا و باندهای تیره ضخیم است. باندهای تیره در نتیجه وجود حفره‌های انحلالی غاری و یا لایه‌های رسی و گاهی تمرکز ذرات دانه‌ریز در شکستگی‌ها به وجود آمده است. این الگو می‌تواند شامل زمینه تیره و باندهای روشن با مقاومت بالا نیز باشد. در این صورت غالباً زمینه میکرایتی و دانه‌ریز و باندهای پر شده از سیمان کلسیتی و انیدریت عامل به وجود آورنده آن است (شکل ۱۱).

الگوی لکه‌ای منظم^۳

این الگو شامل تصاویر با زمینه روشن و مقاومت بالا با لکه‌ها و نقاط تیره دارای نظم و لایه‌بندی است. لکه‌های کانداکتیو به وسیله تخلخل ماکروسکوپی و باندهای رسی تولید می‌شوند. در شکل ۱۲ نمونه‌ای از برش‌های نازک

^۴ Cracked Pattern

^۵ Vertical Crack pattern

^۶ Pattern Stylolite

^۷ Nodular pattern

^۱ Lamination Pattern

^۲ Thick band pattern

^۳ Layered Spot Pattern

در این ساختار با تصحیح شیب ساختمانی لایه‌ها می‌توان جهت جریان قدیمه را نیز مشخص کرد (شکل ۱۷).

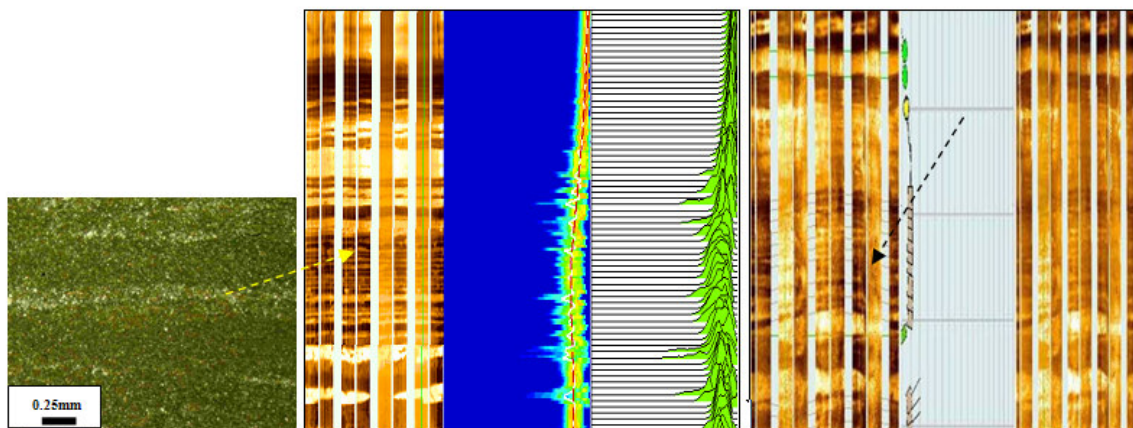
الگوی برشی شده^۲

این بافت توسط کنتراست قوی بین مقاومت زمینه و سایر اجزا مشخص می‌گردد. لکه‌های مقاوم با رنگ روشن که توسط رگه‌های نامنظم و اجزا روشن با حاشیه زاویه‌دار مشخص می‌شود نمایانگر این الگو و نشانه شرایط ریزشی و یا برشی شده است (شکل ۱۸).

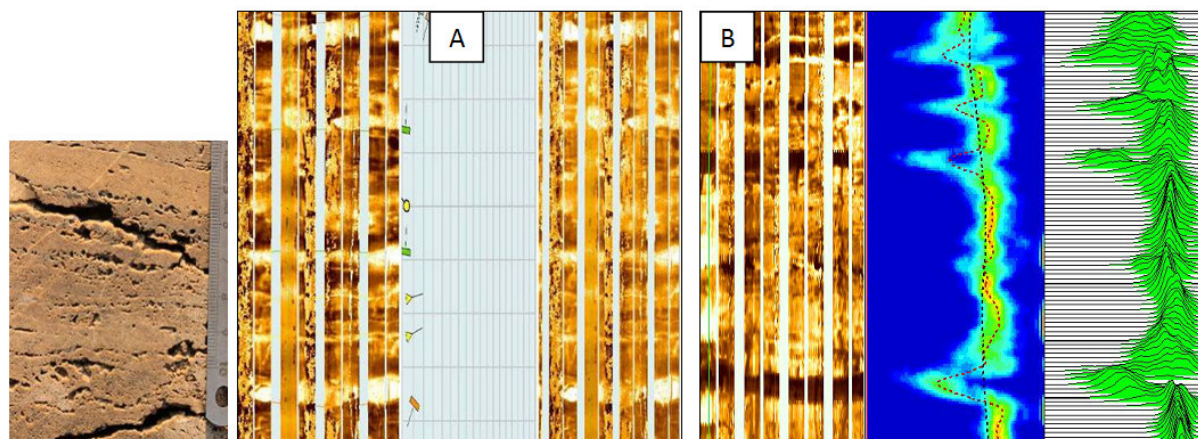
جنس انیدریت بوده و دارای مقاومت بالا و رنگ روشن در تصاویر FMI هستند (شکل ۱۶). انیدریت پراکنده به صورت سیمان این الگو را ایجاد نمی‌کند.

الگوی لایه‌بندی مورب^۱

این الگو توسط لایه‌های دارای ساخت لایه‌بندی مورب ایجاد می‌گردد. با توجه به اینکه چینه‌بندی متقاطع در محیط‌های خاص رسوبی با شرایط انرژی متوسط تا بالا تشکیل می‌شوند، این ساختارها قابلیت تفسیر محیط رسوبی را فراهم می‌کنند.



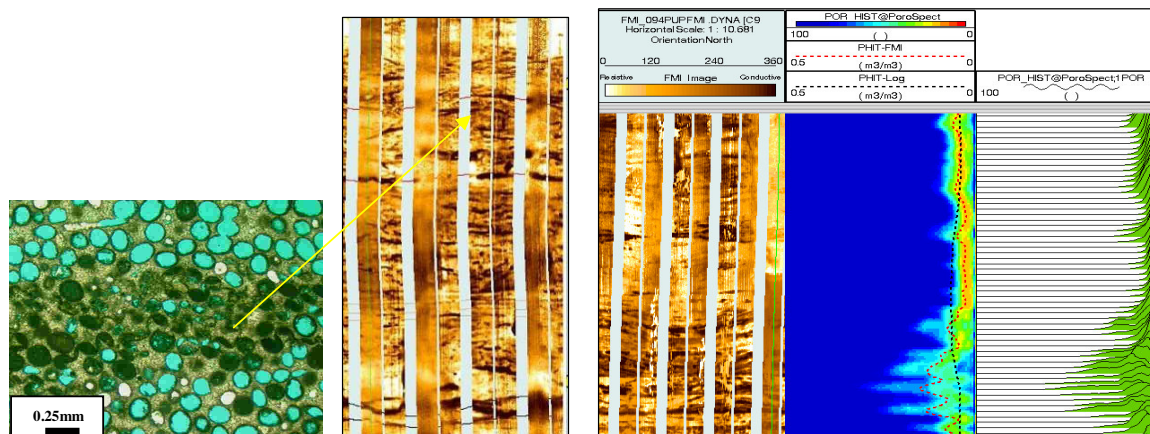
شکل ۱۰. الگوی Lamination Pattern در FMI مغزه و مقطع نازک در کنگان (۲۷۸۲ متری). لاگ‌های تخلخل تغییرات را تایید می‌کند.



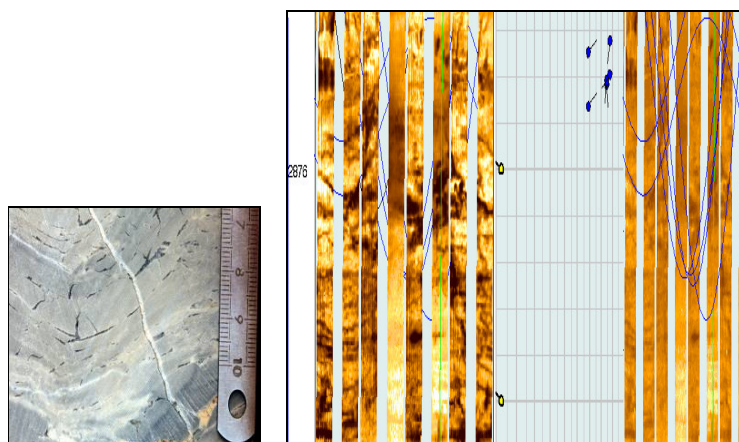
شکل ۱۱. الگوی Thick Band Pattern در FMI و مغزه بخش زیرین کنگان. پرشده (A) و پرنشده (B). لاگ‌های تخلخل این تغییرات را تایید می‌کند.

^۲ Brecciated pattern

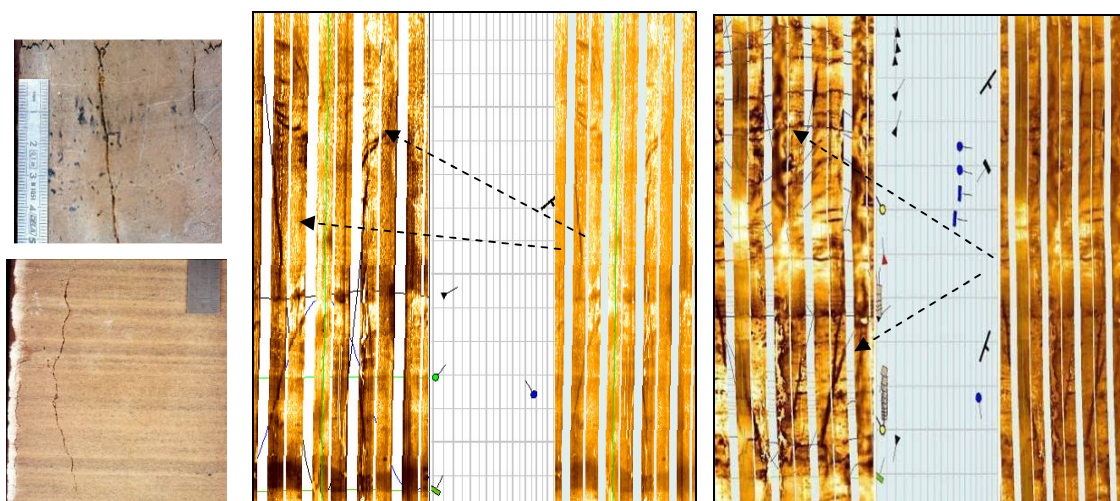
^۱ X-bedding pattern



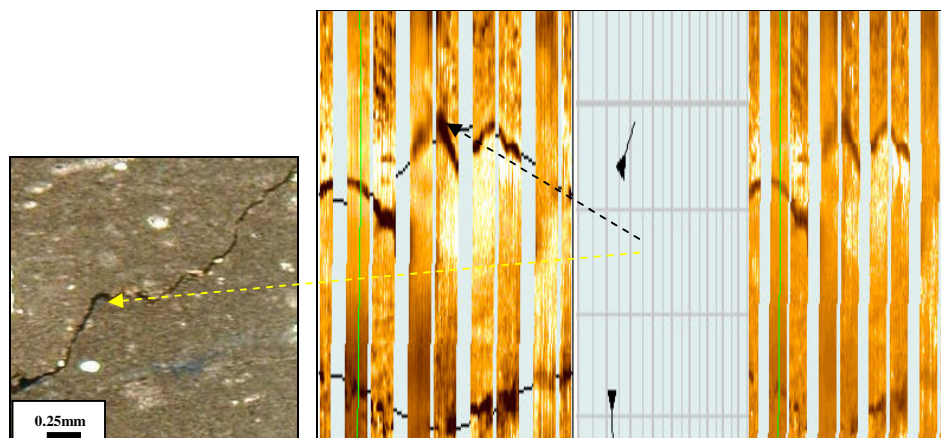
شکل ۱۲. الگوی Layered Spot Pattern در FMI و مقطع نازک معادل آن. تغییرات این الگو در لاک‌های تخلخل موارد را تأیید می‌کند.



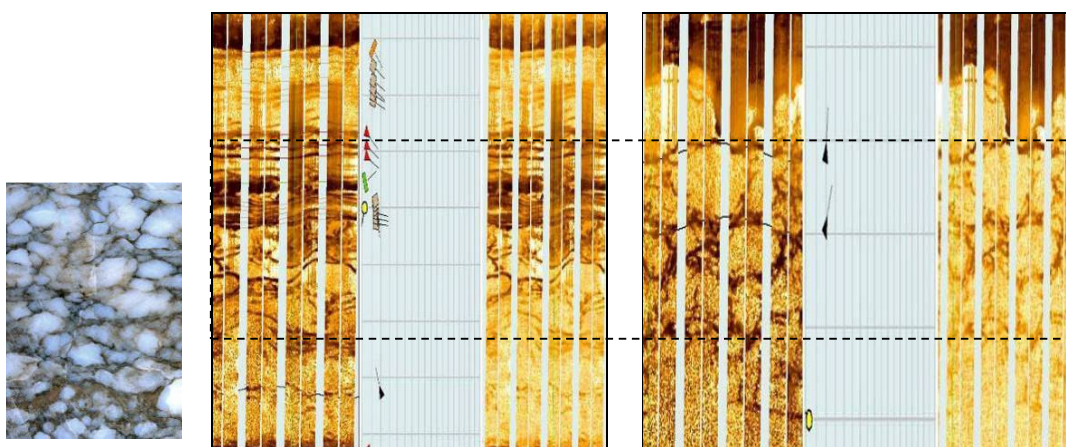
شکل ۱۳. الگوی Cracked Pattern در سازند کنگان



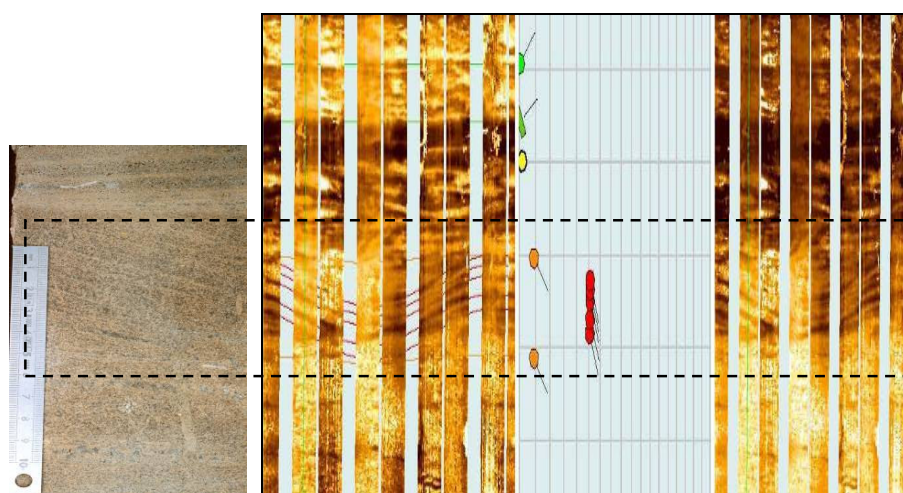
شکل ۱۴. الگوی Vertical Crack pattern در FMI و مغزه معادل آن‌ها در سازند کنگان. درزه‌های قائم در اثر وجود گل حفاری رسنا است.



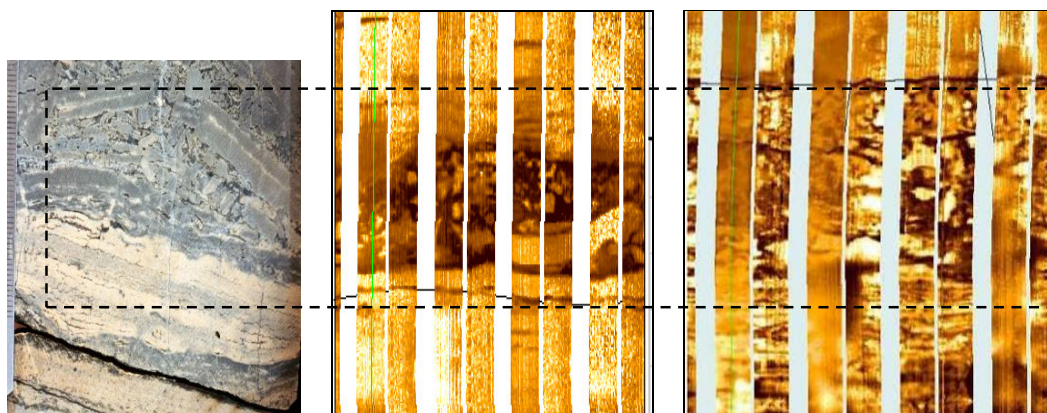
شکل ۱۵. الگوی Stylolite pattern سازندکنگان عمق ۲۹۱۰ متری (پیکان) و برش نازک معادل آن



شکل ۱۶. الگوی Nodular pattern در FMI و مغزه سازندکنگان عمق ۲۹۵۴ متری (داخل چارچوب)



شکل ۱۷. الگوی X-bedding pattern در لاگ FMI و مغزه سازندکنگان (داخل چارچوب)



شکل ۱۸. الگوی Brecciated pattern در FMI و مغزه در سازندکنگان (داخل چارچوب)

نتیجه‌گیری

- لاگ‌های FMI قابلیت شناسایی و توصیف بسیاری از ساخت‌ها، بافت‌ها و ویژگی‌های دیگر زمین‌شناسی را دارد. این شناسایی به تفکیک بخش‌های متفاوت مخزن و تفسیر سیمای مختلف زمین‌شناسی می‌انجامد. در این مطالعه با استفاده از لاگ‌های افام‌آی به شناسایی و تفسیر ساخت، بافت، لیتولوژی، تخلخل، لایه‌بندی، لامیناسیون و فرایندهای دیاژنزی در سنگ‌های کربناته سازند کنگان پرداخته شده است. از بین ساختارها و اشکال تکتونیکی، رسوبی و دیاژنزی گروه‌های G_1 دارای بالاترین اعتبار و G_3 کم‌ترین اعتبار است (جدول ۲). از بین فرایندهای دیاژنزی اعتبار شناسایی و بررسی انحلال، تراکم فیزیکی، تراکم شیمیایی و انیدریتی شدن بالا است. - با استفاده از این ویژگی و هم‌چنین مقایسه لاگ‌های تصویری با برش‌های نازک، مغزه و نمودار هیستوگرام تخلخل، ۱۳ الگوی مختلف شناسایی و تفکیک شده است. این الگوها دارای شرایط تشکیل متفاوتی بوده و در بسیاری از موارد امکان تفسیر دیاژنز، رخساره، سکناس استراتیگرافی، محیط رسوبی و پتروفیزیک را فراهم می‌کنند.

- مقایسه الگوهای پیشنهاد شده با موارد کنترلی بیان شده (برش‌های نازک، مغزه و نمودارهای تخلخل) در محدوده‌های مطالعاتی مطابقت بسیار خوبی را نشان می‌دهد.

- الگوهای معرفی شده سازندکنگان توسط لاگ‌های FMI عبارتند از: الگوی موجی (Wavy pattern)، الگوی هموزن (Homogenous Pattern)، الگوی تغییر تدریجی (Gradient change Pattern)، الگوی لکه‌ای رسانا (Conductive Spot Pattern)، الگوی لامینه (Laminae Pattern)، الگوی باندهای ضخیم (Thick Bands Pattern)، الگوی لکه‌ای منظم (Layered Spot Pattern)، الگوی خردشده (Cracked Pattern)، الگوی درزه‌های قائم (Vertical Crack pattern)، الگوی استیلولیتی (Stylolite pattern)، الگوی ندولی (Nodular pattern)، الگوی کراس‌بدینگ (X-bedding pattern) و الگوی برشی‌شده (Brecciated pattern).

- با توجه به قابلیت‌های لاگ‌های FMI از این لاگ‌ها و الگوهای آن می‌توان برای مطالعه رخساره سکناس استراتیگرافی محیط رسوبی و خواص مخزنی استفاده کرد و در بسیاری موارد به عنوان جایگزینی برای مغزه به کار برد.

قدردانی

این مقاله با استفاده از داده‌های تولید شده در شرکت نفت و گاز پارس (POGC) انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان، از مدیران و پرسنل این شرکت به ویژه مدیریت و کارکنان اداره پژوهش، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

- [13] Newberry, B. M., Grace, L. M., and Stief, D. D (1996) Analysis of carbonate dual porosity systems from borehole electrical images in Proceedings Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, Society of Petroleum Engineers, pp.123–120.
- [14] Nurmi, R., Charara, M., Waterhouse, M., and Park, R (1990) Heterogeneities in carbonate reservoirs: detection and analysis using borehole electrical imagery: in Geological Applications of Wireline Logs, Geological Society, London, Special Publications, Vol. 48, pp.95–111.
- [15] Prensky, S. E (1999) Advances in borehole imaging technology and applications: in Borehole Imaging: Applications and Case Histories, Geological Society Special Publications, Vol.159, pp.1– 43.
- [16] Rahimpour-Bonab, H., Asadi-Eskandar, A., Sonei, A (2009) Controls of Permian-Triassic Boundary over Reservoir Characteristics of South Pars Gas Field, Persian Gulf, Geol. J. 44, 341–364.
- [17] Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B., Tavakoli, V (2010) Dolomitization and anhydrite precipitation in permotriassic carbonate at the South Pars Gas field, controls on reservoir quality, Journal of Petroleum Geology, Vol.33, pp. 43-66.
- [18] Russell, S. D., Akbar, M., Vissapragada, B., and Walkden, G. M (2002) Rock types and permeability prediction from dipmeter and image logs; Shuaiba reservoir (Aptian), Abu Dhabi, AAPG Bulletin, Vol. 86/10, pp. 1709-1732.
- [19] Schlumberger (2004) FMI Fullbore Formation MicroImager, www.slb.com,
- [20] Serra, O (1989) Formation microscanner image interpretation Schlumberger Educational Service, Houston, 1 – 5.
- [21] Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D., Simmons, M.D (2001) Arabian plate sequence stratigraphy. Geo Arabia Special Publication, Gulf Petro Link, Bahrain, Vol. 2, 371 pp.
- [22] Standen, E., Nurmi, R., El-Wazeer, F., and Ozkanli, M (1993) Quantitative applications of wellbore images to reservoir analysis: Transactions of the SPWLA Annual Logging Symposium, 34.
- [23] Szabo, F., Kheradpir, A (1978) Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, South-West Iran, Petroleum Geology Vol.1, pp.57–82.
- [24] Ziegler (2001) Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and its Hydrocarbon Occurrences, Geo Arabia, Vol. 6, 3, Gulf Petro Link, Bahrain 445.

منابع

- [۱] آقاباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- [۲] جهانی، د، موحد، ب و محمدی اکبری، ن (۱۳۸۸) ارزیابی پتروفیزیکی سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی، جلد ۱، ص ۶۱ تا ۷۹.
- [۳] خان محمدی، م (۱۳۸۵) آنالیز شکستگی‌های طبیعی در میدان پارس جنوبی با استفاده از تصاویر FMI، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران
- [۴] رحیم‌پور بناب، ح (۱۳۸۴) سنگ‌شناسی کربناته (ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل)، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ ص.
- [۵] وفایی، ه (۱۳۹۲) تحلیل رخساره‌ای، پتروفیزیک و محیط رسوبی سازند مخزنی کنگان در میدان گازی پارس جنوبی با نگرش ویژه بر لاگ‌های FMI، رساله دکترای تخصصی دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، ۲۵۵ ص.
- [6] Aali J, Rahimpour-Bonab H, Kamali MR (2006) Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran, journal of petroleum science and engineering, Vol.50, pp.161–175.
- [7] Arab Oil and Gas Magazine (2003) The Arab Petroleum Research Center, AOGM, vol.4, pp. 14–16.
- [8] Bhavana, P.R and Rao, M.V (2001) Application of Fullbore Formation MicroImager in recognising structural elements, sedimentary features and depositional environments, case studies from Krishna-Godavari basin, India, ONGC, unpublished report, pp. 1- 41.
- [9] Chai Hua, Li Ning, Xiao Chengwen, Liu Xingli, Li Duoli, Wang Caizhi, and Wu Dacheng (2009) Automatic discrimination of sedimentary facies and lithologies in reef-bank reservoirs using borehole image logs Applied Geophysics, Vol.6, pp. 17- 29.
- [10] Dunham, R.J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture, American Association of Petroleum Geologists Memoir1, pp. 108–121.
- [11] Kashfi, M.S (1992) Geology of the Permian supergiant gas reservoirs in the greater Persian Gulf area, Petroleum Geology Vol.15, 465–480.
- [12] Lovell, M. A., Harvey, P. K., Brewer, T. S., Williams, C., Jackson, P. D., and Williamson, G (1997) Application of FMS images in the Ocean Drilling Program an overview (in geological evolution of ocean basins, results from the Ocean Drilling Program), geological Society Publications, pp 287–303.