

# بررسی ویژگی شکستگی‌ها و نوع تخلخل در مخزن با استفاده از مقاطع نازک، توصیف مغزه، نمودارهای FMI و انحراف سرعت

بهمن سلیمانی<sup>۱\*</sup>، قاسم ساعدی<sup>۲</sup>، عباس چرچی<sup>۳</sup> و اسماعیل سالاروند<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران  
<sup>۲</sup>کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران  
<sup>۳</sup>استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران  
<sup>۴</sup>کارشناسی ارشد، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، اهواز، ایران  
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۴

## چکیده

بررسی شکستگی‌های طبیعی در مخازن نفتی به عنوان عامل مهم در کنترل جریان اهمیت دارد. این موضوع با استفاده از مقاطع نازک، مغزه و نمودارهای تصویرگر FMI و انحراف سرعت یکی از میادین جنوب باختر ایران مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات خام مربوط به نمودار FMI توسط نرم‌افزار Geoframe پردازش و تفسیر شد. نمودارهای انحراف سرعت و تخلخل ثانویه نیز محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که استیلولیت، حفره‌ها، همچنین ریزشکستگی‌های باز و پر شده در مخزن وجود دارد. با افزایش ژرفا، تراکم نسبی شکستگی‌های باز کاهش و شکستگی‌های پر شده افزایش می‌یابد. شکستگی‌ها عمدتاً از دو نوع طولی و عرضی بوده و با زاویه شیب بالا نسبت به سطح لایه‌بندی تشکیل شده‌اند. سامانه تخلخل سنگ مخزن به‌طور عمده از انواع بین‌ذره‌ای و شکستگی بوده و با توجه به آثار آغشتگی نفت در بیشتر مقاطع نازک، اهمیت بالای شکستگی‌ها به عنوان معبری مناسب برای عبور سیال آشکار شد.

**کلیدواژه‌ها:** شکستگی، نمودار تصویرگر FMI، نمودار انحراف سرعت، تخلخل ثانویه، میدان نفتی.

\*نویسنده مسئول: بهمن سلیمانی

E-mail: soleimani\_b@scu.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

شکستگی‌ها یکی از عوارض مهم در ایجاد ناهمگنی مخزن نسبت به جریان سیال (Nelson, 2001) و از ویژگی‌های بیشتر میدان‌های بزرگ نفتی کربناتی هستند (رضایی، ۱۳۸۷). مطالعه شکستگی‌ها از سال ۱۹۵۸ میلادی در ایران آغاز شد (مطبعی، ۱۳۷۴). تأثیر شکستگی‌ها بر تراوایی سنگ مخزن و کنترل شدت جریان سیال (Philip et al., 2002; Eichhubl et al., 2009) گاه بسیار زیاد است. برای نمونه قابلیت انتقال بعضی شکستگی‌ها به حدود ۱۷ کیلومتر در میدان نفتی گچساران می‌رسد (مطبعی، ۱۳۸۷). شکستگی‌ها تخلخل را افزایش داده و مهم‌تر اینکه در مخازن فشرده با ایجاد ارتباط بین واحدهای مخزنی مختلف درون میدان، تراوایی را بهبود می‌بخشند (Ghosh & Mitra, 2009). لاگ‌های FMI (Fullbore Formation MicroImager) دارای کاربردهای مخزنی بسیاری از جمله تفسیرهای زمین‌شناختی ساختاری (گسل‌ها، شیب ساختاری و شکستگی) و رسوبی (شیب رسوبی، جهت جریان‌های قدیمی، لایه‌بندی و بافت کربناتی) و مقایسه رخنمون‌ها و مغزه‌ها هستند (Abraham, 2005). این فناوری تصویربرداری از دیواره چاه به مدد پژوهشگران صنعت نفت به عنوان چشم صنعت نفت یاد می‌شود (Paul, 2002). این ابزارها و روش‌ها افزون بر آشکارسازی شکستگی‌ها، مکمل داده‌های مغزه بوده و می‌توانند از مقدار مغزه‌گیری که مستلزم ۷۵٪ زمان و هزینه پروژه در برنامه‌های حفاری است صرفه‌جویی کنند (Stroble, 2009).

## ۳- روش مطالعه

معکوس در امتداد یال‌های شمالی و جنوبی، محصور شده و به صورت بلوک فرا افتاده (نسبت به میادین مجاور خود)، به سمت بالا حرکت کرده است، به طوری که حدود ۲۰۰۰ متر در سطح بالاتری قرار می‌گیرد. مقدار شیب بر روی یال شمالی، متغیر و از حدود ۱۲ درجه (در ناحیه شمال خاوری) به بیش از ۳۰ درجه (در ناحیه شمال باختری) می‌رسد.

در این مطالعه، مغزه‌ها و مقاطع نازک میکروسکوپی (۱۰۶ مقطع) چاه‌های مورد مطالعه (۲۲ و ۲۴) به منظور شناسایی عوارض ساختاری مانند لایه‌بندی، انواع شکستگی‌ها و استیلولیت‌ها و دیگر عوارض مرتبط موجود توسط میکروسکوپ پلاریزان به دقت مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت و از آنها برای تطابق با نتایج حاصل از نمودار تصویرگر FMI استفاده شد. در نهایت به موازات مراحل پردازش و تفسیر نمودار تصویرگر FMI، نمودارهای پتروفیزیکی مورد استفاده مانند NPHI، ROHB، PEF، GR، CGR، SGR، DT و همچنین نمودارهای کالیبره توسط نرم‌افزار بارگذاری و در قالب‌های مورد نظر در کنار تصاویر نمودار FMI برای تعیین ترکیب سنگی قرار گرفتند و نتایج آنها با نمودارهای سرچاهی مطابقت شد. همچنین برای رسم نمودار انحراف سرعت و همچنین تشخیص چرخه‌های پرشی؛ نمودارهای صوتی (DT)، نوترون (NPHI) و چگالی (ROHB) مورد پردازش قرار گرفتند.

## ۲- موقعیت زمین‌شناسی و ساختمانی میدان لالی

میدان نفتی لالی (نیمه شمالی فرفرافادگی دزفول) در ۴۰ کیلومتری شمال باختری میدان مسجد سلیمان و بین میادین زیلابی و کارون قرار گرفته است. روند آن از روند چین‌خوردگی‌های زاگرس تبعیت کرده و در امتداد شمال باختری- جنوب خاوری است. تاقدیس میدان لالی به صورت نامتقارن و کشیده با محوری کماتی شکل است که بر روی آخرین منحنی هم‌تراز بسته (۲۱۰۰ متری زیر سطح دریا) دارای ابعادی به طول ۳۰ و عرض متوسط ۶ کیلومتر است (شکل ۱). این ساختمان به وسیله گسل‌های

باز یافت کمی دارند و یا تصاویر به دلیل ریزش دیواره و دیگر موارد دارای کیفیت پایینی هستند، این دو به صورت مکمل یکدیگر عمل می‌کنند و می‌توانند اطلاعات بیشتر و دقیق‌تری را در اختیار ما بگذارند. در مخزن مورد مطالعه آغستگی به نفت در اطراف سطوح شکستگی در برخی از نمونه‌های مغزه دیده شده که می‌تواند نشانه‌ای از نقش شکستگی در هدایت سیال باشد و به صورت کیفی به درجات متوسط، شدید و خیلی شدید تقسیم شود (شکل ۲).

هنگام مقایسه نگاره‌ها با تصاویر مغزه‌ای، فقط مرز لایه‌ها، لایه‌های نازک و شکستگی‌هایی که عمود و یا در جهت محور چاه هستند در هر دو مشترک خواهند بود. در سازندهای ناهمگن، آنچه که در مغزه دیده می‌شود، ممکن است بر روی دیواره حفره چاه دیده نشود و احتمال همخوانی کامل بین مغزه و نگاره وجود نداشته باشد (Serra, 1989). مغزه‌های مورد نظر از سازند آسماری تهیه شده و عمدتاً شامل سنگ‌آهک هستند. شکستگی‌های بسته در بیشتر موارد به وسیله کلسیت و انیدریت پر شده‌اند. شکستگی‌های باز نیز در آنها دیده می‌شوند. این شکستگی‌ها دارای شیب زیاد و در حدود ۶۰ تا ۹۰ درجه هستند.

در بررسی مغزه‌های چاه‌های ۲۲ (زون ۱ سازند آسماری) و ۲۴ (زون ۳ و ۴ سازند آسماری) میدان لالی به دلیل بد بریده شدن مغزه‌ها با اره، استفاده مفیدی به منظور به دست آوردن ویژگی‌های کمی شکستگی‌ها حاصل نشد. در توصیف ماکروسکوپی آنها و برای انطباق با تصاویر حاصل از نمودار FMI، تعدادی شکستگی‌های بسته و باز همراه با آثار نفتی دیده شد. در فواصل ژرفایی از نمونه‌های مغزه‌ها که دارای خردشدگی کمتر و درصد بازیافت بالایی هستند شکستگی‌ها به فراوانی دیده شده‌اند. بررسی این شکستگی‌ها نشان می‌دهد که در بیشتر ژرفاها تطابق بین مغزه و تصاویر نمودار به خوبی وجود دارد. در بررسی مغزه‌های این چاه‌ها در بیشتر فواصل ژرفایی ۲۰۷۹ تا ۲۰۸۲، ۲۰۹۳ تا ۲۰۹۸، ۲۱۰۲ تا ۲۱۰۷ متری چاه لالی ۲۲ و همچنین فواصل ژرفایی ۱۹۴۲ تا ۱۹۴۸، ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۷، ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۵، ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۳ متری چاه لالی ۲۴ شکستگی‌های تعیین شده از تصاویر نمودار کاملاً با شکستگی‌های موجود در مغزه‌ها همخوانی دارند (شکل ۳).

#### ۴-۲. تفسیر ساختمانی شکستگی‌ها

هدف از تفسیر تصاویر FMI، تشخیص خواص سازندی برای کمک به زمین‌شناسان و مهندسان در ارزیابی‌های سازندی، اندازه‌گیری‌های تراوایی، وجود سدهای نفتی، شناسایی شکستگی‌ها، خردشدگی‌ها، و کمک به علمیات حفاری است، همچنین از این نمودار در طراحی تکمیل چاه‌ها مانند مشبک‌سازی و شکافتن هیدرولیکی کمک گرفته می‌شود (محمملو، ۱۳۸۱).

– **شکستگی‌های باز (ممتد، منقطع، حفره‌ای و احتمالی):** دهانه این نوع شکستگی‌ها با گل پر می‌شود و اگر گل نارسانا باشد، در لاگ‌های تصویری تاریک به نظر می‌رسند (Serra, 1989). به دلیل اینکه مقاومت ماتریکس بیشتر از گل حفاریست، شکستگی‌های باز در لاگ‌های تصویری به صورت امواج سینوسی ممتد یا منقطع تاریک و کدر به نظر می‌رسند. بیشتر شکستگی‌های باز آسماری در چاه‌های مورد مطالعه به صورت بریده و منقطع با بازشدگی کم هستند (شکل ۴).

– **شکستگی‌های بسته:** معمولاً موادی که فضای باز شده شکستگی‌ها را پر می‌کنند کانی‌های بلوری هستند. به علت تراکم زیاد و کمبود تخلخل، مقاومت این مواد خیلی بالاست. شکستگی‌های پر شده به صورت امواج سینوسی سفید در لاگ‌های تصویری به نظر می‌رسند (Serra, 1989) مضاف بر آن اگر مقاومت مواد پرکننده شکستگی‌ها بیشتر از ماتریکس (زمینه) باشد آثاری از هاله در اطراف شکستگی‌ها دیده شده به نظر می‌رسد (Khoshbakht et al., 2009). در صورت وجود شکستگی‌های بسته یا پر شده توسط کانی‌های رسوب یافته ثانویه خطوط جریان، هنگامی که ابزار پایین یا مقابل شکستگی قرار دارد فشرده شده و باعث به وجود آمدن یک مقاومت مجازی زیاد می‌شود. پس از آنکه ابزار شکستگی را رد کند خطوط جریان نسبت

نوترون-چگالی استفاده شده است. این نمودار در واقع اختلاف بین مقادیر موج تراکمی واقعی ( $Vp_{real}$ ) و موج تراکمی مصنوعی ( $Vp_{syn}$ ) است. موج تراکمی واقعی طبق رابطه ۱ به دست می‌آید. در رابطه یاد شده  $DT_{log}$  میزان قرائت نمودار صوتی بر حسب  $\mu\text{s/ft}$  است:

$$Vp_{real} = \frac{304.8}{DT_{log}} \quad (1)$$

موج تراکمی مصنوعی را نیز می‌توان طبق رابطه ۲ به دست آورد:

$$Vp_{syn} = \frac{304.8}{DT_{syn}} \quad (2)$$

برای محاسبه نمودار صوتی مصنوعی ( $DT_{syn}$ ) از روابط تخلخل استفاده می‌شود. تخلخل حاصل از نمودار صوتی از رابطه زیر به دست می‌آید که در این رابطه به جای تخلخل صوتی، تخلخل نوترون-چگالی قرار داده می‌شود و نمودار  $DT_{syn}$  از این رابطه محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه نوع سیال آب شور است  $DT_{fl}$  برابر  $\mu\text{s/ft}$  است (Serra & Serra, 2004).

$$\Delta Vp = Vp_{real} - Vp_{syn} \quad (3)$$

بدین ترتیب می‌توان نمودار انحراف سرعت را طبق رابطه ۴ به دست آورد:

$$\phi_s = \frac{DT_{log} - DT_{ma}}{DT_{fl} - DT_{ma}} \rightarrow \phi_{ND} = \frac{DT_{syn} - DT_{ma}}{DT_{fl} - DT_{ma}} \quad (4)$$

حال می‌توان نمودار انحراف سرعت را رسم کرده و روند تغییرات تراوایی را دنبال و تفسیر کرد. بر اساس پاسخ‌های حاصل از نمودار انحراف سرعت، (Wang & Nur, 1990; Anselmetti & Eberli, 1993 & 1999)، سه زون قابل تشخیص خواهد بود. زون‌های دارای انحراف مثبت ( $\Delta Vp > +500$ ) نشان‌دهنده سرعت‌های نسبتاً بالا و اساساً به وسیله تخلخل‌هایی مانند تخلخل درون‌ذره‌ای یا تخلخل قالبی ایجاد شده‌اند. زون‌های دارای انحراف صفر ( $-500 < \Delta Vp < +500$ ) دارای سرعت‌های کم و نزدیک به صفر، اغلب بیانگر تخلخل‌های ریز، بین‌بلوری و بین‌دانه‌ای بوده که پس از ته‌نشست رسوبات به وجود می‌آیند و تراوایی بالایی را سبب می‌شوند. زون‌های دارای انحراف منفی ( $\Delta Vp < -500$ ) اساساً سرعت‌های پایین و تراوایی بالایی دارند.

#### ۴-۳. بحث و بررسی

میدان لالی از میدان‌هایی است که در دامنه زمین خمش جبهه کوهستانی واقع شده است. ستبرای سازند آسماری در این میدان، حدود ۴۰۰ متر است. تاکنون ۲۸ حلقه چاه در این میدان حفاری شده است که از این تعداد، دو حلقه چاه (شماره ۲۲ و ۲۴) که دارای نمودار تصویرگر FMI بودند انتخاب و مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفتند. امروزه با پیچیده‌تر شدن سازوکار تولید از مخازن نفتی و افت فشار عمده مخازن موجود در ایران، تولید به روش‌های ثانویه اهمیت بیشتری یافته است. با توجه به ماهیت مخازن کربناتی و اثر فرایندهای دیاژنز و زمین‌ساختی بر این مخازن (از جمله شکستگی‌ها)، شاهد ناهمگونی‌های بسیاری در این مخازن بوده که پیش‌بینی تولید و بازیافت از آنها را با مشکل مواجه می‌کند. از این رو شناسایی و بررسی شکستگی‌های تحت‌الارضی و تخلخل ناشی از آن در نگهداری از مخازن و بهینه‌سازی تولید، ضروری به نظر می‌رسد.

#### ۴-۱. مقایسه مغزه و نمودار تصویرگر FMI

مهم‌ترین منبع برای تأیید نتایج نمودارهای تصویرگر، مغزه‌ها هستند (Serra & Serra, 2004). به طور کلی در مکان‌هایی که مغزه‌ها به دلیل خردشدگی

شکستگی‌ها پیش از شکستگی‌های طولی تشکیل می‌شوند. با توجه به باز بودن بیشتر شکستگی‌ها و موقعیت ساختاری چاه‌های مورد مطالعه که در نزدیکی ستیج (Crest) تاقدیس واقع شده‌اند (منطقه کششی) و از زون‌های گسلی فاصله زیادی دارند (شکل ۱) در لایه‌های مقاوم (آهک و دولومیت) سازوکار چین‌خوردگی خمشی وجود دارد. به نظر می‌رسد که این شکستگی‌ها منشأ زمین‌ساختی داشته و در اثر خمش و چین‌خوردگی زاگرس شکل گرفته‌اند. شکستگی‌های بسته نیز که به تعداد کمی دیده شدند را می‌توان به عنوان شکستگی‌های جوانی در نظر گرفت که با گذشت زمان دهانه آنها بازتر می‌شود.

### ۴-۳. نمودار انحراف سرعت و مقایسه آن با نمودار FMI و تخلخل ثانویه در چاه ۲۴

برای بررسی نوع خلل و فرج غالب در چاه و تشخیص شکستگی‌ها در مخزن آسماری و تطابق با تخلخل ثانویه، با استفاده از داده‌های رقوم نمودارهای صوتی و نوترون-چگالی و کاربرد روش (Anselmetti & Eberli 1999)، نمودار انحراف سرعت برای مخزن آسماری چاه ۲۴ میدان لالی (ژرفای ۱۸۲۲ تا ۲۱۸۳ متری)، محاسبه شد. همانگونه که در نمودارهای تخلخل-سرعت چاه یادشده دیده می‌شود، رابطه معکوسی بین تخلخل و سرعت وجود دارد، یعنی سرعت با افزایش تخلخل کاهش می‌یابد. این مسئله به روشنی در پیک‌های ژرفایی ۱۹۸۰ و ۲۱۰۰ متری مخزن در نمودار مشخص است (شکل‌های ۸-ب و ج). پراکندگی موجود در این نمودار به انواع مختلف خلل و فرج موجود در سازند مربوط می‌شود. در نمودار تخلخل-سرعت پراکندگی زیادی دیده نمی‌شود که بیانگر عدم تنوع در نوع تخلخل است (شکل ۸-الف).

در اطلاعات حاصل از نمودار انحراف سرعت مربوط به چاه ۲۴ میدان لالی، مقادیر سرعت مثبت (بیشتر از ۵۰۰+ متر/ثانیه) تا مقادیر منفی (کمتر از ۵۰۰- متر/ثانیه) دیده می‌شود که دارای پراکندگی زیادی نیستند که به نوبه خود استدلال دیگری در عدم تنوع تخلخل است که در نمودار تخلخل-سرعت دیده شده بود (شکل ۸-الف). فواصل با مقادیر مثبت بخش بسیار ناچیزی از نمودار را تشکیل می‌دهند (برای نمونه ژرفای ورود به سازند آسماری با میانگین ۵۹۷+ متر بر ثانیه) و حدود ۵۴ متر (۱۵٪) از ستبرای کل مخزن را تشکیل می‌دهند. این انحرافات مثبت بیانگر تخلخل‌هایی مانند تخلخل درون‌ذره‌ای یا تخلخل قالبی هستند که در مطالعات مقاطع نازک بسیار ناچیز بوده (به علت فراوانی رخساره مادستون و کمبود فسیل) و تأییدی بر نتایج نمودار انحراف سرعت است (شکل ۹-الف). فراوانی انحرافات صفر (بین ۵۰۰- تا ۵۰۰+ متر بر ثانیه) در نمودار با توجه به مشاهدات مقاطع نازک، مغزه و نمودار بازشدگی دهانه شکستگی‌ها (بیشترین مقدار آن در مخزن برابر ۰/۵ میلی‌متر) بیانگر ریزتخلخل‌هایی است که تراوایی را کاهش می‌دهند. این انحرافات ۱۴۴ متر (۴۰٪) از ستبرای کل مخزن را به خود اختصاص داده‌اند. در تفسیر فواصل با مقادیر منفی (کمتر از ۵۰۰- متر/ثانیه) که بر طبق مشاهدات (Anselmetti & Eberli 1999)، به علت وجود حفره و ریزش دیواره چاه، وجود گاز و یا شکستگی بر روی نمودار انحراف سرعت نشان داده می‌شوند باید گفت که فواصل دارای ریزش پس از تشخیص توسط نمودار قطریاب و نمودار FMI در چاه ۲۴ از میان داده‌های موجود حذف شده‌اند. مضاف بر اینکه نمودارهای نوترون و چگالی، اثر آنچنانی گاز را در داخل چاه نشان ندادند؛ افزایش تخلخل در نمودار چگالی و کاهش آن در نمودار نوترون حاصل وجود گاز در خلل و فرج سازند است که به آن اثر گاز گفته می‌شود؛ از این رو سرعت‌های منفی (مقادیر کمتر از ۵۰۰- متر/ثانیه) در نمودار انحراف سرعت چاه ۲۴ به وجود شکستگی‌ها (همچنین با توجه به تطابق بسیار خوب با نتایج حاصل از مطالعات مقاطع نازک) نسبت داده شد. این مقادیر منفی به خوبی با نمودار تخلخل ثانویه و همچنین تراکم نسبی شکستگی‌ها در زون‌های مختلف همخوانی دارد (شکل ۹).

به حالت نرمال حالت واگراتری به خود می‌گیرند که یک مقاومت مجازی ایجاد می‌کند. نتیجه این پدیده روی نمودارهای تصویری الکتریکی یک هاله متقارن که به صورت تغییر رنگ ناگهانی از روشن (نارسانا) به تیره (رسانا) یا به عکس راقم می‌زند (غفوری، ۱۳۸۴). اثر هاله‌ای یک نشان متداول برای شناسایی شکستگی‌های پر شده در کرنات هاست (شکل ۵). تقریباً بیشتر شکستگی‌های پر شده در چاه‌های مطالعه شده اثر هاله را نشان داده و گسسته بودند.

– **تحلیل ساختمانی و تراکم شکستگی‌های باز و بسته:** در چاه لالی ۲۲ (دماغه باختری یال جنوبی تاقدیس لالی) مخزن آسماری که یک مخزن تقریباً ناهمگن (هتروژن) است تعداد ۱۰۰ عدد شکستگی باز (۵۸ عدد شکستگی نیمه‌باز و ۴۰ عدد شکستگی احتمالی) دارای شیبی متغیر بین ۸۶-۵۴ درجه با آزیموت S30E و S35W هستند و امتداد آنها N55W-S55E, N60E-S60W است. افزون بر این ۵۴ عدد شکستگی بسته در سازند آسماری تعیین شده که دارای شیبی حدود ۸۴-۶۲ درجه به سمت S25E, N63W با امتداد N65E-S65W, N27E-S27W هستند (شکل ۶). بیشترین تراکم شکستگی‌ها در زون‌های ۱، ۲ و ۷ سازند آسماری بود؛ به طوری که در زون ۱، ۴۰ عدد شکستگی باز (در هر متر ۰/۸۶۹ عدد) به طور عمده در فاصله ۲۰۸۸-۲۰۷۴ متری، در زون ۲، ۱۷ عدد شکستگی باز (در هر متر ۰/۳۳۶ عدد) و بالاخره در زون ۷، ۲۹ عدد شکستگی باز (در هر متر ۰/۵۲۷ عدد) در فاصله ۲۴۲۳-۲۴۱۰ متری دیده می‌شود. به همین ترتیب در چاه لالی ۲۴ (دماغه شمال خاوری یال جنوبی تاقدیس لالی) مخزن آسماری تعداد ۷۴۲ شکستگی باز (ممتد، منقطع، حفره‌ای) و ۴۸ شکستگی باز احتمالی دارای میانگین شیبی متغیر بین ۸۶-۴۰ درجه با آزیموت S40-80W و N25-70E هستند و امتداد آنها N10-50W, S10-50E تا N20-65W, S20-65E است. افزون بر ۱۱ عدد شکستگی بسته در سازند آسماری مشخص شد که گستره شیبی در حدود ۷۸-۵۸ درجه به سمت S25E, N20E با امتداد N65E/S65W, N70W/S70E داشتند (شکل ۷-الف).

در این چاه نیز بیشترین تراکم شکستگی‌ها در زون‌های ۱، ۲ و ۷ هستند به طوری که در زون ۱، ۱۶۷ عدد شکستگی باز (در هر متر ۳/۲۴ عدد) به طور عمده در فاصله ۱۸۳۵-۱۸۳۳/۵ متری و در زون ۲، ۱۳۹ عدد شکستگی باز (در هر متر ۲/۸۶۵ عدد) و نهایتاً در زون ۷، ۱۲۵ عدد شکستگی باز (در هر متر ۱/۸۱۱ عدد) در فاصله ۲۱۳۲-۲۱۵۲ متری دیده شد، ضمن اینکه زون ۵ با تعداد ۰/۳۷۶ شکستگی باز در هر متر کمترین تراکم شکستگی را دارد (شکل ۷-ب). بر اساس ارتباط امتداد شکستگی‌های باز نسبت به امتداد لایه‌بندی، این شکستگی‌ها در سه دسته اصلی (دو دسته شکستگی مورب و یک دسته شکستگی طولی) قابل تقسیم‌اند. دسته اول شکستگی‌ها که با حرف A نشان داده شده‌اند دارای امتدادی تقریباً برابر با امتداد لایه‌بندی بوده و بدین ترتیب شکستگی‌های طولی (امتدادی) نامیده می‌شوند. امتداد این دسته از شکستگی‌ها در چاه لالی ۲۲ برابر N50E, S50W و در چاه لالی ۲۴ برابر N25W, S25E بود. دو دسته دیگر که با حروف B و C بر روی تصاویر نشان داده شده‌اند دارای امتداد مورب نسبت به امتداد لایه‌بندی بوده و از جمله شکستگی‌های مورب به شمار می‌روند. امتداد دسته شکستگی‌های مورب نوع B در چاه لالی ۲۲ برابر N20E, S20W و در چاه لالی ۲۴ برابر N10W, S10E بود. امتداد دسته دیگر شکستگی‌های مورب نوع C در چاه لالی ۲۲ برابر N80E, S80W و در چاه لالی ۲۴ برابر N50W, S50E بود (شکل‌های ۶ و ۷).

گفتنی است که با توجه به مطالب گفته شده در بالا پراکندگی آنچنانی در تغییرات آزیموت (جهت) شیب دسته‌های مجزای شکستگی‌ها دیده نمی‌شود که بتوان بر این اساس آنها را دسته‌بندی کرد. شکستگی‌های مورب (برشی) در آغاز مراحل چین‌خوردگی غالب هستند. به علت اینکه ساختار تماماً در معرض نیروهای فشاری است (Gholipour, 1998). معمولاً شکستگی‌های مورب (دسته‌های B و C) در یال تاقدیس شکل می‌گیرند و ادامه آنها محور تاقدیس را قطع می‌کند. این

زاگرسی (N25W, S25E) یعنی موازی با محور طاق‌دیس بودند و در چاه ۲۲ عمود بر امتداد کوه‌های زاگرس (N50E, S50W) بودند.

تراکم شکستگی در زون‌های مختلف مخزن بر اساس فراوانی نسبی به ترتیب زیر است: زون ۱ با ۳/۲، زون ۲ با ۲/۸، زون ۳ با ۱/۰۲، زون ۴ با ۱/۶، زون ۵ با ۰/۳۷، زون ۶ با ۱/۶ و زون ۷ با ۱/۸ عدد شکستگی در هر متر.

در نمودار انحراف سرعت، مقادیر منفی (کمتر از ۵۰۰- متر بر ثانیه) در بیشتر بخش‌ها بیانگر وجود شکستگی‌ها بوده و تطابق خوبی را با تخلخل ثانویه دارد. بر اساس نمودار انحراف سرعت و مطالعه مقاطع نازک در مخزن مورد مطالعه، تخلخل‌های غالب به صورت بین بلوری و از نوع شکستگی هستند. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که برای مطالعه شکستگی‌ها، به‌ویژه در مخازن شکسته شده، لاگ‌های تصویری جایگزین مناسب و مفیدی برای مغزه هستند.

### سیاسگراری

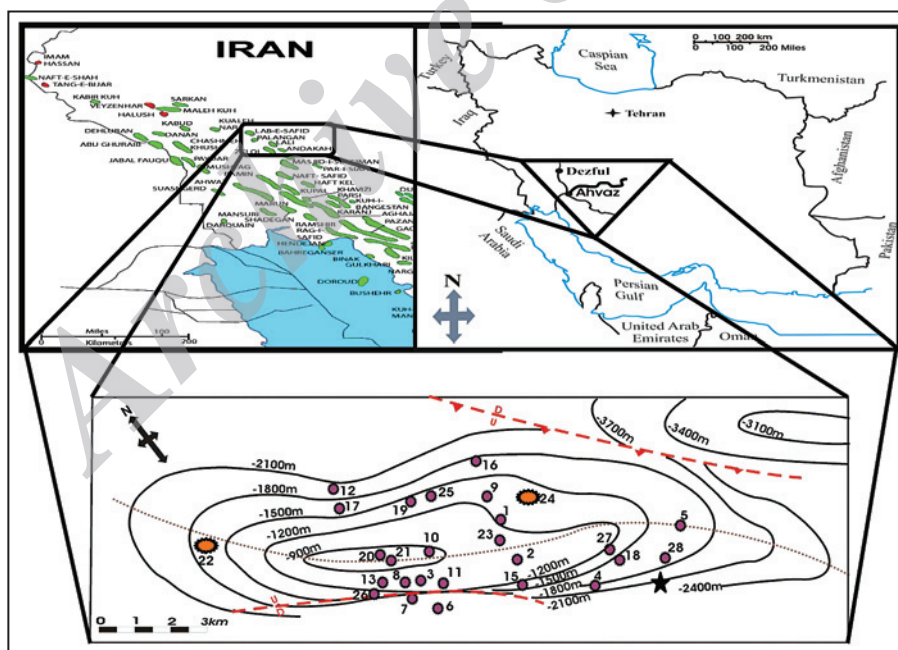
بدینوسیله از همکاری و حمایت‌های شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و نیز از داوران محترم مقاله که در بالا بردن کیفیت آن نقش بسزایی داشته‌اند سپاسگزاری می‌شود.

انحرافات صفر (مقادیر ۵۰۰+ تا ۵۰۰-) که بیشترین بخش نمودار را به خود اختصاص داده‌اند، روی هم‌رفته ۱۴۴ متر (۴۵٪) از ستبرای کل مخزن را در بر می‌گیرند. این انحرافات بیانگر تخلخل بین ذره‌ای هستند که در مطالعات مقاطع نازک دیده شد و همخوانی بسیار خوبی را با نمودار انحراف سرعت نشان می‌دهد (شکل ۹ - الف).

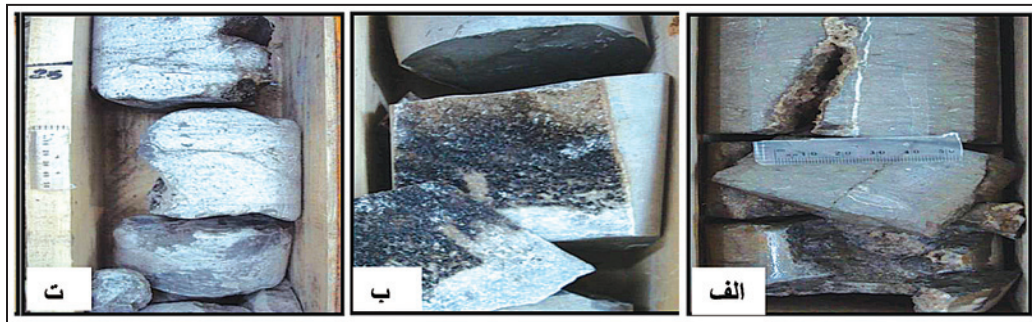
### ۵- نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعه مغزه‌های حفاری، شکستگی‌ها عمدتاً، از دو نوع طولی و عرضی بوده و با یک زاویه شیب بالا نسبت به سطح لایه‌بندی تشکیل شده‌اند. در بیشتر موارد بین عوارض مشاهده شده بر روی مغزه با عوارض تصاویر نمودار مطابقت خوبی وجود دارد. در بررسی مغزه‌ها، شکستگی‌های نوع رهایی که در اثر برداشته شدن فشار از روی سنگ مخزن به وجود آمده‌اند در نمودار تصویرگر FMI دیده نمی‌شوند.

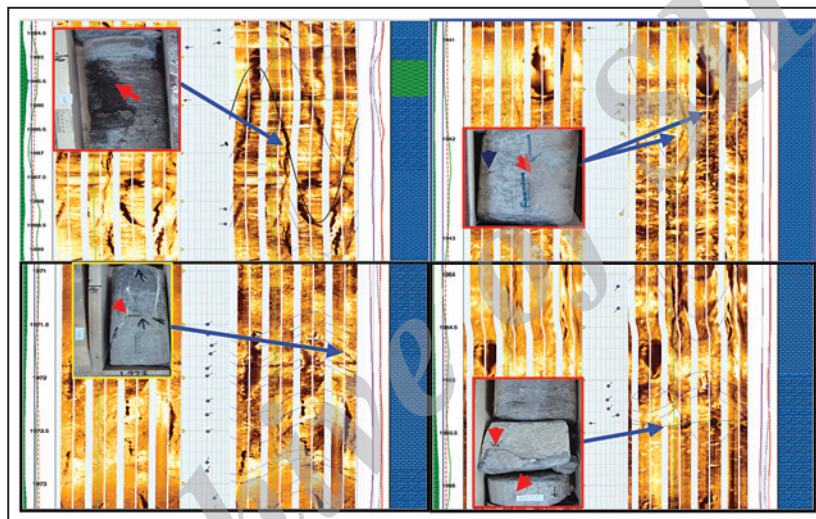
شکستگی‌های باز در نمودار تصویرگر FMI نسبت به امتداد لایه‌بندی به دو دسته طولی و مورب تقسیم شدند. شکستگی‌های طولی در چاه لالی ۲۴ دارای امتداد



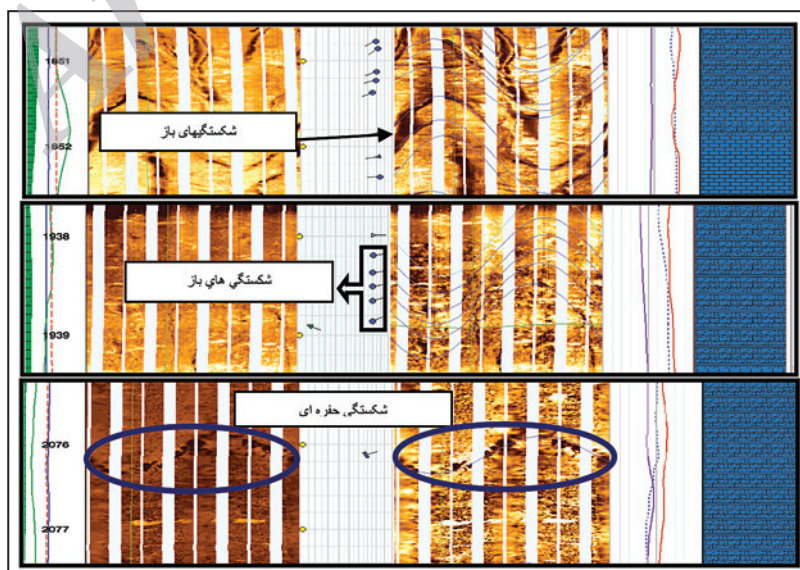
شکل ۱- موقعیت ساختمانی میدان نفتی لالی در بین میداین مجاور (Sherkati & Letouzey, 2004) و چاه‌های مورد مطالعه (۲۲ و ۲۴).



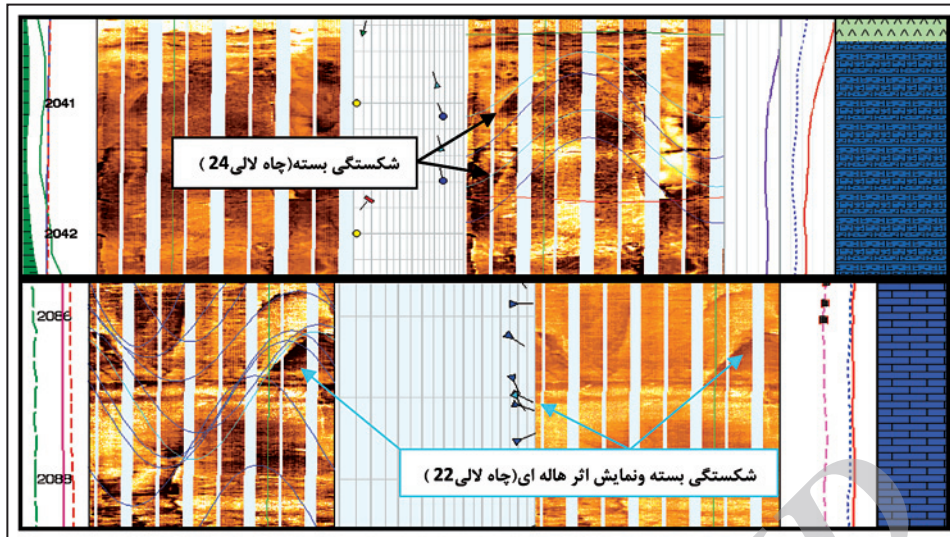
شکل ۲- نمونه‌ای از آغشتگی به نفت در مغزه‌های چاه‌های مورد مطالعه: الف) آغشتگی شدید در چاه لالی ۲۲، ژرفای ۲۱۰۶/۲ متری (زون ۱)؛ ب) آغشتگی بسیار شدید در چاه لالی ۲۲، ژرفای ۲۰۸۶/۸ متری (زون ۱)؛ ت) آغشتگی متوسط در چاه لالی ۲۴، ژرفای ۱۹۸۳/۳ متری (زون ۴).



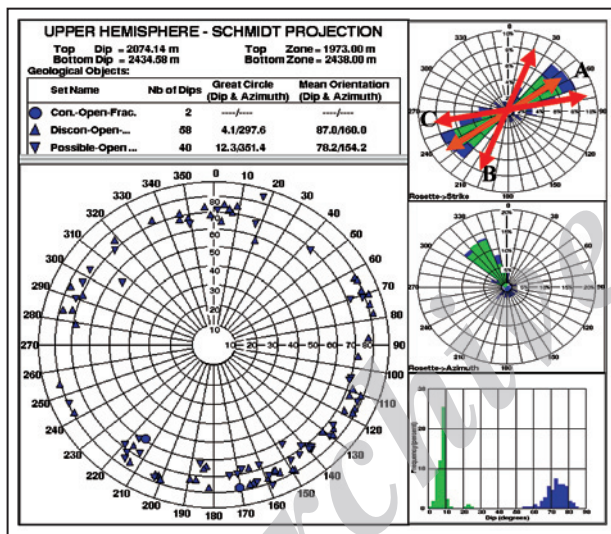
شکل ۳- تطابق شکستگی‌های مشاهده شده بر روی مغزه با تصاویر نمودار FMI در چاه لالی ۲۴.



شکل ۴- نمایش شکستگی‌های باز در زون‌های مختلف سازند آسماری (چاه ۲۴).

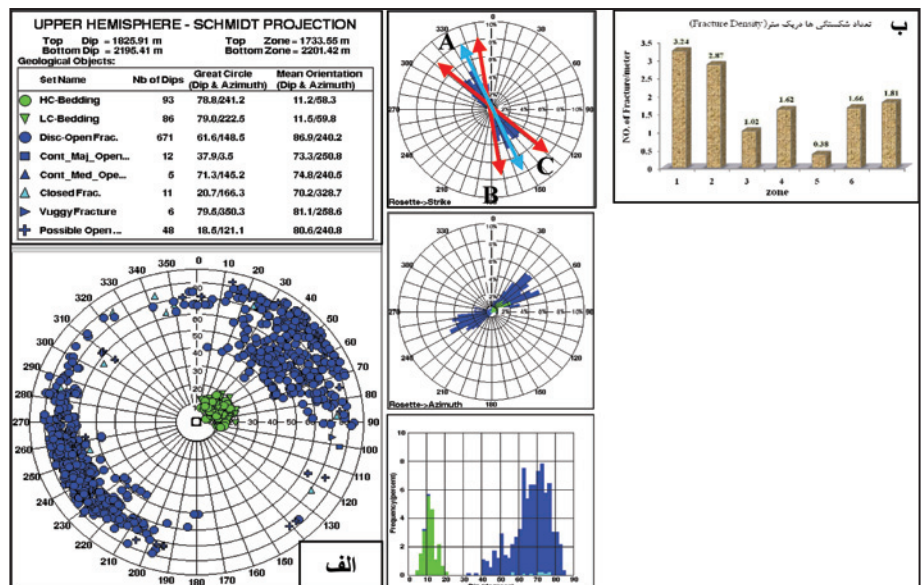


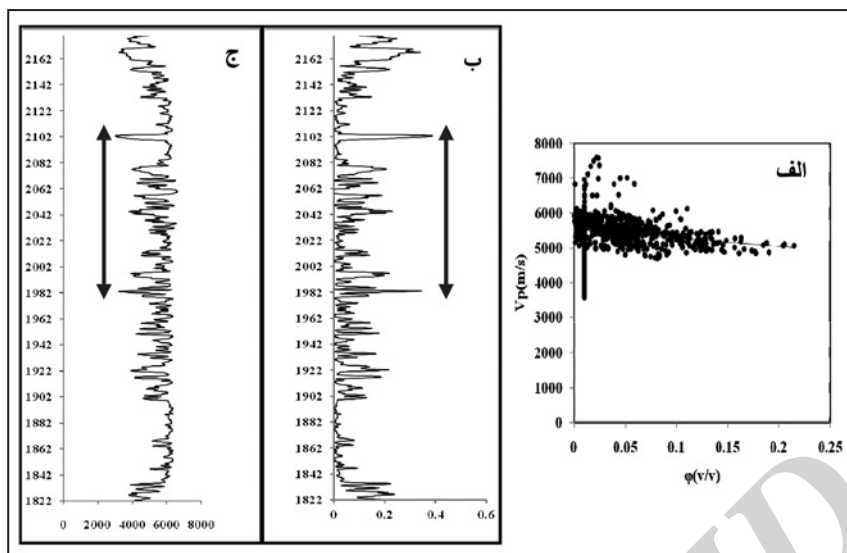
شکل ۵- نمایش شکستگی‌های بسته بر روی تصاویر نمودار FMI سازند آسماری.



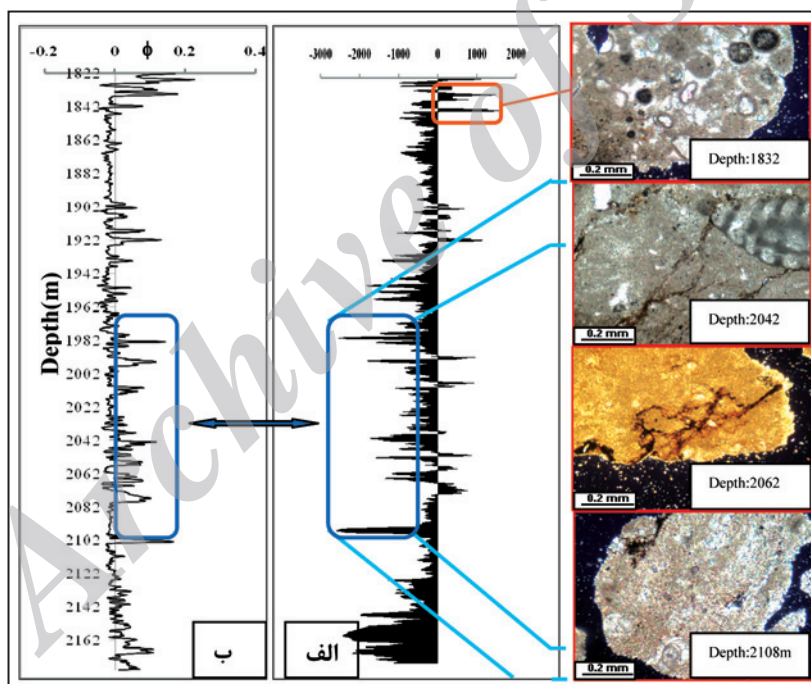
شکل ۶- پراکندگی شکستگی‌های باز (ممتد، منقطع، حفره‌ای و احتمالی) نسبت به امتداد لایه بندی در سازند آسماری چاه لالی ۲۴ نشان‌دهنده دو نوع (سه دسته) C: شکستگی‌های طولی (کششی) و مورب هستند.

شکل ۷- الف) پراکندگی شکستگی‌های باز (ممتد، منقطع، حفره‌ای و احتمالی) نسبت به امتداد لایه بندی در سازند آسماری چاه لالی ۲۴ که نشان‌دهنده دو نوع (سه دسته) C, B, A شکستگی‌های طولی (کششی) و مورب هستند؛ ب) فراوانی نسبی شکستگی‌های باز در تمام زون‌های سازند آسماری بر حسب تعداد شکستگی در یک متر (چاه لالی ۲۴).





شکل ۸- الف) کراس پلات درصد تخلخل - سرعت؛ ب) تخلخل حاصل از نمودار نوترون (درصد)؛ ج) سرعت حاصل از تخلخل (متر بر ثانیه) در چاه ۲۴ میدان لالی (مخزن آسماری).



شکل ۹- الف) نمودار انحراف سرعت (متر بر ثانیه)؛ ب) تخلخل ثانویه (درصد) و همخوانی (اشکال مستطیلی) این دو نمودار در مخزن مورد مطالعه با انواع تخلخل (به ترتیب از بالا: قالبی، شکستگی و بین بلوری) در مقاطع نازک (10x).

## کتابنگاری

- رضایی، م.، ۱۳۸۷- زمین شناسی نفت، انتشارات علوی، چاپ سوم، ۴۷۲ صفحه.
- غفوری، م.، ۱۳۸۴- آنالیز شکستگی ها و ژئومکانیک چاه با استفاده از نمودارهای تصویر گر، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۲۷، صفحه ۲۱ تا ۱۱.
- محمودلو، م.، ۱۳۸۱- روش های چاه پیمایی توسط ابزار FMS، ویژه نامه بلور، شماره ۱۱، سومین کنفرانس دانشجویی معدن، صفحه ۱۰ تا ۱۳.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- زمین شناسی نفت زاگرس، سازمان زمین شناسی کشور، چاپ نخست، ۵۸۹ صفحه.
- مطیعی، ه.، ۱۳۸۷- زمین شناسی نفت سنگ های کربناتی ۱ و ۲، انتشارات آراین زمین، ۸۹۱ صفحه.
- نورایی، خ.، علیزاده، ب.، ساعدی، ق.، عمرانی، ه. و عزیززی، ع.، ۱۳۸۹- کاربرد نمودار انحراف سرعت در تعیین نوع تخلخل و روند تراوایی، بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، ارومیه.

## References

- Abraham, M. L., 2005- Investigation of thin bed strata using borehole Image Log and high resolution Seismic data. A Dissertation Submitted to the graduate Faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, University of Oklahoma, 150 p.
- Anselmetti, F. S. & Eberli, G. P., 1993- Controls on sonic velocity in carbonates: pure & applied geophysics, v.141, no.2-4, p.287-323.
- Anselmetti, F. S. & Eberli, G. P., 1999- The velocity – deviation log: A tool to predict pore type permeability trends in carbonates drill holes from sonic & porosity or density logs , AAPG Bulletin, v. 83, no. 3, p.450-466.
- Eichhubl, P., Davatzes, N. C. & Becker, S. P., 2009- Structural and diagenetic control of fluid migration and cementation along the Moab fault, Utah, AAPG Bulletin, v. 93, no. 5 (May 2009), pp. 653–681.
- Gholipour, A. M., 1998. Patterns and structural positions of productive fractures in the Asmari reservoirs, Southwest Iran. J. Can. Pet. Tech. 37, 1.
- Ghosh, K. & Mitra, S., 2009 - Structural Controls of Fracture Orientations, Intensity and connectivity Teton anticline Sawtooth range, Montana, AAPG Bulletin, v, 93.1, pp.995-1014.
- Khoshbakht, F., Memarian, H. & Mohammadnia, M., 2009- Comparison of Asmari, Pabdeh and Gurpi formation's fractures, derived from image log- Journal of Petroleum Science and Engineering 65–74.
- Nelson, R. A., 2001- Geologic Analysis of naturally Fractured reservoirs, Gulf publishing, Houston , Texas , Contr. In petrol . Geology & Eng., 2nd ed ., 332p.
- Paul, A. C., 2002- Evolution of wireline well – logging Technique (The Eye of oil industry ) in India and Advances Beyond 2000 , Geohorizon january 2002 /2.
- Philip, G. Z., Jennings, W. J., Olson, E. J., Laubach, E. S. & Holder, J., 2002- Modeling Coupled fracture-matrix fluid flow in geomechanically simulated fracture networks, SPE Reservoir Evaluation and Engineering August, 300-308.
- Serra, O. & Serra, L., 2004- Well Logging Data and Acquisition and Applications. editions Serralog – 25 Rue des Caumieres- 14370 Mery Corbon – France, 674 p.
- Serra, O., 1989- Formation micro scanner image interpretation, 2nd ed., Schlumberger educational services, 117p.
- Sherkati, S. & Letouzey, J., 2004- Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh Zone and Dezful Embayment), Iran. Marine and Petroleum Geology, 21, 535–554.
- Stroble, R., 2009- The Value of Dipmeter and Borehole Images in oil sands Deposit. A Canadian Study.
- Wang, Z. & Nur, A., 1990- Dispersion analysis of acoustic velocities in Rocks: journal of Acoustical society of America, v.87, no.6, p.2384-2395.
- Wyllie, M. R. J., Gregory, A. R. & Gardner, L. W., 1956- Elastic Wave Velocities in heterogeneous & porous media. Geophysics, v.21, p.41-70.

Archive of SID