

مطالعه و بررسی توالی‌های ماسه شیلی لایه‌ای در میادین نفتی با استفاده از مدل توماس اشتیبر و نمودارهای رایج ارزیابی مخزن

سعید پرویزی قلعه^{۱*}، عفت رحیمی فر^۲ و علی کردوانی^۳

۱- دانشکده مهندسی نفت و گاز، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

۲- دانشکده علوم، دانشگاه اراک، ایران

۳- اداره پتروفیزیک شرکت مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۲۳

چکیده

لایه‌های نازک ماسه‌ای مابین رس توانایی تولید هیدروکربن داشته و اگر این لایه‌ها به‌خوبی مطالعه و بررسی شوند می‌توان هیدروکربن از آن‌ها تولید کرد. غالباً این لایه‌ها به دلیل ضخامت کم لایه و قدرت تفکیک کم ابزارهای رایج نمودارگیری ارزیابی پتروفیزیکی مخزن در روش‌های معمول ارزیابی، نادیده گرفته شده و تنها میانگین خواص این لایه‌ها محاسبه می‌شود که این باعث ایجاد خطا در پیش‌بینی میزان نفت و گاز موجود در لایه‌ها می‌گردد. برای بررسی و آنالیز بهتر این لایه‌ها و بالا بردن تولید از مخزن روش‌های مختلفی وجود دارد و با استفاده از این روش‌ها، می‌توان توالی ماسه شیلی لایه‌ای را به خوبی شناسایی کرده و خواص پتروفیزیکی آن‌ها را محاسبه نمود. در این مقاله با استفاده از مدل توماس اشتیبر و نمودارهای رایج ارزیابی مخزن توالی‌های ماسه‌ای شیلی نازک لایه (LSS) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. با استفاده از ماژول Laminated Shaly Sand Analysis نرم‌افزار Geolog ۷/۲، مدل توماس اشتیبر بر روی لایه‌های مورد نظر اجرا شد و نتایج این مدل و نمودارهای رایج ارزیابی مخزن با استفاده از این نرم‌افزار مورد آنالیز و بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج آنالیز در حالت بدون اعمال حدود برش و با استفاده از مدل توماس اشتیبر و ابزارهای رایج نمودارگیری مشاهده شد که مقادیر تخلخل برای چاه A به اندازه ۶/۵٪ و برای چاه B به اندازه ۵/۴٪ افزایش یافته و مقادیر اشباع آب برای چاه A به اندازه ۳۸/۸٪ و برای چاه B به اندازه ۱۶/۳٪ کاهش یافته‌اند. در نهایت با مقایسه نتایج آنالیزها این نتیجه حاصل شد که مدل توماس اشتیبر با دقت بالاتری نسبت به نمودارهای رایج ارزیابی مخزن خواص توالی‌های ماسه شیلی نازک‌لایه را محاسبه می‌کند و در مطالعه این توالی‌ها می‌توان از این مدل استفاده کرد.

کلمات کلیدی: توالی ماسه شیلی لایه‌ای، مدل توماس اشتیبر، نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن، خواص پتروفیزیکی.

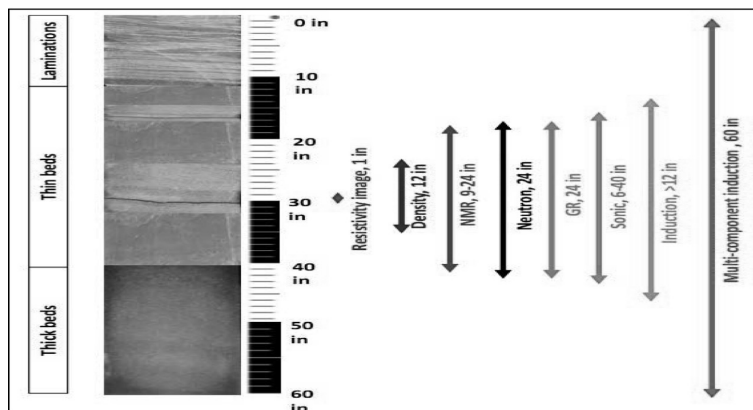
مقدمه

$$C_t = C_{sh} \times V_{sh} + C_{sd} \times (1 - V_{sh}) \quad (1)$$

در رابطه بالا C_t مقدار هدایت الکتریکی کلی، C_{sh} هدایت الکتریکی شیل، V_{sh} حجم شیل و C_{sd} هدایت الکتریکی ماسه می‌باشد. با تغییر شکل رابطه آقای پوپن و همکارانش براساس هدایت الکتریکی ماسه مقدار اشباع هیدروکربن در لایه‌های ماسه‌ای، توالی‌های ماسه‌ای شیلی نازک‌لایه محاسبه می‌شود. محدودیت عمده رابطه آقای پوپن و همکارانش در چاه‌های افقی می‌باشد چون این مدل برای چاه‌های عمودی ایجاد شده است. مشکل عمده توالی‌های ماسه‌ای شیلی نازک‌لایه وقتی است که ضخامت لایه‌های ماسه و شیل کمتر از قدرت تفکیک قائم ابزارهای نمودارگیری باشد. شکل ۱ قدرت تفکیک قائم ابزارهای مختلف نمودارگیری و انواع توالی لایه‌ها براساس ضخامت را نشان می‌دهد، که این شکل توسط آقای پوپن و همکارانش ارائه شده است. [۱]. روش‌هایی که برای بررسی توالی‌های ماسه شیلی لایه‌ای وجود دارد عبارتند از [۲، ۳ و ۴]:

- روش‌های مغزه‌گیری
- آنالیز Thomas-Stieber
- استفاده از نمودار NMR
- روش نمودار تصویرگر^۱ و آنالیز نمودار مربعی با قدرت تفکیک بالای حاصل از آن
- روش ناهمسانی مقاومت ویژه.

توالی‌های ماسه‌ای شیلی نازک‌لایه به‌عنوان یکی از منابع عظیم نفتی در برخی از نقاط دنیا به حساب می‌آیند. مشکل عمده در بحث ماسه‌های شیلی نازک‌لایه نحوه اکتشاف و شناسایی آن‌ها می‌باشد. به دلیل اثر هم‌زمان لایه‌های نازک ماسه و شیل مجاور بر روی ابزارهای نمودارگیری، مقدار مقاومت افقی که توسط نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن اندازه‌گیری می‌شود کمتر از مقدار واقعی مقاومت ماسه در توالی‌های ماسه‌ای شیلی لایه‌ای دارای نفت می‌باشد. این اختلاف به دلیل رسانایی بالای شیل‌ها نسبت به ماسه‌ها بوده و در این حالت قرائت ابزارهای نمودارگیری بیشتر تحت تأثیر شیل‌ها قرار می‌گیرند. مدل‌های مختلفی برای بررسی تأثیر حجم شیل روی مقاومت افقی وجود دارد که بیشتر این مدل‌ها برای ماسه‌های شیلی با توزیع شیل پراکنده توسعه یافته‌اند (Dual_Water، Waxman_Smit و...). این مدل‌ها دقت کافی برای ماسه‌های شیلی لایه‌ای فراهم نمی‌کنند و مقدار نفت موجود را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کنند. برای غلبه بر این مشکل در سال ۱۹۵۴، پوپن و همکارانش یک رابطه بین ماسه و شیل رسانای لایه‌ای پیشنهاد دادند. در این مدل لایه‌های ماسه و شیل به‌صورت متوالی و عمود بر چاه فرض شده‌اند. رابطه پوپن و همکارانش به‌صورت زیر می‌باشد [۱]:



شکل ۱ قدرت تفکیک قائم ابزارهای نمودارگیری و انواع توالی لایه‌ها براساس ضخامت [۲].

کل بزرگ‌تر مساوی تخلخل ماکزیمم می‌باشد و در ماسه‌های شیلی لایه‌ای مقدار تخلخل کل بزرگ‌تر از تخلخل ماکزیمم می‌باشد. با توجه به نمودار T-S شکل ۲ حجم شیل لایه‌ای در این مدل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{lam} = \frac{\Phi_t - \Phi_{max} + V_{sh} \times (1 - \Phi_{sh})}{1 - \Phi_{max}} \quad (2)$$

حجم شیل پراکنده و یا ساختاری نیز از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود:

- اگر نوع توزیع شیل لایه‌ای - ساختاری باشد:

$$V_{sh-str} = V_{sh} - V_{lam}$$

- اگر نوع توزیع شیل لایه‌ای - پراکنده باشد:

$$V_{sh-disp} = V_{sh} - V_{lam}$$

با توجه به مدل T-S مقدار تخلخل کلی و مؤثر ماسه لایه‌ای از رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

$$\Phi_{isd} = \frac{\Phi_t - (V_{lam} \times \Phi_{sh})}{1 - V_{lam}} \quad (3)$$

$$\Phi_{esd} = \frac{\Phi_t - (V_{sh} \times \Phi_{sh})}{1 - V_{lam}} \quad (4)$$

و حجم ماسه نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{sd} = 1 - V_{lam} \quad (5)$$

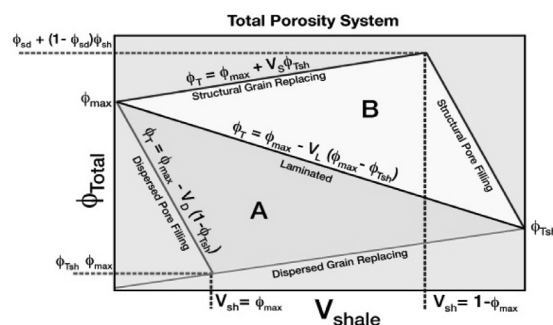
مزایای مدل توماس اشتیبر [۵]

- روش راحتی برای مطالعه ماسه‌های شیلی نازک‌لایه است و داده‌های مورد نیاز برای استفاده از این مدل تخلخل کلی ماسه تمیز (Φ_{sh}) و تخلخل کلی شیل (Φ_{shale}) می‌باشد که با این‌ها می‌توان نوع شیل از لحاظ ساختار (لایه‌ای و...) و خواص آن‌ها را محاسبه نمود.

مدل توماس - اشتیبر (Thomas- Stieber)

توماس - اشتیبر (T-S) در سال ۱۹۷۵ مدلی را برای شناسایی نوع توزیع شیل در سنگ‌ها (شیل لایه‌ای - ساختاری یا شیل لایه‌ای - پراکنده) و محاسبه تخلخل ماسه در توالی‌های ماسه شیلی لایه‌ای ارائه دادند که این مدل براساس حجم کلی شیل (V_{shale}) و تخلخل کلی (Φ) به دست آمده از نمودارهای گاما و دانسیته، پارامترهای ذکر شده را برای ما محاسبه می‌کند [۲].

روش T-S در سال ۱۹۸۶ توسط جوزاس دوباره بازبینی شد و با جزئیات بیشتری منتشر شد که در این مدل علاوه بر تخلخل کلی تأثیر تخلخل مؤثر نیز در نظر گرفته شد. مدل T-S دو ورودی نیاز دارد تا بتواند نوع توزیع شیل و تخلخل ماسه لایه‌ای را حساب کند. این دو ورودی تخلخل بیشینه (Φ_{max}) یعنی همان تخلخل ماسه تمیز ($\Phi_{ss} = \Phi_{max}$) و تخلخل کلی شیل (Φ_{shale}) می‌باشد. در یک بازه عمقی که فقط شامل ماسه و شیل می‌باشد، تخلخل کل نشان دهنده مجموع تخلخل قسمت‌های ماسه‌ای و شیلی و تخلخل ماکزیمم نشان‌دهنده مجموع تخلخل قسمت‌های ماسه‌ای در این بازه می‌باشد. اختلاف تخلخل کل و ماکسیمم برابر تخلخل شیل می‌باشد که این تخلخل شامل تخلخل شیل‌های لایه‌ای، ساختاری و پراکنده در آن بازه می‌باشد. در مدل توماس تخلخل ماسه به عنوان ورودی وارد نرم‌افزار می‌شود که در این مقاله این مقدار در حدود ۰/۳۵ بود، ولی تخلخل کل جزء ورودی‌های مدل توماس اشتیبر نمی‌باشد. ولی به‌طور کلی تخلخل



شکل ۲ مدل توزیع شیل توماس - اشتیبر [۶].

(D) برای این بازه‌ها محاسبه شد.

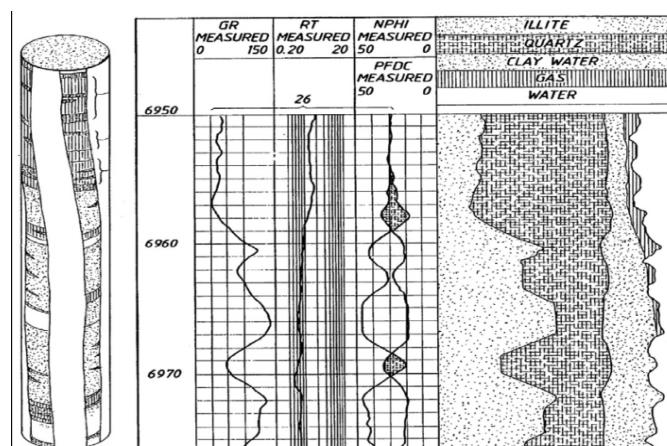
تعیین محل ماسه شیلی لایه‌ای با استفاده از نمودار تصویرگر مقاومتی

نمودارهای تصویرگر از مهم‌ترین ابزارها در زمینه اکتشاف، حفاری و توسعه مخازن نفتی هستند. در حال حاضر استفاده از انواع تصویرگرها، شرکت‌های نفتی را از انجام عملیات مغزه‌گیری در بسیاری از موارد بی‌نیاز کرده‌اند. با استفاده از این نمودارها، می‌توان محل توالی ماسه‌های شیلی لایه‌ای را تشخیص داد. همان‌گونه که در سمت چپ شکل ۳ دیده می‌شود، نمودار تصویرگر مقاومتی در قسمت فوقانی چاه، لایه‌های ماسه شیلی نازک را تشخیص می‌دهد. ولی در سمت چپ شکل ۴ دیده می‌شود، نمودار CGR در قسمت فوقانی چاه، نتوانسته لایه‌های ماسه شیلی نازک را تشخیص دهد. بنابراین استفاده از روش تصویرگر ما را در شناسایی عمق دقیق و وجود توالی‌های ماسه شیلی لایه‌ای کمک خواهد کرد. برای تعیین دقیق بازه‌ای که ماسه شیلی لایه‌ای هست از نمودار تصویرگر مقاومتی از نوع OBMI (در چاه A شکل ۵ و FMI (در چاه B شکل ۶ استفاده می‌شود. با توجه به بررسی‌هایی انجام شده، در چاه A بازه عمقی ۲۷۵۲/۲ - ۲۷۴۸ m حفار و در چاه B بازه عمقی ۲۶۵۹/۰۷۵ - ۲۶۵۲/۰۶۵ m حفار دارای ماسه شیلی لایه‌ای می‌باشد.

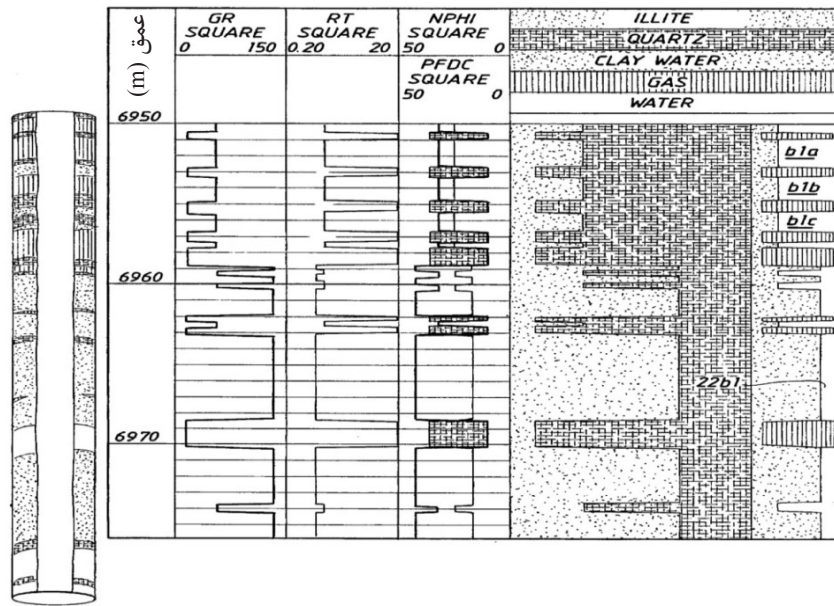
• برای استفاده از این روش نیازی به داشتن ابزارهای جدید و گران قیمت نیست و فقط با نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن می‌توان خواص ماسه‌های شیلی نازک لایه را حساب کرد.

میدان مورد مطالعه

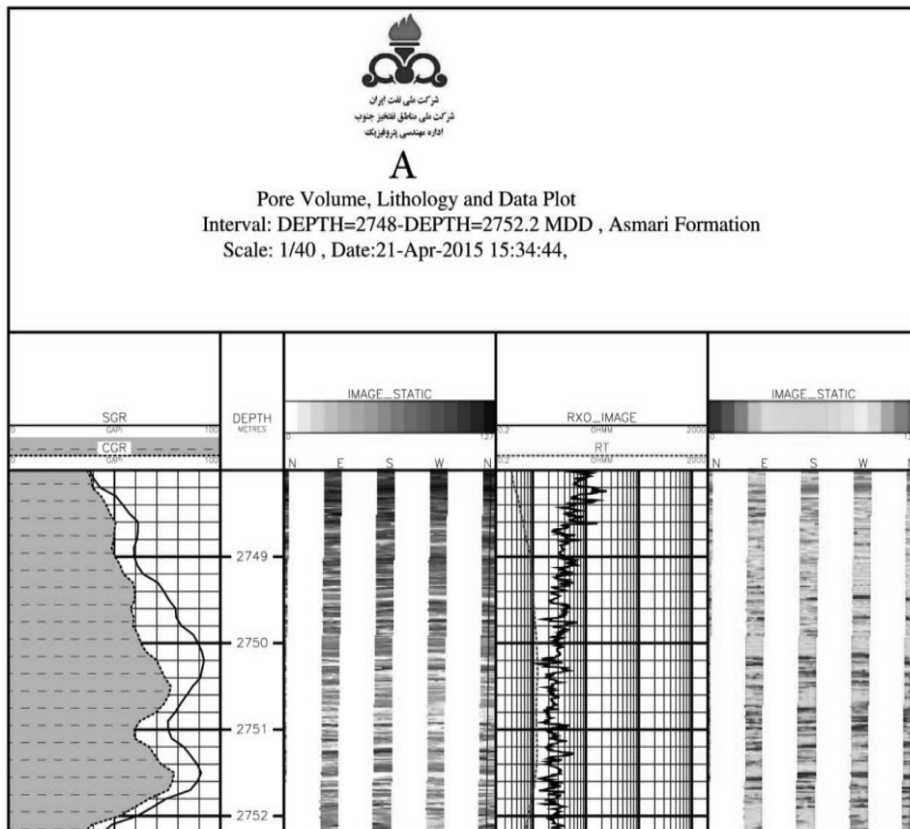
میدان اهواز در استان خوزستان واقع می‌باشد. این میدان تاقدیسی به طول ۶۷ و عرض ۶ km که دارای روند شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد، در افق آسماری به صورت دو تاقدیس مجزا از هم در می‌آید. سازند آسماری در این میدان نفتی در جنوب فرو افتادگی دزفول شامل بخش ماسه سنگی می‌باشد [۶]. در میدان مذکور چاه‌های زیادی حفر شده است. از بین این چاه‌ها دو تا چاه A و B که هر دو در میدان اهواز و مخزن آسماری حفر شده‌اند، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند زیرا در این چاه‌ها داده‌های Image و نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن به‌طور کامل وجود دارد. با توجه به بررسی‌ها و مطالعاتی که روی نمودارهای این چاه‌ها انجام شد، مشخص شد که در سازند آسماری آن‌ها ماسه شیلی لایه‌ای وجود دارد. بازه‌هایی از چاه‌های A و B که در آن‌ها ماسه شیل لایه‌ای وجود دارد، با مدل توماس اشتیبر و نمودارهای رایج ارزیابی مخزن مورد بررسی و آنالیز واقع شد و پارامترهای پتروفیزیکی از قبیل: ستون مفید هیدروکربنی (Net Hydrocarbon Column)، اشباع آب (S_{wc}) و تخلخل



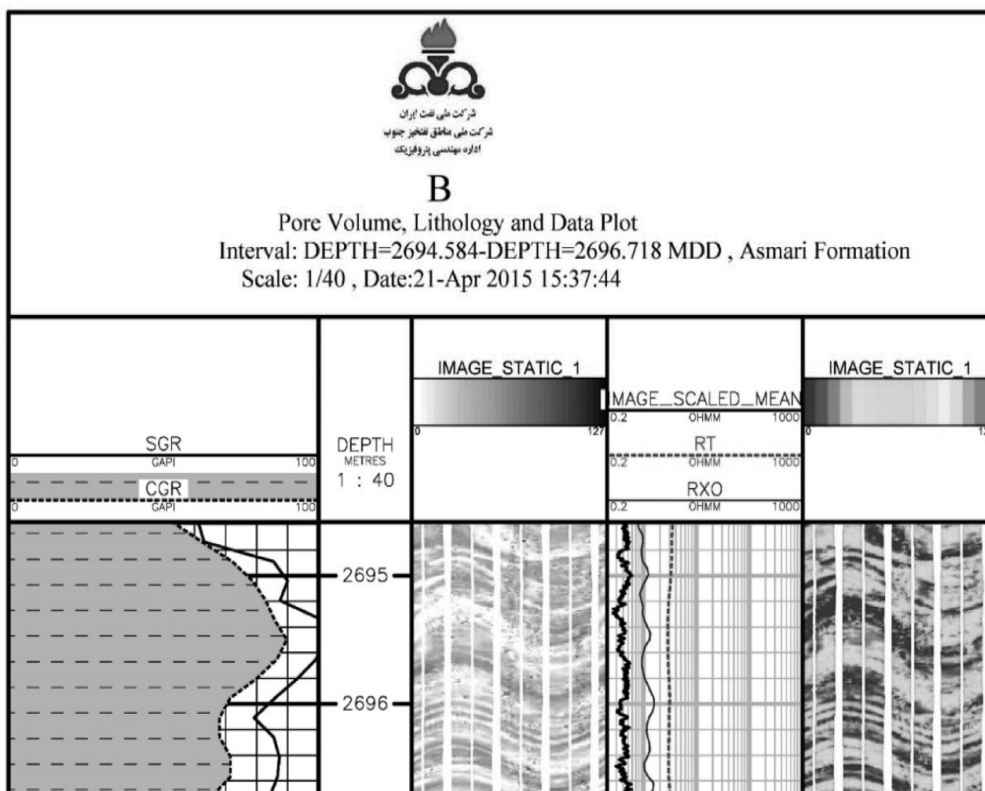
شکل ۳: نمایشی از نتایج آنالیز باروش نمودارهای رایج در توالی ماسه شیل نازک لایه [۵].



شکل ۴ نمایی از نتایج آنالیز با روش نمودارهای تصویرگر در توالی ماسه شیل نازک لایه [۵].



شکل ۵ شمای توالی ماسه شیل نازک لایه در نمودار تصویرگر.



شکل ۶ شمای توالی ماسه شیل نازک لایه در نمودار تصویرگر.

نحوه تکمیل توالی‌های ماسه‌های شیلی لایه‌ای

نوع تکمیل توالی‌های لایه‌ای به ساختار داخلی توالی بستگی دارد. توالی‌های لایه‌ای به روش ایجاد مشبک (perforation) تکمیل می‌شوند که تعداد شلیک‌های انجام شده عامل مهمی در تولید بهینه از این نوع توالی‌ها است، به طوری که اگر میزان حفره‌های ایجاد شده کم باشد تولید را محدود می‌کند و اگر میزان حفره‌ها زیاد باشد باعث اتلاف هزینه و ایجاد آسیب سازند می‌شود. اگر تعداد حفره‌ها به‌طور بهینه باشد تولید از این سازندها اقتصادی می‌گردد. برای ایجاد کردن حفره در این توالی‌ها باید به نکات زیر توجه کرد:

- حفره‌ها باید بین مرز بالایی و پایینی توالی لایه‌ای باشند.

- اگر تراکم شلیک‌ها زیاد باشد ($\text{shots/foot} < 12$) میزان تولید از این لایه‌ها به محل حفره‌ها بستگی ندارد و اگر تراکم شلیک‌ها کم باشد $\text{shots/foot} < 12$ نوع توزیع شیل و ماسه، میزان

تولید از این لایه‌ها را کنترل می‌کند.

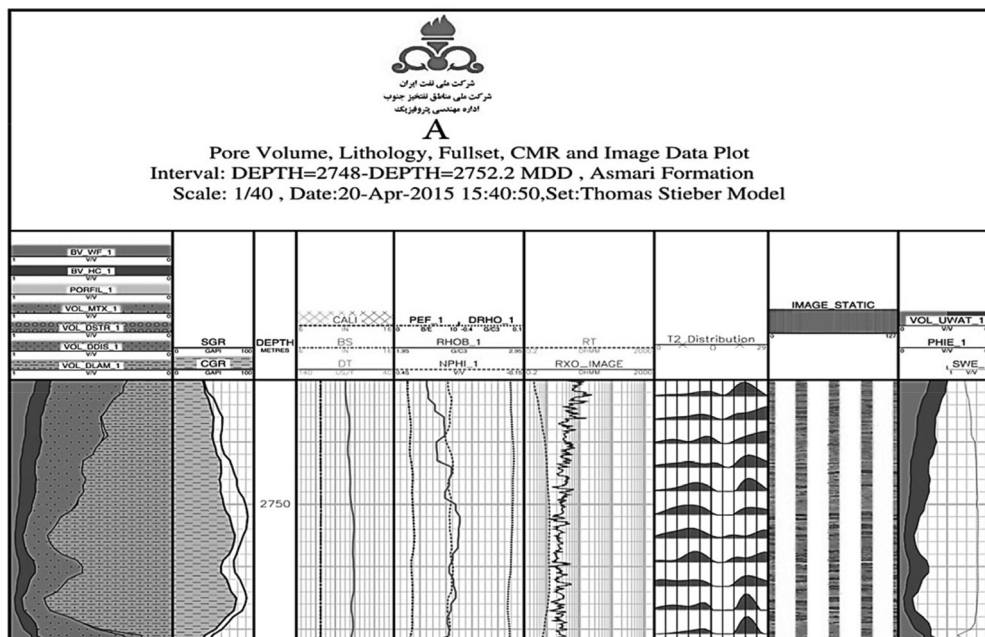
- زیاد کردن طول مشبک‌ها یا زیاد کردن میزان تراکم شلیک‌ها و یا هر دو میزان آسیب سازند را کم و تولید را بالا می‌برند. معمولاً افزایش تراکم شلیک نسبت به افزایش طول مشبک ترجیح داده می‌شود [۸].

آنالیز با مدل توماس اشتیبر

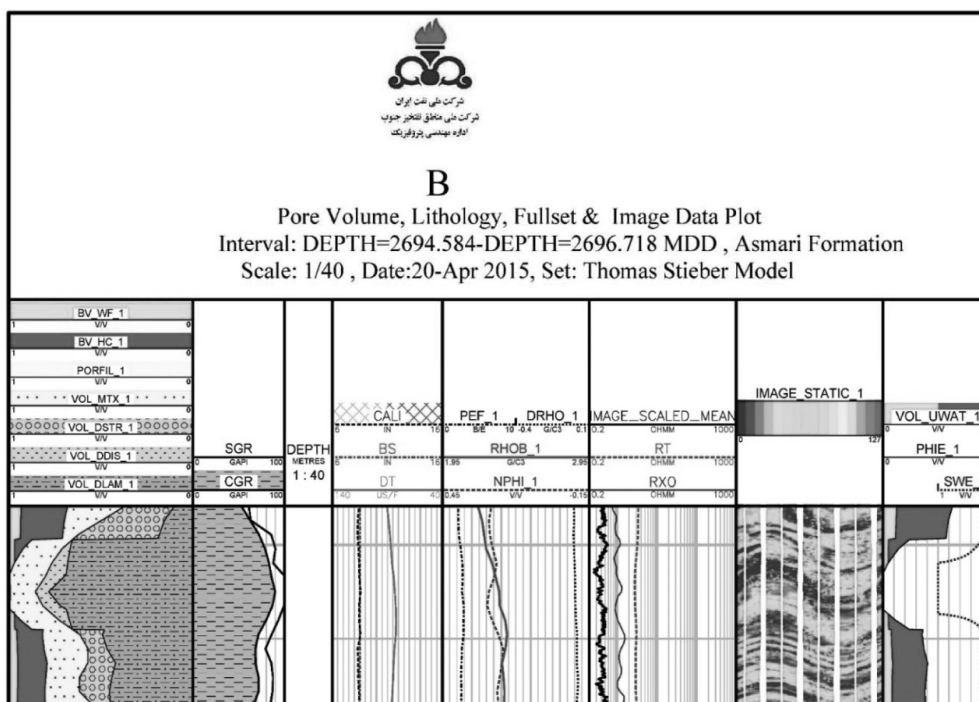
برای استفاده از مدل T-S ورودی‌های مورد نیاز می‌بایستی برای نرم افزار تعریف شوند که این ورودی‌ها براساس اطلاعات چاه‌های مورد نظر و استانداردهای خود شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب وارد نرم‌افزار شده‌اند. به‌طور مثال برخی از ورودی‌های مدل به این صورت هستند [۹]. برای تعیین نسبت حجم شیل به تخلخل در روش توماس اشتیبر مقدار CGR سازندهای ماسه‌ای و شیلی تمیز و ضخیم اطراف ماسه شیلی لایه‌ای به طور متوسط به ترتیب ۲۵ برای ماسه و ۱۰۰ برای شیل

CMR در نمودارهای مربوط به چاه B نشان داده نشده است. همان‌طور که در شکل‌های (۷ و ۸) مشاهده می‌گردد، لایه‌های حاصل از آنالیز پتروفیزیکی به این روش تطابق مطلوبی را با تصویر استاتیک حاصل از نمودارهای تصویرگر نشان می‌دهند. هم‌چنین توزیع T2 حاصل از نمودار CMR شکل ۷ در بازه عمقی مذکور به حالت دو یا چند کوهانه مشاهده می‌گردد که نشان‌دهنده وجود ماسه‌های شیلی لایه‌ای در بازه‌های عمقی مذکور می‌باشد. جدول ۱ نتایج حاصل از میانگین‌گیری به دو روش بدون اعمال حدود برش و با اعمال حدود برش مناطق نفت‌خیز جنوب (تخلخل ≤ 0.45 ، اشباع آب ≥ 0.5 و حجم رس ≥ 0.5) بر روی نتایج حاصل از مدل توماس اشتیبر در بازه‌های عمقی مذکور، که ماسه شیلی لایه‌ای وجود دارند، را نشان می‌دهد. هر شرکتی متناسب با میداین مورد مطالعه خود، حدود برش خاصی دارد و در تمام گزارشات و مطالعات خود از حدود برش مرسوم در آن شرکت استفاده می‌کند. در تمام مطالعات مخزنی و پتروفیزیکی مناطق نفت‌خیز جنوب از این حدود برش برای مخزن آسماری استفاده می‌کنند که این حدود برش در هر مخزن فرق می‌کنند.

قرار داده شد و مقدار دانسیته سازندهای شیلی خشک اطراف نواحی لایه‌ای با توجه به داده‌ها به‌طور متوسط ۲/۵۶ در نظر گرفته شد. در قسمت پارامترهای مدل توماس اشتیبر برای بخش تخلخل بیشینه مقدار ۰/۳۵ تعریف شده است و برای تعیین محدوده شیله ساختاری (Structure shale constraint) که مقدار آن به‌صورت پیش فرض بین ۰ تا ۰/۹۸ می‌باشد، مقدار صفر در نظر گرفته شده است. با استفاده از نرم‌افزار Geolog ۷/۲ و روش Deterministic مدل توماس اشتیبر مورد آنالیز قرار گرفت. نحوه محاسبات با روش Deterministic به این صورت است که: ابتدا حجم شیله، سپس تخلخل با استفاده از نمودار متقاطع چگالی مخصوص سازند/نوترون اصلاحی و در نهایت اشباع آب با استفاده از فرمول اندونزیا محاسبه می‌شود. شکل‌های (۷ و ۸) نتایج آنالیز پتروفیزیکی مدل توماس اشتیبر (تخلخل، اشباع آب، لیتولوژی)، توزیع نمودار T2 حاصل از ابزار CMR و تصویر استاتیک حاصل از نمودارهای تصویرگر به ترتیب در بازه عمقی ۲۷۵۲/۲-۲۷۴۸-۲۶۵۹/۰۷۵-۲۶۵۲/۰۶۵-۲۶۵۲/۰۶۵-۲۶۵۹/۰۷۵ m حفار، را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که در چاه B نمودار CMR رانده نشده و به همین دلیل توزیع T2 حاصل از ابزار



شکل ۷ نتایج آنالیز مدل توماس اشتیبر.



شکل ۸ نتایج آنالیز مدل توماس اشتیبر.

جدول ۱ میانگین خواص پتروفیزیکی با استفاده از مدل توماس اشتیبر در دو حالت با اعمال وبدون اعمال حدود برش برای چاه A و B.

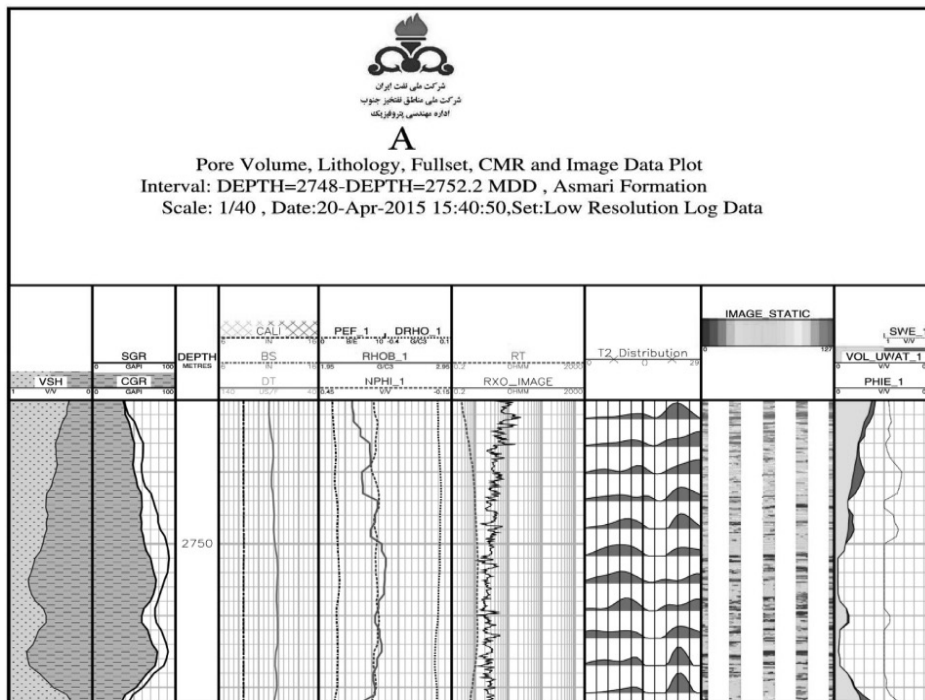
پارامتر	با اعمال حدود برش مناطق نفت خیز جنوب				بدون اعمال حدود برش مناطق نفت خیز جنوب			
	NET TO GROSS	تخلخل (%)	اشباع آب (%)	ستون مفید هیدروکربن (m)	NET TO GROSS	تخلخل (%)	اشباع آب (%)	ستون مفید هیدروکربن (m)
بازه عمقی (M)								
(چاه A) ۲۷۴۸-۲۷۵۲/۲	۰	۰	۰	۰	۱	۱۵/۲	۴۳/۰۰	۰/۳۴۴
(چاه B) ۲۶۵۹/۰۷۵-۲۶۵۲/۰۶۵	۰/۹۴۹	۲۱/۳	۱۵/۰۰	۱/۰۷۶	۱/۰۰	۲۰/۲	۱۶/۲	۱/۰۷۷

Deterministic آنالیز انجام شده است. شکل‌های (۹ و ۱۰) نتایج آنالیز پتروفیزیکی نمودارهای رایج ارزیابی مخزن را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل‌های (۹ و ۱۰) مشاهده می‌گردد، لایه‌های حاصل از آنالیز پتروفیزیکی به این روش تطابق مطلوبی را با تصویر استاتیک حاصل از نمودارهای تصویرگر نشان نمی‌دهند. جدول ۲ نتایج حاصل از میانگین‌گیری به دو روش بدون اعمال حدود برش و با اعمال حدود برش مناطق نفت‌خیز جنوب بر روی نتایج حاصل از نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن در بازه‌های عمقی مذکور، که ماسه شیل لایه‌ای وجود دارند، را نشان می‌دهد.

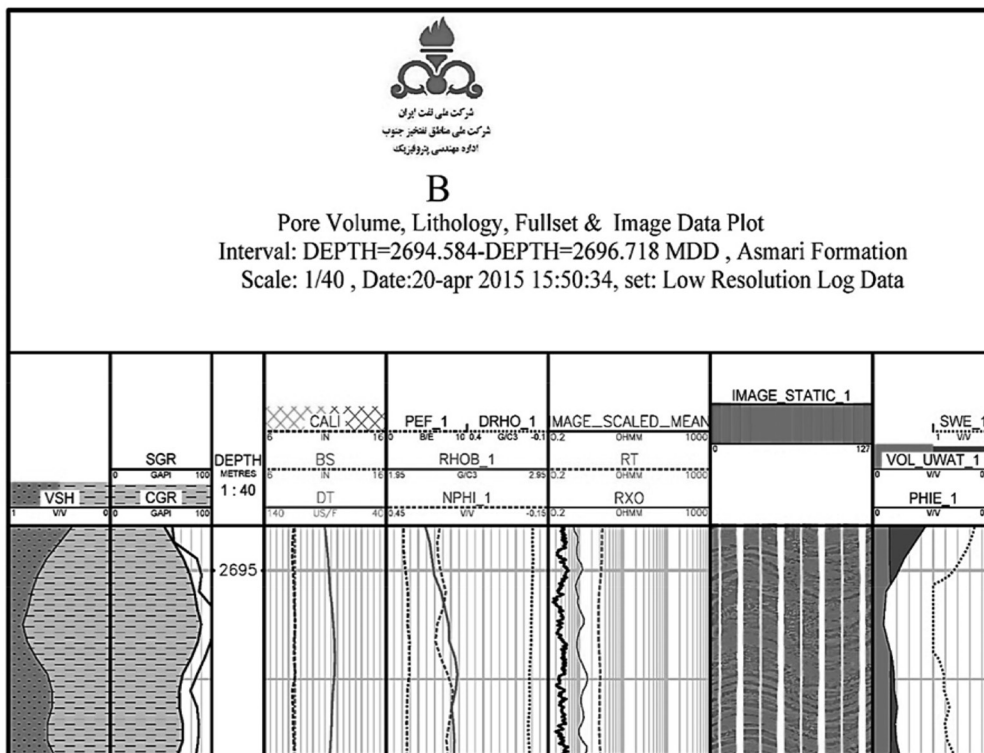
همان‌طور که در جدول ۱ در حالت بدون اعمال حدود برش مناطق نفت‌خیز مشاهده می‌گردد، به‌ترتیب برای چاه A و B تخلخل مفید میانگین ۱۵/۲ و ۲۰/۲٪ و اشباع آب ۴۳ و ۱۶/۲٪ بوده که نشان‌دهنده وجود هیدروکربور در این بازه‌ها می‌باشد.

آنالیز با استفاده از نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن

در این روش با استفاده از نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن که در بازه‌های مذکور رانده شده و با نرم‌افزار Geolog ۷/۲ و با روش



شکل ۹ نتایج آنالیز نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن.



شکل ۱۰ نتایج آنالیز نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن.

جدول ۲ میانگین خواص پتروفیزیکی با استفاده از نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن در دو حالت با اعمال و بدون اعمال حدود برش برای چاه‌های A و B.

پارامتر بازه عمقی (M)	با اعمال حدود برش مناطق نفت‌خیز جنوب				بدون اعمال حدود برش مناطق نفت‌خیز جنوب			
	NET TO GROSS	تخلخل (%)	اشباع آب (%)	ستون مفید هیدروکربن (m)	NET TO GROSS	تخلخل (%)	اشباع آب (%)	ستون مفید هیدروکربن (m)
(چاه A) ۲۷۴۸-۲۷۵۲/۲	۰	۰	۰	۰	۱	۸/۷	۸۱/۸	۰/۰۵
(چاه B) ۲۶۵۲/۰۶۵-۲۶۵۹/۰۷۴	۰/۶۸۳	۱۷/۷	۲۹/۶	۰/۵۸۱	۱	۱۴/۸	۳۲/۵	۰/۶۴۳

برای تخلخل مفید و اشباع آب نتیجه می‌گیریم که روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن نشان‌دهنده وجود هیدروکربور با اشباع آب خیلی بالا و مدل T_S نشان‌دهنده وجود هیدروکربور با اشباع آب کم می‌باشند. براساس جدول ۴، بیشترین تخلخل مفید محاسبه شده متعلق به روش T_S با مقدار ۲۰/۲٪ و کمترین مقدار آن مربوط به روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن با مقدار ۱۴/۸٪ می‌باشد. درخصوص اشباع آب نیز روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن با مقدار ۳۲/۵٪ بیشترین و روش T_S با مقدار ۱۶/۲٪ کمترین مقدار را محاسبه کرده‌اند. درخصوص ستون مفید هیدروکربنی نیز روش T_S با مقدار ۱/۰۷۷ m، بیشترین و روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن با مقدار ۰/۶۴۳ m، کمترین مقدار را محاسبه کرده‌اند. با توجه به مقادیر محاسبه شده برای تخلخل مفید و اشباع آب نتیجه می‌گیریم که روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن نشان‌دهنده وجود هیدروکربور با اشباع آب خیلی بالا و مدل T_S نشان‌دهنده وجود هیدروکربور با اشباع آب کم می‌باشند.

همان‌طور که در جدول ۲ در حالت بدون اعمال حدود برش مناطق مشاهده می‌گردد، به ترتیب برای چاه A و B تخلخل مفید میانگین ۸/۷ و ۱۴/۸٪ و اشباع آب ۸۱/۸ و ۳۲/۵٪ بوده که نشان‌دهنده وجود مقدار کمی هیدروکربور با اشباع بالای آب در این بازه‌ها می‌باشد.

مقایسه آنالیز روش‌های ذکر شده

در این قسمت نتایج دو تا روش برای بازه‌های عمقی ذکر شده با هم مقایسه شده و در جدول (۳ و ۴) نشان داده شده‌اند. براساس جدول ۳، بیشترین تخلخل مفید محاسبه شده متعلق به روش T_S با مقدار ۱۵/۲٪ و کمترین مقدار آن مربوط به روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن با مقدار ۸/۷٪ می‌باشد. درخصوص اشباع آب نیز روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن با مقدار ۸۱/۸٪ بیشترین و روش T_S با مقدار ۴۳٪ کمترین مقدار را محاسبه کرده‌اند. درخصوص ستون مفید هیدروکربنی نیز روش T_S با مقدار ۱/۰۳۴۴ m، بیشترین و روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن با مقدار ۰/۰۵ m، کمترین مقدار را محاسبه کرده‌اند. با توجه به مقادیر محاسبه شده

جدول ۳ مقایسه نتایج به‌دست آمده با استفاده از هر دو روش در حالت بدون اعمال حدود برش مناطق برای بازه عمقی ۲۷۵۲/۲ - ۲۷۴۸ m حفار در چاه A.

روش	بدون اعمال حدود برش مناطق نفت‌خیز جنوب				
	خواص	NET TO GROSS	تخلخل (%)	اشباع آب (%)	ستون مفید هیدروکربن (m)
	مدل توماس اشتیبر	۱/۰۰	۱۵/۲	۴۳	۰/۳۴۴
	نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن	۱/۰۰	۸/۷	۸۱/۸	۰/۰۵

جدول ۴ مقایسه نتایج به‌دست آمده با استفاده از هر دو روش در حالت بدون اعمال حدود برش مناطق برای بازه عمقی ۲۶۵۹/۰۷۵ تا ۲۶۵۲/۰۶۵ m حفار در چاه B.

روش	بدون اعمال حدود برش مناطق نفت‌خیز جنوب				
	خواص	NET TO GROSS	تخلخل (%)	اشباع آب (%)	ستون مفید هیدروکربن (m)
	مدل توماس اشتیبر	۱/۰۰	۲۰/۲	۱۶/۲	۱/۰۷۷
	نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن	۱/۰۰	۱۴/۸	۳۲/۵	۰/۶۴۳

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جداول و شکل‌های بالا نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- ماسه‌های شیلی لایه‌ای نازک لایه توانایی ذخیره و تولید هیدروکربن را دارا می‌باشند زیرا مشاهده شد که در روش توماس چاه A در حالت بدون اعمال حدود برش دارای ۴۳٪ و چاه B دارای ۱۶/۲٪ اشباع آب می‌باشد، که این نتایج نشان‌دهنده وجود هیدروکربن در این لایه‌ها می‌باشند.

۲- کم بودن ضخامت لایه‌های ماسه و شیل در توالی ماسه‌های شیلی لایه‌ای و کم بودن قدرت تفکیک قائم نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن، مطالعه این گونه توالی‌ها را با استفاده از آنالیز نمودارهای مذکور مشکل و یا ناممکن می‌سازد. به علت کم بودن قدرت تفکیک قائم این نمودارها نتایج ارزیابی دچار خطا شده و پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده با خطای بالا محاسبه شده و ممکن است هیدروکربن موجود در این لایه‌ها نادیده گرفته شود. به‌طور مثال پس از

انجام محاسبات و مقایسه بین روش توماس اشتیبر و روش نمودارهای رایج ارزیابی پتروفیزیکی مخزن برای چاه A مشاهده شد که در حالت بدون اعمال حدود برش مناطق، میزان تخلخل و اشباع آب در روش توماس اشتیبر به ترتیب ۶/۵٪ زیاده‌تر و ۳۸/۸٪ کمتر از روش نمودارهای رایج بیشتر محاسبه شده است. در مورد چاه B این اختلاف در تخلخل به ۵/۴٪ و در میزان اشباع آب به ۱۶/۳٪ رسیده است. ۳- مدل توماس اشتیبر، روشی است که با استفاده از آن می‌توان با دقت بالایی خصوصیات پتروفیزیکی ماسه‌های شیلی لایه‌ای، نظیر تخلخل و اشباع سیالات را محاسبه کرد.

تقدیر و تشکر

از زحمات فراوان همکاران از اداره پتروفیزیک شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب تشکر می‌کنیم که ما را در جمع‌آوری اطلاعات پتروفیزیکی و زمین‌شناسی یاری نموده‌اند.

مراجع

- [1]. Poupon A., Clavier C., Dumanoir J., Gaymard R., and Misk A., "Log Analysis of Sand-Shale Sequences-A Systematic Approach," Journal of Petroleum Technology, Vol. 22, July, 1970, pp. 867-881, 1970.
- [2]. Passey G. R., Dahlberg K. E., Sullivan K. B., Yin H., Brackett R. A., Xiao Y.H., and Guzman-Garcia A. G., "Petrophysical evaluation of hydrocarbon pore thickness in thinly bedded clastic reservoirs," AAPG Archie Series, No.1, Tulsa, 2006.
- [3]. Vielma M. and Vandini R., "Hydrocarbon reserves and production increment in laminated sand/shale reservoir from 3D resistivity measurements, image logs and magnetic resonance technology," SPE 107689, Argentina, pp. 1-9, 15-18 April 2007.
- [4]. Minh Ch. C., and Sundararaman P., "Nuclear -magnetic- resonance petrophysics in thin sand/shale lamination," SPE 102435, June 2011, pp 223- 238.
- [5]. Tabanou J. and Antoine J., "Method and apparatus for detecting and quantifying hydrocarbon bearing laminated reservoirs on a workstation," United States Patent 5461562, Schlumberger Technology Corporation and Houston, Tex, Oct. 24, 1995.
- [6]. "LSSA Technical Reference," Rock and Fluid Canvas, 3rd ed., 2007, pp. 1-9.
- [7]. Memari A., "Evaluation of surface subsidence in one of Iran's oil fields using INSAR1 technique," American Journal of Oil and Chemical Technologies, 19-17, 2013.
- [8]. Ichara M. J. and Cannon D. E., "The effect of perforating on the performance of shale-laminated and cross bedded formations," SPE 16205, Oklahoma, March 8-10. 1987
- [۹]. پرویزی قلعه س. و کردوانی ع.، " بررسی روش های شناسایی و تخمین خواص پتروفیزیکی ماسه های شیلی لایه ای (LSS)،" پروژه بنیاد ملی نخبگان ، شرکت مناطق نفتخیز جنوب، بخش مهندسی نفت اداره پتروفیزیک، ۱۳۹۴.