



تجزیه و تحلیل خواص مخزنی و تخمین شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب غربی ایران

فرشید رومیانی^۱، محمدحسین صابری^۲، محمدعلی ریاحی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس علوم و فناوری‌های نوین، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان

۲. استادیار پردیس علوم و فناوری‌های نوین، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان

۳. استاد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۰

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/JPG.2020.208874.1113

واژگان کلیدی	چکیده
سفیدزاخور، شکستگی، نمودارهای پتروفیزیکی، رخساره‌های الکتریکی، خوشه‌سازی، نرم‌افزار تجاری	تاقدیس سفیدزاخور در ناحیه گازخیز استان فارس در فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز و در جنوب میدان گازی آغار و در غرب میدان گازی دالان و دی قرار دارد. به‌طور کلی شکستگی‌های مخازن هیدروکربنی دارای پیچیدگی‌های فراوانی هستند و قادرند در تمامی مراحل مخزن مانند اکتشاف، توسعه و ازدیاد برداشت نقش مهمی داشته باشند. بدین ترتیب اولین گام جهت مطالعه مخازن هیدروکربنی به ویژه مخازن شکافدار شناسایی شکستگی‌ها و سپس تخمین و آنالیز آن‌ها می‌باشد. در این مقاله، ابتدا با توجه به داده‌های خام حاصل از چاه‌نگاری و با کمک نرم‌افزار تجاری پارامترهای پتروفیزیکی سازند سفیدزاخور مانند نوع سنگ‌شناسی، تخلخل، حجم شیل و اشباع آب، با استفاده از روش ارزیابی پتروفیزیکی احتمالی (<i>Probabilistic</i>) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر پایه نتایج به دست آمده از نمودارهای مقاطع نوترون - چگالی و <i>M-N Plot</i> ، سنگ‌شناسی غالب سازند از نوع کربناته است و همچنین درصد کمی از ماسه‌سنگ و شیل تشخیص داده شد. میانگین اشباع آب در میدان مورد مطالعه ۳۶٪ می‌باشد. همچنین با توجه به حجم شیل ۱۵٪ چاه مورد مطالعه میانگین تخلخل مؤثر و کل در بیشتر زون‌های هیدروکربنی چاه با هم برابر هستند. به منظور تعیین رخساره‌های الکتریکی از روش خوشه‌سازی چند کیفیتی بر اساس نمودار (<i>MRGC</i>) استفاده و تعداد شش رخساره الکتریکی مشخص شد که از این تعداد، رخساره شماره دو به دلیل پایین بودن میزان حجم شیل دارای بهترین کیفیت مخزنی و رخساره شماره چهار به دلیل میزان حجم شیل بیشتر نسبت به دیگر رخساره‌ها کیفیت مخزنی ضعیفی را داراست. روش مورد استفاده در این تحقیق در آنالیز بخش‌های مختلف مخزنی بسیار کارآمد است و به ویژه در چاه‌هایی که فاقد مغزه هستند می‌تواند مورد استفاده گیرد. در مرحله بعد روش مورد اشاره برای تعیین زون‌های شکسته با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی بکار برده شد. نتایج به دست آمده از نگارهای چاه‌پیمایی نشان داد که اکثر زون‌های شکستگی در اعماق پایینی منطقه مورد مطالعه حضور دارند و باعث ایجاد زونی با تراوایی بالا شده است.

۱. پیشگفتار

شکننده ایجاد شده باشد. معمولاً همه سنگ‌های رسوبی می‌توانند تحت تأثیر نیروهای زمین‌ساختی، چه نیروهای فشارشی و چه نیروهای کششی شکسته شوند. نیروهای مختلفی از قبیل وزن لایه‌ها، نیروهای مغناطیسی، تکتونیکی و ... در جهات مختلف بر روی پوسته زمین تأثیر می‌گذارند که در اثر اختلاف تنش موجود در جهات مختلف و متناسب با خصوصیات فیزیکی - مکانیکی، سنگ تغییر شکل می‌دهد و تغییراتی در ساختار آن به وجود خواهد آمد. در اثر این

مخازن کربناته ایران از نظر وجود شکستگی‌های طبیعی معروفیت جهانی دارد و حتی بعضی از مؤلفین طبقه خاصی از تقسیمات کلاسیک مخازن را به مخازن ایران اختصاص داده‌اند. تشخیص این عوارض همیشه برای مهندسی نفت جالب بوده زیرا غالباً کلید تولید انبوه مخازن هیدروکربنی در سازندهای سخت و ضخیم است. از دیدگاه زمین‌شناسی، شکستگی به هر ناپیوستگی فیزیکی یا گسیختگی در سنگ اطلاق می‌شود که در نتیجه دگرشکلی شکننده یا نیمه

شمال شرقی - جنوب غربی فشرده می شود. بنابراین زاگرس در حال حاضر تحت تأثیر دگرشکلی ناشی از فشارهای زمین ساختی با روند *NNE-SSW* در مرحله همگرایی و برخورد قاره‌ای قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳، ۴۳). چاه مورد مطالعه در یکی از میادین موجود در تاقدیس سفیدزاخورد قرار دارد. این تاقدیس در ناحیه گازخیز استان فارس در فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز و در جنوب میدان گازی آغاز و در غرب میدان گازی دالان و دی قرار دارد. طول آن تقریباً ۴۰ و عرض آن ۸ کیلومتر می باشد که سازندهای بختیاری، آغاچاری، میشان، گچساران و آسماری در آن رخنمون دارد و توسط تعدادی دیگری تاقدیس از جمله لار و هالگان احاطه می شود. قله غربی آن تقریباً امتداد شرقی - غربی دارد اما قله شرقی که تحت تأثیر گسل عرضی به پایین افتاده از روند معمولی حوضه زاگرس یعنی شمال غربی - جنوب شرقی برخوردار است (مطبعی، ۱۳۷۴، ۴۵۵). به طور کلی تاقدیس سفیدزاخورد را می توان به دو قسمت شرقی و غربی که توسط گسلی با راستای شمال غربی - جنوب شرقی از یکدیگر جدا شده اند تقسیم نمود که شکل چین خوردگی و مقدار فشردگی در این دو بخش متفاوت است.

چین در بخش شرقی بازتر و تا حدودی جعبه‌ای شکل است در حالی که بخش غربی چین خوردگی فشرده تری دارد. گسل مذکور که در حد فاصل دو بخش شرقی و غربی ساختمان سفیدزاخورد قرار دارد روندی شمال غرب - جنوب شرقی داشته و در سطح یک جابه جایی در حدود ۱۰۰ متر از خود نشان می دهد. در اثر این جابه جایی بخش شرقی پایین تر از بخش غربی قرار گرفته است اما با توجه به موقعیت قرارگیری این گسل حرکت امتداد لغز محتمل می باشد.

نیروها ساختارهای مختلفی با مقیاس متفاوت ایجاد می شود تا وضعیت تنش^۱ و کرنش^۲ پایدار شود. اگر این تنش های مؤثر بر لایه بیشتر از مقاومت سنگ باشند، شکستگی ها یا گسل های متنوعی تشکیل خواهد شد (ارزانی، ۱۳۸۴). تأثیر شکستگی ها بر روی مخازن هیدروکربنی از دو جنبه قابل بررسی است؛ زمانی که شکستگی باز باشد به عنوان عاملی در افزایش تراوایی و نیز تولید به شمار می آید و بدین ترتیب شکستگی می تواند یک مخزن با تراوایی کم را به یک مخزن با تراوایی و تولید بالا تبدیل کند اما زمانی که شکستگی ها به وسیله سیمان پر شده باشند به عنوان سدی در برابر جریان سیالات عمل می کند (رجبی، ۱۳۸۸).

تقریباً در تمام مخازن جنوب و جنوب غربی ایران شکستگی ها نقش اصلی در تولید هیدروکربن دارند، از این رو در تمام مراحل تولید و توسعه میادین هیدروکربنی آگاهی از خواص شکست در تصمیم گیری در مورد انتخاب محل حفاری^۳، میزان انحراف^۴، تعیین مسیر چاه های افقی^۵ و برنامه های بازیافت^۶ ضروری می باشد (Memarian, & Mohammadnia, 2009). روش های مستقیم و غیرمستقیم متعددی نظیر داده های حاصل از لرزه شناسی، مغزه های حفاری، نگارهای چاه پیمایی و داده های حاصل از گل حفاری وجود دارد که با توجه به کاربرد آنها در مکان های مختلف می توانند در تعیین الگوهای شکست مؤثر واقع شوند. در این نوشتار ابتدا به صورت مختصر ارزیابی پتروفیزیکی از خواص مخزن مورد مطالعه ارائه داده می شود سپس الگوهای شکست با استفاده از انواع نگارهای چاه پیمایی مورد بررسی قرار می گیرد.

۲. موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد

مطالعه

از نظر زمین ساختاری، زاگرس چین خورده در اثر حرکت روبه بالا صفحه عربی و برخورد آن با صفحه ایران در راستای

¹ Steres

² Sterin

³ Perforation location

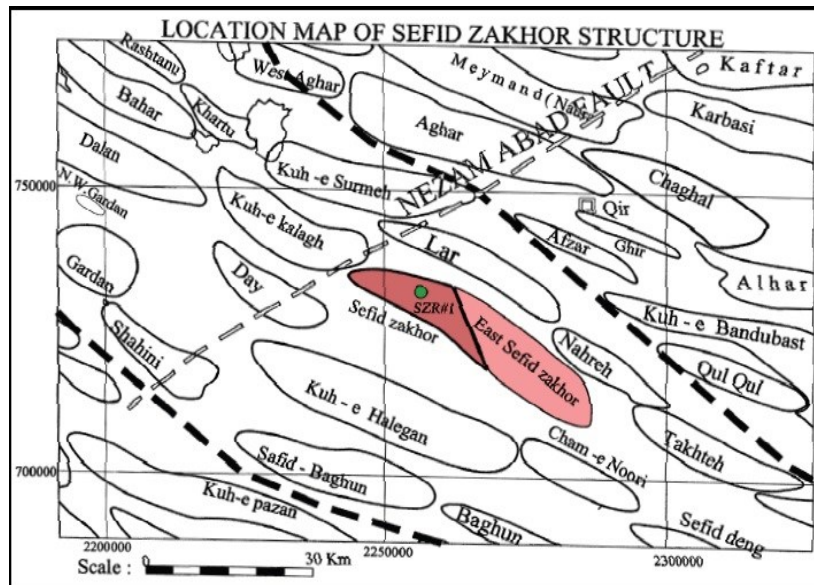
⁴ Deviated

⁵ Horizontal wells

⁶ Recovery

تجزیه و تحلیل خواص مخزنی و تخمین شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در یکی از میادین هیدروکربنی

تاثیر گسل در اعماق بتدریج کاسته شده و در سازند دشتک تمام می‌شود؛ بنابراین افق کنگان و سازندهای زیرین آن



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی تاق‌دیس سفید زاخور (ابطحی، ۱۳۸۷)

به دلایل گوناگون امکان‌پذیر نمی‌باشد به همین دلیل در میادین هیدروکربنی به منظور دستیابی به اهداف پتروفیزیکی از نگارهای چاه‌پیمایی که بطور متداول در همه‌ی چاه‌ها برداشت می‌شود، استفاده می‌گردد.

۳.۱ خصوصیات پتروفیزیکی

در این بخش به دلیل حجم بالای داده‌ها، سعی شده است که تمام مراحل ارزیابی خواص مخزنی به طور خلاصه بیان شود. از آنجایی که شناسایی نوع سنگ‌های سازند یک مرحله مهم در ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی است بنابراین در ابتدا باید تنوع کانی‌ها در سازند مخزنی تعیین شود. عموماً با استفاده از نگارهای نوترون ($NPHI$)، چگالی ($RHOB$)، صوتی (DT) و گامای طبیعی (GR) علاوه بر تعیین تخلخل می‌توان لیتولوژی سازند را تعیین نمود. به‌طور کلی برای تعیین لیتولوژی سازند دست کم دو نگار چاه‌پیمایی لازم است. در این مطالعه برای تعیین لیتولوژی از نمودارهای متقاطع نوترون - چگالی و نیز $M-N$ پلات‌ها استفاده شد. نمودارهای نوترون - چگالی در

۳. داده‌ها و روش کار

علم تعبیر و تفسیر داده‌های حاصل از نمودارهای چاه‌پیمایی، ارزیابی پتروفیزیکی نام دارد و یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین خصوصیات مخزنی می‌باشد. امروزه در صنعت نفت ارزیابی‌های مربوط به کیفیت مخزن از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بدین منظور نرم‌افزارهای متنوعی جهت نیل به این هدف در دسترس هستند که یکی از پرکاربردترین آن‌ها نرم‌افزار ژئولاگ^۷ است. عموماً مهم‌ترین اهدافی که در مطالعات پتروفیزیکی دنبال می‌شود عبارت‌انداز: بررسی تعیین خصوصیات مخازن در بخش‌های مختلف و نیز زون‌بندی آن‌ها جهت پی بردن به مناسب‌ترین زون مخزنی است.

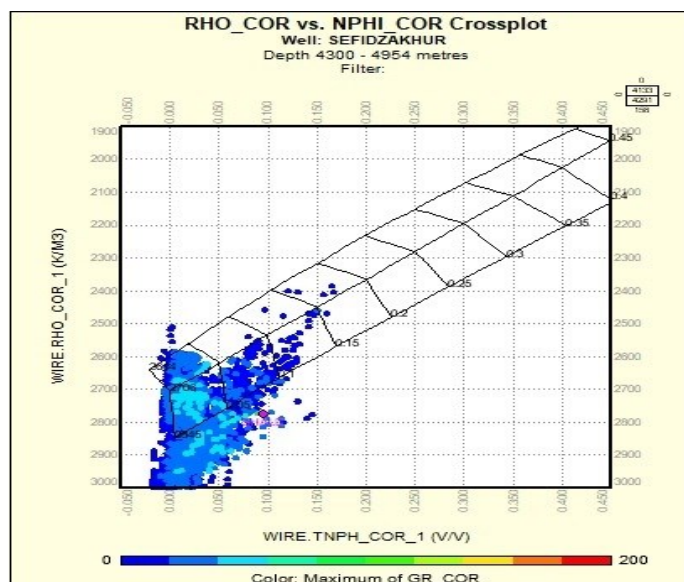
برداشت‌های لرزه‌ای، آنالیز مغزه و نگارهای چاه‌پیمایی^۸ از جمله روش‌هایی هستند که در ارزیابی‌های پتروفیزیکی مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از روش‌های آنالیز مغزه و برداشت‌های لرزه‌ای زمان‌بر و دارای هزینه بالایی هستند علاوه بر این در بسیاری از چاه‌ها عملیات مغزه‌گیری

⁷ Geolog 7.1

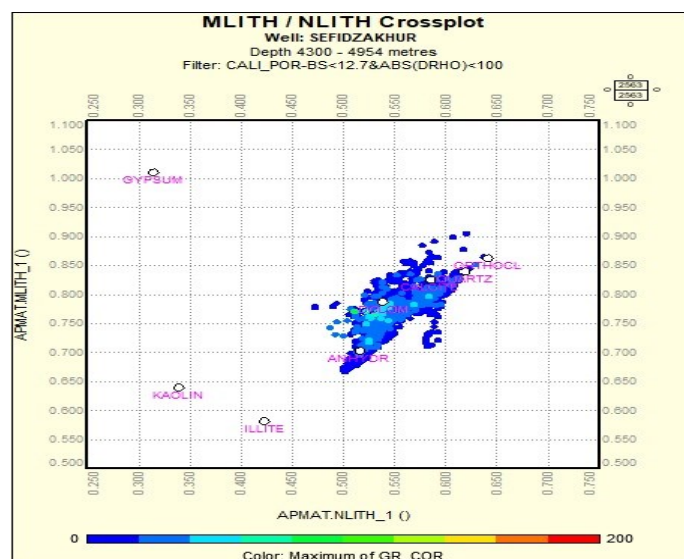
⁸ Well Logging

(نمودار شماره ۳) مشاهده می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که لیتولوژی سازند سفیدزاخویر غالباً دولومیتی و آهکی و نیز مقادیر کمی ماسه‌سنگ و شیل می‌باشد.

جاهایی که هم‌زمان با همدیگر در داخل چاه رانده شوند از جمله دقیق‌ترین ابزارها برای شناسایی نوع سنگ‌شناسی مخزن محسوب می‌شوند. با توجه به تمرکز بیشتر نقاط در اطراف آهک و دولومیت که از نمودار متقاطع نوترون - چگالی



شکل ۳. نمودار متقاطع نوترون - چگالی جهت تعیین لیتولوژی



شکل ۴. نمودار متقاطع M-N Plot تاقدیس سفیدزاخویر جهت تعیین لیتولوژی

تجزیه و تحلیل خواص مخزنی و تخمین شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در یکی از میادین هیدروکربنی

نگارهای نوترون، چگالی و صوتی محاسبه نمود (رضایی، ۱۳۸۰، ۱۴۱). با توجه به حجم پایین شیل در این چاه، میانگین تخلخل کل و مؤثر در بیشتر زون‌های هیدروکربنی با هم برابر است. یکی از مهم‌ترین پارامترها در خصوصیات مخازن محاسبه میزان اشباع‌شدگی آب است. محاسبه نامناسب اشباع آب منجر به اشتباهات بزرگی در برآورد ذخایر مخزن می‌شود. روش‌های مختلفی برای تعیین مقدار اشباع آب با استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی وجود دارد به عنوان مثال از ترکیب لاگ دانسیته با شاخص هیدروژن به دست آمده از لاگ *NMR*، می‌توان اشباع آب را تعیین نمود (Alimoradi, Moradzadeh & Bakhtiari, 2011). در این مطالعه به منظور برآورد میزان اشباع‌شدگی آب به دلیل حضور شیل در ناحیه مورد بررسی از روش ایندوونزیا استفاده شد.

$$\sqrt{CO} = \sqrt{\frac{Cw}{F}} + Vsh1 \frac{Vsh}{2} \quad (1)$$

که در آن *CO* هدایت الکتریکی هیدروکربور، *CW* هدایت الکتریکی آب، *F* ضریب سازندی، *Vsh* حجم شیل است.

در شکل ۴، نمودار متقاطع *M-N Plot* که تابع نمودارهای چگالی، نوترون و صوتی می‌باشد ترسیم گردید. با توجه به این کراس پلات نتیجه می‌شود که مخزن مورد مطالعه عمدتاً از سنگ آهک و دولومیت تشکیل شده است. همچنین در این سازند مقادیر اندکی انیدریت و ماسه‌سنگ مشاهده می‌شود که در زون‌های مختلف حجم آن‌ها متفاوت است. یکی از مراحل ضروری در فرایند ارزیابی پتروفیزیکی محاسبه حجم شیل است. اگر حضور شیل در سازند متخلخل و تراوا تعیین نشود آنگاه محاسبات مربوط به تخلخل اشتباه قرائت می‌شود و همچنین رفتار همه نمودارها تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Kamel & Mabrouk, 2003). روش‌های مختلفی برای محاسبه حجم شیل وجود دارد اما نمودار گاما (CGR/SGR) از بهترین و متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده می‌باشد. میانگین حجم شیل محاسبه شده در حدود ۱۵٪ است بدین ترتیب سازند مورد مطالعه جزء سازندهای تمیز محسوب می‌شود.

بیشتر مخازن، تخلخلی بین ۵ تا ۳۰ درصد دارند. در ارزیابی خواص مخزنی روش‌های مختلفی برای محاسبه حجم تخلخل وجود دارد. تخلخل را می‌توان در آزمایشگاه از روی مغزه‌ها و یا با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی خصوصاً

جدول ۱. میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در چاه مورد مطالعه

سازند	رأس (M)	عمق زیر (M)	ناخالصی (M)	خلوص (M)	نرخ خلوص به ناخالصی (M)	تخلخل مؤثر (V/V)	اشباع آب مؤثر (V/V)	حجم شیل (V/V)
سفیدزاخور	۴۳۰۰	۴۹۵۴	۶۵۴	۱۷.۸۳۱	٪۲.۷	٪۶.۲	٪۳.۶	٪۱۵

۳.۲ تعیین رخساره‌های الکتریکی

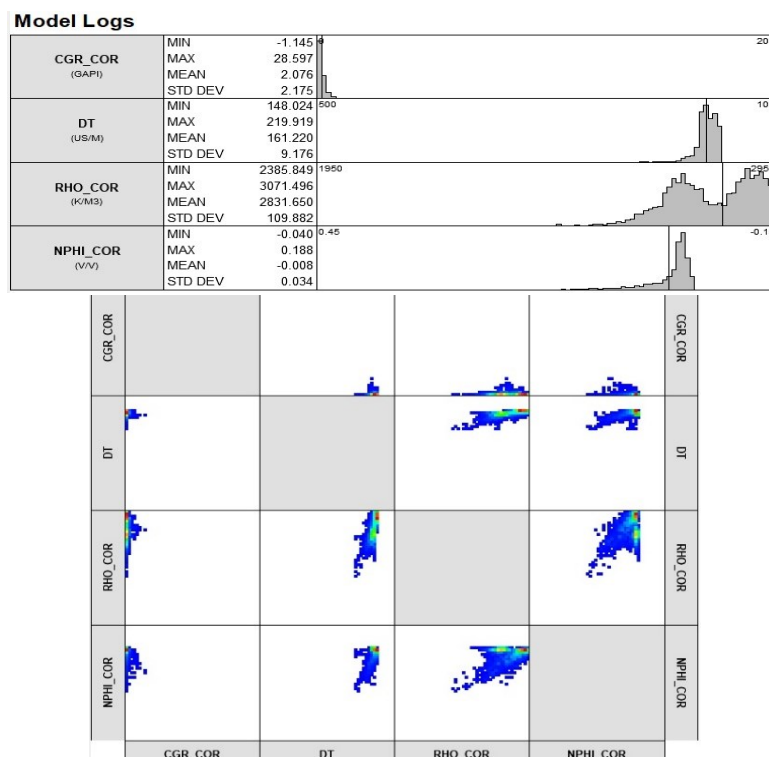
رسوبی بکار می‌رود. اصطلاح رخساره الکتریکی یا الکتروفاسیس بدین صورت تعریف می‌شود که مجموعه‌ای از پاسخ نمودارها که یک لایه را مشخص می‌کند و تشخیص آن لایه را از لایه دیگر ممکن می‌سازد. بطور معمول الکتروفاسیس‌ها با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی مانند گاما، مقاومت، صوتی، چگالی و نوترون به صورت دستی و یا با آنالیز دقیق عددی مشخص نمود. در سالیان گذشته با استفاده از روش دستی رخساره‌ها، از روی شکل نمودارها

امروزه تعیین خصوصیات رخساره‌های الکتریکی نقش بسیار مهمی در ارزیابی پتروفیزیکی مخازن هیدروکربنی دارد. کوچکترین تغییرات در روند نمودارهای چاه‌پیمایی، نشلگر تغییر در خصوصیات سنگ‌شناسی است که این تفاوت‌ها می‌تواند در تعیین خواص سنگ مخزن کمک نماید. تجزیه و تحلیل رخساره لاگ^۹ یکی از مهمترین تکنیک‌های مشخصه‌سازی مخزن می‌باشد که برای تعیین زون‌های تراوا، مدل‌سازی ناهمگنی مخزن، فرایندهای دیانرژی و آنالیز حوضه

^۹ Log Facies

نمودارهای $RHOB$ ، DT ، $NPHI$ ، CGR است. روش استفاده شده در این مطالعه یک روش غیر پارامتریک و مناسب برای مطالعات مربوط به خوشه‌سازی داده‌های حاصل از نمودارهای الکتریکی است. این روش قادر است بهینه‌ترین دسته‌ها را میان دو حد تفکیک‌پذیری مورد نیاز کاربر ارائه دهد. در شکل ۵ مدل محاسباتی و نیز مقادیر میانگین نگاره‌های بکار رفته در هر خوشه محاسبه و نمایش داده شده است.

شناسایی می‌شدند. روش‌های جدید بر اساس گروه‌بندی داده‌های مشابه و متمایز ساختن آن‌ها از داده‌هایی است که از نظر آماری اختلاف دارند (مدنی، ۱۳۹۴، ۲۷). در این مطالعه به منظور تعیین رخساره‌های الکتریکی مخزن با استفاده از نرم‌افزار *Geolog 7.1* بهترین داده‌های ورودی انتخاب شدند سپس با استفاده از روش خوشه‌بندی چند کیفیتی بر پایه نمودار^{۱۰} ارتباط منطقی بین آن‌ها برقرار شد. داده‌های ورودی مورد استفاده در این مطالعه شامل



شکل ۵. هیستوگرام و توزیع فراوانی نمودارهای استفاده شده جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی

مخزنی و رخساره شماره چهار به دلیل میزان حجم شیل بیشتر نسبت به دیگر رخساره‌ها کیفیت مخزنی پایینی را داراست. در شکل ۸ نتیجه تمام مراحل انجام گرفته خصوصیات پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه و همچنین بهترین زون مخزنی با استفاده از رخساره الکتریکی نشان داده شده است.

در روش *MRGC* از میان پنج دسته ایجاد شده، دسته‌ای که بالاترین حد تفکیک را داراست به عنوان دسته برتر انتخاب و مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به میزان *WEIGHT* هر نگار در رخساره‌ها، هرچه میزان گاما کمتر باشد و در مقابل هرچه زمان سیر امواج و تخلخل بیشتر باشد، نشان‌دهنده کیفیت مخزنی بهتر است. بدین ترتیب رخساره شماره دوه به دلیل پایین بودن میزان حجم شیل دارای بهترین کیفیت

¹⁰ Multi-Resolution Graph Based Clustering (MRGC)

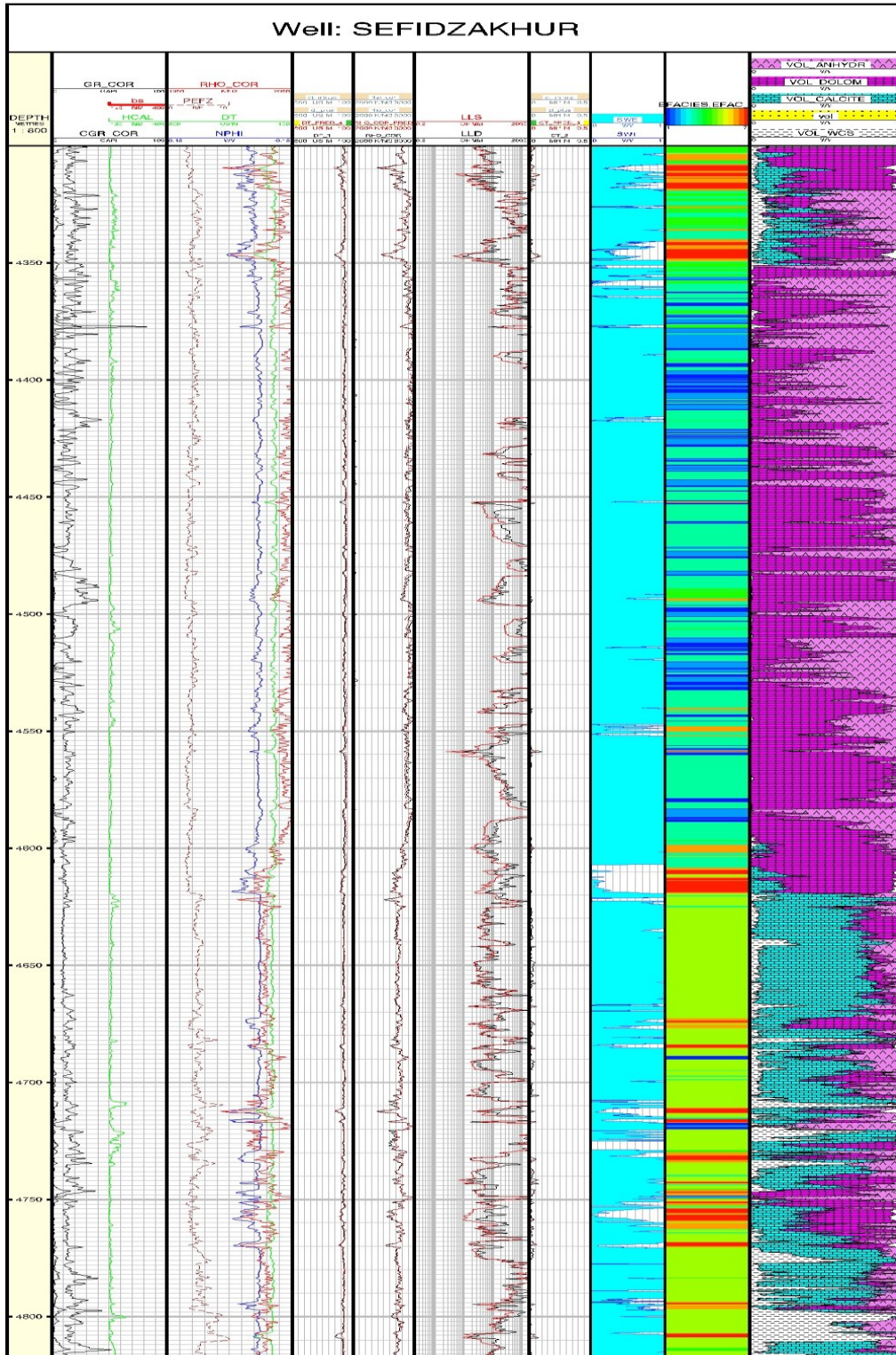
تجزیه و تحلیل خواص مخزنی و تخمین شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در یکی از میادین هیدروکربنی

	FACIES	WEIGHT	CGR_COR	DT	RHO_COR	NPHI_COR
1	1	987	2.34	163.45	2733.59	-0.03
2	2	279	1.72	181.42	2668.08	0.08
3	3	564	2.84	160.99	2821.44	0.02
4	4	68	6.29	155.69	2867.38	0.01
5	5	805	1.65	152.53	2895.65	-0.02
6	6	701	1.31	160.73	2966.07	-0.03

شکل ۶. خوشه‌های حاصل شده از روش *MRGC* که پارامترهای پتروفیزیکی به دست آمده نشان‌دهنده آن است که زون شماره دو دارای تخلخل مؤثر ۰.۸٪ بهترین کیفیت مخزنی را نشان می‌دهد.

	NAME	COL	PAT	WEIGHT	CGR_COR	DT	RHO_COR	NPHI_COR
1	FACIES_1			987				
2	FACIES_2			279				
3	FACIES_3			564				
4	FACIES_4			68				
5	FACIES_5			805				
6	FACIES_6			701				

شکل ۷. خوشه‌بندی نهایی رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش *MRGC*



شکل ۸. نمایش گرافیکی کلی پارامترهای محاسبه شده ارزیابی خواص مخزنی در چاه مورد مطالعه

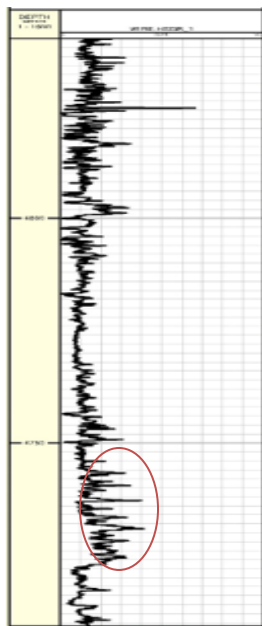
تجزیه و تحلیل خواص مغزنی و تخمین شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در یکی از میادین هیدروکربنی

۳.۳ تخمین شکستگی‌ها

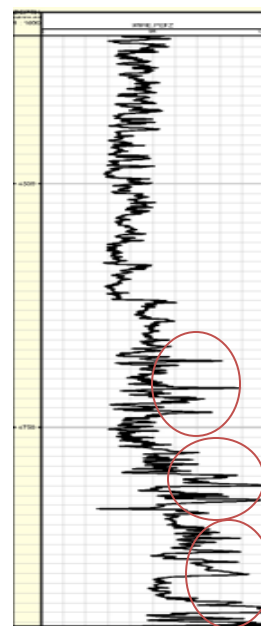
امروزه جهت شناسایی شکستگی‌ها روش‌های متنوعی وجود دارد که با توجه به نوع داده‌های اولیه موجود از آن‌ها بهره گرفته می‌شود. با استفاده از ابزارهای پتروفیزیکی معمول می‌توان حضور یا عدم حضور شکستگی‌ها را در مخازن هیدروکربنی تعیین نمود. معمولاً در صورت حضور شکستگی تغییرات ناگهانی در روند نمودارهای چاه‌پیمایی مشاهده خواهد شد که این اثرات می‌تواند به دلیل تغییرات خواص فیزیکی سنگ‌ها و جریان سیال در اطراف چاه باشد. در ادامه تأثیر زون‌های شکسته بر روی ابزارهای پتروفیزیکی معمول به‌طور مختصر توضیح داده می‌شود.

نمودار گاما که ترکیبی از سه عنصر پتاسیم، توریم و اورانیوم است برای شناسایی شکستگی‌ها کاربرد زیادی دارد. افزایش پتاسیم و توریم ناشی از شیل یا کانی‌های رسی است. شیل‌ها خاصیت شکل‌پذیری دارند و شکستگی به ندرت در آن رخ می‌دهد، بنابراین با افزایش پتاسیم و توریم شلس شکستگی در سنگ کاهش می‌یابد. اورانیوم بیشتر به صورت محلول است و غالباً تمایل دارد با حرکت آب سازند درون

درزها رسوب کند بنابراین یکی از موقعیت‌های اصلی برای تجمع اورانیوم، حضور شکستگی است. در این مطالعه با استفاده از نگار گاما نتیجه شد که در بازه عمقی ۴۷۳۱ تا ۴۸۸۴ حضور شکستگی می‌تواند محتمل باشد. نمودار دیگری که در تعیین شکستگی بسیار مفید است، نمودار فوتوالکتریک (*PEF*) می‌باشد. این نمودار مانند نمودار چگالی در زون‌های شکسته دارای رفتار دوگانه‌ای است. اگر شکستگی‌ها بسته و یا نیمه بسته باشند به صورتی که امکان نفوذ گل حفاری به داخل شکستگی فراهم نشود، نمودار *PEF* کاهش نسبی خواهد داشت. اما اگر شکستگی‌ها باز باشند و نیز فشار گل حفاری بیشتر از فشار گل سازند باشد، گل به درون شکستگی نفوذ می‌کند و باعث افزایش نسبی در نمودار خواهد داد. به‌طور کلی مقادیر خارج از رده نمودار *PEF* می‌تواند نشان‌دهنده حضور زون‌های شکسته باشد (*Aghli, Soleimani, Moussavi-Harami, & Mohammadian, 2016*). بدین ترتیب وجود زون‌های شکستگی در اعماق ۴۷۷۰ تا ۴۹۵۰ محتمل است و توسط دواير قرمز در شکل نشان داده شده است.



GR (API)

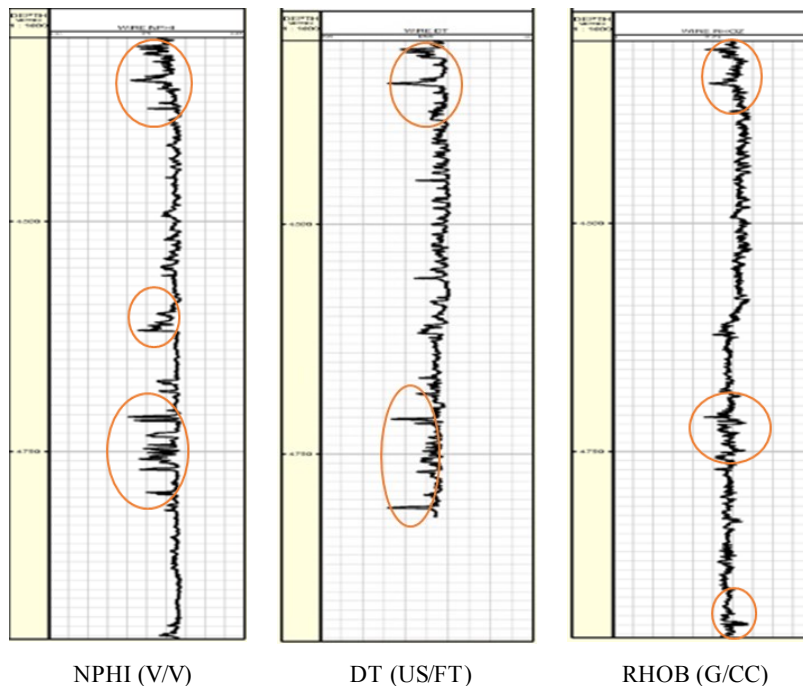


PEF (B/E)

شکل ۹. نمایش زون‌های محتمل شکستگی در چاه مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی

می‌باید نمودار نوترون هم افزایش خواهد یافت (Aghli et al., 2016 و Lai et al., 2017). نمودار صوتی زمان عبور^{۱۱} امواج صوتی فشارشی^{۱۲} را در محدوده مشخصی از سازند ثبت می‌کند. به طور کلی تغییرات در دامنه شکل موج و تضعیف نگار صوتی ممکن است شواهد مستقیمی برای حضور شکستگی‌ها باشد. در زون‌های شکسته به خصوص زمانی که شکستگی باز وجود داشته باشد به دلیل چگالی و فشردگی کم قطعاً سرعت انتقال امواج را کاهش می‌دهند بنابراین انتظار می‌رود زمان عبور موج افزایش یابد (Liu, 2013). معمولاً منحنی نمودار صوتی در بیشتر قسمت‌های چاه به صورت صاف است اما اگر در بعضی فواصل مخدوش شده باشد می‌تواند دلیلی بر حضور شکستگی باشد زیرا سیال داخل درزها مانع از عبور امواج صوتی خواهد شد. زون‌های محتمل حاوی شکستگی در سه نمودار نشان داده شده در شکل زیر مؤید آن است که تجمع شکستگی‌ها بیشتر در اعماق ۴۳۰۶ تا ۴۳۴۹ متر و ۴۷۰۷ تا ۴۷۷۴ متر است.

نتایج نشان می‌دهد نمودار چگالی در زون‌های شکسته کاهش قابل توجهی دارد زیرا تراکم سنگ کاسته شده و حجم سیال افزایش یافته و چگالی سیال پایین‌تر از چگالی سنگ است اما برخی استثناها نیز وجود دارد به عنوان مثال زمانی که فشار گل حفاری بالاتر از فشار سازند باشد گل ممکن است به داخل شکستگی نفوذ کند و چگالی را افزایش دهد. بنابراین نمودار چگالی در زون‌های شکستگی دارای رفتار دوگانه‌ای است که این باعث شده استفاده از آن جهت شناسایی شکستگی‌ها نیازمند دقت و ظرافت بالایی باشد. نمودار نوترون میزان هیدروژن را اندازه‌گیری می‌کند همچنین در سازندهای تمیز و شیل‌های آزاد که در آن تخلخل از آب و نفت پر می‌شود میزان تخلخل و حجم سیال را مشخص می‌کند. نوترون‌ها از یک منبع شیمیایی منتشر و در هنگام برخورد با هیدروژن سازند منجر به کاهش انرژی می‌شوند. از آنجا که هیدروژن در داخل منافذ محیط متخلخل وجود دارد بنابراین از دست دادن انرژی می‌تواند مربوط به تخلخل سازند باشد. به نظر می‌رسد در زون‌های شکستگی جایی که میزان سیال سازند افزایش



شکل ۱۰. نمایش زون‌های محتمل شکستگی در چاه مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای

پتروفیزیکی

¹¹ Travel Time

¹² Compressional Wave

تجزیه و تحلیل خواص مخزنی و تخمین شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در یکی از میادین هیدروکربنی ...

۴. نتیجه‌گیری

برای تعیین مناسب‌ترین زون مخزنی با استفاده از روش *MRGC* و آنالیز نمودارهای *RHOB*، *DT*، *NPHI*، *CGR* و تعداد شش رخساره الکتریکی تعیین شد که رخساره شماره دو به دلیل پایین بودن حجم شیل دارای بهترین کیفیت مخزنی و رخساره شماره چهار به دلیل مقدار حجم شیل بیشتر نسبت به دیگر رخساره‌ها کیفیت مخزنی پایینی را داراست. این تحقیق به منظور بررسی نقاط محتمل شکستگی در سازند مورد مطالعه انجام گرفت که با توجه به رسم نمودارهای پتروفیزیکی و نیز تجزیه و تحلیل آن‌ها، نتیجه حاصل شد که تجمع شکستگی‌ها در چاه مورد مطالعه اغلب در اعماق ۴۳۰۶ تا ۴۳۴۹ متر و ۴۷۰۷ تا ۴۷۷۴ متر است. در کل به نظر می‌رسد رخساره الکتریکی شماره دو در مکان‌هایی که حضور زون‌های شکستگی در آنجا محتمل است وجود داشته باشد. روش استفاده شده در این مقاله برای تخمین نقاط احتمالی شکستگی می‌تواند با توجه به هزینه کم و کمترین زمان به‌طور مؤثر در مخازن هیدروکربنی استفاده شود.

بر اساس ارزیابی‌های انجام شده و محاسبه پارامترهای مخزنی بر روی سازند سفیدزاخور و همچنین تخمین شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی نتایج زیر حاصل شد: در این مقاله به منظور تعیین لیتولوژی از نمودارهای متقاطع نوترون - چگالی و نیز *M-N* پلات‌ها استفاده و مشخص شد که لیتولوژی غالب سازند سفیدزاخور در چاه مورد مطالعه غالباً آهک، دولومیت، انیدریت و به مقدار کمتر ماسه‌سنگ و شیل می‌باشد. میانگین حجم شیل محاسبه شده در حدود ۱۵٪ است از این رو منطقه مورد مطالعه جزء سازندهای تمیز محسوب می‌شود. بر اساس ارزیابی صورت گرفته بر روی نمودارهای پتروفیزیکی میانگین تخلخل مؤثر ۶.۲٪ می‌باشد. با توجه به حجم شیل چاه مورد مطالعه، میانگین تخلخل کل و مؤثر در بیشتر زون‌های هیدروکربنی با هم برابر است. همچنین به دلیل حضور شیل در ناحیه مورد بررسی از روش ایندووزیا جهت برآورد میزان اشباع شدگی آب استفاده و مشخص شد که میانگین اشباع شدگی مؤثر آب ۳۶٪ است.

منابع

- آقا نباتی، سید علی، (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۶۴۰ صفحه.
- ابطحی، سید تقی، (۱۳۷۸)، معرفی یک میدان: میدان سفیدزاخور - مخزن دهرم، ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۵۰.
- مطیعی، همایون، (۱۳۷۵)، زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی نفت زاگرس (جلد ۲)، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۳۷ صفحه.
- رضایی، محمدرضا، (۱۳۸۰)، زمین‌شناسی نفت، انتشارات علوی، ۴۷۲ صفحه.
- سپهری، امیر؛ حیدری، آرش؛ معتمدی، حسین؛ عبادتی، ناصر؛ (۱۳۹۵) تحلیل شکستگی سازندهای هیدروکربوری میدان سفیدزاخور (جنوب فارس) و تأثیر آن در افزایش پتانسیل مخزنی، کنفرانس بین‌المللی نوآوری در علوم و تکنولوژی، ۷۳۱-۷۵۲.
- مدنی، آصف؛ کمری، مصیب؛ رستمیان، عارف؛ (۱۳۹۴)، مدل‌سازی الکتروفاسیس و پیش‌بینی لاگ با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ، کتاب آوا، ۲۶۰ صفحه.
- Abdideh, M. a. (2013). Estimating the reservoir permeability and fracture density using petrophysical logs in Marun oil field (SW Iran). *Petroleum Science and Technology*, 1048-1056.
- Almagro, S. P. (2014). Sealing fractures: Advances in lost circulation control treatments. *Oilfield Review*, 4-13. Retrieved from Schlumberger .

- Baecher, G. B. (1983). Statistical analysis of rock mass fracturing. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 329-348.
- Bour, O. a. (2002). A statistical scaling model for fracture network geometry, with validation on a multiscale mapping of a joint network (Homelen Basin, Norway). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, ETG-4.
- Cao, N. a. (2019). Stress-Dependent Permeability of Fractures in Tight Reservoirs. *Energies*, 117.
- Cappa, F. a.-F. (2006). Hydromechanical modelling of pulse tests that measure fluid pressure and fracture normal displacement at the Coaraze Laboratory site, France. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 1062-1082.
- Halliburton . (2018). Retrieved from Halliburton : <https://www.halliburton.com/en-US/default.html>
- Han, G. a. (2003). Description of fluid flow around a wellbore with stress-dependent porosity and permeability. *Journal of Petroleum science and engineering*, 1-16.
- Hart, R. (2003). Enhancing rock stress understanding through numerical analysis. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 1089-1097.
- Itasca. (2016). 3DEC User Manual Version 5.2. Minneapolis: Itasca Consulting Group.
- Karatela, E. a. (2016). Study on effect of in-situ stress ratio and discontinuities orientation on borehole stability in heavily fractured rocks using discrete element method. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 139, 94-103.
- Labenski, F. a. (2003). Drilling Fluids Approaches for Control of Wellbore Instability in Fractured Formations. *SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition*. Abu Dhabi: Society of Petroleum Engineers.
- Lei, Q. a.-P.-F. (2017). The use of discrete fracture networks for modelling coupled geomechanical and hydrological behaviour of fractured rocks. *Computers and Geotechnics*, 151-176.
- Li, S. a. (2012). Pore-pressure and wellbore-stability prediction to increase drilling efficiency. *Journal of Petroleum Technology*, 64, 98-101.
- Mansour, A. a. (2019). Smart lost circulation materials for productive zones. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 281-296.
- Meng, M. a. (2019). Wellbore stability in naturally fractured formations featuring dual-porosity/single-permeability and finite radial fluid discharge. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 790-803.
- Min, K.-B. a.-F. (2004). Stress-dependent permeability of fractured rock masses: a numerical study. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 1191-1210.
- Nagel, N. a.-N. (2013). Coupled numerical evaluations of the geomechanical interactions between a hydraulic fracture stimulation and a natural fracture system in shale formations. *Rock mechanics and rock engineering*, 581-609.
- Salehi, S. a. (2010). Numerical simulations of wellbore stability in under-balanced-drilling wells. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 229-235.

تجزیه و تحلیل خواص مخزنی و تخمین شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در یکی از میادین هیدروکربنی

- Sapigni, M. a. (2003). Engineering geological characterization and comparison of predicted and measured performance of a cavern in the Italian Alps. *Engineering geology*, 47-62.
- Taheri, A. (2018). Three-dimensional hydro-mechanical model of borehole in fractured rock mass using discrete element method. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 53 , 263–275.
- Tour, J. M. (2012). Graphene compositions and drilling fluids derived therefrom. United States Patent and Trademark Office.
- Valenti, N. P. (2002). A unified theory on residual oil saturation and irreducible water saturation. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Zhang, J. (2013). Borehole stability analysis accounting for anisotropies in drilling to weak bedding planes. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 160-170.
- Zhang, X. a. (1999). Numerical modelling of wellbore behaviour in fractured rock masses. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 95-115.
- Zhang, Z. a. (2018). Effects of stress-dependent permeability on well performance of ultra-low permeability oil reservoir in China. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 565-575.