



تلفیق مطالعات پتروگرافی و پتروفیزیکی در ارزیابی کیفیت مخزن گروه خامی بالایی (داریان، گدوان، فهلیان) در چاه‌های ماهشهر ۱ و هندیجان ۶

سید جواد طباطبایی^۱، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میمه^۲، مریم نوادی^۳، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

فاطمه عابدینی^۴، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند

چکیده

گروه خامی در فروافتادگی دزفول در جنوب باختری تراسه زاگرس قرار گرفته است. فروافتادگی دزفول در محدوده سه پدیده ساختمانی شامل زون خمشی بالارود در شمال، زون خمشی جبهه کوهستانی در شمال‌خاوری و زون گسله جنوبی در خاور و جنوب‌خاوری قرار می‌گیرد. گروه خامی بالایی شامل سازندهای داریان، گدوان و فهلیان است. این مطالعه در دو چاه هندیجان ۶ و ماهشهر ۱ انجام شده است. در این پروژه، مطالعات میکروسکوپی با مطالعات حاصل از نمودارهای چاه‌پیمایی تلفیق و در نهایت، تفسیر نمودارها صورت گرفته است. در مطالعات پتروگرافی، بافت، فرایندهای غالب دیاژنزی و نوع تخلخل و فراوانی آنها مورد بررسی قرار گرفت. تخلخل‌های غالب در سازندهای دو میدان، بین‌دانه‌ای، بین‌بلوری و حفره‌ای بوده است. نظر به اینکه محاسبه خواص پتروفیزیکی از قبیل تخلخل، اشباع هیدروکربور و حجم شیل در مدیریت مخزنی هیدروکربوری نقش به‌سزایی ایفا می‌کند و تخلخل و اشباع آب از پارامترهایی هستند که بر روی سایر پارامترها تأثیر گذارند، از این رو، محاسبه آنها تأثیر مستقیمی بر روی عمر مخزن خواهد داشت. در این مطالعه، تخلخل از طریق یک نمودار (نمودار نوترون، چگالی و صوتی) و دو نمودار (نوترون-چگالی) بررسی گردید. اشباع هیدروکربور نیز از رابطه مهم آرچی محاسبه شد. در برآورد m با توجه به مطالعات پتروگرافی انجام شده و براساس انواع تخلخل غالب مشاهده شده در اعماق مختلف، از روابط شل، رگلدن و ناگت استفاده شد. حجم شیل نیز از نمودار CGR برآورد شد. ضمناً جهت برآورد انواع تخلخل و نیز مشاهده روند تراوایی، نمودار انحراف سرعت از تلفیق بین نمودار نوترون و صوتی ترسیم شد. در نهایت بر مبنای مطالعات میکروسکوپی و ارزیابی نمودارها، این سازندها در دو چاه به زون‌های متعددی برحسب دامنه تغییرات حجم شیل، اشباع هیدروکربور و تخلخل تفکیک گردید و زون مناسب در هر سازند انتخاب و در آخر، مقایسه‌ای بین زون‌های مناسب در سازندها صورت گرفت.

واژگان کلیدی: تخلخل، حجم شیل، اشباع هیدروکربور، ارزیابی پتروفیزیکی، پتروگرافی

مقدمه

وجود میدان‌های عظیم نفت و گاز سبب شده تا زاگرس، یکی از نفت‌خیزترین حوضه‌های رسوبی جهان به حساب آید [۱]. کربنات‌ها در ایران در ژوراسیک و کرتاسه آغازین به نام گروه خامی شناخته می‌شوند. گروه خامی با سن ژوراسیک-کرتاسه زیرین یکی از مخازن نفتی با اهمیت در حوضه زاگرس محسوب می‌شود [۲۲]. به علت عمق زیاد خامی در فروافتادگی دزفول، حفاری و دستیابی به مخازن آن با دشواری‌های فراوانی همراه است و بر همین اساس، کل اطلاعات به دست آمده از این مخازن، از داده‌های چند حلقه چاه فراتر نمی‌رود [۸]. مخزن کربناته از هتروژنی بالایی برخوردار است [۱۶]. یکی از روش‌های ارزیابی مخزن، استفاده از خصوصیات پتروفیزیکی و نمودارهای چاه‌پیمایی است؛ نمودارهای چاه‌پیمایی، اطلاعات ضروری جهت ارزیابی کمی هیدروکربور، نوع سنگ و خصوصیات سیال درون سازند را فراهم می‌کند، همچنین این اطلاعات، در شناخت بخش‌های مفید مخزن، ضخامت مفید ستون چاه و تشخیص سیالات مخزنی کاربرد دارد [۲۱].

۱- ناحیه مورد مطالعه

فروافتادگی دزفول، یک موقعیت ساختمانی در جنوب باختری تراسه زاگرس بوده که در برگیرنده اکثر میدان‌های نفتی ایران است. به‌طور کلی، فروافتادگی دزفول به ناحیه‌ای از زاگرس اطلاق می‌شود که در آن، آسماری فاقد رخنمون است [۷].

چاه هندیجان در بخش شمالی خلیج فارس و نزدیک به ساحل قرار گرفته است. این میدان در شمال میدان بهرگانسر، شرق میدان ماهشهر و جنوب غرب میادین تنگو و رگ سفید واقع و دارای روند شمالی-جنوبی است. فاصله مستقیم چاه ۶- هندیجان تا شهر هندیجان، در حدود ۱۶/۵ کیلومتر است [۴]. چاه ماهشهر در حاشیه شمالی خلیج فارس در ناحیه دزفول شمالی واقع شده که طاق‌دیس هندیجان در شرق و طاق‌دیس تنگو در شمال شرق آن قرار دارد. امتداد محور طاق‌دیس ماهشهر شمال-شمال غرب، جنوب-جنوب شرق است [۹].

۲- معرفی سازندهای مورد مطالعه

۱-۲- سازند داریان

نام این سازند از دهکده داریان واقع در جنوب برش نمونه اتخاذ

متر حفرار و فهلیان پایینی از عمق ۳۸۴۳-۳۹۸۵ متر حفرار است. فهلیان پایینی را معادل یامامادر کشورهای عربی در نظر گرفته اند [۱۰ و ۴]. در امارات متحده عربی، سازند فهلیان معادل گروه تاماماست. در کویت، سازند فهلیان از قدیم به جدید به ترتیب معادل ماخول (Makhul)، میناقیش (Minaghish)، و رتاوی (Ratawi) است [۱۰].

۳- روش تحقیق

مخازن کربناته از هتروژنی بالایی برخوردار هستند. به طور معمول، ۲۵-۳۰ درصد حجم نفت در جای اصلی این مخازن با استفاده از روش های معمول بازیافت تولید می شود [۱۶]. با توجه به اهمیت ویژه خصوصیات مخزنی در صنعت نفت، جهت بررسی فرایندهای موثر این خصوصیات در سازندهای داریان، گدوان و فهلیان، از تلفیق مطالعات پتروگرافی و پتروفیزیکی جهت مطالعه چاه های ماهشهر ۱ و هند یجان ۶ استفاده شد. با بررسی پتروگرافی مقاطع نازک میکروسکوپی، مهمترین فرایندهای دیاژنتیکی و انواع تخلخل های موثر در سازندهای گروه خامی بالایی در منطقه فروافتاده دزفول مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی که از آنها اطلاعات دقیقی در رابطه با سیال سازندی، لیتولوژی، تخلخل و غیره به دست می آید، محاسبات خواص پتروفیزیکی از قبیل تخلخل، اشباع شدگی و حجم شیل، انجام شد. در نهایت، با تلفیق اطلاعات میکروسکوپی و پتروفیزیکی، لایه های مخزنی مناسب در سازندهای دو چاه فوق پیشنهاد گردید.

۴- تخلخل

از جمله پارامترهای ضروری برای یک سنگ مخزن هیدرو کربنی، تخلخل است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، انواع تخلخل مشاهده شده در مقاطع دو چاه ماهشهر ۱ و هند یجان ۶ را می توان به صورت زیر بیان نمود:

۴-۱- تخلخل استیلولیتی

در طول رگچه های فشاری - انحلالی گسترش می یابد و در بعضی موارد به عنوان مسیرهای مهاجرت سیالات (آب و هیدرو کربن) عمل می کند. این نوع تخلخل، جزو تخلخل های ثانویه بوده که می تواند باعث افزایش کیفیت مخزن گردد [۲] (شکل ۲).

۴-۲- تخلخل حفره ای

این نوع تخلخل در مخازن آهکی عمومیت دارد و به آن تخلخل بزرگ شده نیز گفته می شود [۲]. بسته به خواص پتروفیزیکی، فضای حفره ای به دو گروه حفرات مجزا و موثر، بر اساس پیوستگی حفرات، تقسیم می شود. در سازندهای مورد مطالعه، تخلخل حفره ای زیاد نبود لذا، تأثیر چندانی بر کیفیت مخزنی ندارد. (شکل ۳)

۴-۳- تخلخل شکستگی

این نوع تخلخل، فابریک سنگ را قطع کرده و می تواند در صورت مرتبط بودن، مهمترین عامل تراوایی در مخازن کربناته محسوب شود [۱۷]. در این مطالعه اکثر شکستگی ها به صورت ریز شکستگی و یا شکستگی هایی که در طی فرایندهای دیاژنتی با سیمان پُر شده اند، مشاهده می شود. در این حالت، باعث ایجاد سد در بین گلوگاه های تخلخل شده و لذا باعث کاهش تراوایی

شده است. قبلاً این سازند به نام آهک اربتولین دار، آهک آپسین - آلبین و در ردیف آهک خامی نیز محسوب شده است. برش نمونه سازند آهکی داریان در کوه گدوان دقیقاً در شمال روستای داریان اندازه گیری شده و مطابق با سازند Shuaiba در سمت خلیج فارس است [۷ و ۱۰]. این سازند در عمان آخرین سازند کهماه (Kahmah) است. حد پایینی این سازند به صورت تدریجی با آهک های نازک لایه گدوان و حد بالایی آن با دگرشیمی موازی با سازند کژدمی مشخص شده است [۱۰]. این سازند در چاه هند یجان از عمق (۳۲۶۱-۳۴۳۳) متر حفرار و در چاه ماهشهر از عمق (۴۱۷۸-۴۳۸۸) متر حفرار است.

۲-۲- سازند گدوان

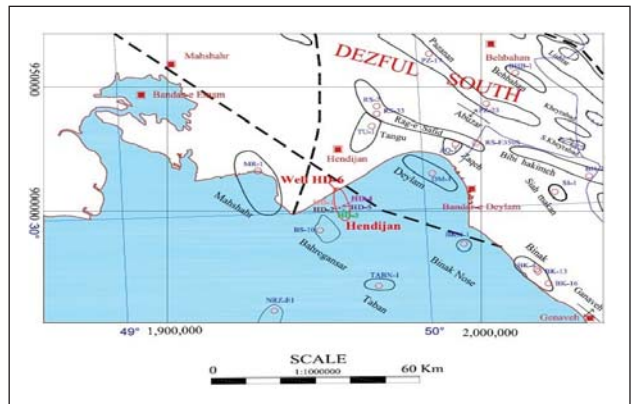
برش نمونه این سازند در انتهای شرقی کوه گدوان (گدا یون) واقع در ۳۹ کیلومتری شرق - شمال شرق شیراز انتخاب شده است. حد پایینی این سازند با سازند فهلیان تدریجی و همساز و حد بالایی این سازند نیز با سازند داریان تدریجی و همساز توصیف شده است [۸]. به طور کلی، سازند گدوان هم ارز با بخش های پایینی و میانی سازند زیر در عراق و کویت است [۱۰].

سازند گدوان در چاه ماهشهر در فاصله عمقی ۴۳۹۱-۴۵۱۲ متر حفرار واقع شده است. بخش خلیج در عمق ۴۴۲۲-۴۴۳۸ متر حفرار و شامل سنگ آهک خاکستری است [۱۲]. سازند گدوان در چاه هند یجان در عمق ۳۴۳۳- ۳۵۴۷ متر حفرار واقع شده و بخش خلیج در این چاه در عمق ۳۴۶۲-۳۴۸۰ متر حفرار واقع شده است [۴].

۳-۲- سازند فهلیان

برش نمونه این سازند در یال جنوبی کوه دال در نزدیکی روستای فهلیان واقع در ۹۰ کیلومتری شرق - جنوب شرق شهر گچساران و در ۱۰ کیلومتری شمال نور آباد ممسنی در ناحیه ی فارس قرار دارد. پایتترین سازند، کرتاسه ی آغازین بوده و لیتولوژی آن کربناته است. به طور کلی سازند فهلیان واحدی آهکی میان دو سازند هیث و گدوان در نظر گرفته می شود. این سازند دارای بیشترین گستردگی در استان فارس است ولی در شمال خاوری فروافتادگی دزفول بوده و در لرستان نیز دیده می شود [۷].

سازند فهلیان در چاه ماهشهر در فاصله عمقی ۴۵۱۲-۵۰۱۲ متر حفرار، و سازند فهلیان در چاه هند یجان شامل: فهلیان بالایی از عمق ۳۵۴۷-۳۸۴۳



شکل ۱ | موقعیت میادین ماهشهر و هند یجان و چاه های مورد مطالعه

در مخزن می گردد. (شکل-۴)

۴-۴-تخلخل بین بلوری

این نوع تخلخل که در هر دو میدان مشاهده می شود، اغلب در دولومیت های جانیشینی یافت شده و از نوع ثانویه محسوب می شود. تراوایی در این نوع تخلخل، به شدت با افزایش قطر بلورها افزوده می شود [۲].

۴-۵-تخلخل قالبی

انحلال انتخابی دانه های آراگونیتی در سنگ های کربناته، موجب ایجاد فضاهای خالی در محل این دانه ها می شوند و در نهایت ایجاد تخلخل قالبی را می نمایند. به طور کلی گسترش این نوع تخلخل در سنگ های گل پشیمان مجزا و در سنگ های دانه پشیمان، باعث افزایش تراوایی می شود [۲]. در میادین مورد مطالعه، این نوع تخلخل گاهی همراه با تخلخل بین ذره ای مشاهده شده و این باعث افزایش کیفیت مخزنی خواهد شد. (شکل-۵)

۴-۶-تخلخل بین دانه ای

تخلخل اولیه رسوبی بین ذرات سازنده سنگ است که بر اساس تقسیم بندی لوسیا، تخلخل بین ذره ای و طبق نظر چوکت و پری تخلخل تحت کنترل فابریک سنگ محسوب می شود. (شکل-۶)

۴-۷-تخلخل درون دانه ای

فضاهای خالی درون دانه های اسکلتی را شامل می شود [۲]. میزان تخلخل درون دانه ای به فراوانی قطعات فسیلی، اندازه و نوع موجودات بستگی دارد. به طور کلی، ارتباط تخلخل درون دانه ای با تراوایی ضعیف بوده و در تمامی سازندهای چاه های ماهشهر ۱ و هنديجان ۶ کم و بیش وجود دارد. (شکل-۷)

۵-۵-دیاژنز

به تغییراتی که در مشخصات، ویژگی ها و ترکیب رسوبات از زمان نهشته شدن در محیط رسوبی تا سنگ شدن و وارد شدن به محیط دگرگونی روی می دهد، دیاژنز گفته می شود [۱۳ و ۱۵]. فرایندهای دیاژنزی نقش مهمی در توسعه و تکامل تخلخل سنگ های کربناته دارد [۱۴]. از طرفی

می تواند باعث تخریب کامل هیدروکربن ها در سنگ های مخزن شده و تخلخل را کاهش دهد [۱۹]. در مطالعه مخازن هیدروکربوری، دیاژنز علاوه بر اینکه در تعیین مسیرهای مهاجرت و نرخ آن و یا تغییرات این مسیرها و نرخ های آن نقش دارد، بر روی ظرفیت مخازن نیز موثر است. در اینجا، به اختصار، تأثیر هر یک از فرایندهای دیاژنزی مطالعه شده در مقاطع نازک در کیفیت مخزنی در چاه های ماهشهر ۱ و هنديجان ۶ در سازندهای گروه خامی بالایی شرح داده می شود.

۵-۱-تراکم

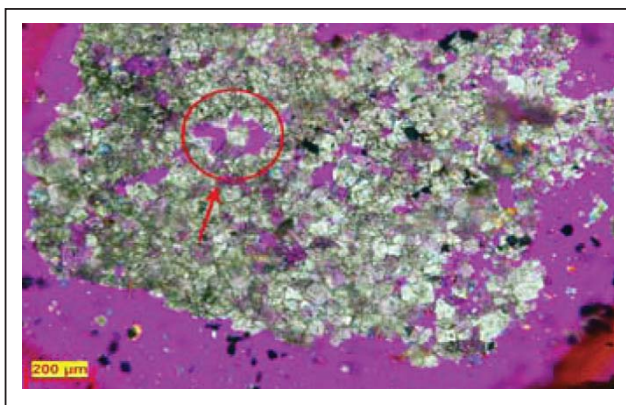
تراکم به دو صورت مکانیکی و شیمیایی است. سه بافت متداول که از فشردگی شیمیایی حاصل می شود، عبارت است از: فابریک های در هم، استیلولیتها و رگه های انحلالی فشاری [۲۴]. انحلال فشاری در مقاطع مورد مطالعه، باعث ایجاد استیلولیت و رگچه های نازک شده است. به طور کلی، استیلولیتها به دلیل تجمع کانی های رُسی، ناخالصی های موجود در سنگ آهک و رسوب کربنات کلسیم حاصل از انحلال، تأثیر منفی بر خواص مخزن می گذارند اما در برخی موارد، باز شدگی خوبی نشان داده و مجرای عبور سیال را فراهم می کنند. همچنین قابل ذکر است که در طول استیلولیتها و رگه های انحلالی نیز دولومیتها مشاهده شده اند که باعث ایجاد تخلخل ثانویه بین بلوری و در نهایت تراوایی در سازند می شوند.

۵-۲-سیمانی شدن

یکی دیگر از فرایندهای دیاژنزی، سیمانی شدن است. از سیمان های عمده ای که در سازندهای مورد مطالعه مشاهده گردید، می توان به سیمان کلسیتی دروزی و سیمان پویی کیلوتوپیک یا فراگیرنده اشاره کرد که این سیمانها باعث کاهش کیفیت مخزنی می گردند.

۵-۳-پیریتی شدن و سیلیسی شدن

در اکثر بخش های سازندهای مورد مطالعه مشاهده می گردند و قابل ذکر است که هر دو پدیده پیریتی شدن و سیلیسی شدن باعث کاهش کیفیت مخزنی در این سازندها شده است.



شکل ۳ | نمونه ای از تخلخل حفره ای حاصل از انحلال دولومیت در عمق ۳۲۴۷ متر حفار در چاه هنديجان ۶



شکل ۴ | نمونه ای از تخلخل استیلولیتی مشاهده شده در عمق ۴۲۱۸ متر حفار در چاه ماهشهر ۱

۵-۴- دولومیتی شدن

نتیجه مهم پدیده دولومیتی شدن در یک سازند مخزنی، افزایش تخلخل است، زیرا دولومیت، دارای ساختمان بلوری فشرده تری نسبت به کلسیت است و با افزایش اندازه حُفّرات می تواند باعث بهبود کیفیت مخزن گردد. حتی امکان دارد که دولومیتزاسیون ادامه یافته، فابریک بلورها فشرده شده و در نهایت باعث کاهش ویسا از بین رفتن تخلخل گردد. اگر سیالات هیدروکربوری در بین تخلخل های بلوری دولومیت ها قرار گیرد، تخلخل، حفظ می شود. این مرحله، تأثیر مهمی بر خواص مخزنی خواهد داشت، به طوری که، موجب افزایش تخلخل و ایجاد تراوایی و اثر هموزنی بر مخازن کربناته می شود؛ در این حالت است که دولومیتی شدن موجب افزایش تخلخل و تراوایی خواهد شد.

۶-۴- نوشکلی

نوشکلی یا نئومرفیسم، فرایند تبدیلات کانی شناسی از یک کانی به کانی دیگر و یا اشکال دیگر همان کانی است [۲]. نوشکلی در سنگهای آهکی، معمولاً از نوع افزایشی است و منجر به تشکیل بلورهای موزائیکی درشت

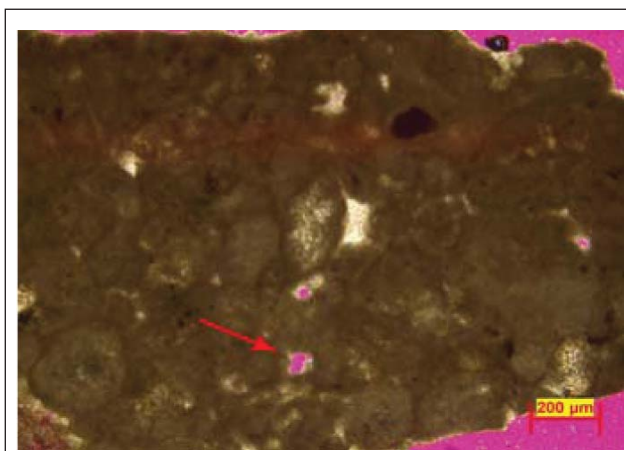
شده، در نهایت باعث کاهش کیفیت مخزنی می گردد [۲۴].

۶-۵- میکربیتی شدن

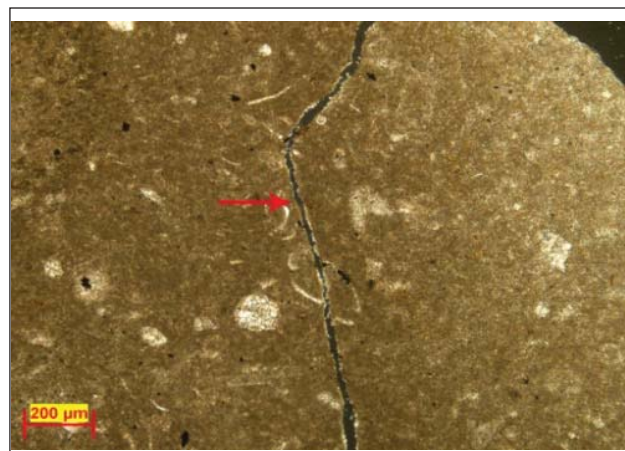
میکربیتی شدن از انواع فرایندهای دیاژنزی است که حاصل عملکرد موجودات زنده به ویژه قارچ ها و باکتری هاست. طی این فرایند، دانه های کربناته به صورت بخشی یا کامل به میکرایت همگن تبدیل می شوند [۱۸]. این پدیده در سازندهای فهلیان، گدوان و داریان در هر دو چاه ماهشهر ۱ و هنديجان ۶ بسیار صورت گرفته است. میکربیتی شدن بیشتر در اطراف فرامینفرها دیده می شود.

۶-۶- شکستگی

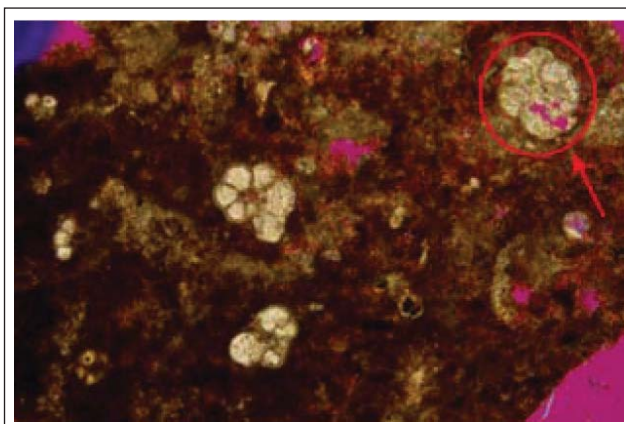
پدیده مهمی که در تمام مناطق دیاژنزی می تواند گسترش یابد، شکستگی است. شکستگی ها عموماً به عنوان مسیرهای مناسب برای عبور سیالات هیدروکربن دار عمل می کنند. اگر این شکستگی ها توسط سیمان پُر شوند، باعث کاهش نفوذپذیری و کاهش کیفیت مخزنی خواهند شد؛ برعکس، شکستگی های باز و نیمه باز، نقش مهمی در ارتقاء کیفیت مخزن ایفای می کنند.



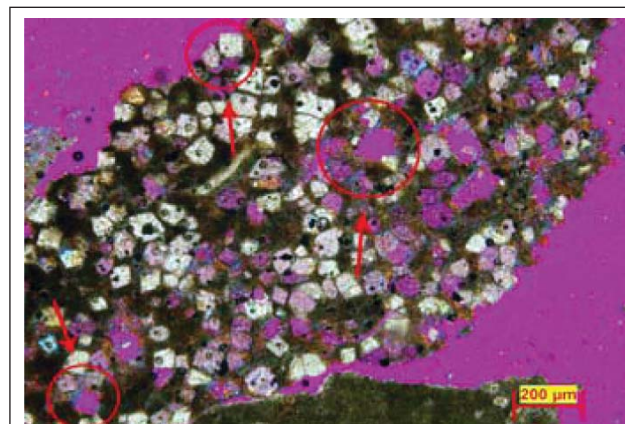
۶ | نمونه ای از تخلخل بین دانه ای مشاهده شده در عمق ۴۲۲۰ متر حفار در چاه ماهشهر ۱



۴ | نمونه ای از تخلخل شکستگی در عمق ۴۳۱۸ متر حفار چاه ماهشهر ۱



۷ | نمونه ای از تخلخل درون دانه ای مشاهده شده در عمق ۳۳۹۴ متر حفار در چاه هنديجان ۶



۵ | نمونه ای از تخلخل بین بلوری و قالبی در عمق ۳۴۱۰ متر حفار در چاه هنديجان ۶





۲- روش محاسبه و آنالیز داده‌ها

جهت بررسی و شناخت سازندهای با کیفیت مخزنی مناسب، باید محاسباتی بر روی پارامترهای مهم پتروفیزیکی صورت گیرد که در اینجا به معرفی آن پرداخته می‌شود:

۱-۷- محاسبه حجم شیل

در این مطالعه، جهت محاسبه حجم شیل، از نمودار CGR استفاده شد و در ابتدا اندیس گاما بر اساس رابطه (۱) برآورد گردید.

$$I_{GR} = \frac{(CGR - CGR_{min})}{(CGR_{Max} - CGR_{min})} \quad \text{رابطه (۱)}$$

سپس برای محاسبه حجم شیل از رابطه (۲) که در سازندهای قدیمی کاربرد دارد، استفاده شد (Larionov, 1969).

$$V_{sh} = 0.33 \times (2^{2 \times I_{GR}} - 1) \quad \text{رابطه (۲)}$$

۲-۷- محاسبه تخلخل

یکی از پارامترهای مهم در کیفیت یک سنگ مخزن هیدروکربنی، میزان تخلخل آن است. کیفیت سنگ مخزن بر خسی دامنه تغییر تخلخل، به چهار قسمت اصلی قابل تقسیم است: بدین ترتیب که تخلخل‌های ۵٪ و یا کمتر از آن، فقد کیفیت مخزنی بوده و تخلخل بسیار ضعیف محسوب می‌شود. بین ۵ تا ۱۰٪ تخلخل ضعیف، بین ۲۰ تا ۱۰٪ تخلخل متوسط، بین ۲۰ تا ۳۰٪ تخلخل خوب و بیش از ۳۰٪ تخلخل بسیار خوب تلقی می‌شود [۶، ۲۲]. جهت محاسبه تخلخل می‌توان از نمودارهای تخلخل از قبیل نوترون، چگالی و صوتی استفاده کرد. تخلخل با استفاده از یک نمودار و یا دو نمودار قابل محاسبه است.

جهت محاسبه تخلخل با استفاده از نمودار چگالی از روابط (۳) تا (۹)

استفاده می‌شود. در این روابط، ρ_{ma} چگالی ماتریکس بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب که برابر با ۲/۷۱ در نظر گرفته شده، ρ_{fl} چگالی سیال که برابر با یک در نظر گرفته شده و ρ_b چگالی قرائت شده توسط ابزار در اعماق مختلف سازند می‌باشد. همچنین در این روابط ρ_{sh} چگالی شیلی، V_{sh} حجم شیل و ϕ_{Dsh-c} تخلخل تصحیح شده است.

$$\phi_{Dsha} = (\rho_{ma} - \rho_{sh}) / (\rho_{ma} - \rho_{fl}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\phi_{Da} = (\rho_{ma} - \rho_b) / (\rho_{ma} - \rho_{fl}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\phi_{Dsh-c} = \phi_{Da} - (V_{sh} \times \phi_{Dsha}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

ρ_{sh} در چاه هندیجان برابر با ۲/۵۹۱۶ و در چاه ماهشهر برابر با ۲/۶۹ محاسبه گردیده است.

جهت محاسبه تخلخل صوتی نیز از روابط (۶) تا (۸) استفاده می‌شود.

$$\phi_{sa} = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_{fl} - \Delta t_{ma}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\phi_{Sshc} = \phi_{sa} - (V_{sh} \times \phi_{Dsha}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\phi_{Sshc} = \phi_{sa} - (V_{sh} \times \phi_{Dsha}) \quad \text{رابطه (۸)}$$

و بالاخره، جهت محاسبه تخلخل با استفاده از دو نمودار نوترون و چگالی از رابطه (۹) استفاده می‌گردد.

$$\phi_{N-D} = \sqrt{\frac{(\phi_N^2 + \phi_D^2)}{2}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

۳-۷- محاسبه اشباع شدگی آب (Sw)

در این مطالعه جهت محاسبه آب اشباع شدگی از رابطه مهم آرچی [۱۱] برای کرناتها استفاده شد که با استفاده از رابطه (۱۰) قابل محاسبه است.

$$S_w^n = \frac{FR_w}{R_r} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

نتایج حاصل از محاسبات سازند گدوان در چاه ماهشهر ۱

زون بندی	عمق (متر حفار)	تخلخل	حجم شیل	اشباع شدگی
۱	۴۳۸۸-۴۴۰۸	۱۹	۴۴	۸۱
۲	۴۴۰۸-۴۴۱۱	۱۰	۳۶	۱۰۰
۳	۴۴۱۱-۴۴۲۳	۱۹	۴۸	۷۹
۴	۴۴۲۳-۴۴۳۸	۱۲	۱۳	۶۰
۵	۴۴۳۸-۴۴۶۶	۲۰	۵۳	۸۷
۶	۴۴۶۶-۴۴۶۹	۹	۲۸	۱۰۰
۷	۴۴۶۹-۴۵۱۲	۱۸	۳۹	۹۰

زون بندی	عمق (متر حفار)	تخلخل	حجم شیل	اشباع شدگی
۱	۴۱۷۸-۴۱۷۹	۲۱	۶۴	۱۰۰
۲	۴۱۷۹-۴۱۹۳	۸	۱۹	۳۶
۳	۴۱۹۳-۴۲۲۵	۵	۱۰	۹۵
۴	۴۲۲۵-۴۲۶۲	۳	۱۳	۹۰
۵	۴۲۶۲-۴۲۹۰	۷	۲۰	۹۱
۶	۴۲۹۰-۴۲۹۷	۱۲	۳۴	۸۳
۷	۴۲۹۷-۴۳۰۲	۹	۱۹	۸۲
۸	۴۳۰۲-۴۳۳۰	۲۶	۵۸	۷۳
۹	۴۳۳۰-۴۳۴۲	۱۶	۳۲	۳۸
۱۰	۴۳۴۲-۴۳۷۰	۶	۱۵	۳۸
۱۱	۴۳۷۰-۴۳۷۷	۱۱	۲۴	۴۲
۱۲	۴۳۷۷-۴۳۸۸	۸	۱۴	۴۵

۸- نتایج محاسبات

در اینجا، پس از انجام محاسبات و به دست آوردن اطلاعات لازم پتروفیزیکی و زون بندی سازندها بر حسب درصد تخلخل، حجم شیل و اشباع شدگی و تلفیق آن با مطالعات پتروگرافی در هر یک از سازندها، زون های مناسب به شرح زیر معرفی گردید:

۱-۱- سازند داریان در چاه ماهشهر ۱

این سازند که در فاصله عمقی ۴۳۸۸-۴۱۷۸ متر حفار است، بر اساس حدبرش های تعریف شده، به ۱۲ زون تفکیک گردید. زون ۲ در بازه عمقی ۴۱۹۳-۴۱۷۹ متر حفار با داشتن میانگین تخلخل ۸٪، اشباع شدگی ۳۶٪ و حجم شیل ۱۹٪، از جنس مادستون تا و کستون و مقداری گریستون تا پکستون است (جدول ۱-۱). عوامل دیانزنی همچون دولومیتی شدن و شکستگی، از جمله عواملی هستند که کیفیت را در این زون بالا برده اند به طوری که می توان این زون را زون با کیفیت مناسب معرفی کرد. به عنوان نمونه، زون ۲ در سازند داریان ماهشهر، در شکل ۸ نشان داده شده است.

۴ | نتایج حاصل از محاسبات سازند داریان در چاه هنديجان ۶

زون بندی	عمق (متر حفار)	تخلخل	حجم شیل	اشباع شدگی
۱	۳۳۱۲-۳۲۶۱	۶	۷	۷۹
۲	۳۳۱۲-۳۳۵۰	۱۴	۱۳	۲۹
۳	۳۳۵۰-۳۳۶۸	۲۳	۴۰	۹۷
۴	۳۳۶۸-۳۳۷۷	۱۲	۱۱	۴۳
۵	۳۳۷۷-۳۳۸۲	۶	۳	۵۷
۶	۳۳۸۲-۳۳۸۷	۶	۲	۴۴
۷	۳۳۸۷-۳۳۹۸	۴	۳	۶۲
۸	۳۳۹۸-۳۴۱۷	۹	۷	۲۷
۹	۳۴۱۷-۳۴۳۳	۷	۱۲	۸۳

۵ | نتایج حاصل از محاسبات سازند گدوان در چاه هنديجان ۶

زون بندی	عمق (متر حفار)	تخلخل	حجم شیل	اشباع شدگی
۱	۳۴۳۳-۳۴۳۵	۱۳	۲۳	۵۹
۲	۳۴۳۵-۳۴۵۱	۲۰	۴۰	۹۱
۳	۳۴۵۱-۳۴۵۴	۱۲	۲۲	۷۷
۴	۳۴۵۴-۳۴۶۲	۲۰	۴۳	۸۷
۵	۳۴۶۲-۳۴۶۶	۱۶	۴	۵۸
۶	۳۴۶۶-۳۴۷۴	۲۶	۳	۴۱
۷	۳۴۷۴-۳۴۸۰	۲۰	۱۱	۷۷
۸	۳۴۸۰-۳۵۱۰	۲۰	۵۵	۸۷
۹	۳۵۱۰-۳۵۱۲	۱۳	۳۰	۶۰
۱۰	۳۵۱۲-۳۵۴۷	۱۷	۳۹	۷۹

۷-۴- محاسبه حجم کل آب (BVW)

محاسبه حجم کل آب بر اساس حاصل ضرب اشباع شدگی (Sw) و تخلخل (φ) به دست می آید (رابطه ۱۱).

$$BVW = S_w \times \phi \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در این مطالعه جهت تخمین انواع تخلخل در اعماق

مختلف برای هر سه سازند داریان، گدوان و فهلیان در هر دو چاه بررسی صورت گرفت. قابل ذکر است که می توان با توجه به حجم کل آب به دست آمده، اندازه دانه ها را تخمین زد. بر این اساس، در اعماق، به ازای کاهش دانه ها، مقدار تخلخل افزایش، اما تراوایی کاهش می یابد و با افزایش دانه ها مقدار تخلخل مفید افزایش یافته و تراوایی نیز زیاد می گردد، زیرا در رسوبات دانه ریز، مجاری حفره ها بسیار کوچک بوده و فشار موئینه بالا در دیواره های این مجاری مانع عبور این سیالات می گردد [۵].

۷-۵- نمودار انحراف سرعت (Velocity Deviation Log)

نمودار انحراف سرعت از تلفیق نمودار صوتی بانوترون یا چگالی حاصل می گردد، با توجه به این ابزار می توان انواع تخلخل غالب در کربنات ها و نیز روند تراوایی را تخمین زد. روشی که برای محاسبه نمودار انحراف سرعت استفاده شده، به قرار زیر است:

(۱) به دست آوردن سرعت سونیک با قرار دادن در رابطه (۱۲):

$$V_{dt} = \frac{304.8}{\Delta t} \times 1000 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

(۲) بدست آوردن Δt نوترون به کمک رابطه (۱۳)

$$\Delta t_n = (NPHI \times (189 - 49)) + 49 \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

(۳) به دست آوردن سرعت نوترون از رابطه (۱۴)

$$V_{dt} = \frac{304.8}{\Delta t_n} \times 1000 \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\Rightarrow VDL = V_s - V_n$$

۳ | نتایج حاصل از محاسبات سازند فهلیان در چاه ماهشهر ۱

زون بندی	عمق (متر حفار)	تخلخل	حجم شیل	اشباع شدگی
۱	۴۵۱۲-۴۵۶۸	۸	۱۷	۸۹
۲	۴۵۶۸-۴۵۷۸	۸	۱۲	۳۵
۳	۴۵۷۸-۴۵۸۲	۱۱	۲۴	۱۰۰
۴	۴۵۸۲-۴۵۸۸	۱۴	۳۴	۱۰۰
۵	۴۵۸۸-۴۶۶۰	۷	۱۸	۷۵
۶	۴۶۶۰-۴۶۶۷	۱۴	۳۷	۷۹
۷	۴۶۶۷-۴۷۶۴	۵	۱۴	۹۰
۹	۴۷۹۲-۴۸۲۱	۲۵	۴۶	---
۱۰	۴۸۲۱-۴۸۳۷	۲۲	۳۶	۲۷
۱۱	۴۸۳۷-۴۸۴۶	۱۶	۵۴	۷۳
۱۲	۴۸۴۶-۴۹۵۷	۳	۸	۷۷
۱۳	۴۹۵۷-۵۰۱۲	۳	۱۴	۵۰

۸-۲- سازند گدوان (بخش خلیج) در چاه ماهشهر ۱

این سازند که در فاصله عمقی ۴۵۱۲-۴۳۸۸ متر حفار است، براساس حدبرش‌ها به ۷ زون تفکیک گردید. زون ۴ در بازه عمقی ۴۴۳۸-۴۴۲۳ متر حفار با داشتن میانگین تخلخل ۱۲٪، اشباع‌شدگی ۶۰٪ و حجم شیل ۱۳٪، از جنس مادستون تا و کستون بوده و تخلخل‌های غالب، درون‌دانه‌ای و حفره‌ایست مقداری گریستون تا پکستون است (جدول ۲-۲). فراین شکستگی، در بالابردن کیفیت این زون، نقش به‌سزایی داشته است به گونه‌ای که می‌توان این زون را زون با کیفیت مناسب معرفی نمود.

۸-۳- سازند فهلیان در چاه ماهشهر ۱

این سازند که در فاصله عمقی ۵۰۱۲-۴۵۱۲ متر حفار است، براساس حدبرش‌ها، به ۱۳ زون تفکیک گردید. زون ۲ در بازه عمقی ۴۵۷۸-۴۵۶۸ متر حفار، دارای میانگین تخلخل ۸٪، اشباع‌شدگی ۳۵٪ و حجم شیل ۱۲٪ است (جدول ۳-۳). این زون از جنس مادستون تا و کستون بوده و تخلخل غالب حفره‌ای است. از جمله عوامل دیاژنزی موثر در این زون، شکستگی می‌باشد. می‌توان این زون را به‌عنوان زون با کیفیت مناسب در نظر گرفت.

۸-۴- سازند داریان در چاه هندبیجان ۶

این سازند که در فاصله عمقی ۳۴۳۳-۳۲۶۱ متر حفار است، براساس حدبرش‌ها به ۹ زون تفکیک گردید. زون ۲ در بازه عمقی ۳۳۵۰-۳۳۱۲ متر حفار با داشتن میانگین تخلخل ۱۴٪، اشباع‌شدگی ۲۹٪ و حجم شیل ۱۳٪، از جنس مادستون تا و کستون است. عامل دیاژنزی دولومیتی شدن در این زون باعث افزایش کیفیت گردیده و لذا می‌توان آن را به‌عنوان زون با کیفیت مناسب معرفی کرد (جدول ۴-۴).

۸-۵- سازند گدوان (بخش خلیج) در چاه هندبیجان ۶

مخزن این سازند که در فاصله عمقی ۳۵۴۷-۳۴۳۳ متر حفار است، براساس حدبرش‌ها به ۱۰ زون تفکیک گردید. زون ۶ در بازه عمقی ۳۴۶۶-۳۴۶۶ متر حفار با داشتن میانگین تخلخل ۲۶٪، اشباع‌شدگی ۴۱٪ و حجم شیل ۲۳٪، از جنس مادستون تا و کستون بوده و تخلخل درون‌ذره‌ای با مقدار کمی تخلخل چاکی در آن دیده می‌شود (جدول ۵-۵). پدیده دیاژنزی شکستگی، عامل افزایش کیفیت در این زون بوده و لذا می‌توان آن را، زون با کیفیت مناسب در نظر گرفت.

۸-۶- سازند فهلیان در چاه هندبیجان ۶

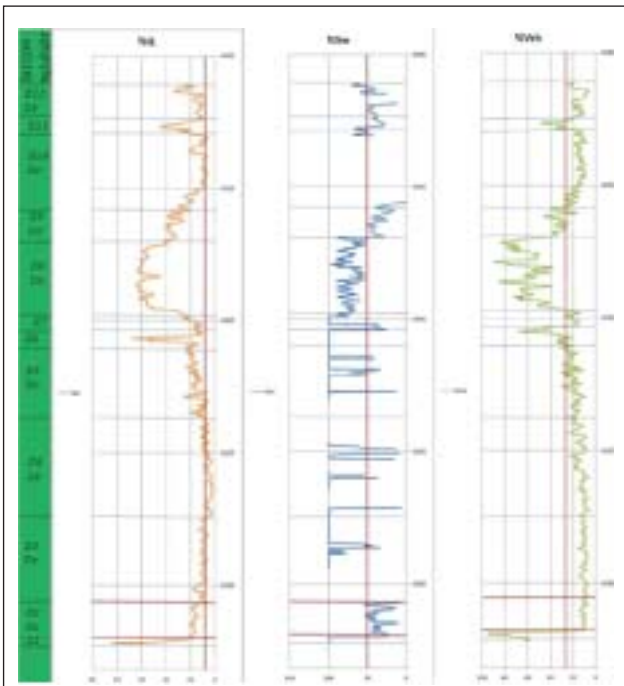
مخزن این سازند که در فاصله عمقی ۳۹۸۵-۳۵۴۷ متر حفار است، براساس حدبرش‌ها، به ۱۵ زون تفکیک گردید. زون ۴ در بازه عمقی ۳۶۶۲-۳۶۵۸ متر حفار با داشتن میانگین تخلخل ۱۲٪، اشباع‌شدگی ۴۹٪ و حجم شیل ۱۵٪، از جنس مادستون تا و کستون بوده و تخلخل غالب بین بلوری و چاکی است (جدول ۶-۶). پدیده دیاژنزی دولومیتی شدن، از عوامل افزایش کیفیت، در این زون محسوب می‌گردد به طوری که می‌توان آن را به‌عنوان زون با کیفیت مناسب معرفی کرد.

۹- مقایسه نتایج

جهت مقایسه پارامترهای پتروفیزیکی در هریک از سازندها در دو چاه ماهشهر ۱ و هندبیجان ۶، جداول مربوط به نتایج محاسبات در زیر آورده شده و براساس میانگین، مقایسه صورت گرفته است:

۹-۱- مقایسه سازند داریان در چاههای ماهشهر ۱ و هندبیجان ۶

با توجه به دامنه تغییرات تخلخل در سنگ مخزن و تقسیم بندی از لحاظ کیفیت مخزن و بررسی دامنه تغییرات در سازندهای داریان در دو چاه می‌توان



۸ سازند داریان در چاه ماهشهر ۱



زون بندی	عمق (متر حفار)	تخلخل	حجم شیل	اشباع‌شدگی
۱	۳۵۴۷-۳۵۶۶	۹	۸	۷۲
۲	۳۵۶۶-۳۵۷۳	۳	۲۳	۹۶
۳	۳۵۷۳-۳۶۵۸	۷	۱۳	۸۶
۴	۳۶۵۸-۳۶۶۲	۱۲	۵	۴۹
۵	۳۶۶۲-۳۶۹۱	۶	۱۳	۸۴
۶	۳۶۹۱-۳۷۲۹	۳	۶	۹۲
۷	۳۷۲۹-۳۷۳۶	۸	۵	۷۸
۸	۳۷۳۶-۳۷۷۳	۳	۷	۹۶
۹	۳۷۷۳-۳۷۹۸	۷	۲۱	۷۲
۱۰	۳۷۹۸-۳۸۳۲	۱۲	۳۰	۶۰
۱۱	۳۸۳۲-۳۸۴۵	۱۱	۸	۶۲
۱۲	۳۸۴۵-۳۹۰۰	۳	۴	۹۵
۱۳	۳۹۰۰-۳۹۲۸	۶	۳	۹۶
۱۴	۳۹۲۸-۳۹۷۷	۲	۸	۹۱
۱۵	۳۹۷۷-۳۹۸۵	۷	۱۰	۹۳

فرایندهای دیاژنزی و وضعیت تخلخل و حجم شیل فراهم آورد. از مطالعات انجام شده بر روی سازندها در دو چاه ماهشهر و هندیجان، هر کدام از سازندها به زونهای زیر تفکیک شدند:

الف- سازند داریان، گدوان و فهلیان در چاه ماهشهر به ترتیب به ۱۲، ۷ و ۱۳ زون تفکیک شدند.

ب- سازند داریان، گدوان و فهلیان در چاه هندیجان به ترتیب به ۹، ۱۰ و ۱۵ زون تفکیک شدند.

۲- تخلخلهای غالب در سازندها در هر دو چاه ماهشهر و هندیجان تخلخلهای بین دانه‌ای و بین بلوری و حفره‌ای است.

۳- مهمترین فرایندهای دیاژنتیکی مشاهده شده در دو چاه ماهشهر و هندیجان، فرایندهای دولومیتی شدن، سیمانی شدن، میکریتی شدن، نئومرفیسم، پیریتی شدن، انحلال و استیلولیتی شدن است که هر کدام تأثیر به‌سزایی در کیفیت مخزن داشته‌اند.

۴- فرایندهایی همچون سیمان دروزی و سیمان پویی کیلو توپیک در این سازندها نقش مخرب در کیفیت مخزن داشته‌است.

۵- فرایندهایی همچون انحلال، دولومیتی شدن و فشارهای تکتونیکی (شکستگی و یا درزه) در سنگهای آهکی از اهمیت بسیاری در افزایش کیفیت مخزن برخوردار هستند.

۶- آنالیز داده‌های چاه‌پیمایی نشان می‌دهد که تخلخل در سازندهای داریان و فهلیان ضعیف و میزان شیل، پایین است.

۷- بخش خلیج سازند گدوان در چاه هندیجان با میزان تخلخل ۲۶٪ و اشباع‌شدگی ۴۱٪ و حجم شیل ۳٪ نسبت به بخش خلیج سازند گدوان در چاه ماهشهر با میانگین تخلخل ۱۲٪ و اشباع آب ۶۰٪ و حجم شیل ۱۳٪ از کیفیت مخزنی مناسب تری برخوردار است. ■

تخلخل ۱۰٪ را در سازندهای داریان تخلخل ضعیف دانست. حجم شیل در سازند داریان در دو چاه هندیجان و ماهشهر به ترتیب ۱۲٪ و ۲۳٪ بوده و میزان اشباع‌شدگی نیز به ترتیب ۵۹٪ و ۷۲٪ است. بنابراین، با مقایسه این سه پارامتر، می‌توان سازند داریان در چاه هندیجان را به دلیل میزان شیل و اشباع آب کمتر، دارای کیفیت مناسبتری نسبت به سازند داریان در چاه ماهشهر دانست.

۹-۲- مقایسه سازند گدوان (بخش خلیج) در دو چاه ماهشهر ۱ و هندیجان

تغییرات تخلخل در سازند گدوان در دو چاه ماهشهر و هندیجان به ترتیب ۱۲٪ و ۲۶٪ است. میزان شیل در دو چاه هندیجان و ماهشهر به ترتیب ۳٪ و ۱۳٪ بوده و اشباع آب نیز به ترتیب ۶۰٪ و ۴۱٪ می‌باشد. حال با مقایسه هر سه پارامتر می‌توان چنین نتیجه گرفت که بخش خلیج سازند گدوان در چاه هندیجان در مقایسه با ماهشهر، به دلیل تخلخل خوب و میزان شیل و اشباع آب می‌تواند از نظر کیفیت مخزنی خوب معرفی شود.

۹-۳- مقایسه سازند فهلیان در دو چاه ماهشهر ۱ و هندیجان ۶

سازند فهلیان در دو چاه ماهشهر و هندیجان به ترتیب دارای تخلخل ضعیف ۷٪ و ۶٪ می‌باشد. میانگین شیل در دو چاه ماهشهر و هندیجان به ترتیب ۱۸٪ و ۱۱٪ بوده که میانگین پایینی محسوب می‌گردد. میانگین اشباع آب نیز به ترتیب ۶۹٪ و ۸۵٪ می‌باشد که با تلفیق این پارامترها می‌توان کیفیت را در هر دو چاه تقریباً برابر دانست.

نتیجه‌گیری

۱- بوسیله مطالعات میکروسکوپی و ارزیابی نمودارهای متعلق به سازندهای داریان، گدوان و فهلیان می‌توان اطلاعات متعددی در رابطه با

منابع

- ada.11.
- [15] Larsen, G., Chelinger, G.V., (1979). Diagnosis in sediments and sedimentary rocks. Pp.579. Elsevier, Amsterdam.
- [16] Lucia, F.J., (1999). Carbonate reservoir characterization, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 226p.
- [17] Lucia, F.J., (2002). Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for Reservoir characterization, 26p.
- [18] Maurice, E. Tucker (1994). Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. Pp.278-279-p.493.
- [19] Moore, C.H. (1989). Carbonate Diagenesis and Porosity. Elsevier, Amsterdam, 338pp.
- [20] Nur, A., and Simons, G., (1969). The effect of saturation on velocity in low porosity rocks. Earth and Planetary Science Letters, v.7, pp.183-193.
- [21] Schlumberger, (1989). Schlumberger log interpretation charts, Houston, Texas.
- [22] Setudehnia, A., (1972). Lexique stratigraphique International ASIE v. Fascicule 96.2 Iran du sud quest.
- [23] Tiab, D., Donaldson, E.C., 2004. Petrophysics; Theory and Tiab, D., Donaldson, E.C., 2004. Petrophysics; Theory and practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport properties. 2nd Edition, Gulf Professional Publishing, pp.926.
- [24] Tucker, M.E. and Wright, V.P., (1996). Carbonate Sedimentology. Blackwell, Oxford, pp.482.
- [1] [درویش زاده، ع، (۱۳۷۰)، زمین‌شناسی ایران، مرکز نشر ندا.
- [2] [رحیم پورناب، حسین، (۱۳۸۴)، سنگ‌شناسی کربناته‌ها، ارتباط دیاژنزی و تکامل تخلخل، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۳ صفحه.
- [3] [رضایی، محمدرضا، (۱۳۸۰)، زمین‌شناسی نفت، انتشارات علوی دانشگاه تهران.
- [4] [شاه‌حسینی، کوروش، (۱۳۸۶)، گزارش تکمیلی مهندسی نفت چاه هندیجان ۶.
- [5] [صبریان، علی، (۱۳۷۲)، اصول مقدماتی چاه‌پیمایی برای زمین‌شناسان، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۲۱۲ صفحه.
- [6] [طباطبایی، جواد، (۱۳۸۴)، مهندسی نفت، انتشارات نگارش علوم.
- [7] [مطیعی، همایون، (۱۳۷۲)، زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- [8] [مطیعی، همایون، (۱۳۷۴)، زمین‌شناسی نفت زاگرس، ج ۱ و ۲، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- [9] [نیک‌طبع، محمدرضا و ملکی، اسدالله، (۱۳۸۱)، گزارش تکمیلی چاه اکتشافی ماهشهر ۱.
- [10] Alsharhan, A.S., Narin, A.E.M., sedimentary basins and petroleum Geology of the Middle East.
- [11] Archie, G.E., 1942. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Journal of petroleum Technology, V.5, p.54-62.
- [12] Bahrami, H., (2001). Biostratigraphy and Micropaleontological studies on the cutting samples of Mahshahr No.1.
- [13] Chelinger, G.V., Wolf, K.H., (1988). Diagnosis. I: Elsevier, Amsterdam, Developments in sedimentology, v.41, 591p.
- [14] James, N.P. & Choquette, P.W., (1984). Diagnosis 9. Limestones - the meteoric Diagenesis Environment. Pp. 161-194. Geoscience Can-