بررسی تخلخل و تراوایی در سنگ مخزن سازندهای دالان و کنگان در میدان گازی پارس جنوبی

عمار دانیالی[*۱]، پرویز غضنفری[۲] و علی کدخدائی[۳]

۱-کارشناس ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور مرکز بویین زهرا
۲- هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین
۳- هیئت علمی دانشگاه تبریز

*a.daniali63@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۷/۲۰ پذیرش: ۹۲/۳/۶

چکیده

میدان عظیم گازی پارس جنوبی بزرگ‌ترین میدان فراکرانه‌ای جهان است که میان کشورهای ایران و قطر مشترک است. لایه‌های مخزنی در این میدان شامل توالی کربناته کنگان و دالان می‌باشد. سازندهای دالان و کنگان به ترتیب با سن پرمین بالایی و تریاس پایینی، بزرگ‌ترین سنگ مخزن‌های گازی حوضه خلیج فارس و جهان هستند. با بررسی پتروگرافی و واکاوی میکروسکوپی بیش از ۵۰۰ بُرش نازک تهیه شده از سازندهای یاد شده توسط نگارنده، به ترتیب فراوانی، انواع تخلخل‌های قالبی، میان‌دانه‌ای، حفره‌ای، شکستگی، میان بلوری، فنسترال، درون دانه‌ای و کانالی شناسایی شدند. مخزن مورد بررسی از دید ویژگی‌های پتروفیزیکی، یک مخزن کاملاً ناهمگن است و به چهار زون K1 تا K4 تفکیک شده است. زون K1 تخلخل بالا و تراوایی پایین، زون K2 تخلخل و تراوایی بالا، زون K3 تخلخل و تراوایی پایین و زون K4 تخلخل و تراوایی بالایی دارد. محاسبه شاخص کیفیت مخزنی (RQI) و بررسی نمودار آن در برابر ژرفا، تخلخل و تراوایی کاملا نشان می‌دهد که زون‌های K2 و K4 کیفیت مخزن بهتری نسبت به دو زون دیگر دارند.

واژه‌های کلیدی: تخلخل، تراوایی، سازند کنگان، سازند دالان، میدان پارس جنوبی

مقدمه

میدان‌های گازی زاگرس را می‌توان به دو واحد بزرگ «گروه دهرَم» و «جوان‌تر از دهرَم» تقسیم کرد. میدان‌های گازی گروه دهرَم (سازندهای فراقون، دالان و کنگان)، بیش‌تر از نوع میدان‌های بسیار عظیم و عظیم‌اند که از آن جمله می‌توان به میدان‌های پارس جنوبی، پارس شمالی، کنگان، نار، آغار، دالان و راوی اشاره کرد [۱]. سازند دالان که نشانگر رخساره‌های کربناتی ردیف‌های پرمین بالایی زاگرس است، مجموعه‌ای از سنگ‌های کربناتی-تبخیری است. تغییرات سنگ‌شناسی آن تابع تغییرات رخساره‌ای در موقعیت‌های مختلف است. به سخن دیگر، سازند دالان در نواحی مختلف زاگرس دارای رخساره‌های سنگی گوناگون می‌باشد [۹].

سازند کنگان به سن تریاس پیشین (اسکیتین)، جوان‌ترین سازند گروه دهرَم است که از نهشته‌های کربناته تبخیری تشکیل شده است. این سازند یکی از مخزن‌های مهم هیدروکربوری در جنوب باختر ایران و بخشی از بزرگ‌ترین مخزن کربناته در خلیج فارس است. در حال حاضر، واژه "سازند کنگان" یادآور ترادف‌های کربناتی تبخیری تریاس پیشین زاگرس در زیر پهنه رسوبی ساختاری سکوی فارس و خلیج فارس است که هم ارز سازند خانه‌کت بوده و توسط سازند دشتک پوشیده می‌شود [۱]. تخلخل یکی از ویژگی‌های مهم سنگ مخزن است، زیرا می‌تواند نشانگر مقدار ذخیره هیدروکربن در مخزن باشد. تخلخل در مخازن کربناته در محدوده ۱ تا ۳۵ درصد تغییر می‌کند [۱۳]. هدف از این پژوهش شناسایی انواع تخلخل‌های موجود در چاه‌های ۹ و ۱۰ میدان گازی پارس جنوبی و مطالعه پراکندگی آن‌ها در نواحی مختلف و تاثیر آن بر کیفیت مخزن و بررسی تغییرات تراوایی می‌باشد.

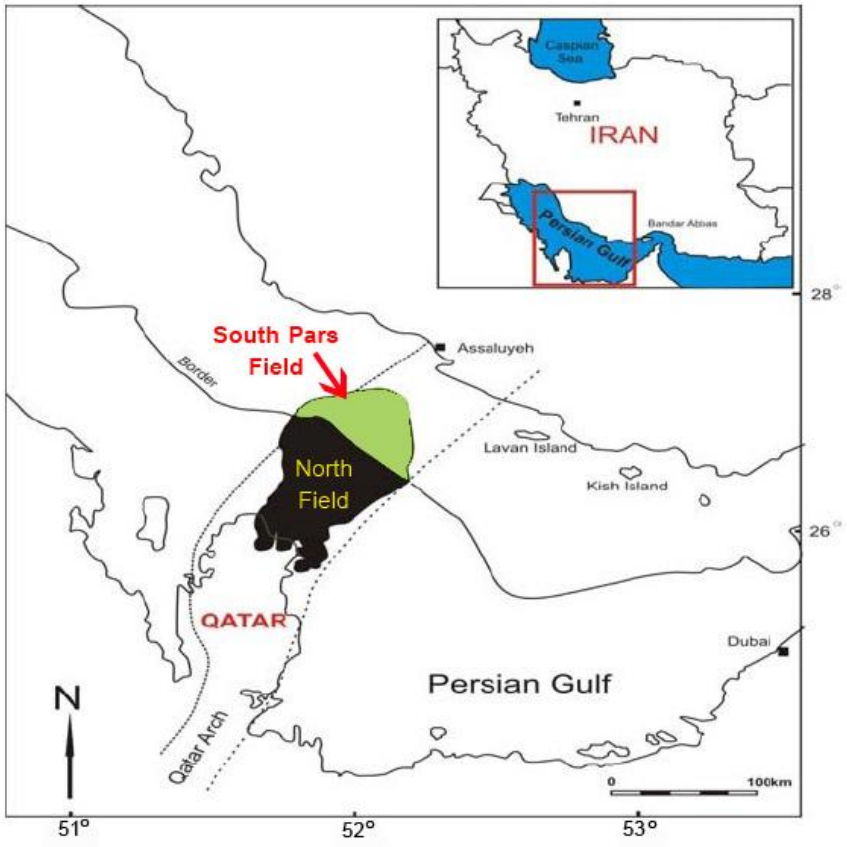
جایگاه ناحیه مورد مطالعه

میدان عظیم گازی پارس جنوبی در موقعیت جغرافیایی طول خاوری ۵۲ تا ۵۲/۵۰ درجه و عرض شمالی ۲۶/۵ تا ۲۷ درجه، در حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب بندر عسلویه (۱۷۵ کیلومتری کیش) واقع شده‌است (شکل ۱). این میدان به درازای تقریبی ۱۵۰ کیلومتر و پهنای تقریبی

۷۰ کیلومتر می‌باشد. مساحت این میدان در بخش ایرانی ۳۷۰۰ کیلومتر مربع و در کشور قطر ۶۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. میزان ذخایر گازی در بخش ایرانی میدان ۴۶۴ تریلیون فوت مکعب می‌باشد که ۸ درصد گاز جهان و ۴۰ درصد ذخایر گازی ایران محسوب می‌شود.

کارهای پیشین

مطالعات فراوانی شامل بررسی‌های گوناگون زمین‌شناسی از دید چینه‌شناسی، رسوب‌شناسی، تکتونیک، بررسی‌های هیدروکربن و مطالعات ژئوفیزیکی بر روی میدان پارس جنوبی در ارتباط با سازندهای دالان و کنگان در ایران و هم‌ارز آن‌ها در کشورهای همسایه انجام گرفته است. قرارگرفتن این میدان به عنوان بخشی از بزرگ‌ترین میدان گازی جهان اهمیت این مطالعات را به خوبی نشان می‌دهد. ضمن اینکه بهره‌برداری بهینه و روزافزون از ذخیره این میدان نیازمند مطالعات بیش‌تر و استفاده از روش‌ها و تکنولوژی‌های پیشرفته در این زمینه می‌باشد. پرهام و همکاران [۲] فرآیندهای دیاژنتیکی و دولومیتی شدن و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند دالان در برش کوه سورمه را بررسی کرده و مهم‌ترین فرآیند تاثیرگذار بر سازند دالان را در منطقه مورد مطالعه، دولومیتی‌شدن ذکر کرده‌اند. محبوبی‌پور [۸] زون‌بندی و تعیین خواص مخزنی سازندهای کنگان و دالان در محدوده کمان قطر را با استفاده از مطالعات پتروفیزیکی انجام داده و این سازندها را از لحاظ لیتواستراتیگرافی به چهار زون K1 تا K4 تقسیم‌بندی نمود. حسین‌یار و همکاران [۴] فرآیندهای دیاژنتیکی و تاثیر آن‌ها را بر کیفیت مخزنی سازند کنگان در میدان گازی پارس جنوبی را مورد بررسی قرار داده و بیان کرده‌اند که فرآیندهای دیاژنتیکی در این سازند بسیار فعال بوده و مهم‌ترین فرآیندها را انحلال، سیمان کلسیتی، دولومیتی شدن، انیدریتی‌شدن و تراکم فیزیکی و شیمیایی دانسته‌اند. دانیالی [۳] کیفیت مخزنی سازندهای دالان و کنگان را با نگرشی بر نقش رسوبات تبخیری بررسی کرده، علاوه بر مطالعات چینه‌شناسی و دیاژنتیکی، با تلفیق داده‌های لاگ و مطالعات پتروفیزیکی، تغییرات تخلخل و تراوایی را در زون‌های مختلف مطالعه و نقش انیدریت را در این مخزن شناسایی و تحلیل نموده است.



شکل۱. موقعیت میدان گازی پارس جنوبی و کمان پارس جنوبی- قطر [۱۰]

ترکیب رخساره‌ای و کیفیت مخزنی زون‌ها

مخزن مورد بررسی از دید ویژگی‌های پتروفیزیکی، یک مخزن کاملاً ناهمگن است و به چهار زون K1 تا K4 تفکیک شده است. سازند کنگان به دو زون مخزنی K1 و K2 و سازند دالان به دو زون مخزنی K3 و K4 تقسیم شده‌اند که هریک از این زون‌ها با داشتن ویژگی‌های پتروفیزیکی متفاوت و متغیر، دارای کیفیت مخزنی متفاوتی هستند که در ادامه به بررسی ترکیب رخساره‌ای، فرآیندهای دیاژنزی اصلی و کیفیت مخزنی آن‌ها خواهیم پرداخت [۳]. ستون چینه‌شناسی مخزن در شکل ۲ آمده است.

- واحد مخزنی K1 که حدود ۱۱۱ متر ستبرا دارد از ۵۷٪ دولومادستون و دولوستون، ۲۹٪ گرینستون و ۱۴٪ دولوگرینستون-پکستون تشکیل شده است. سیمان انیدریتی بلوکی، استیلولیت و رگچه‌های انحلالی از فرآیندهای دیاژنزی رایج در این زون هستند. تخلخل بالا در این زون به علت وجود فراوان تخلخل قالبی و درون دانه‌ای در رخساره‌های آهکی و تخلخل میان‌بلوری در رخساره‌های دولومیتی است و علت تراوایی پایین این زون کاهش تخلخل میان‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای بر اثر فشردگی و پرشدن شکستگی‌ها و انسداد کامل حفره‌ها به وسیله سیمان انیدریتی است. بنابراین، کیفیت مخزنی این زون نامناسب است.

- واحد مخزنی K2 با حدود ۴۲ متر ستبرا از ۴۴٪ گرینستون، ۳۹٪ دولومادستون و دولوستون، ۱۳٪ انیدریت و ۴٪ دولوگرینستون-پکستون ساخته شده است. حفرات میان‌دانه‌ای، قالبی و میان‌بلوری از فراوان‌ترین نوع تخلخل‌ها در این زون هستند. تخلخل میان‌بلوری بیش‌تر در بخش بالایی و تخلخل میان‌دانه‌ای و قالبی در بخش پایین عمومیت دارند [۱۴]. تخلخل و تراوایی در این زون بسیار گسترده است که گستردگی را می‌توان به وجود شکستگی، انحلال جزئی و تاثیر دولومیتی‌شدن در ساخت تخلخل میان‌بلوری نسبت داد. که همه این موارد در نبود سیمان انیدریتی، موجب افزایش تخلخل و ارتباط منافذ اولیه و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی شده‌اند.

- واحد مخزنی K3 با ستبرای میانگین ۱۲۱ متر دارای ۴۳/۵٪ دولومادستون، ۲۷٪ دولوگرینستون و گرینستون، ۱۸/۵٪ دولوپکستون و ۱۱٪ دولوگرینستون-پکستون می‌باشد. سیمانی‌شدن گسترده و فراگیر رخساره‌های این زون با کلسیت و دولومیت موجب پرشدن بسیاری از حفره‌ها شده است و تنها مقدار کمی تخلخل میان‌بلوری و شکستگی‌های کوچک‌تر باقی مانده‌اند. فشردگی از دیگر عوامل کاهنده کیفیت مخزنی این زون است. انیدریت نیز با بافت لانه مرغی در این زون گسترش داشته و موجب کاهش کیفیت مخزنی رخساره‌های دانه‌پشتیبان شده است. این زون دارای تخلخل و تراوایی پایین و بدون کیفیت مخزنی است.

- واحد مخزنی K4 با ستبرای در حدود ۱۶۵ متر شامل ۵۳٪ دولومادستون و دولوستون، ۲۵/۲۵٪ دولوگرینستون-پکستون، ۲۰٪ گرینستون، ۲/۵٪ دولوپکستون است. انحلال در بخش بالا و دولومیتی‌شدن در بخش پایین زون عمل کرده است. شکستگی‌های جزئی که در این زون دیده می‌شود تاثیر جزئی بر مقدار تخلخل داشته ولی در بعضی موارد موجب افزایش تراوایی شده‌اند. انیدریت با سیمانی کردن رخساره‌های دانه‌پشیبان باعث کاهش کیفیت مخزنی شده است اما انحلال با حل کردن سیمان انیدریتی مجددا موجب افزایش تخلخل و تراوایی شده است. این زون از بهترین کیفیت مخزنی در این میدان برخوردار است.

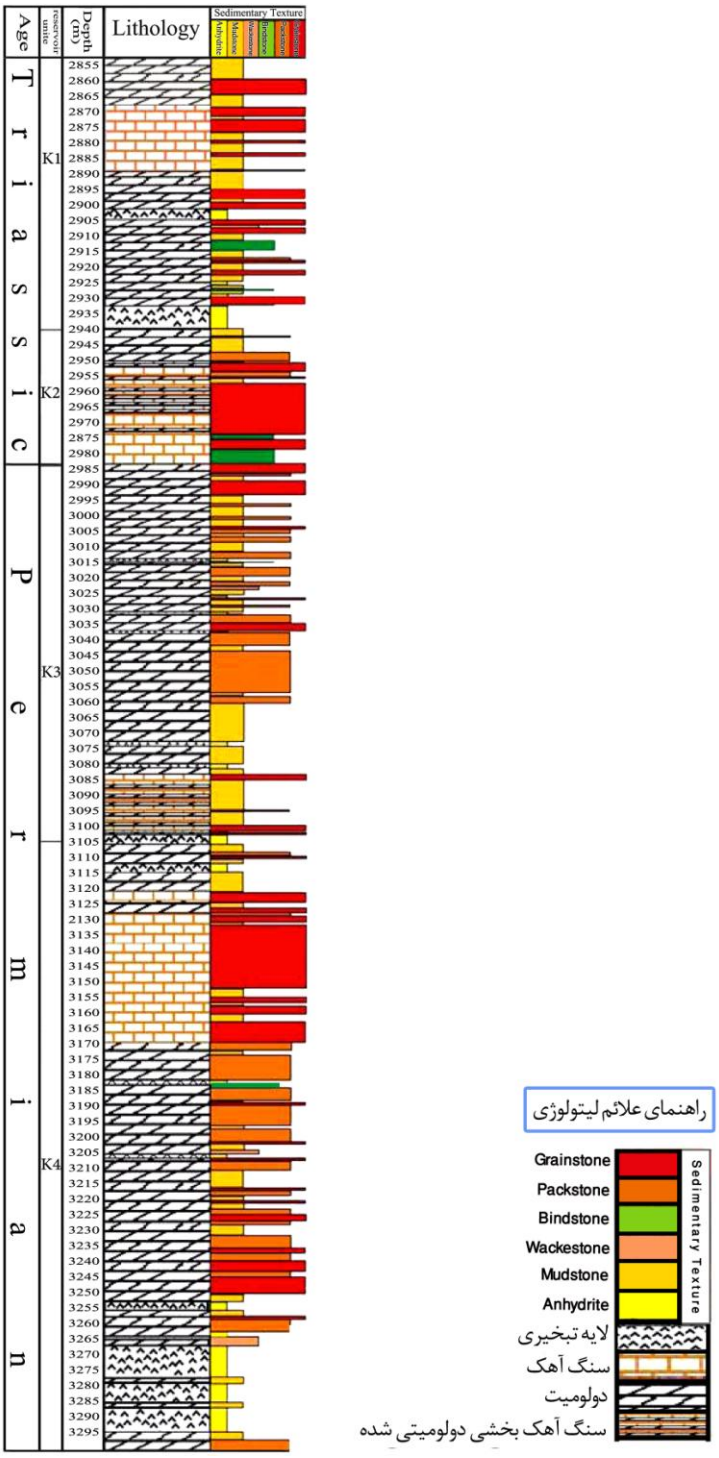
انواع تخلخل موجود در مخزن مورد مطالعه

در مخزن مورد مطالعه انواعی از تخلخل‌ها شامل میان‌دانه-ای، درون‌دانه‌ای، میان‌بلوری، قالبی، فنسترال، پناهگاهی، شکستگی، برشی، حفره‌ای و استیلولیتی شناسایی شد که در ادامه هریک از این تخلخل‌ها بررسی می‌شوند.

- تخلخل میان‌دانه‌ای: از تخلخل‌های اولیه رسوبی بوده و در رسوبات کربناته اهمیت بسیاری دارد. تخلخل میان دانه‌ای بر اثر انحلال زمینه یا حتی سیمان، به صورت ثانویه هم تشکیل می‌شود. این نوع تخلخل رابطه نسبتاً خوبی با تراوایی دارد و پراکندگی آن در متن سنگ یکنواخت تا نایکنواخت است. افزایش جورشدگی موجب افزایش تخلخل و قرارگیری فشرده ذرات موجب کاهش تخلخل می‌شود. دانه‌های نامنظم و زاویه‌دار عموما دارای تخلخل بالاتری هستند [۵]. این تخلخل اغلب به دلیل رشد سیمان‌های کلسیتی و انیدریتی از بین رفته است، به همین دلیل از فراوانی کم‌تری در مخزن برخوردار است. سیمان حاشیه‌ای در رخساره‌های دانه پشیبان عامل مهمی در حفظ این تخلخل بوده است. این تخلخل در مخزن

مورد مطالعه بیش‌تر در رخساره گرینستونی کمی دولومیتی شده دیده می‌شود (شکل ۳-A).

تخلخل درون‌دانه‌ای: فضاهای خالی درون دانه‌های اسکلتی مانند صدف روزن‌داران، خزه‌وشان یا ریف‌ها را شامل می‌شود. این نوع تخلخل ممکن است اولیه باشد و یا بعدها در طی دیاژنز آغازین، بر اثر تجزیه مواد آلی پرکننده فضاهای اسکلتی موجودات آهک‌ساز حاصل شود. تراوایی در این نوع تخلخل معمولا کم است، زیرا حفره‌های درون دانه‌ای ممکن است به‌هم مرتبط نباشند. عموماً در تخلخل درون دانه‌ای اندازه فضاهای خالی بین ۰/۰۱ الی ۱ میلی متر، ارتباط آن با تراوایی ضعیف بوده و پراکندگی این نوع تخلخل به صورت یکنواخت است. این نوع تخلخل درصد بسیار کمی از تخلخل مخزن را تشکیل داده و تاثیر مهمی بر کیفیت مخزنی ندارد (شکل ۳-B).

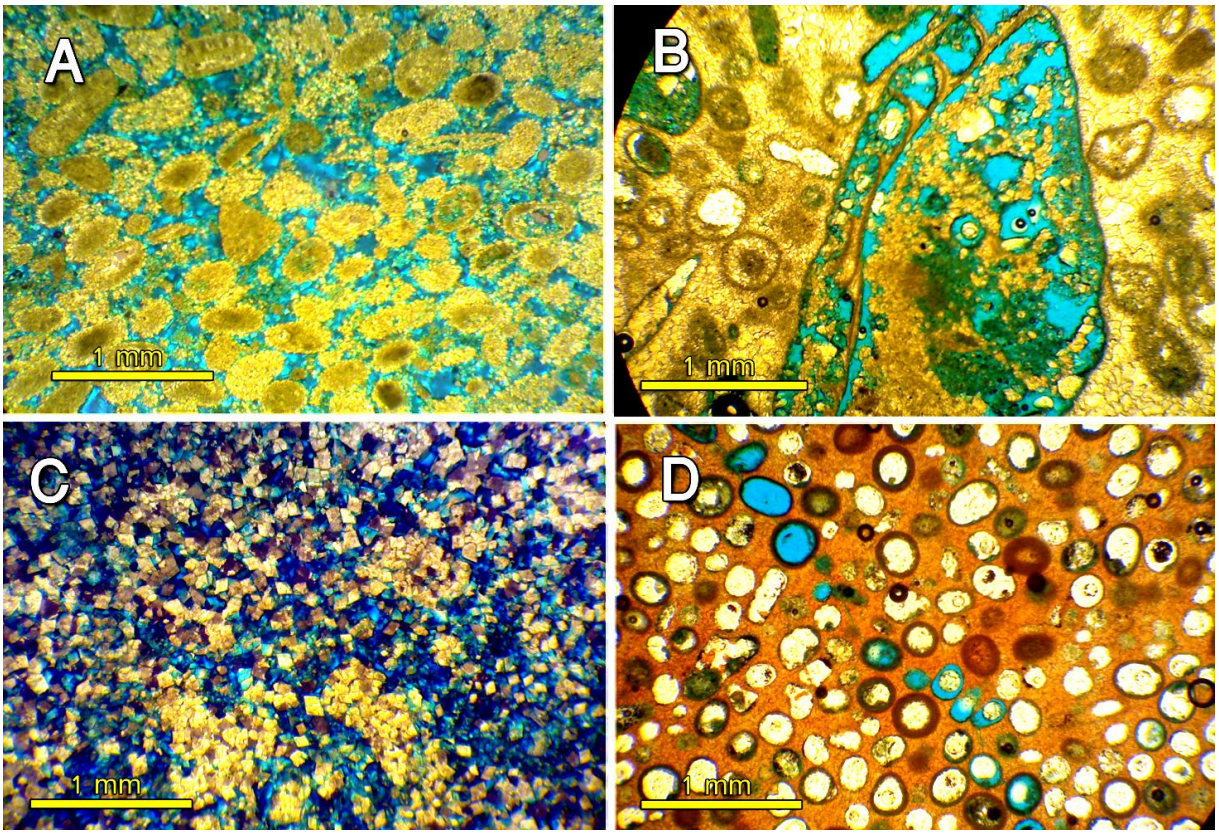


شکل ۲. ستون چینه‌شناسی چاه شماره ۹ مخزن مورد مطالعه

- تخلخل میان‌بلوری: این تخلخل اغلب در دولومیت‌های جانشینی یافت می‌شود و از نوع ثانویه محسوب می‌گردد. این نوع تخلخل در آهک‌های متبلور و رسوبات تبخیری که فرآیند دیاژنز را تحمل نکرده باشند نیز فراوان است. گسترش آن در متن سنگ یکنواخت است. شکل فضاهای خالی بستگی به شکل بلورها دارد و تراوایی خوبی نشان می‌دهد. تراوایی در این نوع تخلخل به شدت با افزایش قطر بلورها افزوده می‌گردد. این نوع تخلخل در رخساره‌های دولومیتی‌شده با بلورهای درشت و مخرب فابریک، موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است (شکل ۳-C).

- تخلخل قالبی: انحلال انتخابی دانه‌های آراگونیتی در سنگ‌های آهکی، موجب ایجاد فضاهای خالی در محل این دانه‌ها می‌شود که کاملاً شباهت با دانه اولیه دارد. این تخلخل انتخاب شده به وسیله فابریک سنگ است و به طور ثانویه عموماً در طی دیاژنز جوی و تدفینی حاصل می‌شود. طی فرآیند دولومیت‌زدایی و هم‌چنین بر اثر انحلال بلورهای کانی‌های تبخیری تخلخل قالبی تشکیل می‌شود. این نوع تخلخل به ویژه اگر در ماتریکس میکرایتی احاطه شده باشد، دارای تراوایی کمی است. این نوع تخلخل در رخساره‌های گل‌پشتیبان مانند وکستون به صورت جدا و مستقل است، اما در رخساره‌های دانه پشتیبان مانند گرینستون یا پکستون گسترش این نوع تخلخل همراه با افزایش تراوایی است. این نوع تخلخل اغلب به صورت قالب‌های اووئیدی مجزا می‌باشد، بنابراین جزء تخلخل غیر مفید است اما در بعضی از رخساره‌ها بر اثر فشردگی و ایجاد شکستگی و اتصال آن‌ها، این قالب‌های مجزا به هم متصل شده و تراوایی را تا حد زیادی بهبود بخشیده‌اند (شکل ۳-D).

تخلخل فنسترال: نوعی تخلخل میان‌دانه‌ای است که در رسوبات نواحی پیرامون کشندی بر اثر ترک‌خوردگی رسوبات گلی و یا تجزیه‌ی ماده آلی جلبک‌ها و تولید گاز و تورم حفره‌ها ایجاد می‌شود. اهمیت این‌ها از نظر ایجاد تخلخل در رسوبات نواحی کشندی کم‌تر از تخلخل‌های میان‌بلوری و قالبی است. از نظر فراوانی این نوع تخلخل در حد ناچیز است و تاثیر زیادی بر کیفیت مخزنی ندارد (شکل ۴-A).

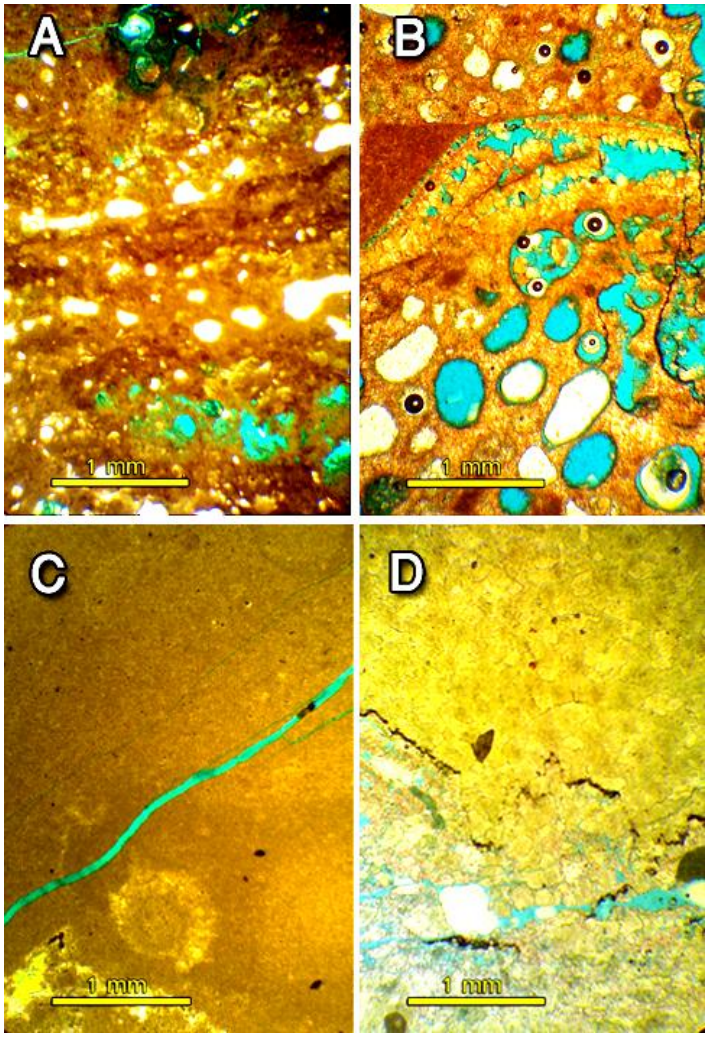


شکل ۳. A) تخلخل میان‌دانه‌ای در چاه شماره ۱۰، زون K4 و در ژرفای ۳۱۳۵/۰۲، B) تخلخل درون‌دانه‌ای در چاه شماره ۱۰، زون K2 و در ژرفای ۲۹۱۵/۰۲، C) تخلخل میان‌بلوری در چاه شماره ۱۰، زون K2 و در ژرفای ۲۸۹۰/۰۲، D) قالبی در چاه شماره ۱۰، زون K4 و در ژرفای ۳۰۹۹/۰۲.

- تخلخل پناهگاهی (چتری): این نوع تخلخل در زیر قطعات بزرگ اسکلتی، همانند قطعات دوکفه‌ای‌ها که سمت محدب آن‌ها در محیط رسوبی به سمت بالا قرار گرفته باشد به وجود می‌آید و نوعی تخلخل میان‌دانه‌ای است. گسترش این نوع تخلخل کم بوده و مکمل تخلخل‌های دیگر هستند. این نوع تخلخل از فراوانی بسیار کمی برخوردار است و تاثیری بر کیفیت مخزنی ندارد (شکل۴-B).

- تخلخل شکستگی: این نوع تخلخل ثانویه بوده، فابریک سنگ را قطع می‌کند و عموماً حاصل نیروهای جهت‌دار، فروریزش و یا انحلال در سنگ آهک‌ها و تبخیری‌ها هستند. این تخلخل با منشاء تکتونیکی، در دولومیت‌ها گسترش بیش‌تری می‌یابد، زیرا دولومیت شکننده‌تر از سنگ آهک است. این نوع تخلخل در گل‌های آهکی پلاژیک نیز گسترش می‌یابد. شکستگی‌ها در سنگ اغلب به صورت مجموعه‌هایی به هم پیوسته و متقاطع تشکیل می‌شوند که امکان افزایش تراوایی را به مقدار زیاد فراهم می‌کنند. وجود این نوع تخلخل در دولومادستون‌ها موجب افزایش کیفیت مخزنی آن‌ها شده است. هم‌چنین وجود این نوع تخلخل در گرینستون‌های دارای تخلخل قالبی مجزا، موجب افزایش کیفیت مخزنی آن‌ها شده است (شکل ۴- C).

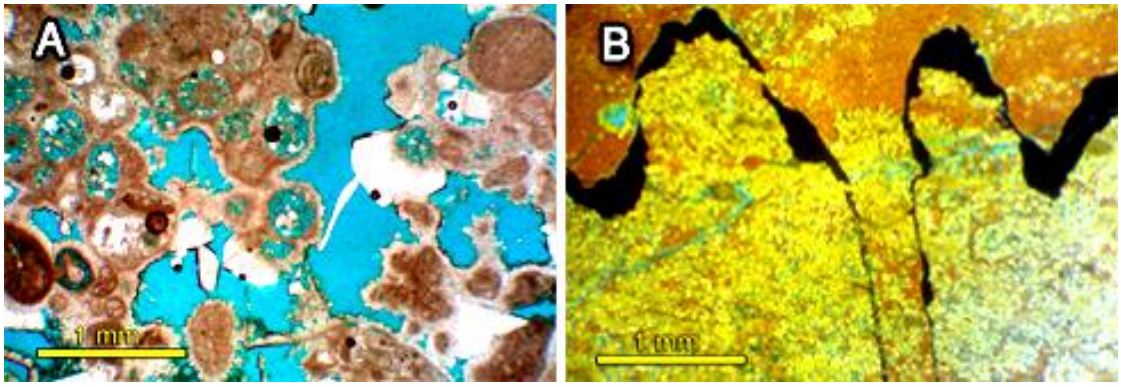
- تخلخل بِرِشی: در اثر جابجایی قطعات اطراف شکستگی، تخلخل بِرِشی ایجاد می‌شود. فرآیند انحلال تبخیری‌ها هم نقش مهمی در تشکیل این نوع تخلخل دارد. این نوع تخلخل اغلب در رسوبات ریز مادستونی و دلومادستونی وجود دارد و با افزایش تراوایی موجب افزایش کیفیت مخزنی می‌شود (شکل ۴-D).



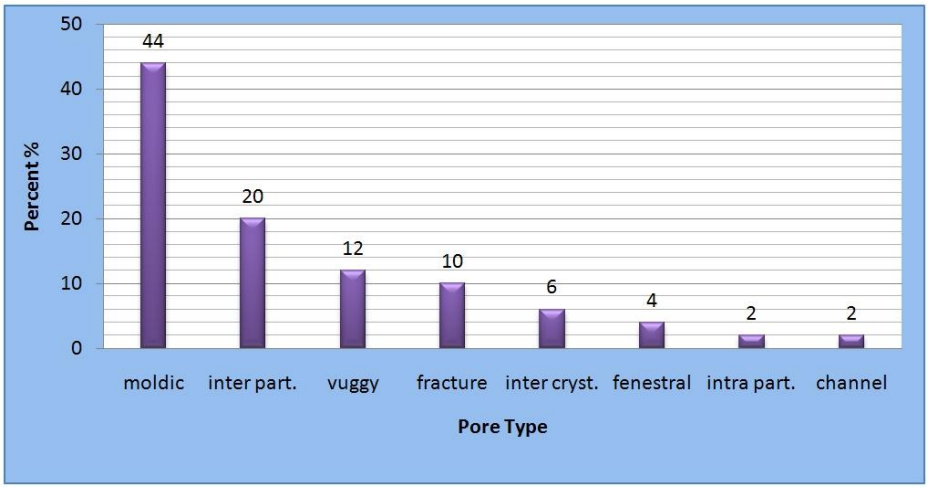
شکل ۴. A) تخلخل فنسترال در چاه شماره۱۰، زون K4 و در ژرفای ۳۱۵۵/۰۸، B) تخلخل چتری در چاه شماره ۱۰، زون K2 و در ژرفای ۲۹۱۵/۰۲، C) تخلخل شکستگی در چاه شماره ۱۰، زون K3 و در ژرفای ۳۰۴۱/۷۰، D) تخلخل برشی در چاه شماره ۹ ، زون K4 و در ژرفای ۳۱۴۸/۰۳.

- تخلخل حفره‌ای: این نوع تخلخل به صورت حفره‌های انحلالی، نامنظم و ثانویه هستند که دانه‌ها و یا مرزهای سیمان‌ها را قطع می‌کنند. عموما تخلخل‌های حفره‌ای در سنگ به صورت هم‌بعد می‌باشند. بسیاری از تخلخل‌های حفره‌ای بر اثر انحلال به وسیله سیالات زیرزمینی سرشار از CO_2 و تاثیر اسیدهای آلی ایجاد می‌شوند. اندازه حفره‌های این نوع تخلخل بین ۱ میلی‌متر تا ۱ متر است، اشکال نامنظم دارد و دارای تراوایی متوسط بوده و اغلب آن‌یزوتروپ است. این نوع تخلخل در مخازن سنگ آهکی عمومیت دارد و به آن تخلخل اولیه بزرگ شده نیز می‌گویند. این نوع تخلخل به ویژه در دولوستون‌ها موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است (شکل ۵-A).

-تخلخل استیلولیتی: تخلخلی است که در طول رگچه‌های فشاری– انحلالی گسترش می‌یابد، ثانویه بوده و در محیط‌های تدفینی تشکیل می‌گردد. در بسیاری اوقات سنگ‌های آهکی استیلولیتی به صورت زون‌های با تخلخل خیلی کم یا حتی صفر هستند. اما در برخی موارد این عوارض به عنوان مسیرهای مهم مهاجرت سیالات عمل می‌کنند. کربنات کلسیم حاصل از انحلال در سطوح استیلولیت‌ها، در نقاط کم‌فشار رسوب می‌کند و موجب کاهش تخلخل و تراوایی می‌شود. این نوع تخلخل اغلب همراه با تخلخل‌های شکستگی مشاهده می‌گردد. این تخلخل به‌شدت دارای جهت‌یابی بوده و اغلب حداکثر تراوایی به موازات سطح لایه‌بندی مشاهده می‌شود (شکل ۵-B). تخلخل قالبی بیش‌ترین و تخلخل درون دانه‌ای و کانالی کمترین نوع تخلخل مخزن را تشکیل می‌دهند. درصد فراوانی حفرات اصلی و مهم موجود در مخزن مورد مطالعه که عمومیت بیش‌تری دارند در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار نیز مشخص است تخلخل قالبی بیش‌ترین و تخلخل درون دانه‌ای و کانالی کم‌ترین نوع تخلخل مخزن را تشکیل می‌دهند.



شکل ۵. A) تخلخل حفره‌ای در چاه شماره ۱۰، زون K4 و در ژرفای ۳۱۱۹/۷۰، B) تخلخل استیلولیتی در چاه شماره ۱۰، زون K4 و در ژرفای ۳۰۶۴/۰۲.



شکل ۶. فراوانی انواع تخلخل در مخزن مورد مطالعه

تغییرات تخلخل و تراوایی در زون‌های مخزن مورد مطالعه

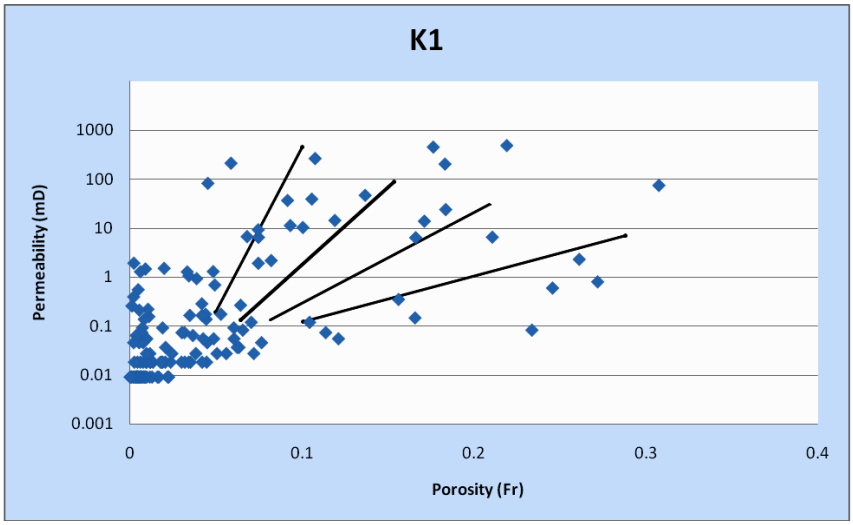
تخلخل و تراوایی دو شاخص ضروری برای یک سنگ مخزن هیدروکربنی هستند. به طور کلی هر واحد سنگی رسوبی با هر نوع لیتولوژی و با هر سنی، به شرط داشتن تخلخل و تراوایی مناسب، امکان ایجاد مخازن هیدروکربوری را دارد. تخلخل در همه رسوبات به‌صورت پیش‌بینی شده‌ای با افزایش عمق، کاهش می‌یابد. تخلخل سنگ‌های کربناته تحت تاثیر انواع گوناگونی از فرآیندهای دیاژنزی قرار دارد. با این وجود به نظر می‌رسد که کاهش ثابتی از تخلخل همراه با افزایش عمق در بعضی از حوضه‌های کربناته وجود دارد [۶].

تخلخل ممکن است با تراوایی رابطه داشته باشد. البته در سنگ‌های آهکی گاهی با وجود تخلخل بالا، تراوایی پایین است [۵]. تراوایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای با عمق کم می‌شود. کاهش تراوایی با عمق به افزایش سیمان، کاهش تخلخل ثانویه و افزایش فشار لایه‌های فوقانی و یا به عبارتی افزایش فشردگی نسبت داده می‌شود که منجر به مسدود شدگی گلوگاه‌های تخلخل می‌شود. علاوه بر ژرفا، دو شاخص رخساره‌های رسوبی و ترکیب سنگ نیز بر روی تراوایی تاثیر بسزایی دارند.

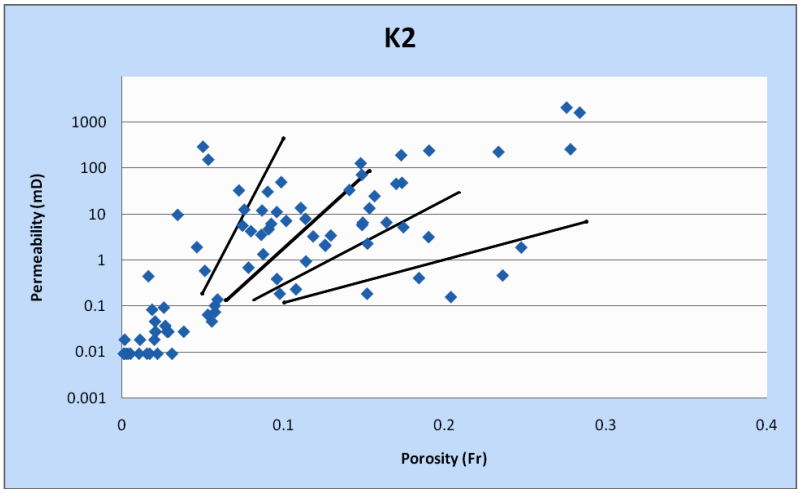
- در محدوده K1 تخلخل بالا و تراوایی پایین مشهود است. حفرات قالبی حاصل از انحلال و درون‌ذره‌ای فراوان موجود در این زون باعث ایجاد تخلخل بالا شده‌اند. سیمان انیدریتی بلوکی که به صورت پرکننده حفرات و شکستگی‌ها در این زون عمل کرده است عامل مهمی در کاهش تراوایی است. هم‌چنین فشردگی باعث کاهش تخلخل بین‌ذره‌ای و درون‌ذره‌ای در این واحد شده است. این فرآیند بر تخلخل و تراوایی اثر کاهشی دارد. کیفیت مخزنی این زون بسیار ضعیف است (شکل ۷).

- هر دو مقدار تخلخل و تراوایی در زون K2 تغییر سریع و عمودی نشان می‌دهند و در فاصله کمی مقدار تخلخل از ۳۵٪ - ۰٪ و مقدار تراوایی از ۱۰۰۰mD – ۰ تغییر می‌کند [۱۲]. بیش‌ترین نوع تخلخل در این ناحیه بین‌ذره‌ای، قالبی و بین‌بلوری است که حفرات بین‌بلوری بیش‌تر در قسمت بالا و حفرات بین‌ذره‌ای و قالبی در قسمت‌های پایینی مشاهده می‌شوند. انحلال جزئی باعث افزایش ارتباط موثر منافذ اولیه در غیاب سیمان انیدریت شده است [۱۴]. که این فرآیند تراوایی را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد. این زون کیفیت مخزنی مطلوبی دارد (شکل ۸).

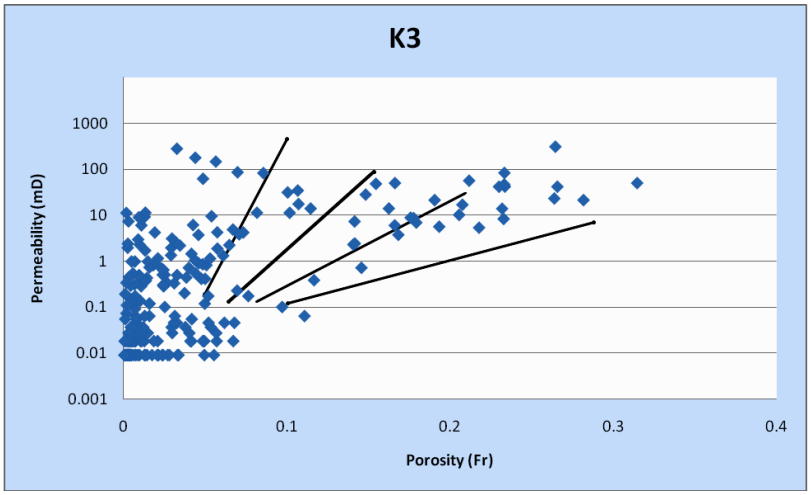
- عامل مهم کاهش تخلخل و تراوایی در زون K3، سیمانی‌شدن فراگیر و گسترده است که با پرکردن شکستگی‌ها و حفرات موجب افت شدید تخلخل و تراوایی شده است. هم‌چنین مقدار تخلخل و تراوایی در قسمت پایینی این زون، به علت عملکرد گسترده انیدریت و ایجاد یک سد تراوایی به شدت کاهش یافته است. کیفیت مخزنی این زون بسیار پایین است (شکل ۹).



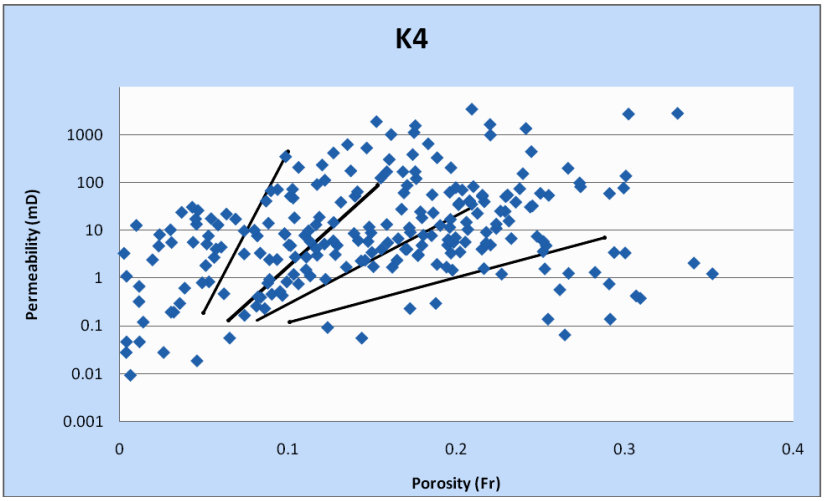
شکل ۷. توزیع رخساره‌های زون K1 در نمودار لوسیا [۱۳] که نشان دهنده کیفیت مخزنی پایین این زون است.



شکل ۸. توزیع رخساره‌های زون K2 در نمودار لوسیا [۱۳] که نشان دهنده کیفیت مخزنی خوب این زون است.



شکل ۹. توزیع رخساره‌های زون K3 در نمودار لوسیا [۱۳] که نشان دهنده کیفیت مخزنی ضعیف این زون است.



شکل ۱۰. توزیع رخساره‌های زون K4 در نمودار لوسیا [۱۳] که نشانگر کیفیت مخزنی بسیار خوب این زون است.

افزایش قابل توجه تخلخل و تراوایی در زون K4 به خاطر عملکرد انحلال و دولومیتی شدن و هم‌چنین وجود شکستگی در این ناحیه می‌باشد که از فراوان‌ترین فرآیندهای دیاژنزی موجود در این زون هستند. نبود گسترده انیدریت از دیگر عوامل افزایش تخلخل و تراوایی در این زون است. کیفیت مخزنی این زون بسیار خوب است (شکل ۱۰). در بخش بالایی این زون، کارکرد بسیار خوب انحلال را داریم که با ایجاد تخلخل‌هایی بیش‌تر از نوع ناموثر، مانند حفره‌ای، درون‌دانه‌ای، قالبی و فنسترال، موجب افزایش قابل توجه تخلخل در قسمت بالایی زون K4 شده است. اما در بخش پایینی، فرآیند دولومیتی‌شدن عملکرد قابل توجهی داشته و با گسترش ریزشکستگی‌ها[1] باعث افزایش تخلخل موثر و تراوایی شده است. عدم کارکرد انحلال و گسترش محدود انیدریت در بخش پایینی باعث کاهش تخلخل در این بخش شده است (شکل ۱۱).

نمایه کیفیت مخزن (RQI)

نمایه کیفیت مخزن[2] (RQI) به عنوان شاخص کیفیت مخزنی شناخته می‌شود و تقریبی از میانگین شعاع هیدرولیکی در سنگ مخزن می‌باشد. شاخص کیفیت مخزنی کلیدی برای واحدهای هیدرولیکی بوده و داده‌های تخلخل، تراوایی و فشار مویینگی را به هم مرتبط می‌سازد [۱۱]. برای بررسی بیش‌تر و بهتر کیفیت مخزن مورد مطالعه از نظر کمّی، نمایه کیفیت مخزنی (RQI) محاسبه و نمودار آن در مقابل عمق ترسیم شد (شکل ۱۲).

نمایه کیفیت مخزن (RQI) با فرمول [۱۱] (فرمول شماره ۱) محاسبه می‌شود که در این فرمول K تراوایی مخزن بر حسب mD، Ø تخلخل مخزن بر حسب کسری از یک و RQI بر حسب µm می‌باشد.

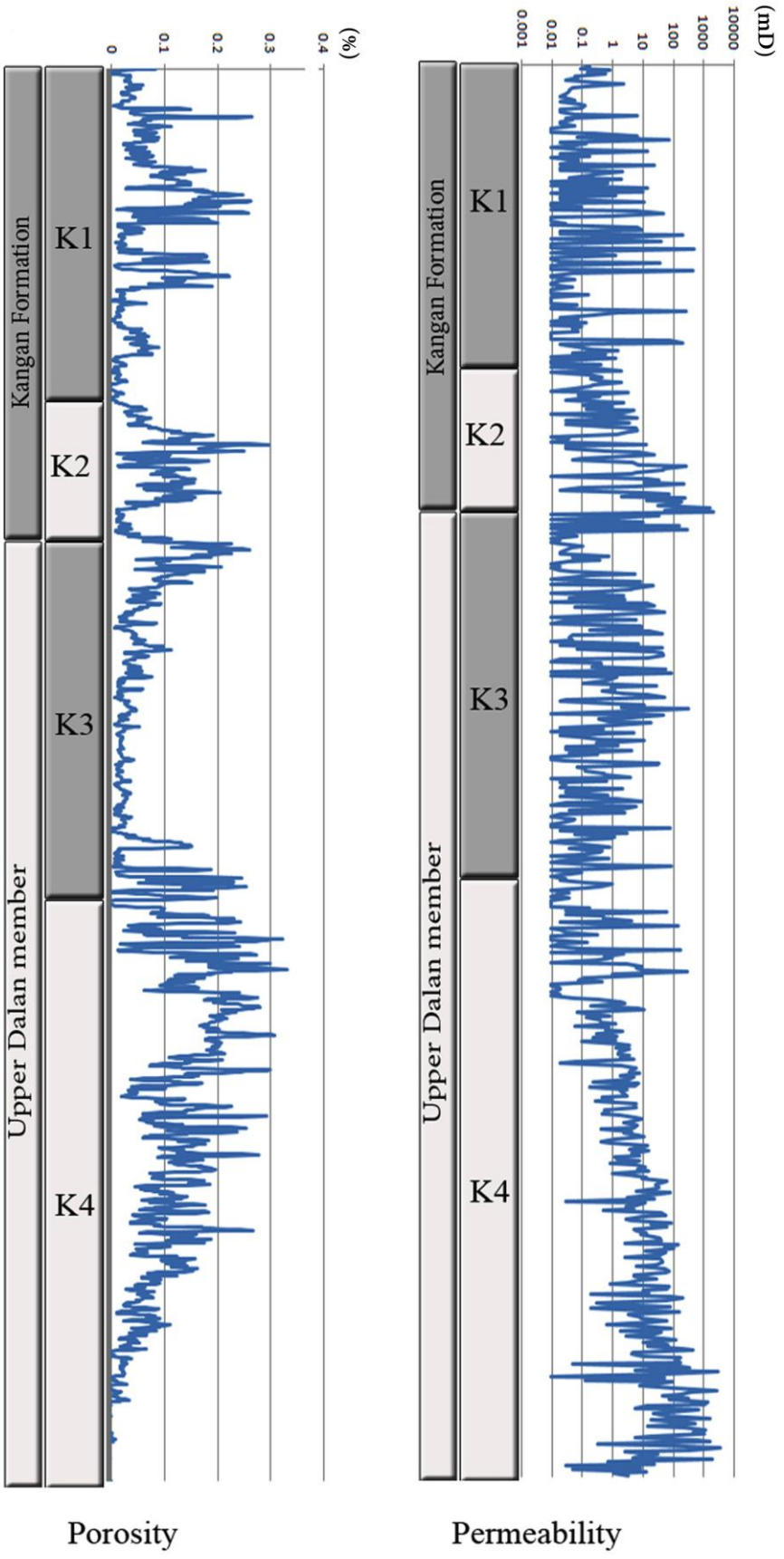
$$RQI = 0.0314\sqrt{\frac{K}{\varphi}}$$ فرمول ۱

زون‌های K2 و K4 دارای بهترین تخلخل و تراوایی و در نتیجه بهترین کیفیت مخزنی در بین سایر زون‌ها هستند. این موضوع با محاسبه نمایه کیفیت مخزنی (RQI) و ترسیم نمودار و بررسی آن در برابر ژرفا (شکل ۱۲) کاملا نمایان است و نشانگر این است که این دو زون بهترین نمایه کیفیت مخزنی و بهترین کیفیت مخزن را دارا هستند. با افزایش تخلخل و به ویژه تراوایی، نمایه کیفیت مخزن نیز افزایش چشمگیری نشان می‌دهد (شکل ۱۲).

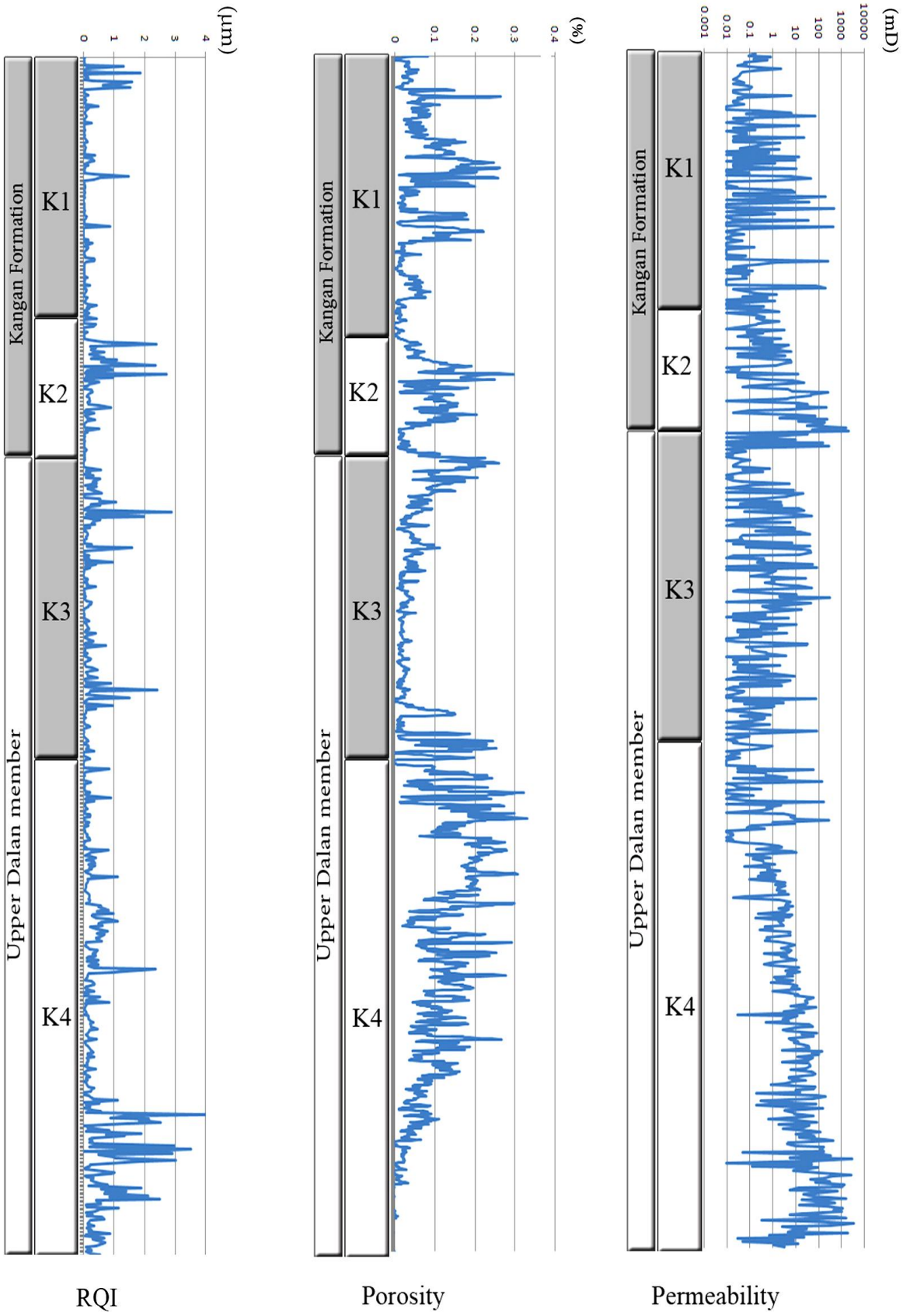
نتیجه‌گیری

سنگ مخزن سازندهای دالان و کنگان به ترتیب با سن پرمین بالایی و تریاس پایینی از دید ویژگی‌های پتروفیزیکی، یک مخزن کاملاً ناهمگن است که به چهار زون K1 تا K4 تفکیک شده است. زون K1 تخلخل بالا و تراوایی پایین، زون K2 تخلخل و تراوایی بالا، زون K3 تخلخل و تراوایی پایین و زون K4 تخلخل و تراوایی بالایی دارد. علت واژگونی روند تغییرات تخلخل با تراوایی در زون K4 را می‌توان به عملکرد خوب فرآیند انحلال در قسمت بالایی زون K4 و ایجاد انواع تخلخل ناموثر مانند حفره‌ای، درون‌دانه‌ای، قالبی و فنسترال، به خلاف قسمت پایین زون که عملکرد خوب دولومیتی‌شدن و گسترش ریزشکستگی‌ها باعث افزایش تخلخل موثر و بالا رفتن تراوایی شده، نسبت داد. در واقع عملکرد انحلال در قسمت بالایی زون و عملکرد دولومیتی‌شدن و گسترش شکستگی‌های ریز در قسمت پایینی زون باعث واژگونی روند تغییرات تخلخل و تراوایی در این زون شده است. با مطالعه پتروگرافی و واکاوی برش‌های نازک تهیه شده از سازندهای دالان و کنگان در میدان گازی پارس جنوبی انواعی از تخلخل شناسایی شد که به ترتیب فراوانی در مخزن مورد مطالعه، می‌توان به تخلخل قالبی، میان‌دانه‌ای، حفره‌ای، شکستگی، میان‌بلوری، فنسترال، درون‌دانه‌ای و کانالی اشاره کرد. مخزن مورد مطالعه کاملا ناهمگن بوده و تخلخل و تراوایی در زون‌های مختلف، مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهند، به گونه‌ای که زون K4 دارای بالاترین مقدار تخلخل و تراوایی و به ترتیب زون K2، زون K1 و زون K3 مقدار تخلخل و تراوایی پایین‌تری دارند. نوع بافت و نحوه گسترش انیدریت نیز بر مقدار تخلخل زون‌ها موثر بوده چنانچه از دلایل اصلی کاهش تخلخل در زون‌های K3 و K1 گسترش سیمان فراگیر انیدریت می‌باشد. محاسبه نمایه کیفیت مخزنی (RQI) و بررسی نمودار آن در برابر ژرفا نشان می‌دهد زون‌های K2 و K4 که دارای بیش‌ترین مقدار تخلخل و تراوایی می‌باشند، کیفیت مخزن بهتری نسبت به دو زون دیگر دارند.

[1] microfractures
[2] Reservoir Quality Index



شکل ۱۱. تعبیرات مقدار تخلخل و تراوایی در زون‌های مخزن مورد مطالعه در چاه شماره ۹



شکل ۱۲. تغییرات نمایه کیفیت مخزن، تخلخل و تراوایی در مقابل ژرفای مخزن مورد مطالعه

منابع

[۱] آقانباتی، س. ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

[۲] پرهام، س؛ فیاضی، ف (۱۳۸۴) بررسی فرآیندهای دیاژنتیکی و دولومیتی شدن و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند دالان در برش کوه سورمه، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم.

[۳] دانیالی، ع (۱۳۹۰) مطالعه کیفیت مخزنی سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی با نگرشی ویژه به نقش رسوبات تبخیری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

[۴] حسین‌یار، غ؛ رحیم‌پور بناب، ح؛ اسدی اسکندر، ا (۱۳۸۸) ارزیابی کیفیت مخزنی رخساره‌های رسوبی در سازندهای دالان بالایی و کنگان، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین.

[۵] رحیم‌پور بناب، ح (۱۳۸۹) سنگ‌شناسی کربناته با نگرشی بر کیفیت مخزنی، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۰ ص.

[۶] رضایی، م. ر (۱۳۸۷) زمین‌شناسی نفت، انتشارات فرهیختگان علوی، ۵۰۸ ص.

[۷] کدخدایی ایلخچی، ر (۱۳۸۵) نگرشی نوین بر تاثیر فرآیند انیدریتی‌شدن بر روی شاخص کیفیت مخزنی و واحد جریانی، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.

[۸] محبوبی‌پور، ح (۱۳۸۵) زون‌بندی و تعیین خواص مخزنی سازندهای کنگان و دالان در محدوده کمان قطر با استفاده از مطالعات پتروفیزیکی، پنجمین همایش ملی دانشجویی مهندسی نفت، دانشگاه اصفهان.

[۹] مطیعی، ه (۱۳۷۲) چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین شناسی کشور، طرح تدوین کتاب.

[10] Aali, J., Rahimpour-Bonab, H., and Kamali, M.R (2006) Geochemistry and origin of the world largest gas field from Persian Gulf, Iran. Journal of Petroleum Science and Engineering, 50, 161-175.

[11] Amaefule, J.O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G., Keelan, D.K (1993) Enhanced Reservoir Description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/wells. In: Presented at 68th Ann. Tech. Conf. Houston, Tx.

[12] Esrafili-Dizaji. B., and Rahimpour-Bonab.H (2009) Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf, Journal of Petroleum Geoscience, 15, 325–344.

[13] Lucia, F.J (1995) Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization: AAPG Bulletin, Vol. 79, 9,1275–1300.

[14] Tavakoli.V., Rahimpour-Bonab, H., and Esrafili-Dizaji, B (2010) Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach, C. R. Geoscience ,Volume 343, Issue 1, January 2011, 55-71.