

ویژگی‌های مخزنی توالی‌های دولومیتی سازند عرب، مطالعه موردی در یکی از میادین هیدروکربنی خلیج فارس

مهدی صرفی*^۱ و علی اسعدی^۲

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، ایران

۲- پژوهشکده علوم زمین، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۰

چکیده

توالی‌های دولومیتی، سنگ مخزن اصلی تولید نفت از سازند عرب در برخی از میادین هیدروکربنی خلیج فارس می‌باشند. در این تحقیق براساس نتایج توصیف مغزه‌ها و مطالعات پتروگرافی، آنالیزهای فشار موئینه تزریق جیوه و داده‌های تخلخل-تراوایی مغزه، رخساره‌های دولومیتی شناسایی و ویژگی‌های مخزنی آنها در یکی از میادین نفتی خلیج فارس بررسی شده است. بر اساس ویژگی‌های دولومیت‌ها، چهار گروه حفظ‌کننده فابریک، تخریب‌کننده فابریک، سیمان‌های دولومیتی و دولومیتی‌شدن بخشی تفکیک گردد. در دولومیت‌های سازند عرب، تخلخل‌های بین بلوری و بین‌دانه‌ای مهمترین نوع سیستم منفذی می‌باشند. کانی‌زایی تبخیری یک فرآیند دیاژنزی مهم همراه با دولومیتی‌شدن می‌باشد که در نمونه‌هایی با توزیع یکنواخت انیدریت، نقش مهمی در مسدود کردن گلوگاه‌های تخلخل و کاهش تخلخل-تراوایی مخزن داشته است. براساس تلفیق نتایج ۱۲ رخساره دولومیتی شناسایی گردید. نتایج مطالعه نشان داده که در رخساره‌های مرتبط با دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک، دولومیتی‌شدن نقش عمده‌ای بر ویژگی‌های مخزنی نداشته است و ویژگی‌های مخزنی عمدتاً توسط بافت اولیه و نیز تاثیر فرآیندهای انحلال و کانی‌زایی تبخیری کنترل شده است. در مقابل در رخساره‌های مرتبط با دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک، دولومیتی‌شدن تاثیرات عمده‌ای به‌صورت مثبت و نیز منفی بر نوع و هندسه منافذ اعمال کرده است. رخساره‌های مرتبط با دولومیتی‌شدن بخشی که در آنها دولومیت‌ها به‌صورت پراکنده در ماتریکس سنگ و یا پرکننده تخلخل‌های بین دانه‌ای مشاهده می‌گردند به ترتیب تاثیر ناچیز و منفی بر ویژگی‌های مخزنی داشته‌اند. توزیع رخساره‌های دولومیتی نشان می‌دهد که در بخش A و B⁺ C سازند عرب، رخساره‌های مرتبط با دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک و در بخش D دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک و دولومیتی‌شدن بخشی گسترش دارند.

کلمات کلیدی: سازند عرب، رخساره دولومیتی، سیستم منافذ، کانی‌زایی تبخیری، کیفیت مخزنی.

مقدمه

و مطالعه ویژگی‌های مخزنی دولومیت‌های سازند عرب براساس تلفیق نتایج توصیف مغزه‌ها، مطالعات پتروگرافی، آنالیزهای فشار مؤئینه تزریق جیوه و داده‌های تخلخل- تراوایی مغزه در یکی از میادین نفتی خلیج فارس می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند به شناخت بهتر ویژگی‌های مخزنی دولومیت‌های سازند عرب منجر شود.

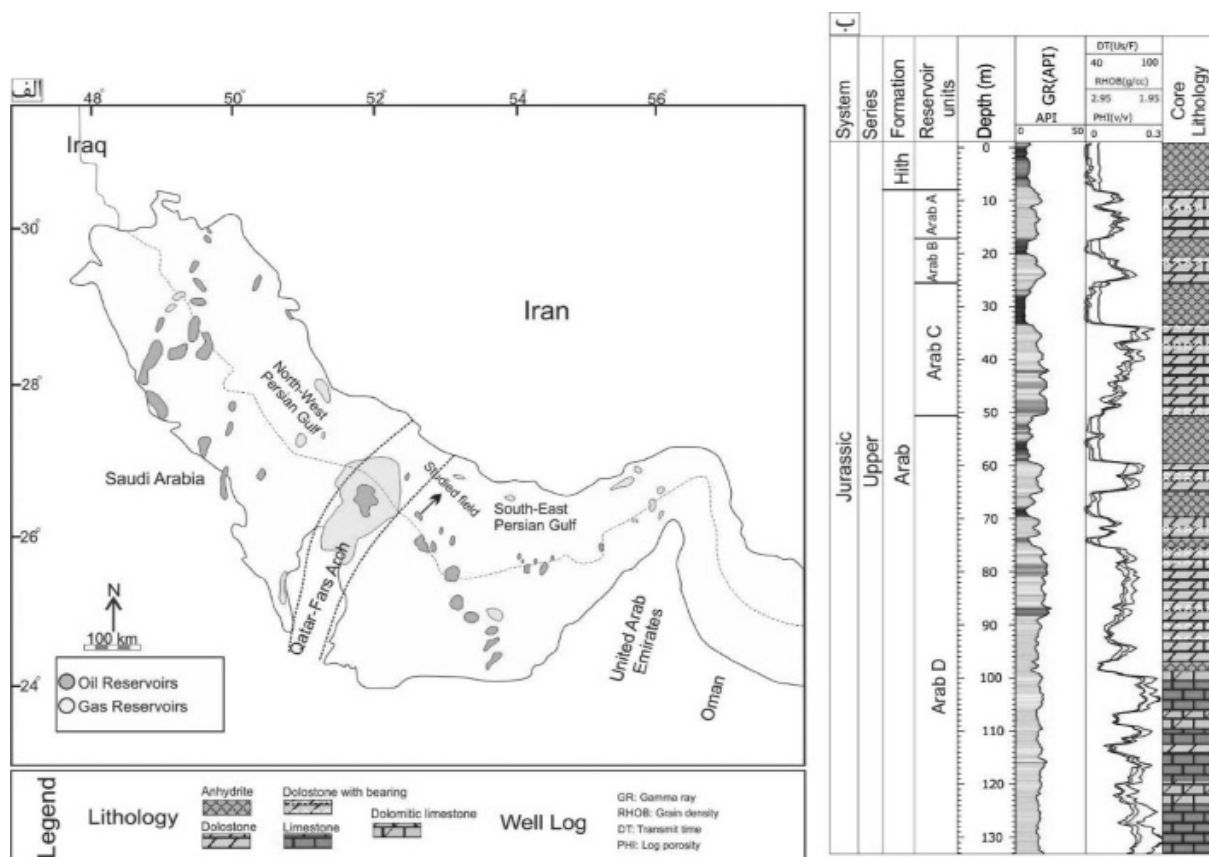
زمین‌شناسی منطقه و چینه‌شناسی

خلیج فارس یکی از مهم‌ترین حوضه‌های هیدروکربنی دنیا می‌باشد [۲۰ و ۲۱] که توسط خطواره‌های عمده، به فروافتادگی^۱ و بلندی‌هایی^۲ تقسیم می‌شود. بلندای ساختاری قطر-فارس^۳ با روند شمال شرق- جنوب غرب از زمان پرکامبرین، خلیج فارس را به دو فروافتادگی شمال غربی و جنوب شرقی تقسیم نموده است [۲۲]. میدان مورد بررسی، در بخش جنوب شرقی خلیج فارس واقع است و تحت تاثیر گسل‌های پی‌سنگی و تکتونیک نمک شکل گرفته است (شکل ۱- الف). سازند عرب با سن ژوراسیک بالایی، در خلیج فارس و اطراف آن حجم عظیمی از نفت دنیا را در خود جای داده است [۹]. این سازند با توجه به ماهیت لایه کیک‌کی آن به‌عنوان یک توالی کربناته- تبخیری کلاسیک، در بیشتر بخش‌های خلیج فارس و نواحی اطراف به چهار بخش A، B، C و D از قدیم به جدید تقسیم می‌شود [۲۳-۲۵]. برخلاف پیش‌تر نواحی خلیج فارس، سازند عرب در میدان مورد مطالعه به میزان عمده تحت تاثیر دولومیتی‌شدن قرار گرفته است. از نظر سنگ‌شناسی بخش A، B و C و بخش بالایی D به‌صورت کامل از دولومیت و انیدریت تشکیل شده‌اند و آهک و آهک دولومیتی تنها در بخش پایینی D مشاهده می‌شوند (شکل ۱- ب).

توالی‌های دولومیتی در بسیاری از حوضه‌های مهم هیدروکربنی دنیا، نقش مهمی در تولید نفت و گاز دارند [۱-۸]. مخازن دولومیتی از نظر ویژگی‌های پتروفیزیکی، حفظ تخلخل در طی تدفین، جریان سیال در مخزن، سیستم منافذ، استراتژی تولید و توسعه میدان نسبت به مخازن آهکی متفاوت می‌باشند [۹]. در ارتباط با مقادیر تخلخل در مخازن آهکی و دولومیتی، بیان می‌گردد که دولومیت‌ها در اعماق بیشتر نسبت به آهک‌ها به‌دلیل پایداری بالاتر در برابر تراکم، متخلخل‌تر می‌باشند [۳، ۱۰ و ۱۱]. با این وجود در برخی مطالعات [۱۲] بیان گردیده است که تخلخل و تراوایی زمینه در دولومیت‌ها نسبت به آهک‌ها، در بسیاری از مخازن کربناته ایالات متحده، کمتر می‌باشد. تاثیر دولومیتی‌شدن بر توزیع تخلخل- تراوایی مخزن به ماهیت سیالات دولومیت ساز، بافت و رخساره رسوبی اولیه، زمان دولومیتی‌شدن، شکل و اندازه بلورهای دولومیت، فرآیندهای دیاژنزی همراه و نیز میزان دولومیتی‌شدن وابسته می‌باشد [۲، ۴ و ۱۳-۱۷]. بنابراین، دولومیت‌ها از نظر ویژگی‌های مخزنی ناهمگن و دولومیتی‌شدن در ارتباط با پارامترهای مختلف کنترل‌کننده، می‌تواند باعث افزایش و یا کاهش کیفیت مخزنی گردد [۴]. براساس اندازه و شکل بلور، فراگیر یا بخشی بودن، انتخابی یا غیر انتخابی بودن، مکانیسم تشکیل و سایر ویژگی‌ها، دولومیت‌ها می‌توانند طبقه‌بندی گردد [۴ و ۱۸]. سازند عرب با سن ژوراسیک بالایی، یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی خلیج فارس می‌باشد که بخش عمده تولید آن در بسیاری از میادین، از توالی‌های آهکی صورت می‌گیرد [۵ و ۱۹]. با این وجود دولومیتی‌شدن به‌عنوان یک فرآیند دیاژنزی، نقش مهمی در ویژگی‌های مخزنی داشته است [۵، ۶ و ۹].

هدف از این تحقیق شناسایی رخساره‌های دولومیتی

1. Trough
2. High
3. Qatar-Fars Arch



شکل ۱ الف) موقعیت میدان نفتی مورد مطالعه در بخش جنوب شرقی خلیج فارس مشخص گردیده است. ب) سنگ‌شناسی سازند عرب در یک چاه کلیدی از میدان مورد مطالعه همراه با زون‌بندی آن

و توزیع گلوگاه‌های تخلخل، به منظور بررسی ویژگی‌های منفذی رخساره‌های دولومیتی سازند عرب استفاده شده است. در نهایت تاثیر پارامترهای مهم کنترل کننده ویژگی‌های مخزنی رخساره‌های دولومیتی بررسی و تعیین شد. در نهایت توزیع رخساره‌های دولومیتی در سازند عرب و هر کدام از زون‌های مخزنی مشخص گردید.

نتایج

انواع دولومیت‌ها

دولومیت‌های سازند عرب می‌تواند در چهار گروه دولومیت‌های حفظ کننده فابریک، دولومیت‌های تخریب کننده فابریک، سیمان‌های دولومیتی و دولومیتی شدن بخشی تفسیر و معرفی گردد. در زیر هر کدام از انواع دولومیت‌ها به صورت خلاصه معرفی و توصیف می‌شود.

داده‌ها و روش مطالعه

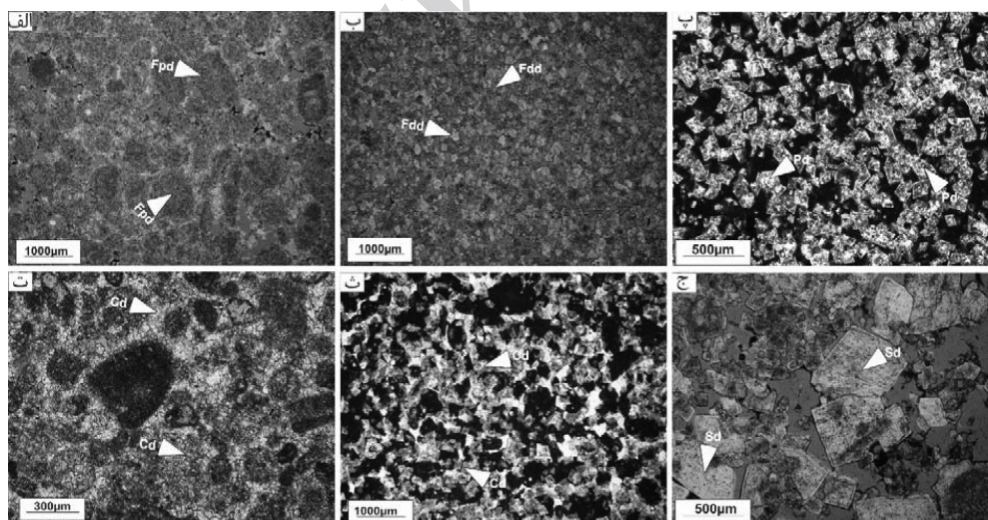
در این مطالعه با هدف شناسایی انواع دولومیت‌ها و نیز بررسی ویژگی‌های مخزنی رخساره‌های دولومیتی سازند عرب، از تلفیق نتایج توصیف ۲۲۵ m مغزه، پتروگرافی ۴۰۰ مقاطع نازک میکروسکوپی، ۱۰۰ نمودار فشار موئینه تزریق جیوه و ۵۹۰ پلاگ تخلخل-تراوایی مغزه از دو چاه کلیدی در یکی از میادین نفتی جنوب شرق خلیج فارس استفاده شده است. ابتدا براساس توصیف مغزه‌ها و مطالعات پتروگرافی، انواع مختلف دولومیت‌ها و نوع سیستم منافذ غالب در آنها شناسایی گردید. سپس رخساره‌های دولومیتی بر اساس اندازه و شکل بلور دولومیت، نوع دولومیت، ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی و نوع سیستم منافذ غالب شناسایی و ویژگی‌های مخزنی آنها مشخص گردید. از منحنی‌های فشار موئینه تزریق جیوه

تبخیری در دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک، توسعه قابل ملاحظه‌ای دارد. سیستم منفذی غالب در این نوع دولومیت‌ها به صورت بین بلوری می‌باشد. دولومیتی شدن بخشی^۱: دولومیتی شدن بخشی در زون D سازند عرب رخ داده است و عموماً زمینه و فضای خالی سنگ را تحت تاثیر قرار داده است. بلورهای دولومیت به صورت شکل دار و اندازه‌ای از حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ μm مشاهده می‌شوند. (شکل ۲- پ). در رخساره‌های گل غالب عموماً زمینه سنگ دولومیتی شده است و اجزاء اسلکتی از قبیل اکینودرم‌ها، مرجان‌ها و برخی از فرامینیفرهای بنتیک دولومیتی نشده‌اند. در مقابل در گرینستون‌ها این دولومیت‌ها به صورت سیمان منافذ و تخلخل‌های بین دانه‌ای را مسدود نموده‌اند.

سیمان دولومیتی^۴: سیمان‌های دولومیتی به دو صورت سیمان پرکننده تخلخل‌های بین بلوری و بین دانه‌ای و شکستگی‌ها مشاهده می‌شوند.

دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک^۱: در این نوع دولومیت‌ها، اندازه بلورهای دولومیت از بافت و شکل اولیه اجزاء تبعیت می‌کند [۱۷ و ۲۶] دولومیت‌ها ریز بلور بوده و اندازه آنها عموماً کمتر از ۵۰ μm می‌باشد (شکل ۲- الف). بلورهای دولومیت به صورت نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل و توزیع سیستم منافذ نسبتاً همگن می‌باشد. تخلخل بین دانه‌ای در این نوع دولومیت‌ها غالب می‌باشد. در این دولومیت‌ها عموماً کیفیت مخزنی تحت تاثیر نوع رخساره اولیه شکل گرفته است و دولومیتی شدن تغییراتی عمده‌ای در ویژگی‌های مخزنی نداشته است.

دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک^۲: در این نوع دولومیت‌ها بافت اولیه سنگ قابل شناسایی نمی‌باشد و سنگ حالت بلورین دارد [۲۶]. اندازه بلورهای دولومیت از حدود ۲۰ تا بیش از ۱۰۰ تغییر نشان می‌دهد (شکل ۲- ب). شکل بلورهای دولومیت می‌تواند به صورت بی‌شکل، نیمه‌شکل‌دار و شکل‌دار باشد. تبلور مجدد گسترده و کانی‌زایی



شکل ۲ تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی از انواع دولومیت‌ها در سازند عرب. الف) دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک، ب) دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک، پ) دولومیتی شدن بخشی، ت) سیمان دولومیتی پرکننده تخلخل بین دانه‌ای در دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک، ث) سیمان دولومیتی پرکننده تخلخل در یک نمونه با دولومیتی شدن بخشی ج) سیمان دولومیتی زین‌اسبی پرکننده تخلخل بین بلوری در دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک. تمام تصاویر در نور معمولی، علائم اختصاری: Fpd: دولومیت حفظ‌کننده فابریک، Fdd: دولومیت تخریب‌کننده فابریک، Pd: دولومیتی شدن بخشی، Cd: سیمان دولومیتی، Sd: دولومیت زین‌اسبی

1. Fabric Preserving Dolomites
2. Fabric Destructive Dolomites
3. Partial Dolomitization
4. Dolomite Cements

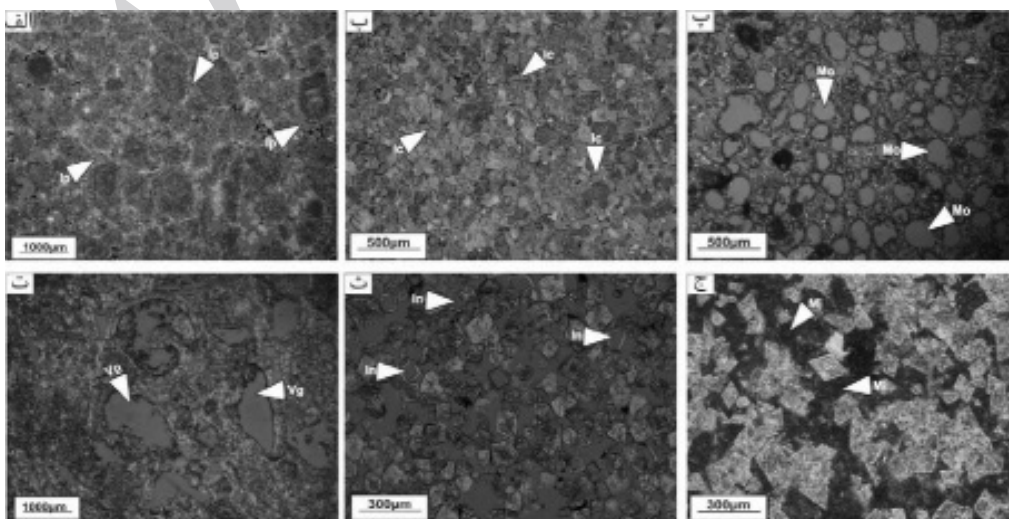
بین بلوری، درون بلوری، قالبی، حفره‌ای، شکستگی و ریز تخلخل توسعه دارد (شکل ۳). فراوان‌ترین نوع منفذی، تخلخل‌های بین بلوری و بین دانه‌ای می‌باشند (شکل ۳-الف، ب). تخلخل بین بلوری در دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک بیشترین گسترش را دارد. در مقابل در دولوگرینستون‌ها، تخلخل غالب بین دانه‌ای می‌باشد. تخلخل‌های قالبی که هسته اجزاء اسکلتی و غیر اسکلتی به صورت انتخابی حل شده است نوع منفذی مهم دیگر می‌باشد (شکل ۳-پ). تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط در برخی از رخساره‌های دانه غالب اولیه، سبب تشکیل زون‌های مخزنی با تخلخل-تراوایی بالا گردیده اند (شکل ۳-ت). تشکیل تخلخل‌های درون بلوری (شکل ۳-ث)، می‌تواند به انحلال هسته دولومیت‌ها به دلیل وجود ادخال بالا و ناپایداری هسته بلور نسبت داده شود [۲۸]. تخلخل غالب در دولومیتی‌شدن رخساره‌های گل غالب بخش D سازند عرب به دلیل عدم تشکیل شبکه بلوری دولومیت و واقع بودن بلورها در زمینه گل آهکی، از نوع ریز تخلخل (تخلخل ماتریکس) می‌باشد (شکل ۳-ج). دولومیتی‌شدن در این رخساره‌ها عموماً تاثیر مثبتی بر کیفیت مخزنی نداشته است.

این سیمان‌ها در انواع دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک، تخریب‌کننده فابریک و دولومیتی‌شدن بخشی با فراوانی متفاوت مشاهده می‌شوند (شکل ۲-ت، ث، ج). بیشترین فراوانی سیمان دولومیتی در دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک مشاهده می‌گردد. سیمان دولومیتی پرکننده شکستگی‌ها عموماً از نوع زین اسبی می‌باشد که به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار دولومیت با خاموشی موجی و در اندازه $200-300 \mu\text{m}$ مشاهده می‌شوند. تشکیل این نوع دولومیت‌ها در مطالعات گذشته سازند عرب [۵، ۶ و ۹] در ارتباط با سیالات هیدروترمال دانسته شده است.

براساس نتایج حاصل از مطالعات گذشته [۵ و ۶] دولومیت‌های سازند عرب در ارتباط با تبخیری‌ها (دولومیت‌های حفظ و تخریب‌کننده فابریک) و سیالات هیدروترمال (دولومیت‌های زین اسبی) تشکیل شده‌اند.

سیستم منافذ در دولومیت‌ها

در رخساره‌های دولومیتی سازند عرب، انواع مختلفی از منافذ شامل تخلخل‌های بین دانه‌ای،



شکل ۳ انواع تخلخل‌های مشاهده شده در رخساره‌های دولومیتی، الف) بین دانه‌ای، ب) بین بلوری، پ) قالبی، ت) درون بلوری، ث) حفره‌ای، ج) ریز تخلخل. تمام تصاویر در نور معمولی تهیه شده است. علائم اختصاری: Ip: بین دانه‌ای، Ic: بین بلوری، Mo: قالبی، In: درون بلوری، Vg: حفره‌ای، Mi: ریز تخلخل

دولومیت حفظ‌کننده فابریک با سیمان انیدریتی فراوان (رخساره ۹) (شکل ۴-ص، ض)، دولومیت تخریب‌کننده فابریک با سیمان انیدریتی فراوان (رخساره ۱۰) (شکل ۴-ط، ظ)، مادستون-وکستون با دولومیتی‌شدن بخشی (رخساره ۱۱) (شکل ۴-ع، غ) و گرینستون-پکستون با دولومیتی‌شدن بخشی (۱۲) (شکل ۴-ف، ق) مشخص گردید. رخساره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۹ در گروه دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک، رخساره‌های ۶، ۷، ۸ و ۱۰ در گروه دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک و رخساره‌های ۱۱ و ۱۲ در گروه دولومیتی‌شدن بخشی نمونه‌ها قرار می‌گیرند. با توجه به هدف مخزنی این مطالعه و شناسایی زون‌های متخلخل و تراوا در سازند عرب، در نمونه‌هایی که انیدریت با توزیع یکنواخت به‌صورت گسترده سیستم منافذ را مسدود کرده است، آنها سه رخساره ۱، ۹ و ۱۰ معرفی شده‌اند. رخساره‌های دانه غالب با توجه به گردش بیشتر آب در حاشیه پلاتفرم و نهشت رسوبات در حوضه‌های درون کراتونی پایدار، فراوانی زیادی در طی ژوراسیک بالایی صفحه عربی داشته‌اند. دولوگرینستون‌های سازند عرب در سه رخساره معرفی گردیده‌اند که بر اساس نوع منافذ غالب قابل تمایز و تفکیک می‌باشند. بر این اساس و با توجه به اهمیت نوع و هندسه منافذ، شکل منحنی‌های تزریق جیوه و توزیع گلوگاه تخلخل به‌عنوان نماینده برای هر رخساره دولومیتی نشان داده شده است (شکل ۵-الف، ب، پ، ت، ث، ج، چ، ح، خ، د، ذ، ر، ز، ژ، س، ش، ص، ض، ط، ظ، ع، غ، ف، ق). در حالت کلی توزیع گلوگاه منافذ در انواع رخساره‌های دولومیتی بیشتر به‌صورت تک‌قله‌ای^۲ می‌باشد. تنها در رخساره‌های ۱، ۹ و ۱۰ که در ارتباط با دولومیت‌های همراه با کانی‌زایی تبخیری گسترده می‌باشند توزیع منافذ به‌صورت ناهمگن می‌باشد و محدوده گسترده‌ای از شعاع گلوگاه را شامل می‌شود.

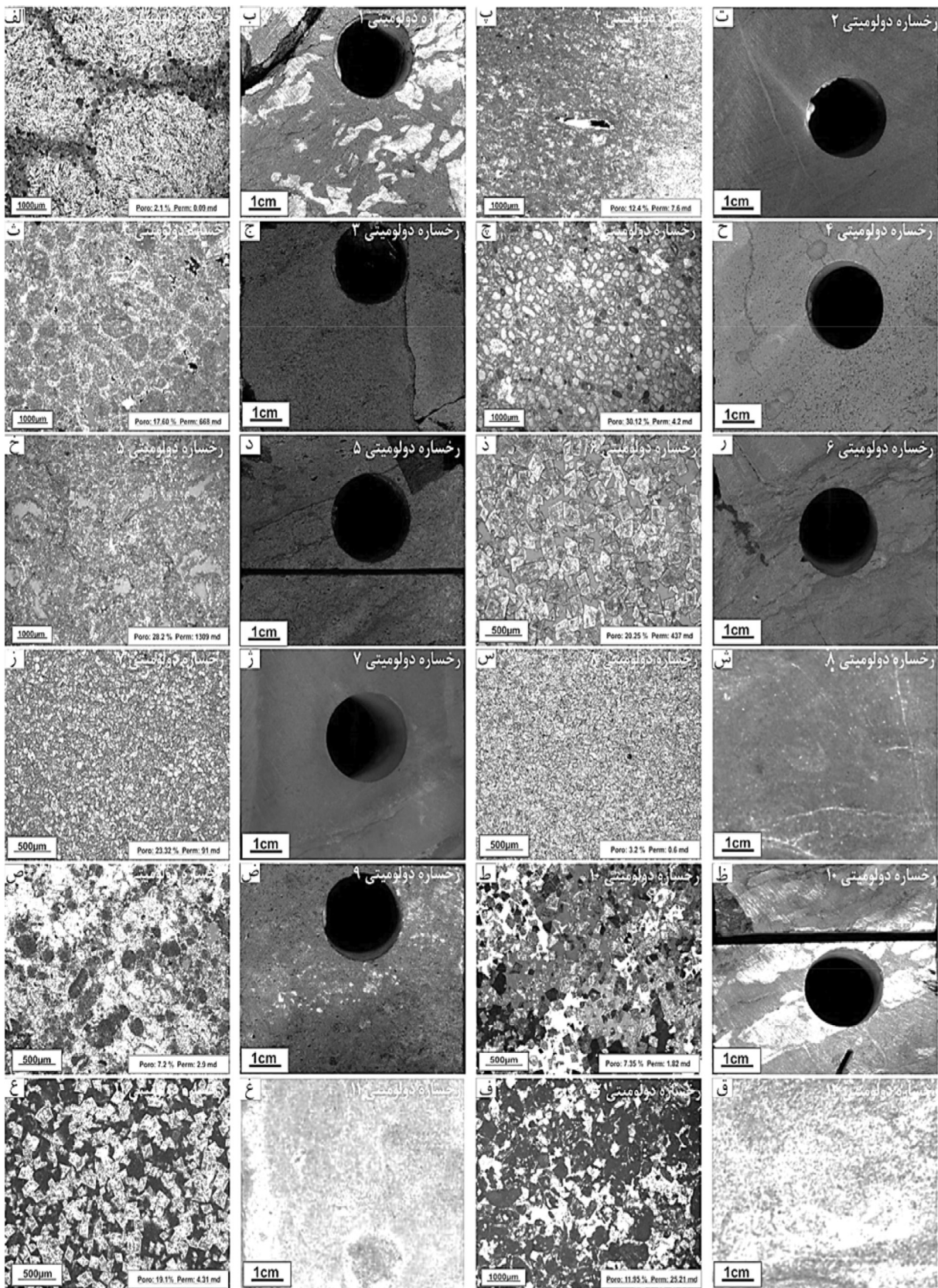
کانی‌زایی تبخیری^۱: ارتباط مشخصی بین دولومیتی‌شدن و کانی‌زایی تبخیری، در پلاتفرم‌های گرم و خشک قابل شناسایی و تفسیر می‌باشد [۸، ۱۷ و ۳۰-۳۲]. کانی‌زایی تبخیری می‌تواند نقش مهمی در مسدود کردن گلوگاه تخلخل و کاهش کیفیت مخزنی بر اساس بافت و توزیع انیدریت داشته باشد [۲۹]. در دولومیت‌های سازند عرب، انیدریت به‌صورت توزیع یکنواخت و پراکنده و بافت‌های پویکیلوتوپیک، نودولار، پرکننده تخلخل و لایه‌ای مشاهده می‌شود. در مطالعات گذشته [۳۱]، مشخص گردیده که در سازند عرب، یک ارتباط مشخص بین درصد بافت و توزیع انیدریت در دولومیت‌ها قابل تشخیص است. عموماً نمونه‌های با درصد بالای انیدریت منطبق بر بافت‌های لایه‌ای و نودولار با توزیع یکنواخت می‌باشند. در مقابل درصد پایین انیدریت در نمونه‌ها، با بافت پویکیلوتوپیک و توزیع پراکنده منطبق می‌باشند. بافت پرکننده تخلخل در سازند عرب هر دو توزیع انیدریت یکنواخت و پراکنده را نشان می‌دهد.

رخساره‌های دولومیتی

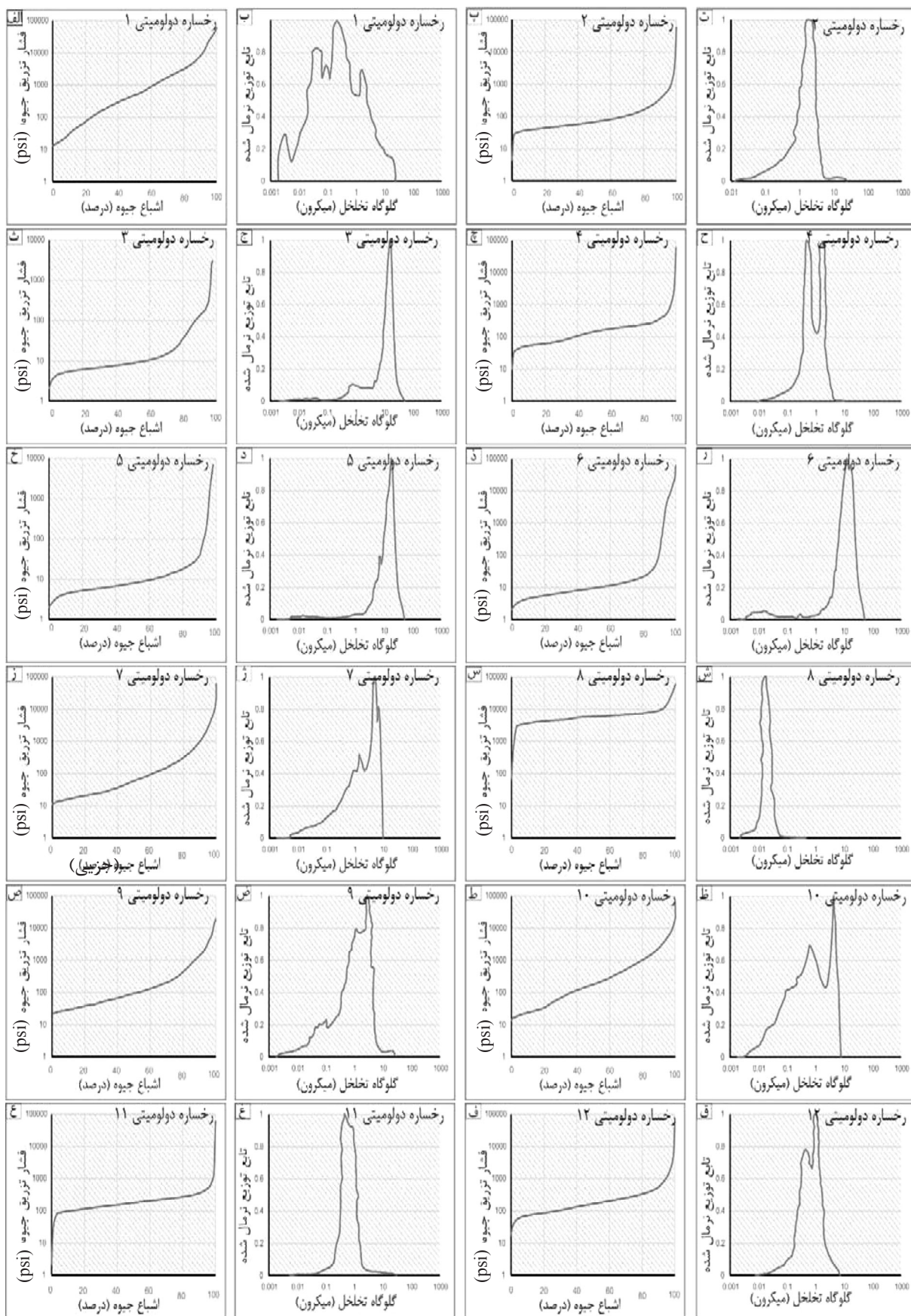
به منظور بررسی ویژگی‌های مخزنی دولومیت‌ها در سازند عرب، رخساره‌های دولومیتی براساس ویژگی‌های بافتی اولیه، نوع دولومیت، اندازه و شکل بلور، توزیع فرآیندهای دیاژنزی همراه به ویژه کانی‌زایی تبخیری، نوع سیستم منافذ غالب، مقادیر تخلخل-تراوایی و آنالیزهای تزریق جیوه معرفی و توصیف گردید. ۱۲ رخساره دولومیتی شامل دولومادستون با انیدریت نودولار (رخساره ۱) (شکل ۴-الف، ب)، دولووکستون-پکستون بایوکلاستی (رخساره ۲) (شکل ۴-پ، ت)، دولوگرینستون پلوئیدی-اوئیدی (رخساره ۳) (شکل ۴-ث، ج)، دولوگرینستون اوئیدی (رخساره ۴) (شکل ۴-چ، ح)، دولوگرینستون بایوکلاستی (رخساره ۵) (شکل ۴-خ، د)، دولومیت درشت بلور (رخساره ۶) (شکل ۴-ذ، ر)، دولومیت متوسط بلور (رخساره ۷) (شکل ۴-ز، ژ)، دولومیت متراکم (رخساره ۸) (شکل ۴-س، ش)،

1. Evaporate Mineralization

2. Unimodal



شکل ۴ تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی (الف، پ، ت، ث، چ، خ، ذ، ز، س، ص، ط، ع، ف) و برش مغزه (ب، ت، ج، ح، د، ر، ژ، ش، ض، ظ، غ، ق) از انواع رخساره‌های دولومیتی سازند عرب. تصاویر مقاطع نازک الف، ص، ظ، ع در پلاریزه و بقیه تصاویر در نور معمولی گرفته شده است. علائم اختصاری: Poro: تخلخل (%)، Perm: تراوایی (mD)



شکل ۵ منحنی‌های فشار موئینه (الف، پ، ت، ج، ح، د، ر، ژ، ش، ض، ص، ط، ع، ف) و توزیع گلوگاه‌های تخلخل (ب، ت، ج، ح، د، ر، ژ، ش، ض، ظ، غ، ق) انواع رخساره‌های دولومیتی سازند عرب

دولومیت درشت بلور به دلیل اندازه درشت بلور و سیستم منافذ مرتبط، کیفیت مخزنی بالا می‌باشد. دولومیت متراکم که توسط دولومیتی شدن بیش از حد و از بین رفتن عمده تخلخل‌های بین بلوری مشخص می‌شود ناتراوا است. رخساره دولومیت تخریب کننده فابریک با انیدریت فراوان، به دلیل توزیع یکنواخت انیدریت تخلخل- تراوایی پایینی نشان می‌دهد. در ارتباط با ویژگی‌های مخزنی رخساره‌های دولومیتی مرتبط با دولومیت‌های تخریب کننده فابریک (رخساره ۶، ۷، ۸، ۱۰) در بلورهای درشت و شکل دار دولومیت در صورت عدم تاثیر فرآیندهای کانی‌زایی تبخیری، دولومیتی شدن بیش از حد، سیمان دولومیتی و سایر فرآیندهای دیاژنزی، کیفیت مخزنی بهبود یافته است. با این وجود به دلیل تاثیر عمده فرآیندهای سیمان دولومیتی و کانی‌زایی تبخیری، این رخساره‌های دولومیتی از نظر مخزنی نسبت به دولومیت‌های حفظ کننده فابریک در حالت کلی کیفیت مخزنی پایین تری دارند. در رخساره‌های مرتبط با دولومیتی شدن بخشی، فرآیند دولومیتی تاثیر ناچیز و نیز منفی بر ویژگی‌های مخزنی داشته است.

توزیع رخساره‌های دولومیتی در سازند عرب

در چهار زون مخزنی سازند عرب (A-B-C-D) در میدان مورد مطالعه، توزیع انواع دولومیت‌ها و رخساره‌های دولومیتی، فراوانی مشخصی نشان می‌دهد. در بخش A-B و C که با ضخامت حدود ۶۰ m و توسط دولوگرینستون‌ها مشخص می‌شود دولومیت‌های حفظ کننده فابریک و رخساره‌های دولومیتی مرتبط با آنها توسعه دارند. بخش در مقابل بخش بالایی D، دولومیت‌های تخریب کننده فابریک و رخساره‌های دولومیتی مرتبط با آنها مشاهده می‌شود. دولومیتی شدن بخشی تنها در قاعده‌ای عرب D مشاهده می‌شود. سیمان‌های دولومیتی در ارتباط با دولومیت‌های تخریب کننده فابریک فراوانی بیشتری نشان می‌دهد.

ویژگی رخساره‌های دولومیتی سازند عرب از نظر اندازه و شکل بلورهای دولومیت، رخساره‌ای رسوبی و دیاژنزی، سیستم منافذ و کیفیت مخزنی در جدول ۱ به صورت خلاصه ارائه شده است.

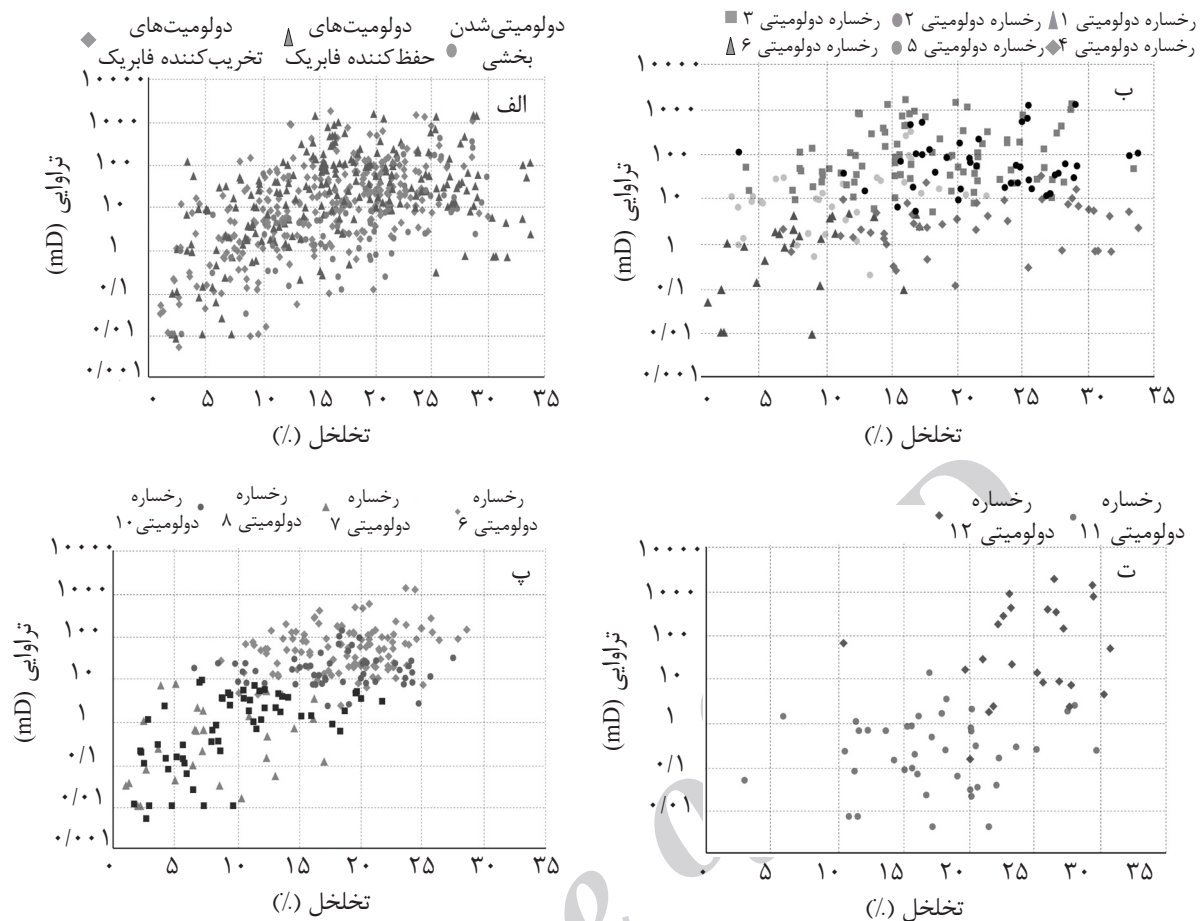
بحث و نتایج

ویژگی‌های مخزنی رخساره‌های دولومیتی

ویژگی‌های مخزنی رخساره‌های دولومیتی سازند عرب تحت تاثیر پارامترهای مختلفی شامل بافت اولیه سنگ، اندازه و شکل بلورهای دولومیت، فرآیندهای دیاژنزی غالب به ویژه انحلال، کانی‌زایی تبخیری و تراکم و نیز ماهیت پتروفیزیکی سیستم منافذ کنترل شده است. توزیع تخلخل- تراوایی در سه گروه دولومیت‌های حفظ کننده فابریک، تخریب کننده فابریک و دولومیتی شدن بخشی نشان داده شده است (شکل ۶- الف). سپس در هر کدام از گروه‌های اصلی براساس رخساره‌های دولومیتی معرفی شده نمونه‌ها گروه بندی شده‌اند (شکل ۶- ب، پ، ت). علاوه بر این برای درک بهتر مقادیر تخلخل- تراوایی هر کدام از رخساره‌ها در جدول ۲ مقادیر میانگین این پارامترها ارائه شده است. در رخساره‌های دولوگرینستونی (۳، ۴، ۵) ویژگی‌های مخزنی به میزان عمده‌ای تحت تاثیر نوع سیستم منافذ غالب و تاثیر کانی‌زایی تبخیری کنترل شده است. منافذ بین دانه‌ای و حفره‌ای که تحت تاثیر انحلال گلوگاه آنها بزرگ شده است (رخساره ۳ و ۵)، از نظر مخزنی نسبت به رخساره ۴ که توسط تخلخل‌های قالبی غیر مرتبط مشخص می‌شود، کیفیت مخزنی بالاتری دارند. در رخساره دولومیت حفظ کننده فابریک با انیدریت فراوان (رخساره ۹)، کیفیت مخزنی به دلیل مسدود شدن گسترده گلوگاه تخلخل توسط انیدریت، پایین می‌باشد. در رخساره‌های دولومیتی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۹ که در گروه دولومیت‌های حفظ کننده فابریک طبقه بندی شده است، فرآیند دولومیتی شدن نقش قابل ملاحظه‌ای بر ویژگی‌های مخزنی نداشته است. در رخساره

جدول ۱ ویژگی‌های رخساره‌های دولومیتی سازند عرب از جنبه بافت اولیه، شکل و اندازه بلور دولومیت، اجزاء سازنده، فرآیندهای دیاژنزی، سیستم منافذ و تاثیر دولومیتی شدن بر ویژگی‌های مخزنی، علائم اختصاری: ف: فراوان، ر: رایج، ن: نادر

شماره	نوع رخساره دولومیتی	اندازه بلور دولومیتی	شکل بلور	ویژگی‌های رسوبی - دیاژنزی		مخزنی
				فرآیندهای دیاژنزی	اجزاء اسکلتی و غیر اسکلتی	
۱	دولومادستون یا انیدریت نودولار	ریز	بی‌شکل - نیمه شکل‌دار	-	کانی‌زایی تبخیری (ف)، سیمان دولومیتی (ر)	پایین
۲	دولووکستون - پکستون بایوکلستی	ریز	بی‌شکل - نیمه شکل‌دار	جلبک (ف)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)، پلوئید (ر)	میکرایتی شدن (ر)، انحلال (ر)، زیست آشفنگی (ر)، سیمان دولومیتی (ن)، کانیزایی تبخیری (ن)	پایین
۳	دولوگرینستون پلوئیدی - اووئیدی	ریز	بی‌شکل	پلوئید (ف)، اووئید (ر)، گاستروپود (ر)، جلبک سبز (ر)	انحلال (ف)، سیمان دولومیتی حاشیه‌ای (ر)، کانیزایی تبخیری (ن)	بالا
۴	دولوگرینستون اووئیدی	ریز	بی‌شکل	اووئید (ف)، پلوئید (ر)	انحلال (ف)، کانیزایی تبخیری (ن)	متوسط
۵	دولوگرینستون بایوکلستی	ریز - متوسط	بی‌شکل - نیمه شکل‌دار	گاستروپود (ر)، جلبک سبز (ر)، پلوئید (ر)	انحلال (ف)، کانیزایی تبخیری (ن)	بالا
۶	دولومیت درشت بلور	درشت	نیمه شکل‌دار - شکل‌دار	غیر قابل تشخیص	انحلال (ف)، سیمان دولومیت زین آسبی (ر)، استیلولیتی شدن (ر)، کانیزایی تبخیری (ر)	بالا
۷	دولومیت متوسط بلور	متوسط - ریز	نیمه شکل‌دار - شکل‌دار	غیر قابل تشخیص	انحلال (ف)، سیمان دولومیت زین آسبی (ر)، استیلولیتی شدن (ر)، کانیزایی تبخیری (ر)	بالا
۸	دولومیت متراکم	متوسط - ریز	بی‌شکل	غیر قابل تشخیص	دولومیتی شدن بیش از حد (ف)، تراکم (ر)، سیمان دولومیتی (ر)	پایین
۹	دولومیت حفظ‌کننده فابریک با سیمان انیدریتی فراوان	ریز	بی‌شکل - نیمه شکل‌دار	اووئید (ف)، پلوئید (ف)، جلبک سبز (ر)	کانی‌زایی تبخیری (ف)، سیمان دولومیتی (ر)	پایین
۱۰	دولومیت تخریب‌کننده فابریک با سیمان انیدریتی فراوان	متوسط	نیمه شکل‌دار - شکل‌دار	غیر قابل تشخیص	کانی‌زایی تبخیری (ف)، سیمان دولومیتی (ر)	پایین
۱۱	مادستون - وکستون با دولومیتی شدن بخشی	درشت	شکل‌دار	میلیولید (ر)، استراکود (ر)، جلبک سبز (ن)	زیست آشفنگی (ر)، تراکم (ر)، دولومیتی شدن (ف) زمینه، ددولومیتی شدن (ر)	بالا
۱۲	گرینستون - پکستون با دولومیتی شدن بخشی	درشت	شکل‌دار	فرامینیفرهای بنتیک کوچک (ف)، جلبک سبز (ر)، اکینودرم (ر)، پلوئید (ف)	میکرایتی شدن (ر)، سیمان کلسیتی (ر)، دولومیت به‌صورت سیمان (ر)	بالا



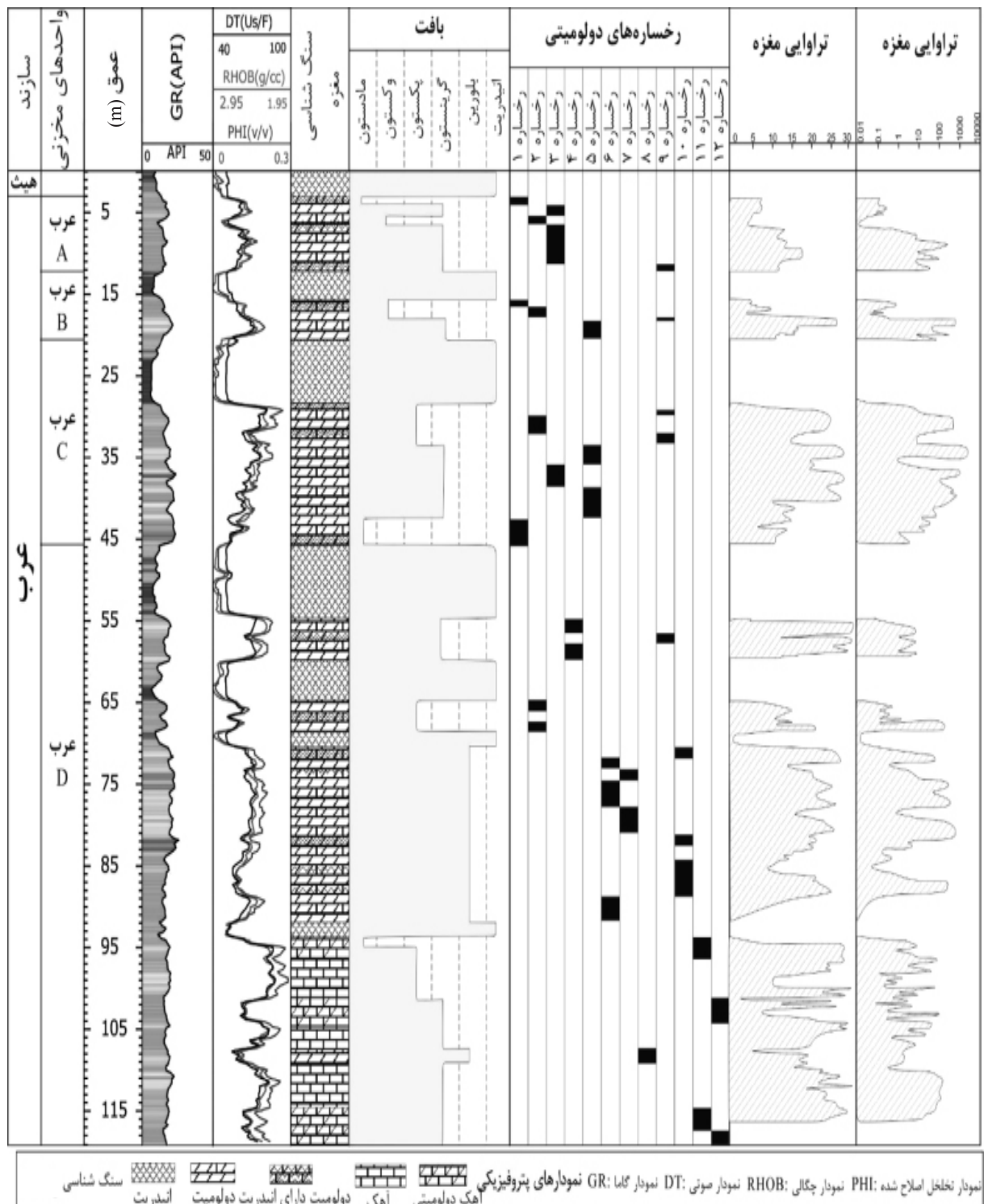
شکل ۶ توزیع تخلخل - تراوایی در الف) انواع دولومیت‌ها شناسایی شده، ب) رخساره‌های دولومیتی مرتبط با دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک، پ) رخساره‌های دولومیتی مرتبط با دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک، ت) دولومیتی شدن بخشی

جدول ۲ میانگین مقادیر تخلخل - تراوایی در انواع رخساره‌های دولومیتی سازند عرب

میانگین تراوایی	میانگین تخلخل	نام رخساره
۱/۵۸	۸/۱۰	دولومادستون با انیدریت نودولار (DF-1)
۳۰/۱۲	۱۰/۷۴	دولووکستون - پکستون بایوکلستی (DF-2)
۲۲۸/۷۳	۱۷/۸۰	دولوگرینستون پلوئیدی - اووئیدی (DF-3)
۴/۸۸	۲۱/۱۹	دولوگرینستون اووئیدی (DF-4)
۱۵۱/۵۴	۲۲/۱۱	دولوگرینستون بایوکلستی (DF-5)
۹۹/۳۹	۱۸/۸۶	دولومیت درشت بلور (DF-6)
۲۲/۳۹	۱۷/۹۳	دولومیت متوسط بلور (DF-7)
۱/۴۸	۸/۳۶	دولومیت متراکم (DF-8)
۲/۳۲	۸/۸۸	دولومیت حفظ‌کننده فابریک با سیمان انیدریتی فراوان (DF-9)
۱/۹۸	۹/۶۹	دولومیت تخریب‌کننده فابریک با سیمان انیدریتی فراوان (DF-10)
۳/۴۸	۱۶/۸۴	مادستون - وکستون با دولومیتی شدن بخشی (DF-11)
۹۲/۹۹	۲۳/۸۵	گرینستون - پکستون با دولومیتی شدن بخشی (DF-12)

توسط فرآیند رسوبی اولیه و تاثیر فرآیند انحلال کنترل شده است. توزیع رخساره‌های دولومیتی در یک چاه کلیدی در میدان مورد مطالعه به منظور درک ویژگی‌های آنها نشان داده شده است (شکل ۷).

در حالت کلی می‌توان بیان نمود که عمده تاثیر فرآیند دولومیتی شدن بر ویژگی‌های مخزنی سازند عرب در بخش بالایی D مشاهده می‌شود. در بخش A و B و C با وجود دولومیتی شدن، خصوصیات مخزنی



شکل ۷ توزیع رخساره‌های دولومیتی سازند عرب در یکی از چاه‌های کلیدی میدان مورد مطالعه.

نتیجه‌گیری

فابریک دولومیتی‌شدن نقش عمده‌ای در ویژگی‌های مخزنی نداشته است.

۳- رخساره‌های دولومیتی ۶، ۷، ۸، ۱۰ که در ارتباط با دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک گسترش دارند، فرآیند دولومیتی‌شدن بر اساس اندازه و شکل بلور دولومیت در برخی موارد نقش قابل ملاحظه‌ای بر ویژگی‌های مخزنی اعمال نموده است. در مجموع در سازند عرب رخساره‌های دولومیتی مرتبط با دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک به دلیل تاثیر بیشتر فرآیندهای دیاژنزی همراه، نسبت به دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک کیفیت مخزنی پایین‌تری نشان می‌دهند.

۴- در رخساره‌های مرتبط با دولومیتی‌شدن بخشی (رخساره ۱۱ و ۱۲)، فرآیند دولومیتی تاثیر ناچیز و نیز منفی بر ویژگی‌های مخزنی داشته است. این شرایط ناشی از شناور بودن بلورهای دولومیت در زمینه گل غالب اولیه و نیز توسعه بلورهای دولومیت به‌عنوان سیمان پرکننده تخلخل بین دانه‌ای ایجاد شده است.

۵- از نظر توزیع رخساره‌های دولومیتی در سازند عرب مشاهده می‌شود که در بخش A-B و C دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک و در بخش D دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک، سیمان‌های دولومیتی و دولومیتی‌شدن بخشی گسترش دارند.

در این مطالعه براساس تلفیق نتایج حاصل از توصیف مغزه‌ها، پتروگرافی مقاطع نازک، آنالیزهای فشار مؤئینه تزریق جیوه و داده‌های تخلخل- تراوایی مغزه، ویژگی‌های دولومیت‌های سازند عرب در یکی از میداین هیدروکربنی خلیج فارس در قالب رخساره‌های دولومیتی شناسایی و نتایج زیر حاصل گردید.

۱- دولومیت‌های سازند عرب در قالب چهار گروه شامل دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک، دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک، سیمان‌های دولومیتی و دولومیتی‌شدن بخشی تفسیر گردید. براساس پارامترهای مختلف شامل بافت اولیه، اندازه و شکل بلورهای دولومیت، سیستم منافذ غالب، توزیع فرآیندهای دیاژنزی همراه و مقادیر تخلخل- تراوایی، ۱۲ رخساره دولومیتی شناسایی و عوامل کنترل‌کننده کیفیت مخزنی مشخص گردید.

۲- در رخساره‌های دولومیتی مرتبط با دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک (رخساره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۹)، مهم‌ترین پارامتر کنترل‌کننده مقادیر تخلخل- تراوایی مخزن، بافت رسوبی اولیه، نوع سیستم منافذ غالب و نیز رخداد کانی‌زایی تبخیری بوده است. رخساره‌های دولوگرینستونی براساس نوع سیستم منافذ غالب کیفیت مخزنی متفاوتی دارند. در رخساره‌های مرتبط با دولومیت‌های حفظ‌کننده

مراجع

- [1]. Kordi M., Morad S., Turner B., and Salem A. M., "Sequence stratigraphic controls on formation of dolomite: insights from the carboniferous um bogma formation, sinai-egypt," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 149, pp. 531-539, 2017.
- [2]. Beckert J., Vandeginste V., and John, C. M., "Exploring the geological features and processes that control the shape and internal fabrics of late diagenetic dolomite bodies (lower Khuff equivalent-central oman mountains)," Marine and Petroleum Geology, Vol. 68, pp. 325-340, 2015.
- [3]. Jacquemyn C., El Desouky H., Hunt D., Casini G., and Swennen R., "Dolomitization of the latemar platform: fluid flow and dolomite evolution," Marine and Petroleum Geology, Vol. 55, pp. 43-67, 2014.
- [4]. Warren J., "Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations," Earth-Science Re

views, Vol. 52, No. 1, pp. 1-81, 2000.

[5]. Cantrell D., Swart P., and Hagerty R., "Genesis and characterization of dolomite, Arab-D reservoir, ghawar field, Saudi Arabia," *GeoArabia*, Vol. 9, No. 2, pp.11-36, 2004.

[6]. Swart P. K., Cantrell D. L., Westphal H., Handford C. R., and Kendall C. G., "Origin of dolomite in the arab-D reservoir from the ghawar field, Saudi Arabia: evidence from petrographic and geochemical constraints," *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 75, No. 3, pp. 476-491, 2005.

[7]. Koehrer B. S., Heymann C., Prousa F., and Aigner, T., "Multiple-scale facies and reservoir quality variations within a dolomite body-outcrop analog study from the middle triassic, SW German basin," *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 27, No. 2, pp. 386-411, 2010.

[8]. Rahimpour Bonab H., Esrafilizadeh B., and Tavakoli V., "Dolomitization and anhydrite precipitation in permotriassic carbonates at the South Pars gasfield, offshore Iran: controls on reservoir quality," *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 33, No. 1, pp. 43-66, 2010.

[9]. Cantrell D., Swart P., Handford R. C., Kendall C. G and Westphal H., "Geology and production significance of dolomite, arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia" *GeoArabia*, Vol. 6, No. 1, pp.45-60, 2001.

[10]. Lindsay R. F., and Kendall C. G. S. C., "Depositional facies, diagenesis, and reservoir character of mississippian cyclic carbonates in the mission canyon formation, little knife field, williston basin, North Dakota," In: Roehl & Choquette (Eds), *Carbonate Petroleum Reservoirs*, Springer New York In, pp. 175-190, 1985.

[11]. Saller A. H., and Yaremko K., "Dolomitization and porosity development in the middle and upper wabamun group, southeast peace river arch, Alberta, Canada," *American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 78, No. 9, pp. 1406-1430, 1994.

[12]. Schomker J. W., Krystink K. B. and Halley R. B., "Selected characteristics of limestone and dolomite reservoirs in the United States," *American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 69, pp. 733-741, 1985.

[13]. Machel H. G., "Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal," In: Braithwaite, C. J. R., Rizzi, G. & Darke, G. (Eds), *The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs*, Geological Society, London, Special Publications 235, pp. 7-63, 2004.

[14]. Lucia F. J., "Origin and petrophysics of dolostone pore space," In: Braithwaite, C. J. R., Rizzi, G. & Darke, G. (Eds), *The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs*, Geological Society, London, Special Publications 235, pp. 141-155, 2004.

[15]. Li Q., Jiang Z., Hu W., You X., Hao G., Zhang J., and Wang X., "Origin of dolomites in the lower cambrian xiaerbulak formation in the tarim basin, nW China: Implications for porosity development," *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 115, pp. 557-570, 2016.

[16]. Liu, C., Xie Q., Wang G., Song Y., and Qi K., "Dolomite origin and its implication for porosity development of the carbonate gas reservoirs in the upper permian changxing formation of the eastern Sichuan basin, Southwest China," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 35, pp. 775-797, 2016.

[17]. Peyravi M., Rahimpour Bonab H., Nader F. H., and Kamali M. R., "Dolomitization and burial history of lower triassic carbonate reservoir-rocks in the persian gulf (Salman offshore field)," *Journal of Asian Earth Sciences*,

Vol. 30, pp. 25-43, 2015.

[18]. Sibley D. F. and Gregg J. M., "Classification of dolomite rock textures," Journal of Sedimentary Research, Vol. 57, No. 6, 1987.

[19]. Daraei M., Rahimpour Bonab H. and Fathi N., "Factors shaping reservoir architecture in the Jurassic Arab carbonates: A case from the Persian Gulf," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 122, pp. 187-207, 2014.

[20]. Farzadi P., "The development of middle cretaceous carbonate platforms, Persian Gulf, Iran: constraints from seismic stratigraphy, well and biostratigraphy," Petroleum Geoscience, Vol. 12, No. 1, pp. 59-68, 2006.

[21]. Konyuhov A. I. and Maleki B., "The Persian Gulf Basin: geological history, sedimentary formations, and petroleum potential," Lithology and Mineral Resources, Vol. 41, No. 4, pp. 344-361, 2006.

[22]. Enayati Bidgoli A. H. and Rahimpour Bonab H., "A geological based reservoir zonation scheme in a sequence stratigraphic framework: a case study from the Permo-Triassic gas reservoirs, offshore Iran," Marine and Petroleum Geology, Vol. 73, pp. 36-58, 2016.

[23]. Powers R. W., "Arabian upper Jurassic carbonate reservoir rocks," In W.E. Ham (Ed.), Classification of Carbonate Rocks, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, pp. 122-192, 1962.

[24]. Hughes G. W., "A new bioevent stratigraphy of late Jurassic Arab-D carbonates of Saudi Arabia," GeoArabia, Vol. 1, No. 3, pp. 417-434, 1996.

[25]. Al-Husseini M. I., "Jurassic sequence stratigraphy of the western and southern Arabian Gulf," GeoArabia, Vol. 2, No. 4, pp. 361-382, 1997.

[26]. Al Qattan M., and Budd D. A., "Origin, distribution, and reservoir quality implications of the dolomite in the late Permian Khuff-C reservoir, Eastern Saudi Arabia," Society of Exploration Geophysicists and American Association of Petroleum Geologists, conference, pp. 24-28, 2016.

[27]. Zhao H., and Jones B., "Genesis of fabric-destructive dolostones: a case study of the Brac formation (Oligocene), Cayman Brac, British West Indies," Sedimentary Geology, Vol. 267, pp. 36-54, 2012.

[28]. Jones B., "Inside-out dolomite," Journal of Sedimentary Research, Vol. 77, No. 7, pp. 539-551, 2007.

[29]. Lucia F. J., "Carbonate reservoir characterization," Springer-Verlag, Berlin, p. 341, 2007.

[30]. Aleali M., Rahimpour Bonab H., Moussavi Harami R., and Jahani D., "Environmental and sequence stratigraphic implications of anhydrite textures: A case from the Lower Triassic of the central Persian Gulf," Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 75, pp. 110-125, 2013.

[۳۱]. اسعدی ع، شاکری ع، رحیم‌پور بناب ح، کدخدایی ع، چهارزی ع، "تاثیر کانی‌زایی انیدریت بر کیفیت مخزنی دولومیت‌های سازند عرب؛ مطالعه موردی در یکی از میداین هیدروکربنی خلیج فارس"، مجله پژوهش نفت، جلد ۸۹، شماره ۴، ص. ۱۳-۲۴، ۱۳۹۵.