

کانی‌زایی تبخیری (انیدریت و سلسیت) و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی زون‌های دولومیتی سازند آسماری، بخش شمالی فروافتادگی دزفول، جنوب غرب ایران

جواد هنرمند^{۱*}، عبدالحسین امینی^۲ و محمدرضا کمالی^۲

۱ - پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت

۲ - دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۱۳

چکیده

سازند آسماری، به سن الیگوسن-میوسن زیرین، مهم‌ترین سنگ مخزن هیدروکربوری در جنوب و جنوب غرب ایران محسوب می‌شود. این سازند در میدان مورد مطالعه توالی مخلوطی از نهشته‌های کربناته (غالباً در بخش بالایی) و آواری (غالباً در بخش پایینی) است. بخش کربناته این سازند (به سن میوسن زیرین) که غالباً از رخساره‌های کم‌عمق و پرانرژی سدی و لاگونی تشکیل شده، به شدت متأثر از فرآیندهای دیاژنزی است. مطالعات ماکرومیکروسکوپی همراه با آنالیزهای متداول مغزه و ژئوشیمیایی نشان داد که در افق‌های دولومیتی، ایجاد فضاهای خالی بین بلوری و وجود فضاهای خالی بین‌دانه‌ای اولیه از یک سو و عملکرد فرآیندهای تراکم و کانی‌زایی تبخیری از سوی دیگر باعث تغییرات وسیعی در کیفیت مخزنی شده است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کانی‌های تبخیری انیدریت و سلسیت بر خواص مخزنی افق‌های دولومیتی سازند آسماری انجام شده است. این پژوهش نشان داد که مقدار و نحوه گسترش کانی‌های تبخیری انیدریت و سلسیت، نقش بسیار مهمی در کنترل کیفیت مخزنی این سازند داشته است. بیشترین و مؤثرترین شکل گسترش انیدریت و سلسیت، اشکال سیمان‌پرکننده فضاهای خالی، فراگیر، جایگزینی و بعضاً پرکننده شکستگی‌ها بوده است. در برخی نمونه‌ها سیمان تبخیری با اشغال حدود ۴۰٪ فضاهای بین‌دانه‌ای (در مراحل اولیه تدفین) و بین‌بلوری، تخلخل و تراوایی افق دولومیتی را به نزدیک صفر کاهش داده است. اشکال نودولی اولیه و ثانویه، با وجود گسترش قابل توجه در همه رخساره‌ها، تأثیری بر کاهش کیفیت مخزنی سازند آسماری نداشته‌اند.

کلمات کلیدی: انیدریت، سلسیت، کانی‌های تبخیری، کیفیت مخزنی، سازند آسماری

*مسئول مکاتبات

honarmandj@ripi.ir

آدرس الکترونیکی

مقدمه

مذکور در برخی از افق‌های دولومیتی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه (شکل ۱-الف) سبب شد تا این پژوهش با هدف بررسی ارتباط بین شکل و مقدار کانی‌های انیدریت و سلسیت با تغییر خواص مخزنی افق‌های دولومیتی این سازند انجام شود.

روش مطالعه

به منظور بررسی اشکال مختلف کانی‌زایی تبخیری در افق‌های دولومیتی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه، در ابتدا حدود ۲۴۰ m نمونه مغزه از سه حلقه چاه مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه از ۷۰۰ نمونه انتخابی، مقطع نازک تهیه گردید. به منظور تعیین درصد کانی‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) در مقاطع نازک، مطابق روش دیکسون [۸]، با محلول آلزایرین قرمز رنگ‌آمیزی شد و با میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور تعیین دقیق‌تر مقدار تخلخل قابل رویت، تعدادی از نمونه‌ها انتخاب و قبل از تهیه مقطع نازک، چسب اپوکسی آبی رنگ^۱ به داخل آنها تزریق گردید. به منظور بررسی دقیق‌تر نوع، اندازه و مورفولوژی کانی‌های مختلف و تشخیص نوع، اندازه و نحوه ارتباط فضاهای خالی موجود در سنگ، نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مدل VEGA/TSCAN; 15.00 KV مجهز به تحلیل‌گر EDS^۲ و BSE^۳، در آزمایشگاه مرکز متالوژی رازی در تهران، مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور بررسی ارتباط گسترش عملکرد فرآیندهای دیاژنزی به‌ویژه کانی‌زایی تبخیری با خواص مخزنی، نتایج آنالیز مغزه شامل مقادیر تخلخل و تراوایی از تعداد ۷۰۰ نمونه پلاگ و همچنین نمودارهای پتروفیزیکی همچون نمودار گاما، تخلخل و اشباع نفت بررسی گردید.

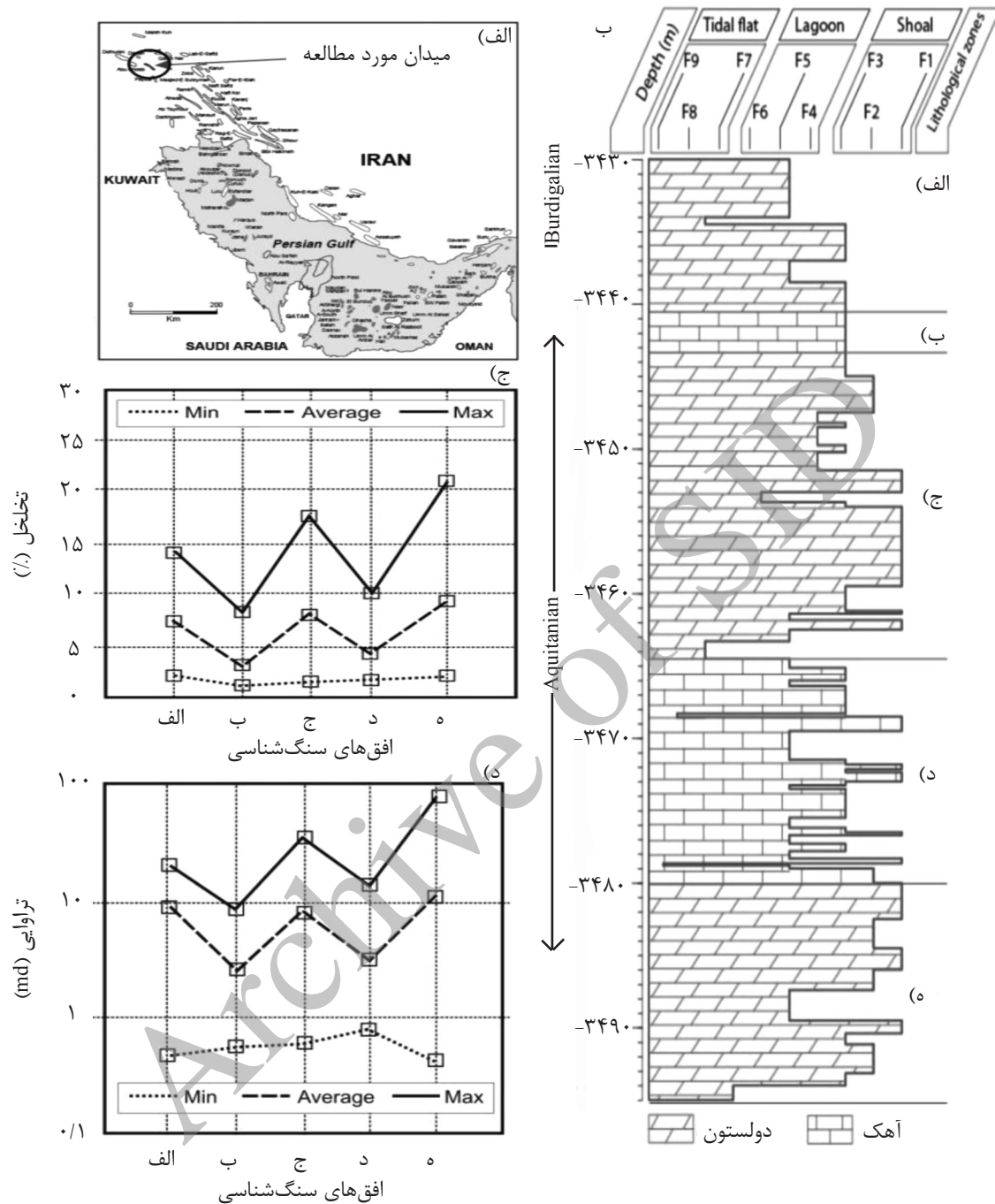
مطالعات زمین‌شناسی که در دهه اخیر بر روی سازند آسماری در میدین هیدروکربوری جنوب غرب ایران انجام شده، نشان داده که کیفیت مخزنی این سازند به شدت متأثر از فرآیندهای دیاژنزی می‌باشد [۱-۳]. دولومیتی شدن مهم‌ترین فرآیند دیاژنزی مؤثر بر این سازند است. به طوری که در بسیاری از مخازن در فروافتادگی دزفول بیش از دوسوم مخزن را افق‌های دولومیتی تشکیل می‌دهد. از سوی دیگر این افق‌های دولومیتی از نظر کیفیت مخزنی تنوع زیادی دارند و از افق‌های مخزنی متخلخل و تراوا تا افق‌های با تخلخل و تراوایی بسیار پایین در این سازند مشاهده می‌شود.

در سال‌های اخیر در کشورمان مطالعاتی بر روی بافت‌های مختلف انیدریت و نقش آنها بر تخلخل و تراوایی مخازن کربناته [۱-۷] مناطق مختلف انجام شده است. نتایج بررسی‌های اولیه پتروگرافی و آنالیزهای شیمیایی در این مطالعه نشان داد که کانی تبخیری سلسیت نیز نقش مهمی در کنترل کیفیت مخزنی دارد. لذا بخش‌های دولومیتی سازند آسماری مورد مطالعات ماکروسکوپی، میکروسکوپی، پتروفیزیکی و ژئوشیمیایی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که بافت رسوبی آهک‌های اولیه، تخلخل بین‌دانه‌ای اولیه، اندازه بلورهای دولومیت و فرآیندهای دیاژنزی انحلال، تراکم و سیمانی شدن مهم‌ترین پارامترهای کنترل‌کننده تخلخل و تراوایی در دولستون‌های سازند آسماری محسوب می‌شود. پارامترهای بافت رسوبی، مقدار تخلخل بین‌دانه‌ای و اندازه بلورهای دولومیت از رخساره رسوبی تبعیت می‌کند، در حالی که سیمان‌های تبخیری انیدریت و سلسیت بخش زیادی از انواع تخلخل را در رخساره‌های مختلف فراگرفته و مهم‌ترین نقش را در کنترل کیفیت مخزنی داشته‌اند [۲ و ۳]. این دو کانی تبخیری به اشکال مختلفی در بسیاری از افق‌های دولومیتی سازند آسماری گسترش یافته‌اند. مشاهده اشکال متنوع اولیه و ثانویه کانی‌های تبخیری

1. Epoxy Blue Resin

2. Energy Dispersive Spectroscopy

3. Back Scattered Electron



شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه؛ ب) ستون سنگ‌شناسی در توالی کربناته سازند آسماری در منطقه مورد مطالعه. ۷۰٪ بخش کربناته این سازند را توالی‌های دولومیتی تشکیل داده است؛ ج و د) نمودارهای مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه تخلخل و تراوایی زون‌های کربناته سازند آسماری

کانساران بینالود، اندازه‌گیری گردید.

دولومیتی شدن

مطالعه نمونه‌های مغزه و مقاطع نازک سازند آسماری در میدان مورد مطالعه نشان داد که در سازند آسماری میدان مورد مطالعه، دولومیتی شدن

تخلخل و تراوایی مغزه، به ترتیب نسبت به گاز هلیوم و هوا اندازه‌گیری شد. با استفاده از روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) مقادیر عناصر اصلی و فرعی (۳۲ عنصر) با دقت (ppm) برای ۴۲ نمونه (۱۵ نمونه دولومیتی و ۲۷ نمونه آهکی)، در آزمایشگاه شرکت

مورد مطالعه ضخامت کمی دارند، دولومیت‌های خیلی دانه‌ریز و دارای مرزهای مسطح شکل‌دار^۲ می‌باشند (شکل‌های ۲-الف و ۲-ب). کانی‌های تبخیری نیز به شکل جانیشینی و نودول انیدریت و سلسیت مشاهده شدند. تخلخل در این نوع از دولومیت‌ها منحصر به نوع بین‌بلوری ریز است و تراوایی قابل توجهی را در سنگ ایجاد نمی‌کند. مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه در نمونه‌های مادستون دولومیتی سازند آسماری، به ترتیب، کمتر از ۰/۸٪ و کمتر از ۱ mD است. دولومیت‌های اولیه، همزمان با رسوب‌گذاری و یا کمی پس از رسوب‌گذاری و در محیط‌های سبخایی^۳ یا پهنه جزر و مدی تشکیل می‌شوند. دماسنجی انجام شده با نتایج آنالیز ایزوتوپی اکسیژن [۱۲] نشان داد که دولومیت‌های دانه‌ریز در حرارت $31/5^{\circ}\text{C}$ تشکیل شده‌اند [۳].

۲- دولومیت‌های متوسط بلور (دولومیت‌های حاصل از تبلور مجدد در اعماق تدفین کم): گروه دوم دولومیت‌های موجود در سازند آسماری دولومیت‌های دانه درشت‌تری هستند که بر اثر رشد آرام بلورها در جریان پیوسته سیالات دولومیتی‌کننده در دمای پایین به وجود می‌آیند [۵-۷]. در این گروه که فراوان‌ترین نوع در سازند آسماری میدان مورد مطالعه محسوب می‌شوند، اندازه بلورهای دولومیت به‌طور متوسط حدود $40-70\ \mu\text{m}$ بوده و اغلب این نوع دولومیت‌ها متراکم و دارای مرزهای مسطح نیمه شکل‌دار^۴ تا شکل‌دار و موزاییکی هم‌اندازه هستند (شکل‌های ۲-ج و ۲-د). این نوع دولومیت‌ها که بیشتر در رخساره‌های رمپ داخلی (نهشته‌های محیط لاگون و سدهای بایوکلاستی و اوئیدی) سازند آسماری مشاهده می‌شوند، فراوان‌ترین نوع دولومیت‌ها را تشکیل می‌دهند.

این دولومیت‌ها بعد از رسوب‌گذاری و در نتیجه جانیشینی کلسیت با دولومیت تشکیل می‌شوند.

یکی از گسترده‌ترین و مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر تخلخل و تراوایی مخزن محسوب می‌شود (شکل ۱-ب).

مطالعات زمین‌شناسی نشان داد که بخش کربناته سازند آسماری در این میدان از تناوب زون‌های آهکی (زون‌های ب و د) و دولومیتی (زون‌های ج، الف و ه) تشکیل شده است (شکل ۱-ب). با توجه به عدم وجود کانی‌های تبخیری در بخش‌های آهکی، این مطالعه بر روی بخش‌های دولومیتی متمرکز گردید. با وجود تنوع ویژگی‌های مخزنی در افق‌های دولومیتی (زون‌های الف، ج و ه در شکل‌های ۱-ج و ۱-د)، این بخش‌ها، در مجموع، از تخلخل و تراوایی بالاتری نسبت به افق‌های آهکی (زون‌های ب و د در شکل‌های ۱-ج و ۱-د) برخوردار بوده و بهترین زون‌های مخزنی این سازند را تشکیل داده‌اند.

سازند آسماری در میدان مورد مطالعه در یک رمپ کربناته کم عمق نهشته شده است. دولومیتی شدن فرآیندی است که همه رخساره‌های این سازند را که در ۳ کمر بند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی، لاگون و سد نهشته شده‌اند، متأثر ساخته است [۳].

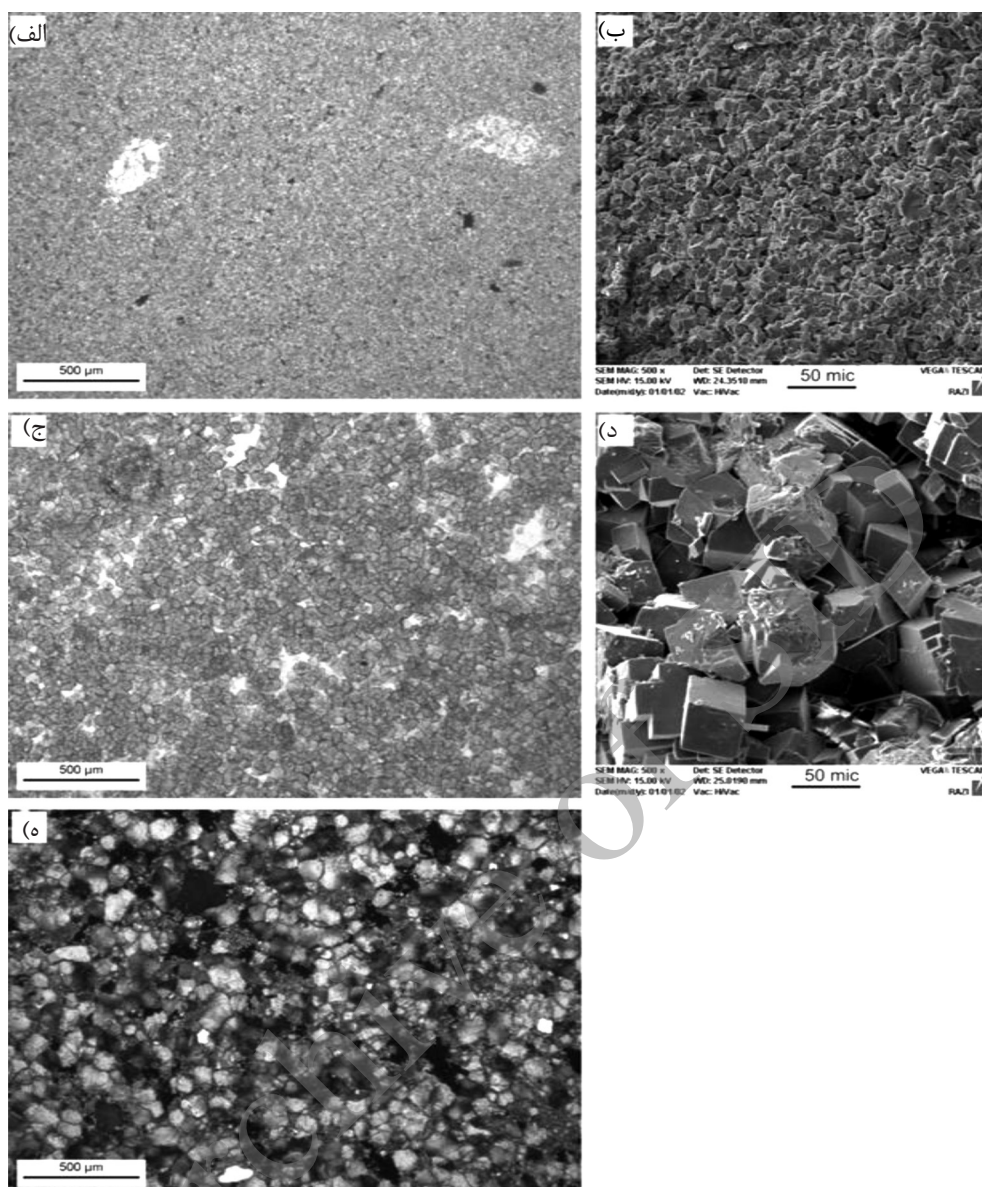
مطالعات پتروگرافی نشان داد که در زون‌های دولومیتی افزون بر فرآیندهای دیاژنزی و به‌ویژه کانی‌زایی تبخیری، پارامترهای دیگری همچون اندازه بلورهای دولومیت، بافت و تخلخل اولیه سنگ نیز در کنترل کیفیت مخزنی مؤثرند. پارامترهای مذکور تابع نوع یا شرایط تشکیل دولومیت‌ها می‌باشند. لذا در این بخش انواع دولومیت‌ها در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه و ارتباط آنها با کانی‌زایی تبخیری و کیفیت مخزنی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

انواع دولومیت در سازند آسماری

براساس مطالعات پتروگرافی و مقایسه با طبقه‌بندی‌های ارائه شده برای دولومیت‌ها [۹-۱۱]، دولومیت‌های سازند آسماری به سه گروه تقسیم‌بندی شدند.

۱- دولومیت‌های ریز بلور (دولومیت‌های اولیه^۱): این نوع دولومیت‌ها که در سازند آسماری میدان

1. Syngenetic or Primary Dolomite
2. Planar-E
3. Sabkha
4. Planar-S



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ معمولی (الف و ه) و میکروسکوپ الکترونی (ب و د) از نمونه‌های دولومیتی سازند آسماری با اندازه‌های بلوری مختلف. (الف) تصویر میکروسکوپی از دولومیت خیلی دانه‌ریز یا دولومیت نوع ۱ همراه با کانی‌زایی تبخیری، (ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه دولومیت ریزبلور در شکل الف و تخلخل بین‌بلوری و (ج) تصویر میکروسکوپی از دولومیت دانه متوسط یا دولومیت نوع ۲، (د) تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه دولومیت متوسط بلور در شکل ج و تخلخل بین‌بلوری، (ه) تصویر میکروسکوپی از دولومیت دانه‌درشت یا دولومیت نوع ۳ (تصاویر میکروسکوپی در نور پلاریزه گرفته شده است).

داشته و از پتانسیل مخزنی بهتری برخوردارند [۹-۱۷]. بافت و تخلخل اولیه سنگ، مقدار تراکم و شدت کانی‌زایی تبخیری در دولومیت‌های متوسط بلور سازند آسماری بسیار متنوع بوده و این موضوع سبب می‌شود مقادیر تخلخل و تراوایی در این نوع دولومیت‌ها در محدوده وسیعی تغییر کند.

این مکانیسم در محیط‌های مختلف از جمله منطقه آمیختگی آب شیرین با آب دریا و سپس تبلور مجدد در شرایط دفن کم عمق رخ می‌دهد. در چنین مکانیسمی، آمیختگی آب شیرین با آب شور باعث کاهش شوری شده و سیال را نسبت به کلسیت تحت اشباع و نسبت به دولومیت فوق اشباع می‌سازد [۱۲]. این نوع دولومیت‌ها نسبت به دولومیت‌های اولیه، بلورهای درشت‌تر و شکل‌دارتر

مختلف در بیشتر رخساره‌های دولومیتی این سازند گسترش داشته و نقش مهمی در کاهش تخلخل و تراوایی این زون‌ها دارند.

در ادامه، چگونگی گسترش این دو کانی و میزان تأثیر بافت‌های مختلف آنها بر کاهش کیفیت مخزنی سازند آسماری ارائه می‌گردد.

کانی‌زایی انیدریت

معمولاً در مخازن دولومیتی مقادیر و اشکال مختلفی از انیدریت به فرم نودول، جانشینی به جای برخی از اجزای تشکیل‌دهنده سنگ، سیمان و همچنین انیدریت لایه‌ای یافت می‌شوند [۱۶]. در رخساره‌های دولومیتی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه نیز انیدریت با مقادیر و اشکال مختلفی گسترش یافته و تأثیرات متفاوتی بر کیفیت زون‌های مخزنی داشته است. در ادامه هر یک از اشکال گسترش انیدریت توصیف می‌گردد.

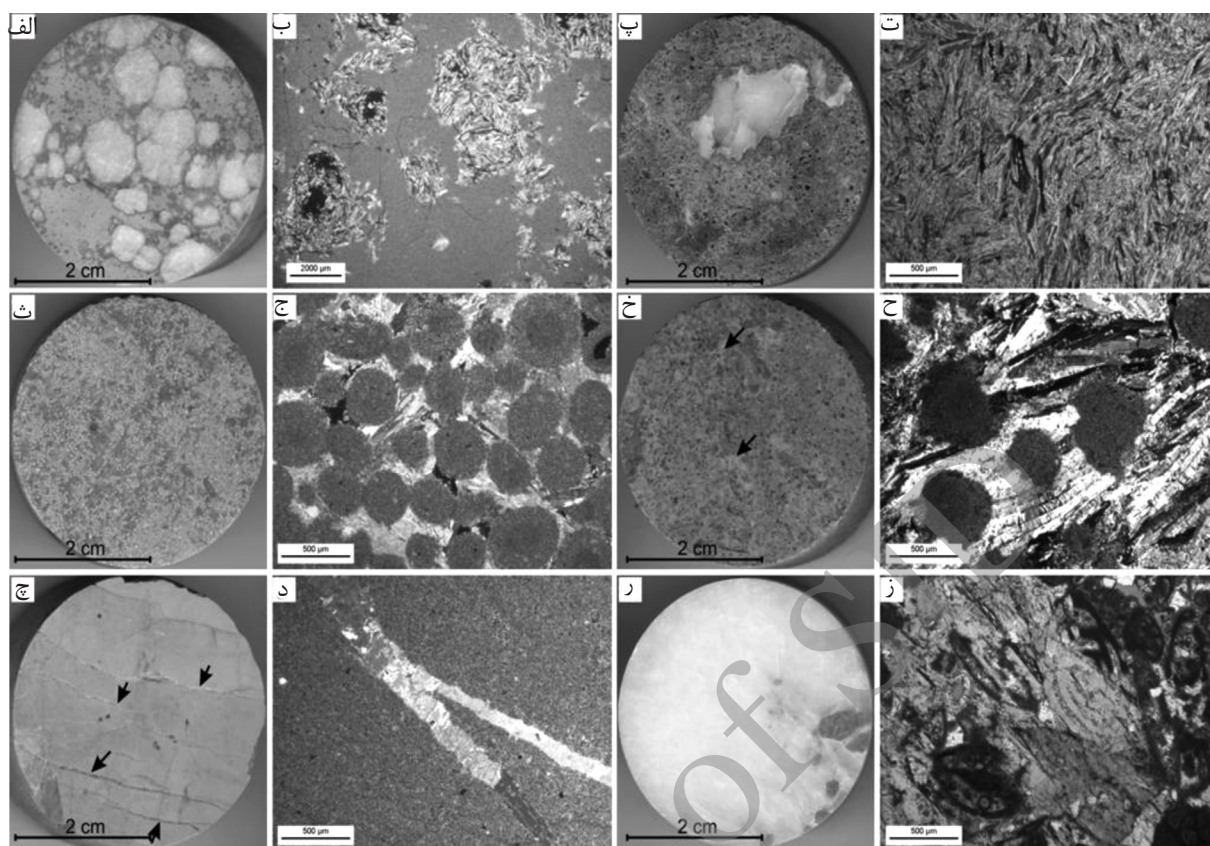
ندول یا گرهک: این نوع انیدریت در رخساره‌های مختلف سازند آسماری (با ابعاد چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر)، به صورت مجموعه‌ای از بلورهای ریز و درهم بافته یا همان فابریک نم‌دی^۱ مشاهده شد (شکل ۳-الف، ۳-ب و ۳-ر). درصد زیادی از این نودول‌های انیدریتی در نهشته‌های دولومیتی دانه‌ریز محیط سبخیایی و پهنه جزر و مدی، به صورت اولیه، تشکیل شده‌اند [۱۳ و ۲۱-۲۳]. این ندول‌ها در مواردی به صورت ژپیس اولیه تشکیل شده و سپس در اثر از دست‌دادن آب به انیدریت تبدیل می‌شوند. با افزایش میزان شوری در بخش‌های بالایی پهنه جزر و مدی و یا سبخا، تعداد و اندازه ندول‌ها افزایش یافته و ساخت قفس مرغی^۷ ایجاد می‌شود [۲۰].

۳- دولومیت‌های درشت بلور (دولومیت‌های دهن‌عمیق): نوع سوم دولومیت‌های تشکیل‌شده در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه دانه درشت‌تر از دو نوع قبلی است. این نوع دولومیت‌ها، دارای بلورهای درشت در اندازه $100 \mu\text{m}$ و یا مرزهای نیمه شکل‌دار می‌باشند (شکل ۲-ه). دولومیت‌های درشت بلور در سازند آسماری فراوانی زیادی نداشته و به طور محلی در تعدادی از نمونه‌ها در مجاورت استیلولیت‌ها و زون‌های متأثر از تراکم زیاد مشاهده می‌شوند. این دولومیت‌ها دارای بافت مخرب^۱ بوده و بافت رسوبی اولیه سنگ میزبان را کاملاً از بین برده‌اند [۱۸ و ۱۹]. بسیاری از این دولومیت‌ها دارای هسته کدر^۲ و حاشیه شفاف^۳ می‌باشند. بافت مخرب و جوش خورده^۴ این نوع دولومیت‌ها سبب شده تا تخلخل بین‌دانه‌ای اولیه و بین بلوری سنگ کاملاً از بین برود (شکل ۲-ه)، [۱۰، ۱۵ و ۱۶]. با توجه به مشاهدات مذکور، این نوع دولومیت‌ها در برخی افق‌ها احتمالاً در اثر تبلور دوباره دولومیت‌های انواع قبلی، طی تدفین تشکیل شده‌اند. البته لازم به ذکر است که یون منیزیم حاصل از دیاژنز کانی‌های رسی و فشردگی نهشته‌های مادستونی نیز به عنوان منبع تامین منیزیم برای تشکیل این نوع دولومیت‌ها مطرح می‌باشد [۱۸ و ۱۴]. دماسنجی انجام شده با نتایج آنالیز ایزوتوپی اکسیژن در دولومیت‌های نوع ۳ نشان داد که این دولومیت‌ها در حرارت $92-144^\circ\text{C}$ تشکیل شده‌اند [۱۶ و ۳]. با در نظر گرفتن دمای سطحی و همچنین شیب زمین گرمایی^۵ $23^\circ\text{C}/\text{km}$ در بخش شمالی فروافتادگی دزفول [۲۰]، دولومیت‌های تدفینی مذکور در اعماق بیش از ۵ km شکل گرفته‌اند.

کانی‌زایی تبخیری

مطالعات نمونه‌های مغزه و مقاطع نازک سازند آسماری در میدان مورد مطالعه نشان داد که دو کانی تبخیری سولفات^۶ انیدریت (با فرمول شیمیایی CaSO_4) و سلسیت (با فرمول شیمیایی SrSO_4) در اشکال

1. Destructive
2. Cloudy Core
3. Clear Rim
4. Welded Fabric
5. Geothermal Gradient
6. Felted
7. Chicken Wire Fabric



شکل ۳- اشکال مختلف گسترش انیدریت (اولیه و ثانویه) در نمونه‌های مغزه (الف، ب، پ، ث، ج، چ و ر) و مقاطع نازک (ب، ث، ج، ح، د، و ز) بخش‌های دولومیتی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه

بین‌دانه‌ای در دولوگرینستون‌ها و دولوپکستون‌ها گسترش یافته است. در رخساره‌های دولومیتی سازند آسماری با بافت پکستونی و گرینستونی، بخش زیادی از فضاهای خالی از نوع درون‌دانه‌ای، قالبی اسکلتی، قالبی اوییدی، حفره‌ای و درون‌شبه‌ای نیز با سیمان انیدریتی اشغال شده است. وجود قطعات پراکنده‌ای از مواد کربناته و یا تبخیری در انیدریت می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل آن در قالب مکانیسم جانشینی باشد (شکل ۳-ز).

تشکیل اشکال سیمانی و جانشینی انیدریت در داخل رخساره‌های دانه-غالب دولومیتی، نشان‌دهنده نقش شورابه‌های تبخیری در فرآیند دولومیتی شدن می‌باشد. فرآیند دولومیتی شدن (که توسط سیالات با نسبت بالای Mg/Ca اتفاق می‌افتد)، سبب ایجاد سیالات فقیر از منیزیم و غنی از کلسیم می‌شود که در صورت وجود یون سولفات کافی در سیستم، کانی‌زایی تبخیری از نوع سولفات کلسیم (ژپس و انیدریت) را به همراه خواهد داشت [۱۶، ۲۰ و ۲۳].

گروه دیگری از ندول‌های انیدریتی در سازند آسماری از نوع ثانویه یا تدفینی می‌باشند که عمدتاً همراه رخساره‌های دانه-غالب (رخساره‌های سد و حاشیه سد) و همچنین در امتداد استیلولیت یافت شدند. این گروه از ندول‌ها برخلاف ندول‌های اولیه، شواهدی از فرآیند آب‌زدایی، شکستگی و همراهی با رگچه‌های تبخیری را نشان نمی‌دهند (شکل‌های ۳-پ و ۳-ت).

مشاهدات پتروگرافی و مقایسه زون‌های دارای نودول انیدریتی با زون‌های دولومیتی تراوا و ناتراوا نشان می‌دهد که تشکیل انیدریت نودولی تاثیر چندانی بر کیفیت مخزنی سازند آسماری ندارد.

پرکننده فضاهای خالی: این شکل از کانی‌زایی انیدریت، می‌تواند تمام یا بخشی از فضاهای خالی بین‌دانه‌ای، بین‌بلوری، قالبی، حفره‌ای و شکستگی را فراگرفته و تخلخل و اندازه فضاهای خالی سنگ مخزن را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. در سازند آسماری، سیمان انیدریتی به صورت بلورهای بزرگ، پیوسته و عمدتاً پرکننده تخلخل

باشد.

سیمان پرکننده شکستگی‌ها: مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که در رخساره‌های دانه‌ریز دولومادستونی، شکستگی‌ها توسط بلورهای درشت اشغال شده‌اند. این نوع سیمان انیدریتی که معمولاً یک سیمان دیاژنز تدفینی محسوب شده و همراه با سایر سیمان‌های تدفینی یافت می‌شود، در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه گسترش چندانی نداشته و تأثیر قابل توجهی بر کاهش کیفیت مخزنی سازند ندارد (شکل‌های ۳-ج و ۳-د).

بلورهای پراکنده: مطالعات پتروگرافی نمونه‌های سازند آسماری نشان داد که بلورهای تبخیری انیدریت در این سازند به شکل لوزی، هم بعد و در مواردی چند بلوری دیده می‌شود. این بلورها در اشکال و اندازه‌های مختلف و به صورت پراکنده در رخساره‌های دانه‌ریز مادستون دولومیتی گسترش یافته‌اند. در بسیاری موارد، فرآیند انحلال سبب می‌شود قالب‌های انحلالی ایجاد شده به صورت تخلخل باقی بماند یا توسط سیمان‌های تبخیری اشغال شود. بلورهای تبخیری بیشتر در رخساره‌های حاشیه پلاتفرم کریناته (مانند رخساره‌های بالای پهنه جزر و مدی تا سبخایی) طی مراحل اولیه دیاژنز تشکیل می‌شوند.

در سازند آسماری میدان مورد مطالعه، رخساره‌های دولومادستونی پهنه جزر و مدی گسترش قابل توجهی ندارد. به همین دلیل گسترش انیدریت به شکل بلورهای تبخیری، چندان مشاهده نمی‌شود. از سوی دیگر پراکندگی این بلورها در بافت دانه‌ریز بخش‌های دولومیتی سبب شده تا این شکل از کانی‌زایی انیدریت تأثیری بر کاهش کیفیت مخزنی سازند آسماری نداشته باشد.

کانی‌زایی سلسیت

سلسیت نیز همچون انیدریت، در نهشته‌های کریناته، به اشکال سیمان، جای‌گزینی، فراگیرنده، پرکننده شکستگی و نودول دیده می‌شود. بیشترین گسترش سلسیت در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه به شکل سیمان پرکننده فضاهای خالی است (شکل ۴). اشکالی همچون بلورهای پراکنده (شکل ۴-الف)، نودولی و کومه‌ای سلسیت، فراوانی به مراتب کمتری داشته و تأثیر چندانی بر اندازه فضاهای خالی و تراوایی سنگ ندارد.

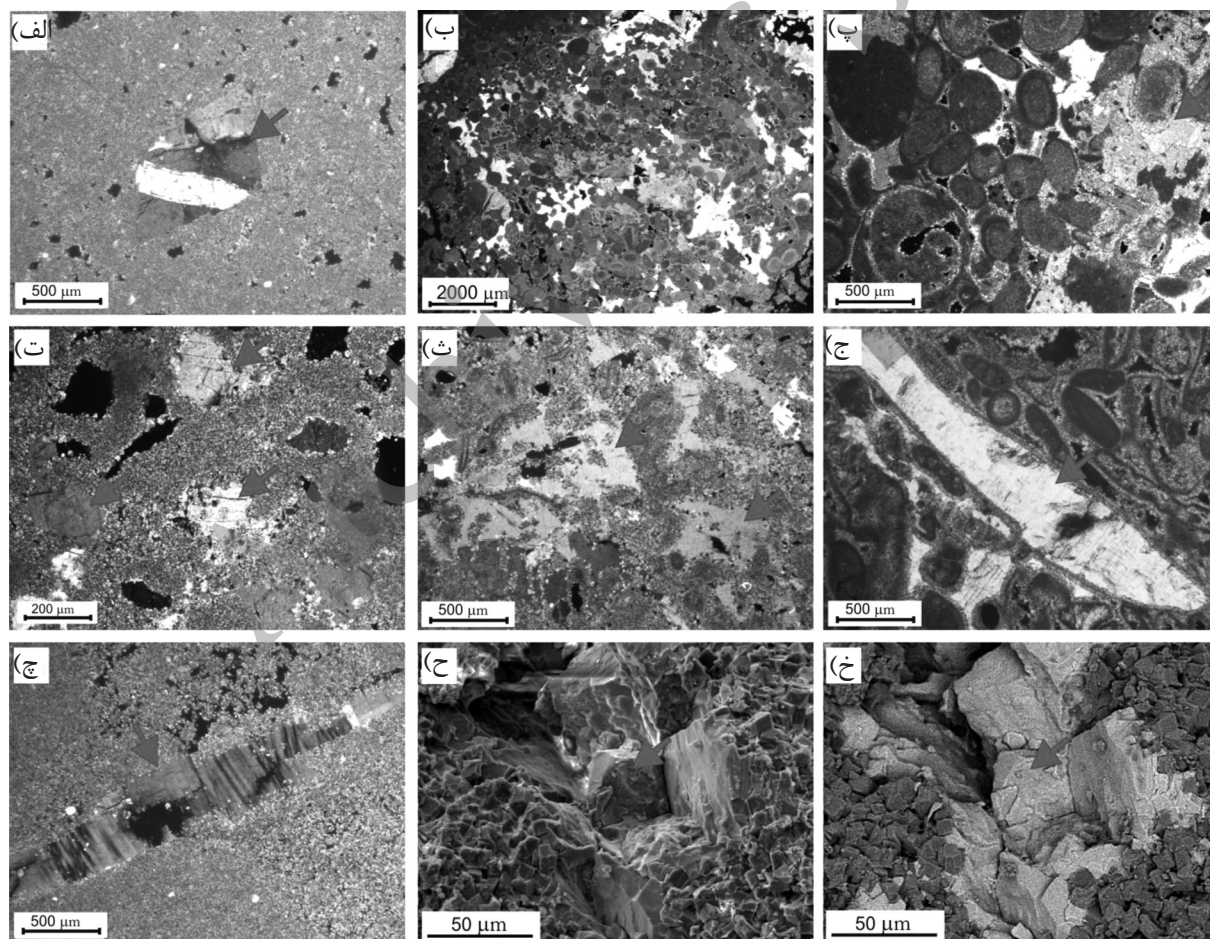
مطالعات پتروگرافی سازند آسماری نشان می‌دهد که سیمان انیدریتی در مراحل مختلفی از تاریخچه دیاژنزی این سازند تشکیل شده است. اشغال درصد بالای فضاهای خالی بین‌دانه‌ای در نمونه‌های گرینستونی و عدم مشاهده آثار تراکم در این نمونه‌ها، نشان‌دهنده تشکیل بخشی از سیمان انیدریتی در مراحل اولیه تدفین نهشته‌های دولومیتی سازند آسماری است (شکل‌های ۳-ج و ۳-ح). از طرف دیگر پرشدگی باقیمانده فضاهای خالی بین‌دانه‌ای در نمونه‌های متأثر از تراکم شدید (وجود آثار درهم‌رفتگی دانه‌ها، شکستگی دانه‌ها و استیلولیت) دلالت بر تشکیل بخشی از سیمان انیدریتی در مراحل تدفین عمیق‌تر دارد [۱۶]. بنابراین اشکال سیمان و جانیشینی انیدریت طی مراحل تدفین یا محیط مزوژنتیک (از خیلی کم عمق تا عمیق) تشکیل شده است. یون سولفات مورد نیاز برای تشکیل این نوع سیمان انیدریتی تدفینی می‌تواند در نتیجه انحلال کانی‌های تبخیری (انیدریت و سلسیت) توسط سیال درون منفذی تامین شده باشد [۲۴]. این نوع انیدریت پرکننده فضاهای خالی در برخی افق‌های دولومیتی سازند آسماری تا ۴۰٪ حجم سنگ را فرا گرفته و تخلخل و تراوایی سنگ را به نزدیک صفر کاهش داده است (شکل ۳-ج).

فراگیر: در سازند آسماری میدان مورد مطالعه، سیمان انیدریت فراگیر در رخساره‌های مختلف مخزنی مانند گرینستون‌ها، دولوپکستون‌ها و دولومادستون‌ها طی مراحل مختلف دیاژنزی تشکیل شده است. این نوع انیدریت به صورت جمعی از بلورهای بزرگ با گسترش پراکنده و نامنظم، در مواردی همراه با قطعات پراکنده دولومیت و یا ماتریکس آهکی وجود دارد. غالباً به صورت جانیشینی ماتریکس، دانه و نیز سیمان‌های نسل قبل و در مواردی به صورت پرکننده تخلخل گسترش می‌یابد. وجود شواهدی مانند قطعات پراکنده دولومیت یا سیمان‌های مراحل قبلی درون این نوع سیمان، همراهی آن با سیمان‌های مراحل تدفینی و تشکیل این سیمان پس از تراکم، بیان‌گر تشکیل آن طی مراحل دیاژنز تدفینی می‌باشد (شکل‌های ۳-خ و ۳-ح). گسترش فراگیر انیدریت در فضاهای خالی سنگ سبب شده تا تخلخل و تراوایی کاهش چشمگیری داشته

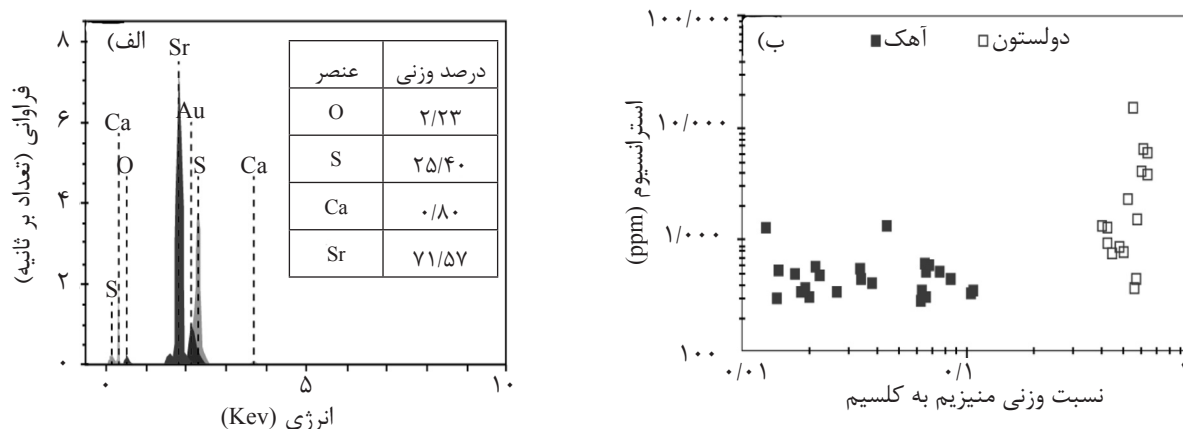
در میدان مورد مطالعه بسیار بالا است (شکل ۵-ب). با توجه به حداکثر مقدار استرانسیم در نمونه‌های آهکی این سازند (۱۳۲۶ ppm) و با آگاهی از اینکه استرانسیم جانشین کلسیم می‌شود، مقدار استرانسیم در دولومیت‌های سازند آسماری نباید بیشتر از نصف آن در نمونه‌های آهکی این سازند باشد. به عبارت دیگر مقدار استرانسیم در نمونه‌های دولومیتی ۲۰-۳۰ برابر مقدار مورد انتظار است. همان‌طور که مطالعات پتروگرافی و میکروسکوپ الکترونی نشان داد، علت افزایش غیرطبیعی استرانسیم در نمونه‌ها، وجود کانی سلسیت است. به این ترتیب وجود مقادیر زیاد و متفاوت استرانسیم در بخش‌های سلسیتی نمونه‌های دولومیتی، سبب می‌شود تا استفاده از مقدار استرانسیم به عنوان شاخصی در تفکیک انواع دولومیت در این سازند قابل اطمینان نباشد.

در این پژوهش علاوه بر مطالعات پتروگرافی، از تصاویر BSE (شکل‌های ۴-ح و ۴-خ) و همچنین آنالیز نقطه‌ای (EDS)، (شکل ۵-الف) جهت شناسایی استفاده شد [۲۵-۲۷]. اشکال کومه‌ای این کانی با استفاده از تصاویر BSE به خوبی قابل تشخیص بوده و آنالیز EDS نیز با نشان دادن مقادیر بالای Sr و S وجود سلسیت را در نمونه‌ها تأیید نمود (شکل ۶-الف).

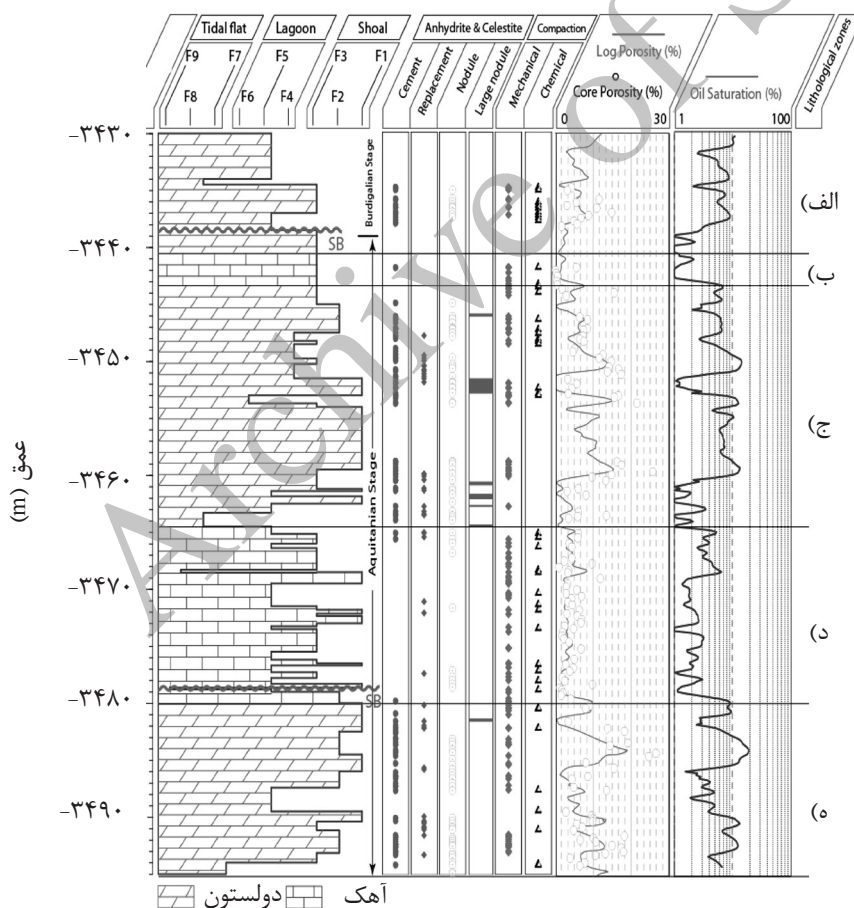
از تعداد ۴۲ نمونه انتخابی از سازند آسماری جهت آنالیز عنصری، تعداد ۱۶ نمونه متعلق به بخش‌های دولومیتی است (جدول ۱). متوسط مقدار استرانسیم در نمونه‌های دولومیتی ریزبلور ۶۱۸۸ ppm و در نمونه‌های دولومیتی متوسط بلور ۱۰۰۴ ppm می‌باشد. نمونه‌های درشت بلور نیز مقدار استرانسیم بالایی (۶۵۰۶ ppm) دارند. این نتایج نشان داد که مقدار استرانسیم در نمونه‌های دولومیتی سازند آسماری



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از گسترش کانی سلسیت به شکل سیمان، جانشینی و پرکننده شکستگی در سازند آسماری میدان مورد مطالعه. (الف) جانشینی قالب کانی‌های تبخیری توسط سلسیت، عمق ۳۴۵۹ m، (ب و پ) گسترش فراگیر سلسیت در فضاهای بین‌دانه‌ای، عمق ۳۴۷۳ m، (ت، ث و ج) شکل‌های متنوعی از گسترش سیمان سلسیتی در فضاهای خالی انحلالی، عمق ۳۴۸۸ m، (چ) پرشدگی شکستگی توسط سیمان سلسیتی، عمق ۳۴۸۷/۲ m، (ح) تصویر میکروسکوپ الکترونی از سیمان سلسیتی در فضای بین‌دانه‌ای، عمق ۳۴۸۸/۸ m، (خ) تصویر میکروسکوپ الکترونی در حالت BSE از سیمان سلسیتی شکل ح. در این تصویر سلسیت به رنگ خاکستری روشن مشاهده می‌شود.



شکل ۵- الف) فراوانی عناصر تشکیل دهنده کانی سلسیت در نمودار آنالیز نقطه‌ای و ب) نمودار مقدار استرانسیم در مقابل نسبت منیزیم به کلسیم در نمونه‌های سازند آسماری در میدان مورد مطالعه



شکل ۶- نمودار تغییر پارامترها در بخش کربناته سازند آسماری در میدان مورد مطالعه. (در شکل زون‌های دولومیتی، رخساره‌های رسوبی، کانی‌زایی تبخیری، تراکم و کیفیت مخزنی (تخلخل و اشباع نفت) نشان داده شده است [۳]).

جدول ۱- مقادیر استرانسیم و نسبت منیزیم به کلسیم حاصل از آنالیز عنصری نمونه‌های دولومیتی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه

شماره نمونه	عمق (m)	توصیف نمونه	مقدار استرانسیم (ppm)	نسبت وزنی منیزیم به کلسیم
۲	۳۴۳۴/۹۳	Dolomitized grainstone	۷۷۷	۰/۵۰۳
۹	۳۴۳۷/۱۱	Dolomitized packstone	۹۳۶	۰/۴۳۱
۳۰	۳۴۴۶/۲۷	Dolomitized grainstone	۴۵۱	۰/۵۶۵
۵۱	۳۴۵۱/۵۰	Dolomitized packstone	۱۳۲۴	۰/۴۰۵
۶۶	۳۴۶۰/۰۷	Dolomitized grainstone	۱۲۸۲	۰/۴۲۵
۷۶	۳۴۶۳/۴۶	Fine crystalline dolomudstone	۶۰۷۵	۰/۶۳۸
۳۴۷	۳۴۶۳/۹۰	Fine crystalline dolomudstone	۳۹۰۳	۰/۶۴۱
۸۲	۳۴۶۵/۴۰	Coarse crystalline dolostone	۶۵۰۶	۰/۶۱۶
۸۹	۳۴۶۷/۷۰	Dolostone	۱۵۲۹۱	۰/۵۵۲
۱۴۰	۳۴۸۱/۵۶	Dolomitized grainstone	۷۵۵	۰/۴۴۷
۱۵۷	۳۴۸۶/۳۷	Dolomitized grainstone	۸۶۹	۰/۴۸۳
۱۶۵	۳۴۹۰/۳۰	Dolomitized grainstone	۳۷۰	۰/۵۶۳
۱۷۹	۳۴۹۲/۹۶	Dolomitized grainstone	۲۲۷۰	۰/۵۲۶
۸۸۷	۳۴۹۴/۸۰	Fine crystalline dolomudstone	۱۵۳۹	۰/۵۷۶
۱۸۷	۳۴۹۴/۹۴	Fine crystalline dolomudstone	۴۱۳۶	۰/۵۹۷

(انیدریت و سلسیت) میوسن که بر روی سازند آسماری قرار گرفته‌اند، منشاء اصلی تشکیل شورابه‌های غنی از سولفات هستند [۲۵-۲۸]. تبدیل کلسیت به دولومیت، کلسیم مورد نیاز برای تشکیل انیدریت را تأمین نموده است [۲۵ و ۲۸]. تبدیل آراگونیت یا کلسیت (با حدود ۸۰۰۰-۷۰۰۰ ppm استرانسیم) به دولومیت (با حدود ۸۰۰-۷۰۰ ppm استرانسیم) و یا تبدیل آراگونیت به ژپس نیز می‌تواند سبب خروج استرانسیم و تشکیل سلسیت از شورابه‌های بین‌ذره‌ای گردد [۲۵-۲۸ و ۹]. به این ترتیب، وجود شورابه‌های غنی از سولفات و استرانسیم سبب شده تا سلسیت‌جانشین کانی‌های ژپس، انیدریت و کلسیت در رخساره‌های دولومیتی سازند آسماری شود. وجود قطعات پراکنده‌ای از انیدریت و ژپس در داخل برخی نمونه‌های سلسیتی، نشان‌دهنده جانشینی Sr^{+2} به جای Ca^{+2} است [۲۵، ۲۶ و ۲۹]. مقایسه کیفیت مخزنی زون‌های دولومیتی و آهکی سازند آسماری با گسترش اشکال ثانویه انیدریت و سلسیت (شکل‌های ۱-ج، ۱-د و ۶) نشان می‌دهد

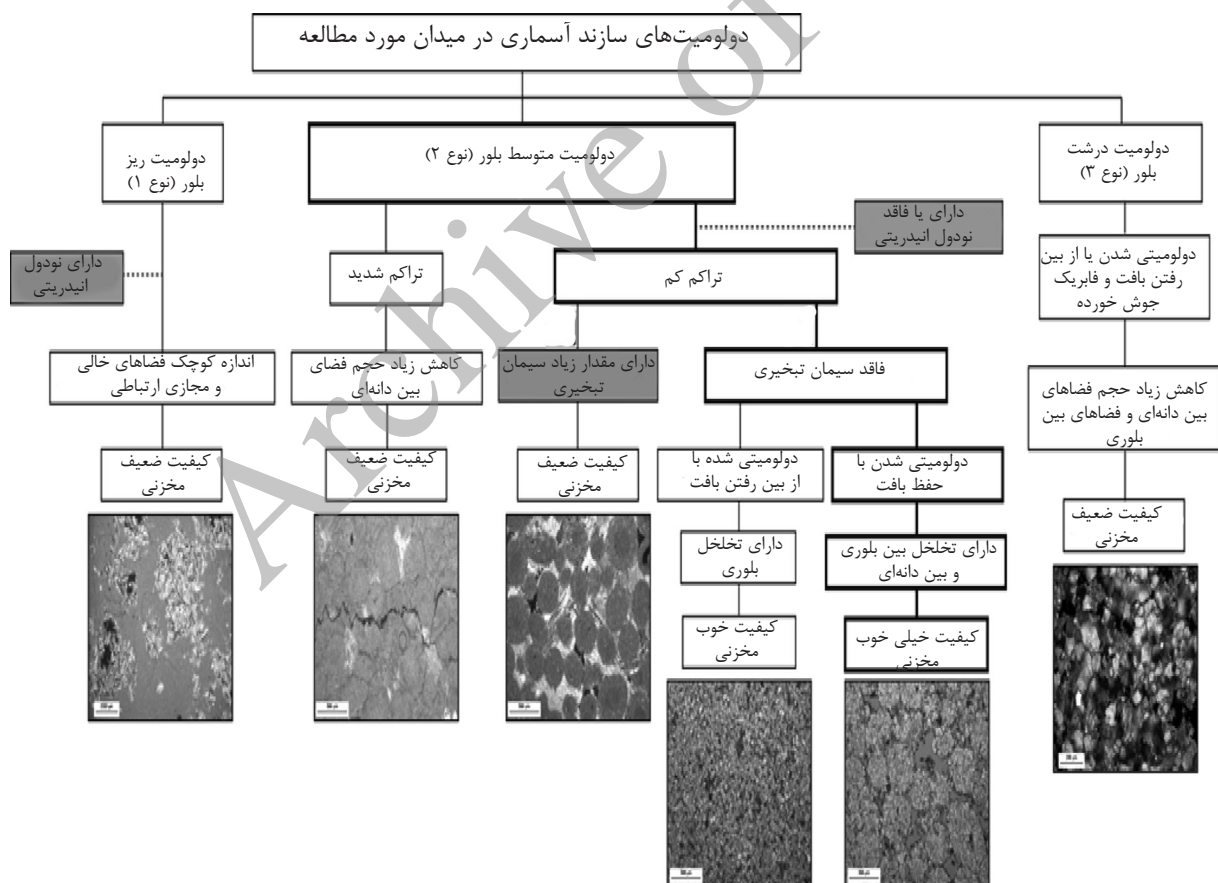
با توجه به ارتباط سیمان سلسیتی با سایر فرآیندهای دیاژنزی به ویژه تراکم مکانیکی و شیمیایی، به نظر می‌رسد بخش عمده این نوع سیمان همچون سیمان انیدریتی در شرایط تدفین کم‌عمق تا عمیق تشکیل شده باشد. در برخی نمونه‌ها که حجم زیاد فضاهای خالی بین‌دانه‌ای توسط این نوع سیمان پر شده و اشکال تراکم مکانیکی و شیمیایی خیلی کم هستند، تشکیل این سیمان به شرایط تدفین کم عمق نسبت داده شد. در حالی که وجود این نوع سیمان در فضاهای خالی محدودی که بخش عمده آن در نتیجه تراکم از بین رفته و همچنین در داخل شکستگی، (شکل ۴-ج) تشکیل در شرایط تدفین عمیق را نشان می‌دهد.

بحث و نتایج

شرایط آب و هوایی خشک در حوضه رسوبی زاگرس در زمان میوسن، تشکیل گسترده نودول‌های انیدریتی و در بسیاری مناطق لایه‌های تبخیری در نهشته‌های کم‌عمق رمپ داخلی (در محیط‌های سبخایی و پهنه بالای جزر و مدی) را سبب شده است. لایه‌های ضخیم تبخیری

۳۴۶۰-۳۴۶۳، ۳۴۸۱-۳۴۸۲/۵ m، ۳۴۸۶-۳۴۸۷/۵ m و ۳۴۵۱-۳۴۵۳ m در شکل ۶). به این ترتیب، با وجود پیچیدگی‌های موجود، به نظر می‌رسد در سازند آسماری میدان مورد مطالعه بین اشکال مختلف کانی‌زایی تبخیری، انواع دولومیت، شدت تراکم، رخساره رسوبی و کیفیت مخزنی ارتباط وجود دارد. در شکل ۷ ارتباط انواع دولومیت‌ها با فرآیندهای کانی‌زایی تبخیری، تراکم و کیفیت مخزنی در سازند آسماری نشان داده شده است. مقایسه رخساره‌های رسوبی با اندازه بلورهای دولومیت و نوع کانی‌زایی تبخیری نشان داد که بیشترین نوع گسترش انیدریت و سلسیت در دولومادستون‌های ریزبلور رخساره‌های پهنه جزر و مدی از نوع نودول و بلورهای پراکنده است (زون ۳۴۶۳-۳۴۶۴/۵ m در شکل ۶). این نوع دولومیت‌ها، صرف نظر از وجود یا عدم وجود و فراوانی نودول‌ها و یا بلورهای انیدریتی، کیفیت مخزنی ضعیفی دارند (شکل ۷).

که اگر چه فرآیند دولومیتی‌شدن، از طریق ایجاد فضاهای خالی بین‌بلوری و کاهش تأثیر تراکم، نقش مؤثری در افزایش تخلخل و تراوایی داشته است، اما همراهی آن با کانی‌زایی تبخیری سبب شده تا کیفیت مخزنی در زون‌های دولومیتی این سازند، پیچیدگی‌هایی داشته باشد (شکل ۷). به گونه‌ای که در زون‌های دانه-غالب^۱ که دولومیتی‌شدن با حفظ بافت اولیه همراه است، شبکه به هم پیوسته‌ای از فضاهای خالی بین‌دانه‌ای و بین بلوری در سنگ مخزن ایجاد نموده که تراوایی را به‌طور قابل توجهی افزایش داده است (زون‌های ۳۴۸۵/۵-۳۴۸۲/۵ m، ۳۴۶۰-۳۴۵۸/۵ m و ۳۴۴۹-۳۴۵۱ m در شکل ۶). در این زون‌ها درصد کمی از فضاهای خالی با سیمان تبخیری اشغال شده است. در صورت اشغال درصد زیادی از فضاهای خالی با انیدریت و سلسیت، کیفیت مخزنی به شدت کاهش می‌یابد (زون‌های



شکل ۷- ارتباط انواع دولومیت‌ها با فرآیندهای کانی‌زایی تبخیری، تراکم و کیفیت مخزنی در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه

شکستگی)، می‌تواند تخلخل و تراوایی افق دولومیتی را به شدت کاهش داده و بخش‌های کاملاً ناتراوایی را در مخزن ایجاد نماید. مطالعات انجام شده نشان داد که برخلاف اشکال سیمان پرکننده فضاهای خالی، فراگیر، پرکننده شکستگی‌ها که نقش مهمی در کاهش خواص مخزنی داشته‌اند، بلورهای پراکنده و نودول‌های انیدریت تأثیر چندانی بر کیفیت مخزنی ندارند.

از آنجا که نرخ دولومیتی شدن و کانی‌زایی تبخیری تابع نرخ جریان سیال و شیمی شورابه است، بیشترین گسترش سیمان‌های تبخیری در رخساره‌های کم‌عمق، پرانرژی و متخلخل سد مشاهده گردید. وجود فضاهای خالی بین‌دانه‌ای اولیه و بین بلوری ثانویه در رخساره‌های گریستونی، سبب می‌شود چرخش شورابه‌های حاوی یون سولفات به خوبی صورت بگیرد. در نتیجه ته نشست گسترده سیمان‌های تبخیری و کاهش تخلخل و تراوایی را به دنبال خواهد داشت. در عین حال عدم گسترش مقادیر زیاد سیمان‌های تبخیری و یا انحلال آنها در تعدادی از افق‌های متعلق به رخساره‌های مذکور، سبب شده تا زون‌هایی با تخلخل و تراوایی بالا ایجاد شود.

در مطالعات ناحیه‌ای یا میدانی سازند آسماری می‌توان با استفاده از تفسیر کانی‌شناسی نمودارهای پتروفیزیکی، فراوانی انیدریت را در سازند مشخص نمود. سپس با استفاده از ارتباط بین نوع گسترش انیدریت با رخساره‌های رسوبی و از طریق انطباق رخساره‌ای، اشکال مختلف انیدریت را در گستره مورد مطالعه تخمین زده و نقش آنها را در کنترل کیفیت مخزنی پیش‌بینی نمود.

تبلور مجدد دولومیت‌ها در عمق تدفین کم سبب شده تا غالب رخساره‌های رسوبی سازند آسماری در این میدان از بلورهای دانه متوسط تشکیل شود. زون‌های دولومیتی متوسط بلور بر حسب شدت تأثیر تراکم از کیفیت مخزنی متفاوتی برخوردارند. این افق‌های دولومیتی که کمتر متأثر از فرآیند تراکم و کانی‌زایی تبخیری (از نوع سیمان) بوده‌اند، تخلخل و تراوایی نسبتاً خوبی دارند. افزون بر این، در زون‌هایی که این نوع دولومیتی شدن با حفظ بافت اولیه سنگ همراه است، وجود شبکه‌ای از تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری سبب شده تا تخلخل و تراوایی افزایش پیدا کرده و بهترین زون‌های مخزنی سازند آسماری را ایجاد نماید (شکل ۷).

دولومیت‌های درشت بلور در سازند آسماری فراوانی بسیار کمی داشته و به دلیل فابریک مخرب و جوش خورده تخلخل و تراوایی بسیار کمی دارند.

نتیجه‌گیری

وجود مقادیر زیاد تخلخل بین‌دانه‌ای و یا پرشدگی بخش زیادی از این نوع تخلخل توسط سیمان تبخیری در دولومیت‌های سازند آسماری نشان داد که غالب دولومیت‌های این سازند در مراحل اولیه تدفین تشکیل شده و سپس با افزایش نسبی عمق تدفین، تبلور مجدد یافته‌اند. در چنین مخازنی اگرچه دولومیتی‌شدن در اعماق کم تدفین، از طریق کاهش تأثیر تراکم، می‌تواند باعث بهبود وضعیت مخزنی گردد، اما تشکیل سیمان‌های انیدریت و سلسیت، با اشغال بخش زیادی از فضاهای خالی (انواع بین‌دانه‌ای، بین بلوری، قالبی، حفره‌ای و

مراجع

- [1]. Nader F. H., Moradpour M., Samani P., Hamon Y., Hosseiny A., Daniel J.M., Moallemi A., and Pickard N., "Diagenesis of the Asmari Formation (Oligo-Miocene, SW Iran): Implications on reservoir modeling of a Giant Oilfield," 1st International Petroleum Conference, European Association of Geoscientists and Engineers, pp. 4-6, Shiraz, Iran, May 2009.
- [2]. Honarmand J. and Amini A., "Diagenetic processes and reservoir properties in the ooid grainstones of the

Asmari Formation," *Cheshmeh Khush Oil Field, SW Iran*," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 81, pp. 70-79, 2012.

[۳]. هنرمند ج., «بررسی عوامل رسوب‌شناسی و دیاژنزی کنترل کننده کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان چشمه خوش», رساله دکتری، دانشگاه تهران، ۳۱۰ صفحه، ۱۳۹۱.

[۴]. شبافروز ر., محبوبی ا. و موسوی حرمی س. ر., «دولومیتی شدن و کانی‌زایی تبخیری‌های سازند ساچون در برش الگو», جنوب شرق شیراز، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جلد ۱۷، شماره ۴، صفحات ۶۲۰-۶۰۹، ۱۳۸۹.

[۵]. کدخدایی ایلخچی ر., رحیم‌پور بناب ح., موسوی حرمی س. ر. و کدخدایی ایلخچی ع., «فاکتورهای کنترل کننده گسترش بافت‌های مختلف سیمان انیدریت و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان، میدان پارس جنوبی», مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال ۲۷، شماره ۴۲، صفحات ۱-۲۶، ۱۳۹۰.

[۶]. ایرانی کورعباس لوب., موسوی حرمی س. ر., محبوبی ا., کدخدایی ایلخچی ع. و قنواتی ک., «فاکتورهای کنترل کننده نحوه گسترش بافت‌های مختلف سیمان انیدریت و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در سازند آسماری میدان کوپال», اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی، تهران، خردادماه ۱۳۹۱.

[۷]. کویانپور سنگنوم., نامداریان ا., موسوی حرمی س. ر., محبوبی ا. و امیدپور ا., «بررسی نقش بافت انیدریت در زون تولیدی سازند آسماری در میدان منصوری», مجله علوم زمین، شماره ۹۴، صفحات ۲۳۶-۲۲۹، ۱۳۹۳.

[8]. Dickson J. A. D., "Carbonate identification and genesis as revealed by staining," Journal of Sedimentary Research, Vol. 36, pp. 491-505, 1966.

[9]. Gregg J. M. and Sibley D. F., "Epigenetic dolomitization the origin of xenotopic dolomite texture," Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 54, pp. 907-931, 1984.

[10]. Sibley D. F. and Gregg J. M., "Classification of dolomite rock textures," Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 57, pp. 967-975, 1987.

[11]. Saller A. H., and Henderson N., "Distribution of porosity and permeability in platform dolomites: Insight from the Permian of West Texas," American Association of Petroleum Geology Bulletin, Vol. 82, No. 8, pp. 1528-1550, 1998.

[12]. Land L S., "The origin of massive dolomite", *Journal of Geological Education*, Vol. 33, pp. 112-125, 1985.

[13]. Gregg J. M. and Shelton K. L., "Dolomitization and dolomite neomorphism in the back reef facies of the Bonnetterre and davis formations-cambrian, Southeastern Missouri," Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 60, No. 4, pp. 549-562, 1990.

[14]. Warren J., "Dolomite: occurrence, evolution and economically important," association, Earth-Sciences Reviews, Vol. 52, pp.1-81, 2000.

[15]. Ehrenberg S. N., Eberli G. P., Keramati M., and Moallemi S. A., "Porosity-permeability relationships in inter-layered limestone-dolostone reservoirs," American Association of Petroleum Geology Bulletin, Vol. 90, No. 1, pp. 91-114, 2006.

[16]. Lucia F. J., "Carbonate reservoir characterization: an integrated approach," Springer-Verlag, 336 pp, 2007.

[17]. Rahimpour-Bonab H., Esrafil-Dizaji B., and Tavakoli V., "Dolomitization and anhydrite precipitation in permo-

triassic carbonates at the South Pars gas field, offshore Iran: controls on reservoir quality, Journal of Petroleum Geology, Vol. 33, pp. 1 – 24, 2010.

[18]. Srinivasan K., Walker K. R., and Goldberg S. A., "Determining fluid source and possible pathways during burial dolomitization of Maryville limestone (Cambrian), Southern Appalachians," USA, Sedimentology, Vol. 41, pp. 293-308, 1994.

[19]. Adabi M. H., "Multistage dolomitization of upper Jurassic Mozduran formation," Kopet-Dagh Basin, N. E. Iran, Carbonates and Evaporites, Vol. 24, pp. 16-32, 2009.

[20]. Orbell G., "Geothermal gradient map," Oil Service Company of Iran (OSCO), Exploration Division, 1977.

[21]. Kendall A. C. and Walters K. L., "The age of metasomatic anhydrite in Mississippian reservoir carbonates, southeastern Saskatchewan," Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 15, pp. 424-430, 1977.

[22]. Gundogan I., Mehmet O., and Tolga D., "Sedimentology, petrography and diagenesis of Eocene-Oligocene evaporites: the Tuzhisar formation, SW Sivas Basin, Turkey," Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 25, pp. 791-803, 2005.

[23]. Machel H. G., "Early lithification, dolomitization and anhydritization of upper Devonian Nisku buildups," subsurface Alberta, Canada, in J. H. Schroeder and B. H. Purser, eds., Reef diagenesis: Berlin, Springer-Verlag, pp. 336-356, 1986.

[24]. Kendall A. C., "Aspects of evaporate basin stratigraphy, In: evaporites and hydrocarbons," (Ed. By B. C. Schreiber), Columbia University Press, pp. 11-65, 1988.

[25]. Jacobsen S. D., Smyth J. R., Swope R. J., and Downs R. T., "Rigid-body character of the SO_4 groups in celestine, anglesite, and barite," Canadian Mineralogy, Vol. 36, pp. 1053-1060, 1998.

[26]. Hanor J. S., "A model for the origin of large carbonate- and evaporate-hosted Celestine deposits," Journal of Sedimentary Research, Vol. 74, pp. 168-175, 2004.

[27]. Ehya F., Shakouri B. and Rafi M., "Geology, mineralogy and isotope (Sr, S) geochemistry of the Likak celestite deposit, SW Iran," Carbonates Evaporites, DOI 10.1007/s13146-013-01376, 2013.

[۲۸]. نژادحداد م. و آفتابی آ.، «الگوی کانسارسازی کانسارهای سلسیت با استفاده از شواهد زمین‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی در تاق‌دیس بنگستان، بهبهان، اهواز»، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۶، شماره ۱، صفحات ۱۶۷-۱۵۷، ۱۳۸۹.

[29]. Warren J. K., "Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons," Springer-Verlag, Brunei, pp. 1035, 2006.