

توزیع فرآیندهای سیمانی شدن و انحلال در ارتباط با رخساره‌های رسوبی و سطوح ناپیوستگی سازند سروک در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب غرب ایران

جواد هنرمند، رحیم کدخدایی ایلخچی، علی اسعدی*، علی ایمن دوست و نواب خدایی
پژوهشکده علوم زمین، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۲

چکیده

در این مطالعه با هدف بررسی ارتباط فرآیندهای سیمانی شدن و انحلال با رخساره‌های رسوبی و نیز سطوح ناپیوستگی بخش بالایی سازند سروک (ناپیوستگی مرز سنومانین-تورونین و تورونین میانی)، مغزه‌ها و مقاطع نازک میکروسکوپی یک چاه کلیدی در یکی از میادین ناحیه دشت آبادان مطالعه گردید. براساس مطالعات پتروگرافی ۶ رخساره در ارتباط با زیر محیط‌های لاگون، شیب و دریا باز شناسایی شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که فرآیندهای دیاژنزی انحلال و سیمانی شدن در چندین مرحله رخ داده اند. انحلال اجزاء اسکلتی ناپایدار تحت تاثیر دیاژنیز ائوزنتیک سبب ایجاد تخلخل‌های حفره‌ای گسترده‌ای شده است. علاوه بر این در طی دیاژنیز تلوزنتیک و در ارتباط با سطوح ناپیوستگی، تخلخل‌های عمدتاً حفره‌ای، درون اجزاء و نیز زمینه سنگ گسترش یافته‌اند. توزیع سیمان کلسیتی درون مخزن، با ترکیب کانی‌شناسی اولیه موجودات، اندازه حفرات انحلالی و نیز تراکم و عرض شکستگی‌ها ارتباط مشخصی نشان می‌دهد. سیمان کلسیتی به اشکال دروزی و بلوکی و با منشاء متئوریک و تدفینی، درون حفرات انحلالی و نیز ریز شکستگی‌ها مشاهده می‌شود. در توالی تورونین که در زیر ناپیوستگی تورونین میانی قرار دارد، به دلیل ماهیت گل غالب رخساره‌های لاگونی و دریای باز، انحلال و سیمانی شدن، گسترش ناچیزی دارد و سیمان کلسیتی عمدتاً در ارتباط با شکستگی‌ها مشاهده می‌شود. در مقابل در توالی زیر ناپیوستگی مرز سنومانین-تورونین، این فرآیندها با توجه به فراوانی رخساره‌های دانه غالب از گسترش بیشتری برخوردار هستند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ماهیت رخساره‌های رسوبی نقش بسزایی در توزیع فرآیندهای سیمانی شدن و انحلال درون سازند سروک داشته است.

کلمات کلیدی: سازند سروک، رخساره‌های رسوبی، ناپیوستگی، سیمانی شدن، انحلال.

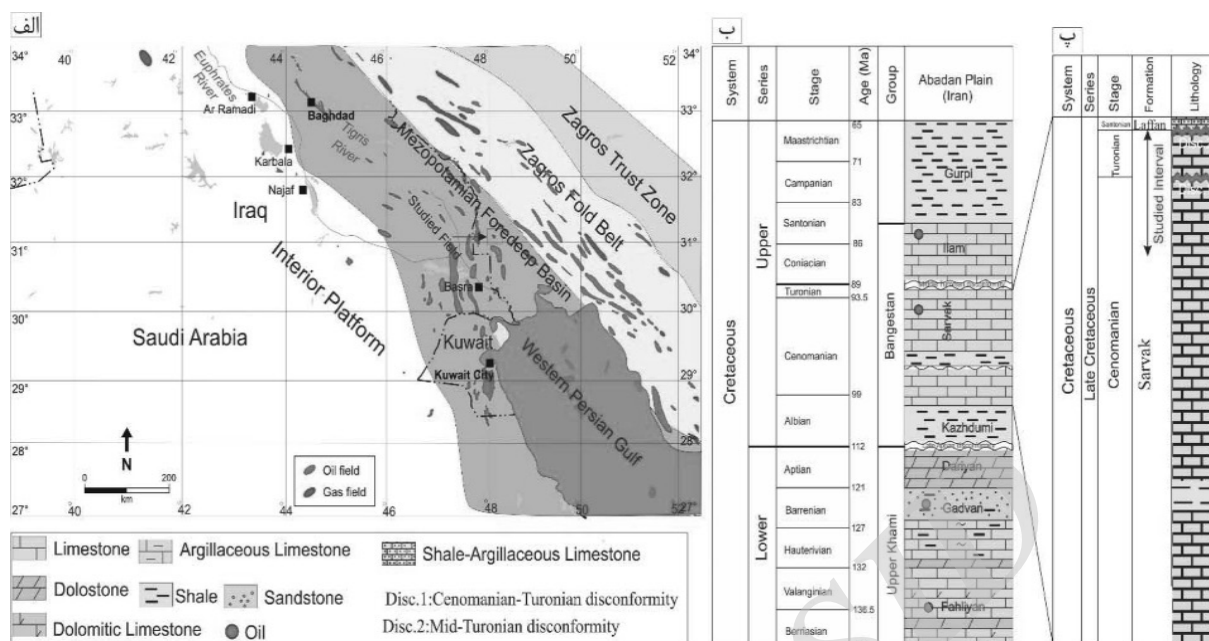
مقدمه

شناخت و درک صحیح از مخازن کربناته ناهمگن و نیز به نقشه درآوردن ویژگی‌های دیاژنزی، به آگاهی از میزان انطباق بین محصولات دیاژنزی و الگوهای رخساره‌ای وابسته است. زمانی که در یک سیستم کربناته انتقال مواد از خارج سیستم محدود باشد، فرآیندهای دیاژنزی مختلف از قبیل انحلال انتخابی، تراکم و سیمانی شدن به صورت معمول با بافت رسوبی اولیه مرتبط می‌باشند [۱]. با این وجود در برخی موارد، دیاژنز با الگوهای رخساره‌ای منطبق نمی‌باشد و به منظور آگاهی از منشاء سیال و جهت جریان، از اطلاعات ژئوشیمیایی و ویژگی‌های سیستم هیدرولوژیکی منطقه استفاده می‌شود [۱]. کربنات‌های سازند سروک که پس از سازند آسماری دومین سنگ مخزن مهم نفتی ایران می‌باشد، از جنبه‌های مختلف تغییرات رخساره‌ای و محیط رسوبی، چینه‌شناسی سکانسی، تغییرات دیاژنزی، سطوح ناپیوستگی، واحدهای جریانسی و کیفیت مخزنی، در بخش‌های مختلف زاگرس و خلیج فارس مطالعه شده‌اند [۲-۹]. با این وجود، توزیع فرآیندهای دیاژنزی در ارتباط با بافت و رخساره‌ها و نیز موقعیت سطوح ناپیوستگی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در ناحیه دشت آبادان چهار سطح ناپیوستگی با سن سنومانین آغازی، سنومانین میانی، مرز سنومانین- تورونین و تورونین میانی در ویژگی‌های زمین‌شناسی- پتروفیزیکی، ناهمگنی‌های عمده‌ای ایجاد کرده‌اند [۲]. فرآیندهای سیمانی‌شدن و انحلال مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی کنترل‌کننده توزیع سیستم منافذ و کیفیت مخزنی سازند سروک می‌باشند. در تهیه نقشه‌های توزیع این فرآیندها و نیز پیش‌بینی زون‌های مخزنی کارآمد، شناخت میزان ارتباط بین توزیع فرآیندهای دیاژنزی با ویژگی‌های رسوبی و سطوح ناپیوستگی، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر بافت و رخساره رسوبی اولیه و سطوح ناپیوستگی تورونین

میانی و مرز سنومانین- تورونین در توزیع فرآیندهای دیاژنزی سیمانی شدن و انحلال در یکی از میادین هیدروکربنی ناحیه دشت آبادان می‌باشد. با توجه به اهمیت تاثیر این فرآیندها بر ویژگی‌های مخزنی، نتایج این مطالعه می‌تواند به درک بهتر ویژگی‌های مخزنی کربنات‌های سازند سروک منجر شود.

زمین‌شناسی منطقه و چینه‌شناسی

بخش شمال شرقی صفحه عربی، حجم عظیمی از هیدروکربن را در حوضه‌هایی از قبیل زاگرس، مزوپوتامین و خلیج فارس شامل می‌شود. حوضه مزوپوتامین عراق در طی کرتاسه بالایی و از برخورد صفحه عربی با اوراسیا شکل گرفته است [۱۰]. این حوضه از شمال عراق تا بخش شمال غربی خلیج فارس امتداد دارد و ناحیه دشت آبادان از نظر زمین‌شناسی بخشی از آن محسوب می‌شود (شکل ۱-الف) [۱۰]. میدان مورد مطالعه در شمال غربی ناحیه دشت آبادان واقع است و روند شمال شرقی- جنوب غربی دارد. توالی رسوبی کرتاسه این ناحیه (شکل ۱-ب)، از جنبه ساختارهای هیدروکربنی، سنگ‌شناسی و رخساره‌های رسوبی شباهت‌های زیادی با واحدهای معادل در حوضه مزوپوتامین دارد [۲، ۱۰ و ۱۱]. تلفیق تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی و نوسانات جهانی سطح آب دریا منجر به تشکیل چندین سطح ناپیوستگی در توالی سنومانین- تورونین (سازند سروک و معادل‌های آن) در صفحه عربی گردیده است [۲، ۱۲، ۱۳ و ۱۴]. این سطوح کلیدی، به عنوان مرزهای سکانسی قابل انطباق در مطالعات زمین‌شناسی مخزن، تاثیر عمده‌ای بر ویژگی‌های مخزنی سازند سروک اعمال کرده‌اند [۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۶]. سازند سروک در دشت آبادان حدود ۷۰۰ m ضخامت دارد و رخساره‌های رودیست‌دار بخش بالایی سازند (معادل با سازند میشریف) با ضخامت حدود ۳۰۰ m از نظر مخزنی مورد توجه می‌باشند (شکل ۱-پ).



شکل ۱ الف) نقشه موقعیت میدان مورد مطالعه در بخش جنوب شرقی حوضه مزوپوتامین (با برخی تغییرات از [۱۰])، ب) چینه‌شناسی عمومی توالی کرتاسه ناحیه دشت آبادان، پ) سنگ‌شناسی سازند سروک همراه با موقعیت دو سطح ناپیوستگی مرز سنومانین-تورونین و تورونین میانی بر روی شکل مشخص گردیده است.

داده‌ها و روش مطالعه

دستگاه اسکنر^۱ پژوهشگاه صنعت نفت اسکن شدند. در مطالعات پتروگرافی، مقادیر حجمی سیمان و نوع آن و نیز سیستم منافذ به صورت کمی مطالعه گردید. سرانجام، با توجه به اهمیت رخداد سطوح ناپیوستگی در توزیع انحلال و سیمانی‌شدن درون مخزن، ارتباط بین این سطوح کلیدی با توزیع این فرآیندهای دیاژنزی بررسی شده است.

بحث

ناپیوستگی‌ها

توالی‌های زیر سطوح ناپیوستگی از نظر خصوصیات دیاژنزی، الگوی ایزوتوپ کربن و اکسیژن، نمودارهای پتروفیزیکی، سیستم منافذ، توزیع سیالات در مخزن و کیفیت مخزنی نسبت به توالی‌های بالا و پایین، تغییرات قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهند [۵، ۱۲-۱۵] و [۱۸]. علاوه بر این، سطوح رخنمون تحت الجوی می‌تواند سبب مطبق شدن و کنترل مسیر مهاجرت سیال در مخزن شوند [۱۳، ۱۴ و ۱۹].

در این مطالعه به منظور بررسی توزیع فرآیندهای سیمانی‌شدن و انحلال در ارتباط با بافت و رخساره‌های رسوبی و سطوح ناپیوستگی، یک چاه کلیدی با ۸۵ m مغزه از بخش بالایی سازند سروک در یکی از میداین هیدروکربنی دشت آبادان مورد مطالعه قرار گرفت. با هدف بررسی دقیق ویژگی‌های رسوبی و دیاژنزی، تعداد ۳۱۰ مقطع نازک میکروسکوپی تهیه گردید. در توصیف مغزه‌ها و مطالعات پتروگرافی، مشخصه‌های سنگ‌شناسی، بافت رسوبی، اجزاء سازنده و نوع تخلخل و توزیع فرآیندهای سیمانی‌شدن و انحلال بررسی شدند. به منظور تعیین کانی‌شناسی (تفکیک کلسیت از دولومیت)، تمام نمونه‌ها با محلول آلیزارین قرمز با استفاده از روش دیکسون [۱۷] رنگ‌آمیزی شده‌اند. علاوه بر این با هدف ارزیابی بهتر سیستم منافذ و تفکیک تخلخل و انواع آن، به برخی نمونه‌ها چسب اپوکسی آبی رنگ^۱ تزریق گردید. برای درک کلی مشخصه‌های بافتی و رخساره‌ای، تمام مقاطع نازک میکروسکوپی با قدرت تفکیک بالا با استفاده از

1. Blue-Dyed Epoxy
2. CREO-IQSMART3

شناخته می‌شود (شکل ۲- الف- پ- ث). در زیر این سطح ناپیوستگی عموماً انحلال و نیز سیمانی شدن گسترده‌ای مشاهده می‌گردد. بر اساس مطالعات بایواستراتیگرافی، مشخص می‌گردد که این سطح مرز دو بایوزون BZ-1 و BZ-2 را مشخص می‌کند و به این دلیل سن آن مرز سنومانین- تورونین در نظر گرفته می‌شود. طول مدت رخنمون تعیین شده برای این سطح توسط مطالعات ایزوتوپ استرانسیوم در آن نواحی حدود ۰/۵ میلیون سال می‌باشد [۲۰].

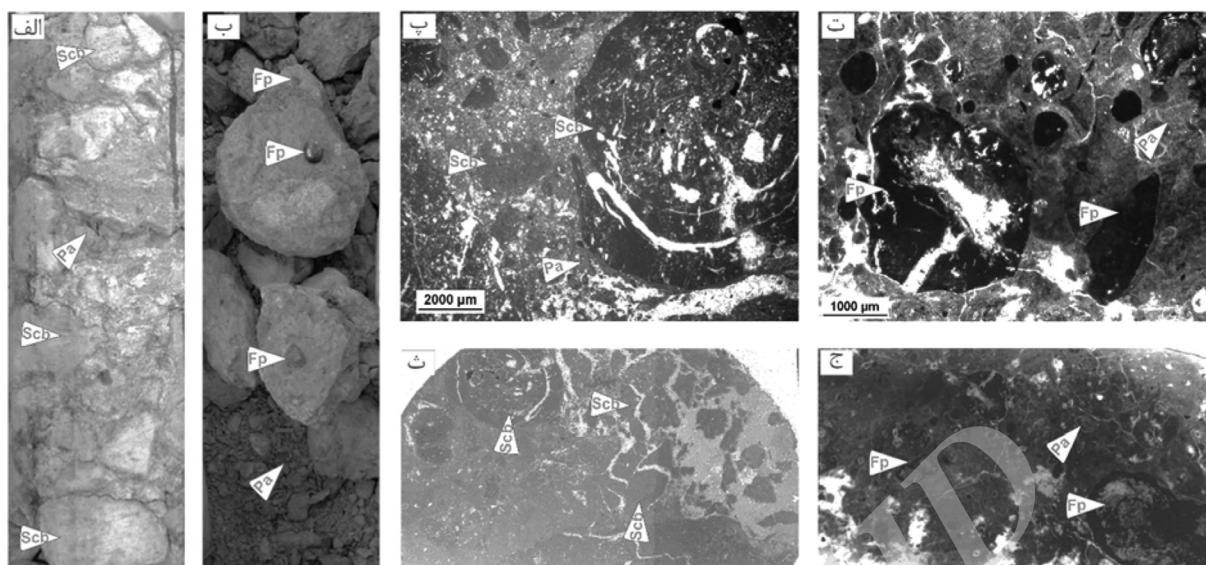
و شواهدی از خاک‌زایی در اثر این سطح گزارش نشده است. با این وجود در میداین هیدروکربنی ناحیه دشت آبادان، به دلیل توسعه و گسترش آن در تمام چاه‌ها و نیز خاک‌زایی گسترده، احتمالاً مدت زمان رخنمون تحت الجوی بیشتر بوده است.

ناپیوستگی تورونین میانی^۳: این ناپیوستگی با توجه به انطباق آن با پایین افتادگی جهانی سطح آب دریا در تورونین میانی، گسترش ناحیه‌ای دارد و به‌عنوان یک ناپیوستگی طولانی مدت^۴ شناخته می‌شود [۲، ۵، ۱۲-۱۴، ۲۰ و ۲۱]. مدت رخنمون توسط مطالعات ایزوتوپ استرانسیوم در نواحی دزفول فروافتاده و فارس از حدود ۴/۵ تا ۱۳ میلیون سال در نظر گرفته شده است [۱۴ و ۲۰]. در ناحیه دشت آبادان با توجه به گسترش سازند لافان با سن کنیاسین، و نیز ضخامت کمتر خاک قدیمه، مدت زمان رخنمون تحت الجوی نسبت به نواحی فارس و دزفول فروافتاده کمتر بوده است. این ناپیوستگی توسط شواهدی از قبیل تشکیل نودول‌های آهن و منگنز، اکسید آهن و خاک قدیمه شناسایی می‌شود (شکل ۲- ب- ت- ج). از نظر توزیع فرآیندهای انحلال و سیمانی شدن، با توجه به ماهیت گل غالب رخساره‌های تورونین، این فرآیندها گسترش قابل ملاحظه‌ای ندارند. ناپیوستگی تورونین میانی مرز بالایی زون زیستی BZ-1 را محدود می‌کند.

چهار سطح ناپیوستگی در توالی سازند سروک در ناحیه دشت آبادان در مطالعات گذشته معرفی گردیده است [۲]. رخداد این ناپیوستگی‌ها نقش مهمی در توزیع فرآیندهای دیاژنزی انحلال و سیمانی شدن دارد. در این تحقیق، دو ناپیوستگی مرز سنومانین- تورونین و تورونین میانی شناسایی و معرفی شده است. سازند سروک در ناحیه دشت آبادان بر اساس مطالعات بایواستراتیگرافی به سن سنومانین- تورونین آغازین دانسته شده است. برای تعیین سن نسبی، دو زون زیستی و دو رخساره زیستی معرفی گردید. زون‌های زیستی Nezzazinella-Dicyclina Assemblage Zone (BZ-1) و Nezzazata-Alveolinids Assemblage Zone (BZ-2) و رخساره‌های زیستی شامل Rudist debris (BF-1) و Oligostegina facie (BF-2) می‌باشند [۲]. زون زیستی BZ-1 عموماً سن تورونین و زون زیستی BZ-2 سن سنومانین را نشان می‌دهد و بخش عمده سازند سروک در ناحیه دشت آبادان را در بر می‌گیرد [۲]. رخساره‌های زیستی سن مشخصی را نشان نمی‌دهند و تنها براساس جایگاه چینه‌شناسی تعیین سن می‌شوند [۲ و ۱۳]. به‌عنوان مثال رخساره زیستی BF-1 با توجه به جایگاه چینه‌شناسی آن در درون BZ-2 سن سنومانین دارد.

ناپیوستگی مرز سنومانین- تورونین^۱: این ناپیوستگی در مطالعات گذشته به صورت محلی و محدود به جنوب غرب ایران و بخش‌هایی از صفحه عربی دانسته شده است که تحت تاثیر دیاپیریم نمک و گسل‌های پی‌سنگی قرار گرفته‌اند [۲، ۸ و ۱۲-۱۵]. این ناپیوستگی، به‌عنوان یک رخنمون کوتاه مدت^۲ با ماهیت تکتونیک در نظر گرفته می‌شود [۲ و ۱۳]. ماهیت تکتونیک این ناپیوستگی، توسط بالا بودن سطح جهانی آب دریا در مرز سنومانین- تورونین (منطبق با رویداد بی‌اکسیژنی اقیانوس‌ها) تفسیر می‌شود [۱۴ و ۲۰]. این سطح براساس مطالعات پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها، توسط شواهدی مانند برش‌های ریزشی- انحلالی و توسعه خاک قدیمه

1. Cenomanian-turonian Disconformity
2. Short-lasted Subaerial Exposure
3. Mid-turonian Disconformity
4. Long-lasted Subaerial Exposure



شکل ۲ تصاویر مغزه (الف-ب)، مقاطع نازک میکروسکوپی (پ-ت) و اسکن آنها (ث-ج) از شواهد دو سطح ناپیوستگی در بخش بالایی سازند سروک. الف-پ-ث) ناپیوستگی مرز سنومانین-تورونین، (ب-ت-ج) ناپیوستگی تورونین میانی، علائم اختصاری (Fp): پیژولیت آهن، Scb: خاک قدیمه، Pa: خاک قدیمه

ب-پ-ت-ث-ج-چ-ح-خ-د-ذ-ر-ز-ژ-س-ش). توصیف و بررسی این رخساره‌ها در مطالعات گذشته به صورت دقیق بررسی شده است [۲ و ۲۲]. به صورت کلی رخساره‌های توالی تورونین عمدتاً گل غالب و مرتبط با زیر محیط‌های لاگون و دریای باز می‌باشند. در مقابل در توالی سنومانین رخساره‌های دانه غالب‌تر و متعلق به زیر محیط شیب حوضه و لاگون می‌باشند.

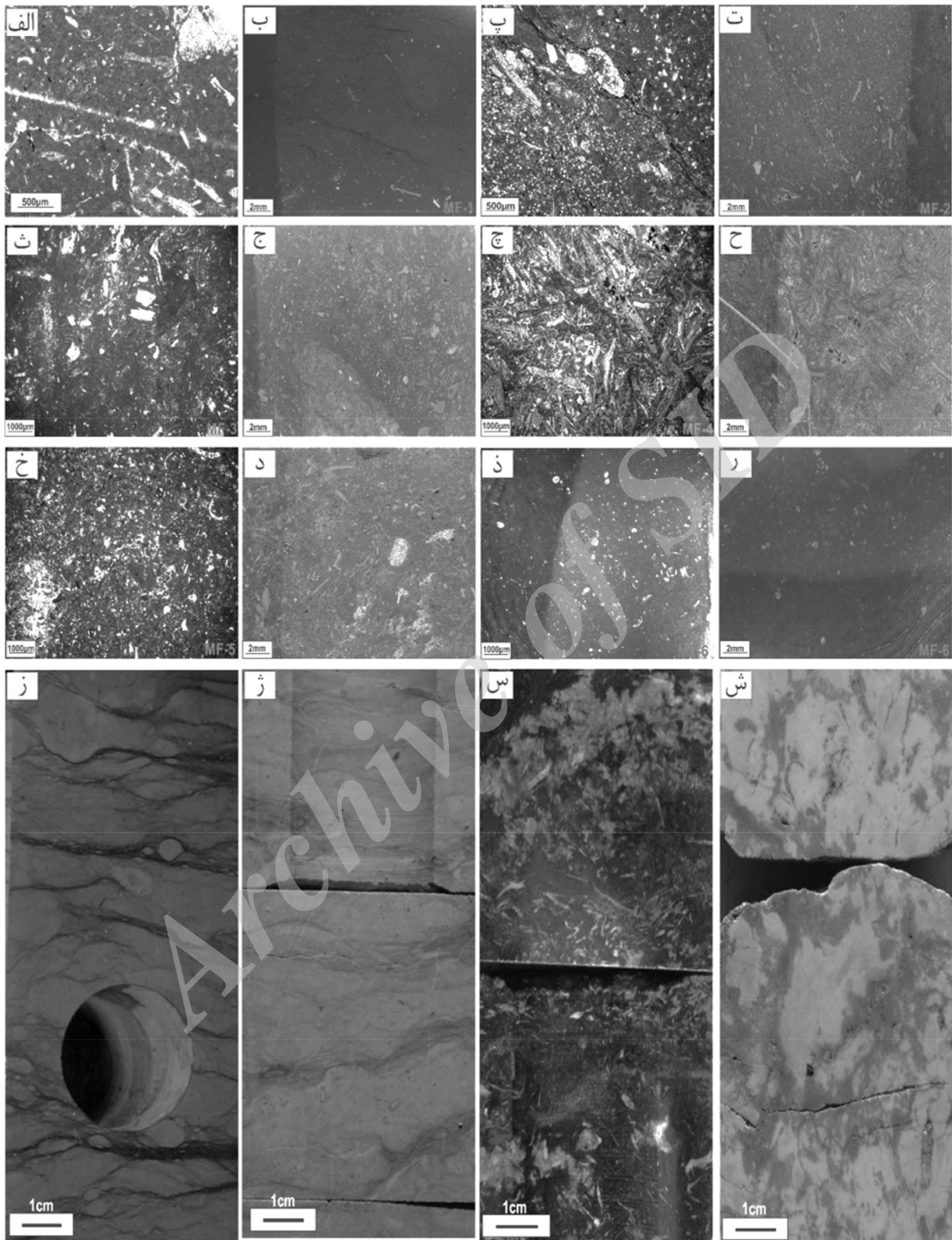
فرآیندهای دیاژنزی

توصیف جامع فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر ویژگی‌های مخزنی سازند سروک در میدین نفتی ناحیه دشت آبادان در مطالعات گذشته اشاره شده است [۲۳ و ۲۴].

1. Oligosteginia Mudstone- wackestone (MF-1)
2. Echinoderm Wackestone (MF-2)
3. Rudist Debris Wackestone-floatstone (MF-3)
4. Rudist Debris Rudstone-packstone (MF-4)
5. Benthic Foraminifera Wackestone (MF-5)
6. Miliolid Mudstone (MF-6)

بافت و رخساره‌های رسوبی

رخساره‌ها، محیط رسوبی و چین‌نگاری سکانسی سازند سروک در ناحیه دشت آبادان [۲]، بررسی و یک پلاتفرم شلف کربناته برای نهشت بخش بالایی سازند سروک معرفی شده است. در این پلاتفرم کربناته، پنج کمربند رخساره‌ای لاگون، شول، رودیست بایوستروم، شیب، دریای باز کم عمق و دریای باز عمیق شناسایی و تفسیر گردیده است. در این مقاله با توجه به محدود بودن مغزه‌های قابل دسترسی از این چاه کلیدی، تنها رخساره‌های مرتبط با محیط‌های لاگون، واریزه رودیستی و بخش کم عمق و عمیق دریای باز شناسایی گردید. بر این اساس، شش رخساره شامل مادستون-وکستون الیگوسترین دار^۱ (دریای باز عمیق)، وکستون اکینودرم دار^۲ (دریای باز کم عمق)، وکستون-فلوتستون با خرده‌های رودیستی^۳ (شیب)، وکستون-رودستون واریزه رودیستی^۴ (شیب)، وکستون-پکستون دارای فرامینیفرهای بنتیک^۵ (لاگون) و مادستون میلیولیددار^۶ (لاگون) شناسایی گردید (شکل ۳-الف-



شکل ۳ تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی، (الف-پ-ث-چ-خ-ذ) اسکن مقاطع (ب-ت-ج-ح-د-ر) به همراه تصاویر مغزه (ز-ژ-س-ش) از رخساره‌های شناسایی شده در سازند سروک براساس داده‌های در دسترس: الف-ج-ز) مادستون- وکستون الیگوستژین دار (MF-1)، پ-ت)، وکستون اکینودرم دار (MF-2)، ث-ج-ژ) وکستون-فلوتستون دارای خرده‌های رودیستی (MF-3)، چ-ح) پکستون-رودستون با واریزه رودیستی (MF-4)، خ-د-س) وکستون-پکستون دارای فرامینفرهای بنتیک (MF-5)، ذ-ر-ش) مادستون- وکستون میلیولید دار (MF-6). تصاویر مقاطع نازک پ-چ-ذ در XPL و سایر تصاویر در PPL

و غیر تبعیت‌کننده از فابریک قابل تقسیم هستند. تخلخل‌های تبعیت‌کننده از فابریک عموماً مرتبط با تخلخل‌های قالبی می‌باشند که با توجه به تخلخل بالا، تراوایی بالایی را نشان نمی‌دهند (شکل ۴- الف- ب)، در مقابل تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط می‌توانند زون‌های با کیفیت مخزنی بالا ایجاد کنند (شکل ۴- پ- ت). برخی از تخلخل‌های موجود پس از انحلال سیمان‌های در طی دیاژنز متئوریک (تلوژنتیک) شکل گرفته‌اند (شکل ۴- ث). شکستگی‌ها از انواع دیگر تخلخل در توالی سازند سروک می‌باشند، که در بسیاری از موارد توسط سیمان کلسیتی پر شده‌اند (شکل ۴- ج). تصاویر اسکن مقاطع نازک از انواع تخلخل نشان داده شده است (شکل ۴- چ- ح- خ).

سیمانی‌شدن

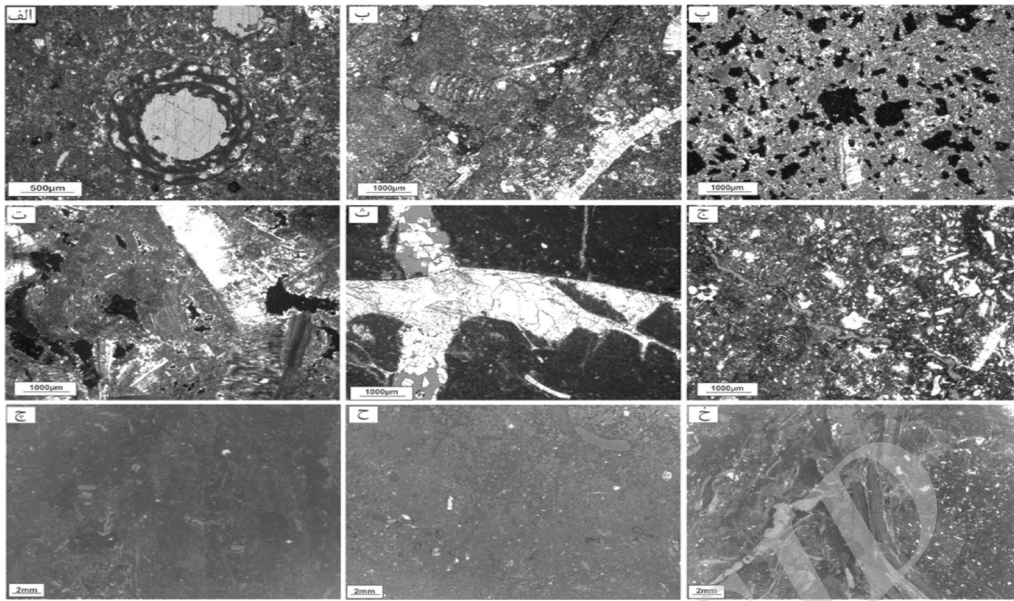
در توالی سازند سروک در چاه مورد مطالعه، با وجود گل‌پشتیبان بودن بیشتر رخساره‌های مخزنی، فرآیند سیمانی‌شدن گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند. سیمان کلسیتی به اشکال سیمان هم‌ضامت، هم‌محور، درزوی و بلوکی درون رخساره‌های مخزن مشاهده می‌شود که می‌توانند منشاء دریایی، متئوریک و تدفینی داشته باشند (شکل ۵- الف- ب- پ- ت- ث- ج- چ- خ- د- ذ- ر- ز). فرآیند سیمانی‌شدن طی مراحل مختلفی، انواع رخساره‌های مخزن را متاثر ساخته است. چنانچه طی یک دوره انحلال اولیه ائوژنتیک، اجزاء اسکلتی ناپایدار حل شده و بیشتر فضاهای ثانویه حاصل از انحلال، توسط سیمان‌های کلسیت اسپاری درشت بلور با منشاء متئوریک^۱ پر شده‌اند. طی تدفین نیز سیمان کلسیت دفنی با اهمیت کمتر به‌صورت بخشی درون حفرات و نیز برخی ریزشکستگی‌ها درون مخزن شکل گرفته است.

فرآیندهای دیاژنزی میکرایتی شدن، زیست‌آشفستگی، سیمانی شدن، دولومیتی و ددولومیتی شدن، انحلال، تراکم فیزیکی و شیمیایی، شکستگی، سیلیسی شدن و پیریتی شدن کربنات‌های سازند سروک را پس از نهشته شدن در سه محیط دریایی، متئوریک و تدفینی تحت تاثیر قرار داده‌اند. علاوه‌براین شواهد مرتبط با سطوح ناپیوستگی شامل کارستی شدن، بررشی شدن، تشکیل خاک قدیمه، و تشکیل پیروئیدهای اکسید آهن و منگنز در ارتباط با محیط متئوریک تلوژنتیک قابل شناسایی است. با توجه به اهمیت تاثیر دو فرآیند انحلال و سیمانی‌شدن که عمدتاً در ارتباط با دیاژنز متئوریک و سطوح ناپیوستگی سازند سروک می‌باشند، این فرآیندها به‌صورت خلاصه بررسی شده است.

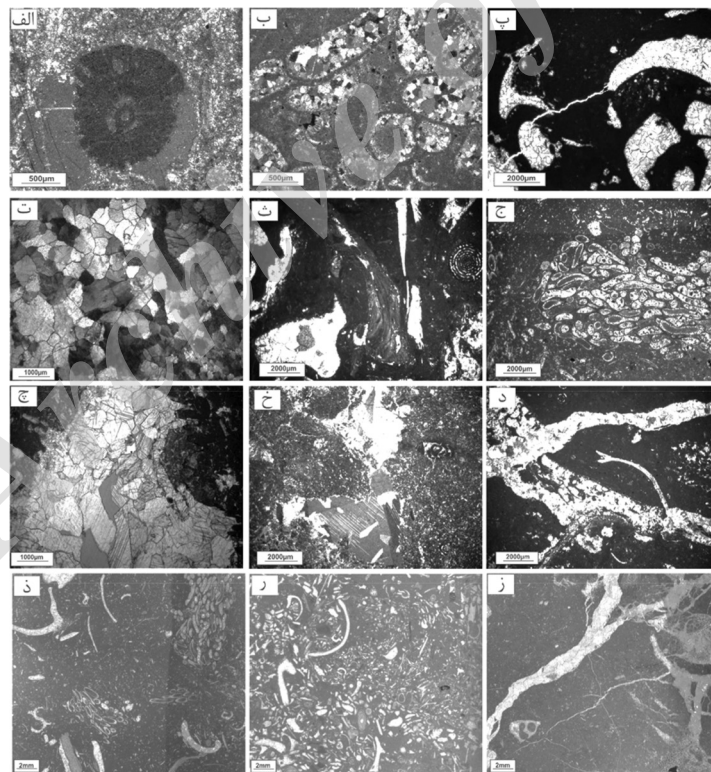
انحلال

انحلال مهم‌ترین فرآیند دیاژنزی موثر در بهبود ویژگی‌های مخزنی سازند سروک در میدین هیدروکربنی ناحیه دشت آبادان می‌باشد [۲۳ و ۲۴]. فرآیند انحلال با توجه به ترکیب کانی‌شناسی اولیه اجزاء اسکلتی، توزیع ناهمگونی را درون مخزن نشان می‌دهد. تخلخل‌های دیاژنزی سازند سروک حاصل از تاثیر متقابل یک دوره انحلال اولیه، سیمانی‌شدن و انحلال نهایی بر روی رخساره‌های مخزن است. اجزای اسکلتی از قبیل فرامینیفره‌های بنتیک و دوکفه‌ای‌ها و بخشی از اجزاء رودیست‌ها به دلیل ترکیب آراگونیتی بیشتر تحت تاثیر انحلال قرار گرفته‌اند. کیفیت مخزنی بالای زون‌های واریزه رودیستی حاصل از انحلال بخش‌های ناپایدار قطعات رودیستی و دوکفه‌ای‌ها است. بررسی توزیع سیستم منافذ در توالی مورد مطالعه نشان می‌دهد که ریز تخلخل‌ها و تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط و غیرمرتبط همراه با ریز شکستگی‌ها، بخش عمده تخلخل در توالی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند (شکل ۴). تخلخل‌های حاصل از فرآیند انحلال به دو گروه عمده تبعیت‌کننده از فابریک

1. Drusy
2. Blocky
3. Meteoric



شکل ۴ تصاویر مقاطع نازک و اسکن آنها از انواع تخلخل‌های مشاهده شده درون مخزن، الف-ب) تخلخل‌های حفره‌ای تبعیت‌کننده از فابریک، پ-ت) تخلخل‌های حفره‌ای غیر تبعیت‌کننده از فابریک، ث) انحلال‌های رخ داده پس از سیمانی شدن به ویژه درون شکستگی‌ها، ج) ریزشکستگی‌ها، چ-ح-خ) تخلخل‌های حفره‌ای در رخساره‌های مخزنی که اجزاء اسکلتی و نیز زمینه سنگ را تحت تاثیر قرار داده است. تصاویر الف-ب-ث-ج در PPL و تصاویر پ-ت در XPL



شکل ۵ تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی (الف-ب-پ-ت-ث-ج-چ-خ-د) و اسکن آنها (ذ-ر-ز) از انواع مختلف سیمان‌های کلسیتی درون مخزن الف) سیمان هم‌محور در یک خرده اکینودرمی، ب-پ) سیمان متئوریک دروزی و بلوکی درون اجزاء اسکلتی، ت) سیمان تدفینی با خاموشی موجی و شکل بلوکی، ث) توزیع انتخابی سیمان در ارتباط با ترکیب اجزاء اسکلتی (انحلال و سیمانی شدن قطعات دوکفه‌ای به دلیل ترکیب ناپایدار و پایداری خرده رودیستی به دلیل ترکیب پایدار)، ج) توزیع محلی سیمان درون حفرات گرم‌های حلقوی در ارتباط با آشفستگی زیستی، چ) سیمان کلسیت درشت بلور پرکننده حفره که به‌طور بخشی حل شده است، خ) سیمان کلسیت متئوریک درشت بلور با رخ مشخص، د) سیمان کلسیت متئوریک پرکننده شکستگی، ذ) توزیع سیمان در ارتباط با زیست آشفستگی و درون اجزاء ناپایدار اسکلتی، ر) سیمان کلسیتی درون اجزاء دوکفه‌ای ناپایدار ز) سیمان کلسیت متئوریک پرکننده شکستگی. تصاویر پ-چ در PPL و تصاویر الف-ب-ت-ث-ج-خ-د در XPL

انحلال و سیمانی شدن مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر ویژگی‌های مخزنی بوده‌اند که به‌ترتیب سبب افزایش و کاهش کیفیت مخزنی شده‌اند.

توزیع سیمان کلسیتی در انواع رخساره‌های مخزنی

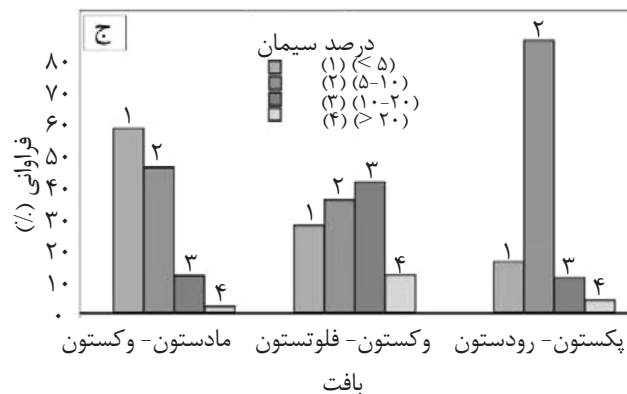
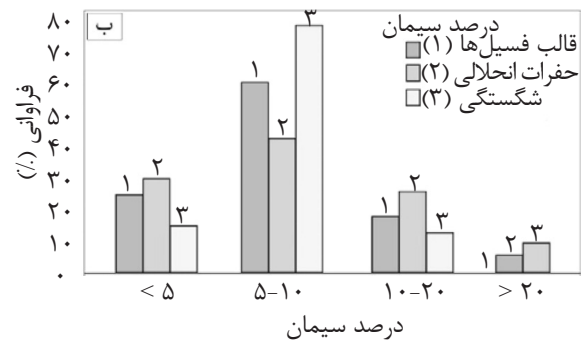
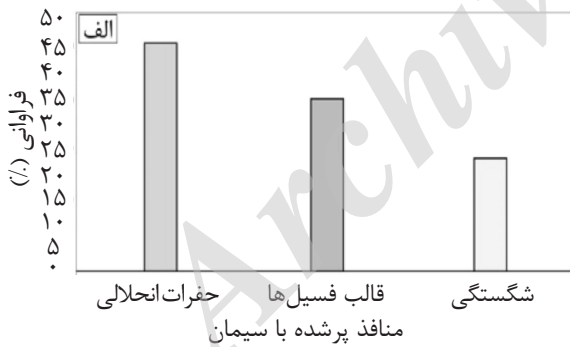
به منظور بررسی آماری مقاطع نازک میکروسکوپی در ارتباط با توزیع سیمان‌های کلسیتی، نمونه‌ها از جنبه نوع، توزیع و درصد سیمان مورد مطالعه قرار گرفتند. با توجه به تزریق چسب اپوکسی در بیشتر نمونه‌ها، انجام مطالعات پتروگرافی و تحلیل تصاویر میکروسکوپی با دقت بالا قابل انجام است. سیمانی‌شدن صرف نظر از مقدار آن، تقریباً تمام رخساره‌های مخزن را متأثر ساخته است. سیمان‌ها در سه گروه اجزاء اسکلتی، حفرات (حاصل انحلال اجزاء اسکلتی و غیر اسکلتی و نیز زمینه سنگ) و ریزشکستگی‌ها مشاهده می‌شود. نمودار توزیع این سیمان‌ها در شکل ۷-الف، نشان می‌دهد که بخش عمده سیمان، درون حفرات انحلالی و اسکلتی گسترش دارد. در رخساره‌های گل غالب مادستونی-وکستونی لاگون و دریای باز، شکستگی‌های بزرگ و کوچک در بیشتر موارد سیمانی شده‌اند. با هدف بررسی درصد حجمی سیمان در نمونه‌ها، فراوانی آنها در قالب چهار گروه ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰ و بیشتر از ۲۰٪ نشان داده شده است (شکل ۷-ب). نتایج نشان می‌دهد که درصد حجمی ۵ الی ۱۰٪ بالاترین فراوانی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی توزیع سیمان از توزیع انحلال و شکستگی‌های درون مخزن تبعیت می‌کند و حجم سیمان کلسیتی و اندازه بلورهای آن با اندازه و درصد اجزاء ناپایدار، اندازه حفرات و نیز تراکم و عرض شکستگی‌ها ارتباط مستقیمی دارد. اگرچه سیمانی شدن تقریباً تمام رخساره‌های مخزن را تحت تاثیر قرار داده است اما درصد حجمی متفاوتی درون انواع رخساره‌ها دارد (شکل ۷-پ).

در نهایت در اثر دیاژنز تلوزنتیک ناشی از رخداد سطوح ناپیوستگی، سیمان‌های متئوریک درشت بلور عمدتاً درون حفرات انحلالی بزرگ و نیز درون شکستگی‌ها گسترش پیدا کرده‌اند. سیمان‌های دریایی، متئوریک و تدفینی در رخساره‌های گل غالب و دانه غالب بخش بالایی سازند سروک را به میزان قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر قرار داده‌اند (شکل ۵-الف-ب-پ-ت). اجزاء اسکلتی با ترکیب کانی‌شناسی کلسیتی و پایدار مانند برخی از خرده‌های رودیستی، از تاثیر فرآیند انحلال تا حد قابل توجهی مصون مانده‌اند (شکل ۵-ث). در این اجزاء تاثیر فرآیند انحلال و گسترش سیمان، به‌طور جزئی و محلی به‌خصوص در نقاط شکستگی یا بخش‌های با انحلال‌پذیری بالاتر عمدتاً با ترکیب آراگونیتی رخ داده است. در مواردی نیز توزیع گسترده سیمان درون حفرات انحلالی بزرگ محدود به دیواره قطعات رودیستی مشاهده می‌شود. در مقابل، اجزاء اسکلتی با ترکیب کانی‌شناسی ناپایدار و آراگونیتی مانند دوکفه‌ای‌ها عمدتاً انحلال یافته‌اند و سپس با سیمان کلسیت پر شده‌اند. در برخی رخساره‌ها نیز وجود برخی عوارض رسوبی حاصل از فعالیت موجودات به‌صورت زیست‌آشفته‌گی، به گسترش محلی سیمان در آنها کمک نموده است (شکل ۵-ج-چ-خ-د). بخش دیگری از سیمان کلسیت درشت بلور به‌صورت پرکننده حفرات انحلالی گسترده و نیز درون شکستگی‌ها می‌باشد (شکل ۵-ذ-ر-ز). حفرات انحلالی بزرگ که بخش عمده سیمان درون مخزن را شامل می‌شوند عمدتاً در ارتباط با سطوح ناپیوستگی و یا شکستگی‌ها گسترش یافته‌اند.

به منظور درک بهتر رخداد فرآیندهای دیاژنزی و شناسایی ترتیب آنها در توالی سازند سروک، سکانس آنها نشان داده شده است (شکل ۶). نتایج نشان می‌دهد که فرآیندهای مرتبط با دیاژنز تلوزنتیک به‌دلیل رخداد سطوح ناپیوستگی تاثیر قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند. در بین فرآیندهای دیاژنزی،

فرآیندهای دیاژنزی	محیط دیاژنزی			
	دریایی	متئوریک اٹوژنتیک	متئوریک تلوژنتیک	تدفینی
میکرایتی شدن	_____			
زیست آشفگی	_____			
تبلور مجدد		_____		
تراکم فیزیکی	_____	-----		_____
تراکم شیمیایی				_____
(استیلولیت-رگچه‌های انحلالی)				_____
انحلال تبعیت کننده از فابریک		_____		
انحلال تخریب کننده فابریک		-----	_____	
دولومیتی شدن (زون مخلوط)	-----	_____		
دولومیتی شدن (مرتبط با استیلولیت)				_____
ددولومیتی شدن			_____	
سیمان هم ضخامت	_____	-----		
سیمان دوروزی، تیغه‌ای، هم محور		_____	-----	
سیمان بلوکی-هم بعد			-----	
سیلیسی شدن			-----	_____
پیریتی شدن	_____			_____
شکستگی				_____
برش‌های ریزشی-انحلالی			_____	
خاک قدیمه و پیژولیت‌های اکسید آهن			_____	

شکل ۶ سکانس دیاژنزی بخش بالایی سازند سروک در میدان مورد مطالعه نشان داده شده است. فرآیندهای دیاژنزی در سه محیط دریایی، متئوریک اٹوژنتیک، تدفینی و متئوریک تلوژنتیک رخ داده‌اند



شکل ۷ الف) نمودار فرآوانی سیمان کلسیتی درون رخساره‌های مخزن با توجه به نوع حفرات، ب) منافذ پر شده با سیمان براساس درصد‌های حجمی مختلف، پ) فرآوانی هر کدام از گروه‌های درصد حجمی در ارتباط با بافت سنگ

این بخش قرار دارد که انحلال نسبتا بالا و نفت آغشتگی نشان می‌دهد. بنابراین در حالت کلی عمده سیمان مشاهده شده در توالی تورونین محدود به شکستگی‌های پر شده با سیمان کلسیتی می‌باشد. در مقابل در توالی سنومانین که در زیر ناپیوستگی مرز سنومانین-تورونین قرار دارد، گسترش فرآیندهای انحلال و سیمانی شدن در رخساره‌های لاگون و شیب نسبت به توالی تورونین به دلیل ماهیت دانه غالب تر رخساره‌ها بیشتر می‌باشد. برشی شدن در رخساره‌های لاگونی و کارستی شدن در رخساره‌های واریزه رودیستی زیر سطح ناپیوستگی مرز سنومانین-تورونین مشاهده می‌شود. حضور کمتر سیمان در توالی تورونین و نیز گسترش آن درون شکستگی‌ها می‌تواند با بافت اولیه مادستونی و وکستونی رخساره‌ها مرتبط باشد. همچنین بخش عمده زون‌های پرتخلخل، درون توالی سنومانین و منطبق بر رخساره‌های دانه غالب پکستون و رودستون/فلوتستونی مربوط به واریزه‌های رودیستی می‌باشند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که بافت رسوبی اولیه کنترل قابل توجهی بر توزیع فرآیندهای انحلال، سیمانی شدن و سیستم منافذ درون رخساره‌های مخزن داشته است (شکل ۸).

نتیجه‌گیری

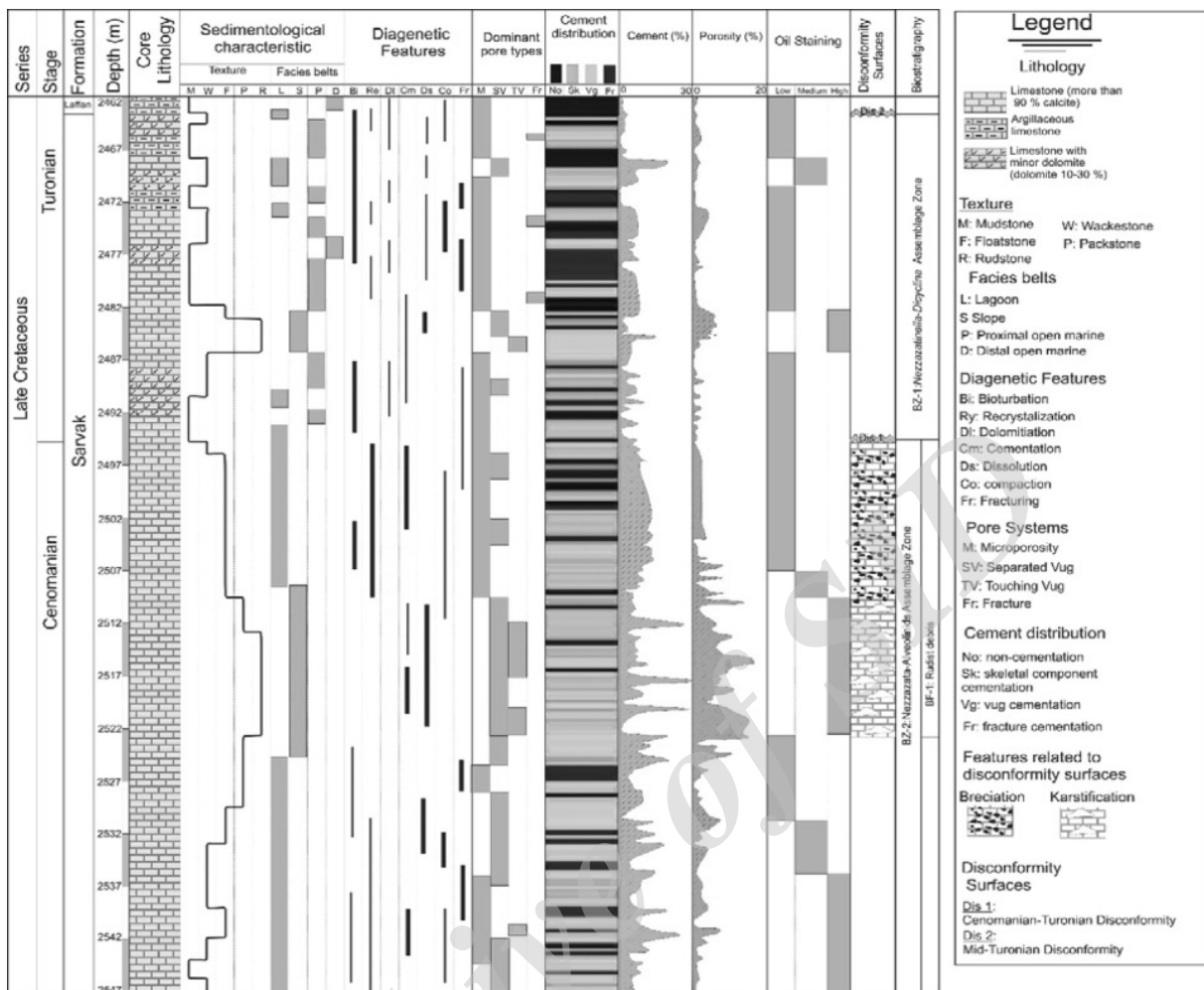
در این تحقیق براساس توصیف مغزه‌ها و مطالعات پتروگرافی، توزیع فرآیندهای انحلال و سیمانی در ارتباط با رخساره‌های رسوبی و سطوح ناپیوستگی در بخش بالایی سازند سروک در یکی از میداین نفتی ناحیه دشت آبادان مطالعه و نتایج زیر حاصل گردید.

۱- شش رخساره رسوبی در چارچوب چهار کمربند رخساره‌ای لاگون، شیب (واریزه رودیستی) و بخش کم عمق و عمیق دریای باز شناسایی شده‌اند. محیط تشکیل این رخساره‌ها در ارتباط با یک پلاتفرم شلف کربناته می‌باشد که در مطالعات گذشته، شکل و هندسه آن مشخص شده است.

در حالت کلی فراوانی سیمان در رخساره‌های دانه غالب فراوانی بیشتری نشان می‌دهد. رخساره‌های مادستون/وکستونی عمدتاً درصد پایینی (کمتر از ۵٪) از سیمان کلسیتی را شامل می‌شوند و به سمت مقادیر حجمی بالاتر، از درصد فراوانی این سیمان در آنها کاسته می‌شود. مقادیر بالاتر سیمان در این رخساره‌ها در ارتباط با شکستگی‌ها و حفرات انحلالی بزرگ است. رخساره‌های وکستونی-فلوتستونی روندی تقریباً مشابه با مادستون-وکستون‌ها نشان می‌دهند. با این تفاوت که همگنی بیشتری در درصد سیمان در آنها مشاهده می‌شود. در مقابل رخساره‌های پکستونی-رودستونی با توجه به ماهیت دانه غالب خود توزیع سیمان در آنها در محدوده ۵ الی ۱۰٪ بیشترین مقدار خود را دارد. این پدیده نشان می‌دهد که در بیشتر رخساره‌ها به دلیل عدم وجود قطعات اسکلتی فراوان، سیمانی شدن از انحلال اجزاء اسکلتی، توزیع و اندازه شکستگی‌ها و نیز مقادیر تخلخل تبعیت نموده است. در رخساره‌های فلوتستونی و رودستونی نیز ریز شکستگی‌هایی در امتداد قطعات اسکلتی درشت به‌ویژه رودیست‌ها مشاهده می‌شود.

فرآیندهای انحلال و سیمانی شدن در ارتباط با سطوح ناپیوستگی

توزیع فرآیندهای سیمانی شدن و انحلال به‌عنوان مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی کنترل‌کننده سیستم منافذ در توالی سازند سروک، مرتبط با نوع رخساره‌های اولیه و عمدتاً ناشی از دیاژنز متئوریک مرتبط با سطوح ناپیوستگی می‌باشد. دو ناپیوستگی مهم مرز سنومانین-تورونین و تورونین میانی، سازند سروک را به دو بخش تورونین و سنومانین تقسیم می‌کند. توالی تورونین عموماً از رخساره‌های مادستونی-وکستونی دریای باز و لاگون تشکیل شده است. در این توالی‌ها حجم سیمان و میزان انحلال ناچیز می‌باشد. تنها یک توالی واریزه رودیستی با ضخامت حدود ۴ m در



شکل ۸ تغییرات ویژگی‌های رخساره‌ای، عوارض دیاژنزی، سیستم منافذ، توزیع سیمان‌ها، زون‌ها و رخساره‌های زیستی سازند سروک در ارتباط با موقعیت دو سطح ناپیوستگی مرز سنومانین-تورونین و تورونین میانی نشان داده شده است

و تاثیر متقابل یک دوره فرآیند انحلال اولیه، سیمانی‌شدن و انحلال نهایی است و به‌صورت ریز تخلخل‌ها، تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط و غیر مرتبط همراه با ریز شکستگی‌ها مشاهده می‌گردد.

۴- گسترش سیمان کلسیتی در توالی تورونین عمدتاً در ارتباط با شکستگی‌ها در رخساره‌های مادستون- و کستونی لاگون و دریای باز می‌باشد. در مقابل در توالی سنومانین با رخساره‌های دانه غالب پکستونی- رودستونی متعلق به کمربند رخساره‌ای شیب و لاگون، سیمان‌های کلسیتی در تخلخل‌های حفره‌ای و قالب‌های توسعه یافته‌اند.

۲- فرآیندهای سیمانی‌شدن و انحلال ارتباط تنگاتنگی با هم داشته و به ماهیت رخساره رسوبی اولیه وابسته می‌باشند. سیمان کلسیتی در رخساره‌های مخزنی، به‌طور عمده درون تخلخل‌های حفره‌ای، قالب فسیلی و نیز شکستگی‌ها توسعه یافته است. این سیمان‌ها عمدتاً به اشکال دروزی و بلوکی در ارتباط با دیاژنز متئوریک و تا حدودی تدفینی مشاهده می‌شوند. از نظر درصد حجمی سیمان، فراوانی ۵ الی ۱۰٪ بیشترین گسترش را دارد که به دلیل ماهیت گل غالب بیشتر رخساره‌ها است.

۳- سیستم منافذ حاصل فرآیندهای رسوبی

تورونین میانی رخ نداده است. در مقابل در توالی سنومانین که در زیر ناپیوستگی مرز سنومانین-تورونین قرار دارد رخساره‌های شول و شیب تحت تاثیر سیمانی شدن و انحلال گسترده‌ای قرار گرفته‌اند.

سیمان پرکننده شکستگی‌ها عموماً به صورت بلوکی و در مقابل سیمان دروزی تخلخل‌های حفره‌ای و قالب‌های اسکلتی را پر کرده‌اند. ۵- به دلیل ماهیت گل غالب رخساره‌های تورونین، انحلال و سیمانی شدن گسترده‌ای ناشی از ناپیوستگی

مراجع

- [1]. Lucia, F.J., "Carbonate reservoir characterization" Springer-Verlag, Berlin, p. 341, 2007.
- [2]. Assadi A., Honarmand J., Moallemi S. A. and Abdollahie-Fard I., "Depositional environments and sequence stratigraphy of the Sarvak formation in an oil-field on the Abadan Plain, SW Iran" *Facies*, Vol. 62, No. 4, pp. 1-22, 2016.
- [3]. Esrafil Dizaji B., Rahimpour Bonab H. Mehrabi H. Afshin S. Kiani Harchegani F. and Shahverdi N., "Characterization of rudist dominated units as potential reservoirs in the middle Cretaceous Sarvak Formation, SW Iran," *Facies*, Vol. 61, No 3, pp. 1-25, 2015.
- [4]. Ghabeshavi A., Vaziri-Moghaddam H., Taheri A. and Taati F., "Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of the Bangestan anticline, SW Iran," *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 37, pp. 275-285, 2010.
- [5]. Hollis C., "Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian-Turonian of the Arabian Plate," *Petroleum Geoscience*, Vol. 17, No. 3, pp. 223-241, 2011.
- [6]. Mehrabi H., Rahimpour-Bonab H., Hajikazemi E. and Jamalian A., "Controls on depositional facies in Upper Cretaceous carbonate reservoirs in the Zagros area and the Persian Gulf, Iran," *Facies*, Vol. 61, No. 3, pp.1-24, 015, 2015.
- [7]. Razin P., Taati F. and Van Buchem F. S. P., "Sequence stratigraphy of Cenomanian-Turonian carbonate platform margins (Sarvak Formation) in the High Zagros, SW Iran: an outcrop reference model for the Arabian Plate," In: van Buchem, F. S. P., Gerdes, K. D. & Esteban, M. (Eds), *Mesozoic and Cenozoic Carbonate Systems of the Mediterranean and the Middle East: Stratigraphic and Diagenetic Reference Models*, Geological Society, London, Special Publications Vol. 329, pp. 187-218, 2010.
- [8]. Setudehnia A., "The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent areas," *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-42, 1978.
- [9]. Taghavi A. A., Mork A. and Emadi M. A., "Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehluran field, SW Iran," *Petroleum Geoscience*, Vol. 12, No 2, pp. 115-126, 2006.
- [10]. Aqrabi A. and Badics B., "Geochemical characterization, volumetric assessment and shale-oil/gas potential of the Middle Jurassic- Lower Cretaceous source rocks of NE Arabian Plate," *Geo-Arabia* Vol. 20, pp. 99-140, 2015.
- [11]. Sissakian V. K., "Geological evolution of the Iraqi Mesopotamia Foredeep, inner platform and near surroundings of the Arabian Plate," *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 72, pp. 152-163, 2013.
- [12]. Rahimpour-Bonab H., Mehrabi H., Enayati-Bidgoli A. H. and Omidvar M. "Coupled imprints of tropical climate

and recurring emergence on reservoir evolution of a mid-cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran," *Cretaceous Research*, Vol. 37, pp. 15-34, 2012.

[13]. Rahimpour-Bonab H., Mehrabi H., Navidtalab A., Omidvar M., Enayati-Bidgoli A. H., Sonei R. and Izadi-Mazidi E. , "Palaeo-exposure surfaces in Cenomanian–santonian carbonate reservoirs in the Dezful embayment, SW Iran," *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 36, No. 4, pp. 335-362, 2013.

[14]. Vincent B., van Buchem F., Bulot L., Jalali M., Swennen R., Hosseini A. and Baghbani D., "Depositional sequences, diagenesis and structural control of the Albian to Turonian carbonate platform systems in coastal Fars (SW Iran)," *Marine and Petroleum Geology* Vol. 63, pp. 46-67. 2015.

[15]. Hajikazemi E., Al-Aasm I. S., and Coniglio M., "Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran," In: Leturmy, P. & Robin, C. (Eds), *Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic–cenozoic*, Geological Society, London, Special Publications, Vol. 330, pp. 253-272, 2010.

[16]. Hajikazemi E., Al-Aasm I. S. and Coniglio M., "Chemostratigraphy of Cenomanian–turonian carbonates of the Sarvak Formation, Southern Iran," *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 35, No. 2, pp. 187-205, 2012.

[17]. Dickson J. A. D., "Carbonate identification and genesis as revealed by staining," *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 36, No. 2, pp. 491-505, 1966.

[18]. Immenhauser A., Creusen A., Esteban M. and Vonhof H., "Recognition and interpretation of polygenic discontinuity surfaces in the Middle Cretaceous Shuaiba, Nahr Umr, and Natih Formations of Northern Oman," *Geo-Arabia*, Vol. 5, pp. 299-322. 2000.

[19]. Jolley S. J., Fisher Q. J. and Ainworth R. B., "Reservoir compartmentalization: an introduction," In: Jolley, S.J., Fisher, Q.J., Ainworth, R.B., Vrolijk, P.J., Delisle, S. (eds.). *Reservoir Compartmentalization*. Geological Society, Special Publications, Vol. 347, p. 362, 2010.

[20]. Navidtalab A., Rahimpour-Bonab H., Huck S. and Heimhofer U., "Elemental geochemistry and strontium-isotope stratigraphy of Cenomanian to Santonian neritic carbonates in the Zagros Basin, Iran," *Sedimentary Geology* Vol. 346, pp. 35-48. 2016.

[21]. Sharland P. R., Archer R., Casey D. M., Davies R. B., Hall S. H., Heyward A. P., Horbury A. D. and Simmons, M. D., "Arabian plate sequence stratigraphy," *Geo-Arabia*, Special Publication Vol. 2, p. 371, 2001.

[۲۲]. هنرمند ج، اسعدی ع، معلمی س، ع، عبداللهی فردا، منیبی س، "ریز رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند سروک در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب غرب ایران،" دو فصلنامه رخساره‌های رسوبی مشهد، سال ۹، شماره ۲. ۱۳۹۵.

[۲۳]. اسعدی ع، هنرمند ج، معلمی س. ع، عبداللهی فردا، "تاثیر فرآیندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در یکی از میداین هیدروکربنی دشت آبادان، جنوب غرب ایران"، مجله پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی اصفهان. جلد ۶۲، شماره ۱، ص. ۸۰-۵۸. ۱۳۹۵.

[۲۴]. اسعدی ع، هنرمند ج، رحمانی ع، رئیسی ع، ر، "شناسایی و تفسیر رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی از طریق مفهوم رخساره لاگ‌ها، مطالعه موردی از مخزن سروک در یکی از میداین بزرگ نفتی جنوب غرب ایران"، دو فصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی همدان. جلد ۶، شماره ۲، ص. ۱۱۹-۱۰۳. ۱۳۹۴.

Archive of SID