شناسایی و تفسیر رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی از طریق مفهوم رخساره لاگ‌ها، مطالعه موردی از مخزن سروک در یکی از میادین بزرگ نفتی جنوب غرب ایران

علی اسعدی[1*]، جواد هنرمند[1]، علی رحمانی[2] و علیرضا رئیسی[2]

۱ پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده علوم زمین، تهران
۲ مدیریت برنامه‌ریزی تلفیقی شرکت نفت ایران، تهران

نویسنده مسئول: assadia@ripi.ir

دریافت: ۹۵/۲/۱۱ پذیرش: ۹۵/۶/۳۱

چکیده

رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی عمدتا توسط مطالعات دقیق پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها و رخنمون‌ها شناسایی و تفسیر می‌شوند. تمرکز این تحقیق، بر شناسایی رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی از طریق مفهوم رخساره لاگ‌ها در بخش مخزنی سازند سروک در یکی از میادین بزرگ ناحیه دشت آبادان واقع در جنوب‌غرب ایران می‌باشد. به منظور رسیدن به این هدف، از یک رویکرد سه مرحله به صورت زیر استفاده شده است. ابتدا مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی و توصیف مغزه‌ها به منظور شناسایی فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی در یک چاه کلیدی با ۲۶۰ متر مغزه و ۷۶۰ مقطع نازک میکروسکوپی صورت گرفته است. آنالیز رخساره‌ای منجر به شناسایی ۱۲ میکروفاسیس در شش کمربند رخساره‌ای لاگون، شول، رودیست بایوستروم، شیب حوضه و بخش کم عمق و عمیق دریای باز گردید. بر اساس این نتایج به نظر می‌رسد که توالی مورد مطالعه، در یک پلاتفرم شلف کربناته نهشته شده است. فرآیندهای دیاژنزی شامل میکرایتی شدن، زیست آشفتگی، تبلور مجدد، سیمانی شدن، انحلال، تراکم و شکستگی توالی سازند سروک را پس از نهشته شدن تحت تاثیر قرار داده است. در این مطالعه به منظور مقایسه بهتر توزیع فرآیندهای دیاژنزی و رخساره لاگ‌ها، رخساره‌های دیاژنزی معرفی شده است. سه رخساره دیاژنزی منطبق بر توالی‌های با انحلال و سیمانی شدن پایین (رخساره ۱)، انحلال بالا (رخساره ۲) و سیمانی شدن بالا (رخساره ۳) معرفی گردیده است. سپس پنج رخساره لاگ توسط روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی شناسایی شد. مقایسه نتایج توزیع رخساره لاگ‌ها با تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی، انطباق بالای بین ناهمگنی‌های زمین‌شناسی با ویژگی‌های پتروفیزیکی را نشان داد. در نهایت در چاه‌های فاقد مغزه پس از مشخص شدن ارتباط توزیع رخساره لاگ‌ها با رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی، این پارامترهای مهم زمین‌شناسی شناسایی شده است. رویکرد مورد استفاده در این مطالعه در نشان دادن ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی مخزن سروک در میدان مورد مطالعه کارآمد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مخزن سروک، دشت آبادان، رخساره‌های رسوبی، رخساره‌های دیاژنزی، رخساره لاگ

مقدمه

درک و پیش‌بینی توزیع خصوصیات مخزنی کربنات‌ها به دلیل تغییرات گسترده رخساره‌ای و تاثیر فرآیندهای دیاژنزی متنوع، پیچیده و دشوار می‌باشد [۲۶، ۴۸، ۴۹، ۵۷]. کیفیت مخزنی مخازن کربناته توسط پارامترهای به هم مرتبط مختلفی از قبیل رخساره‌های رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی و شکستگی‌ها کنترل می‌شود [۹، ۳۴، ۴۱]. شناسایی و درک توزیع رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی، در مطالعات جامع مخزنی ضروری می‌باشد. این پارامترها، معمولا توسط پتروگرافی مقاطع نازک و توصیف مغزه‌ها و نیز مطالعه رخنمون‌ها مشخص می‌شوند. مغزه‌ها عموما محدود به چاه‌های کلیدی میدان بوده و به صورت ناپیوسته در دسترس می‌باشند. بنابراین به منظور آگاهی از تغییرات رخساره‌ای و توزیع فرآیندهای دیاژنزی در محدوده میدان، ناگزیر به استفاده از شواهد و داده‌های غیر مستقیم می‌باشیم. نمودارهای پتروفیزیکی منبع اصلی اطلاعات زیر سطحی و ارزیابی مخازن هیدروکربنی می‌باشند. این داده‌ها، به صورت غیر مستقیم اطلاعات ارزشمندی در زمینه خصوصیات سنگ و سیال فراهم می‌کنند [۱۱، ۴۳، ۴۷]. بنابراین مرتبط کردن رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی شناسایی شده به نمودارهای پتروفیزیکی، به دلیل فراهم بودن آن‌ها در بیش‌تر چاه‌های قائم و انحرافی، ارزشمند و کاربردی می‌باشد [۳۳]. در گذشته نیز به صورت دستی و بر اساس

شکل ظاهری نمودارهای پتروفیزیکی مختلف به ویژه نمودار گاما، شناسایی رخساره‌ها انجام شده است [۵۱]. به منظور استفاده کاربردی از نمودارهای پتروفیزیکی در مطالعات و ارزیابی مخزن، از مفهوم رخساره لاگ یا رخساره الکتریکی[1] استفاده می‌شود. رخساره لاگ به پاسخ مجموعه‌ای از نمودارهای پتروفیزیکی گفته می‌شود، که از طریق آن می‌توان واحدهای رسوبی مختلف را از هم تفکیک نمود [۵۴]. هر رخساره لاگ از نظر تغییرات نمودارهای مورد استفاده، همگن و نسبت به سایر رخساره‌ها متفاوت می‌باشد [۱۶]. به منظور تعیین رخساره لاگ‌ها، از نمودارهای پتروفیزیکی و خوشه‌بندی آن‌ها بر اساس روش‌های آماری و روش‌های هوشمند استفاده می‌شود. روش‌های مختلف نظارتی[2] و برای خوشه‌بندی و تعیین رخساره لاگ‌ها معرفی شده است [۱۲، ۳۲، ۳۳، ۴۷، ۵۱، ۶۲]. روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی[4] یکی از روش‌های غیرنظارتی رایج در تعیین رخساره لاگ‌ها می‌باشد [۱۶، ۲۹] که بر اساس تعیین محل برش بر روی درخت خوشه‌ای[5]، داده‌ها را خوشه‌بندی می‌کند. تغییرات مقادیر نمودارهای چاه‌پیمایی وابسته به ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی بوده، و استفاده از آن‌ها در مفهوم رخساره لاگ می‌تواند در شناسایی و تفکیک رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی استفاده شود. بنابراین با برقراری ارتباط بین رخساره لاگ‌ها با رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی، می‌توان در چاه‌هایی که تنها نمودارهای پتروفیزیکی در دسترس است تفسیری از تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی ارائه نمود. به منظور برقراری این ارتباط، ضروری است که ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی در تعیین تعداد بهینه رخساره لاگ‌ها در نظر گرفته شود. در صورتی که بتوان رخساره لاگ‌ها را بر اساس توزیع رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی تفسیر کرد، می‌توان از آن‌ها به منظور مدل‌سازی رخساره‌ای و دیاژنزی در مدل‌سازی استاتیک مخزن استفاده نمود. تلفیق مطالعات زمین‌شناسی با رخساره لاگ‌ها می‌تواند منجر به سرشت‌نمایی بهتر مخازن کربناته ناهمگن و پیچیده شود. سیمانی شدن و انحلال به عنوان مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی همراه با تاثیر رخساره‌های اولیه، مهم‌ترین عوامل کنترل کننده سیستم منافذ و کیفیت مخزنی سازند سروک در میدان مورد مطالعه می‌باشند. هدف از این مطالعه شناسایی ارتباط بین رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی با رخساره لاگ‌ها و تفسیر آن‌ها در چاه‌های فاقد مغزه می‌باشد.

زمین‌شناسی منطقه و چینه‌شناسی

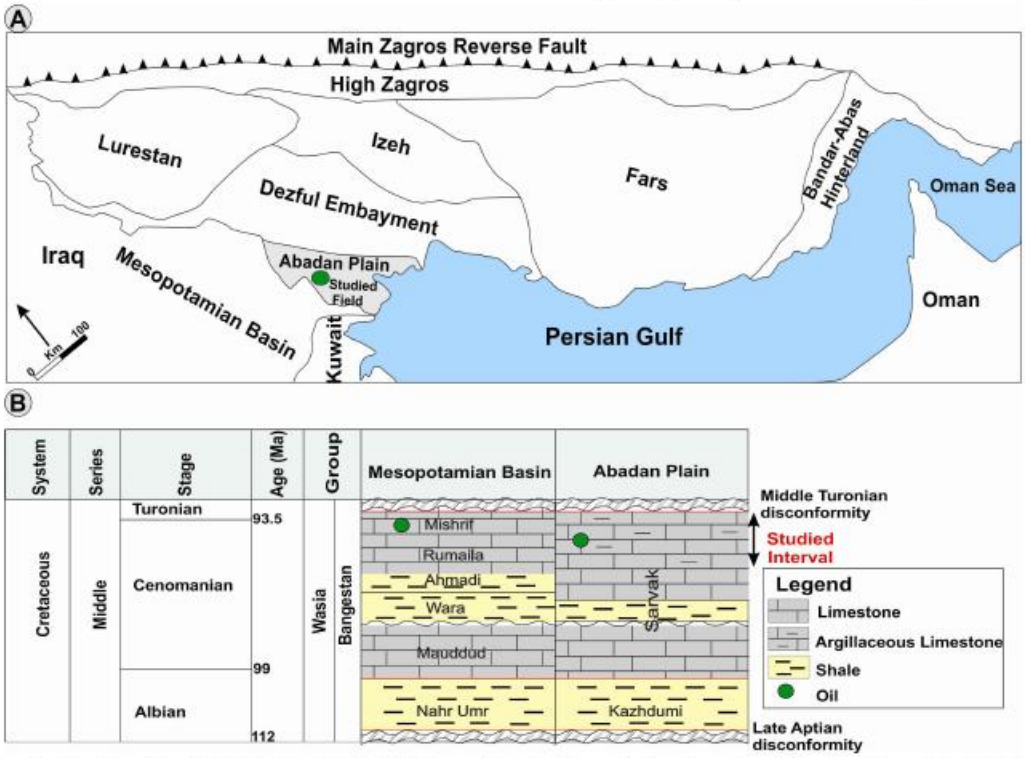
میدان مورد مطالعه در غرب زون ساختاری دشت آبادان و در حد فاصل دو ناحیه مهم هیدروکربنی دنیا، شامل دزفول فروافتاده و حوضه مزوپوتامین عراق واقع است (شکل ۱-A). دشت آبادان بخش شمال شرقی صفحه عربی محسوب می‌شود و ویژگی‌های زمین‌شناسی آن شباهت زیادی با صفحه عربی (به ویژه حوضه مزوپوتامین عراق) نشان می‌دهد [۴]. این ناحیه، یک منطقه هموار، مسطح و بدون رخنمون سازندها می‌باشد که تنها اطلاعات حاصل از حفاری چاه‌ها و داده‌های ژئوفیزیکی به منظور شناخت ویژگی‌های مختلف زمین‌شناسی مهندسی منطقه در دسترس می‌باشد [۴، ۵]. میادین بزرگ و عظیم ناحیه دارای روند شمالی-جنوبی است و تصور می‌شود که شکل‌گیری آن‌ها مرتبط با فعالیت مجدد گسل‌های پی‌سنگی قدیمی و تکتونیک نمک، ناشی از پسته شدن نئوتتیس باشد [۴، ۵، ۷، ۱۴، ۳۱، ۵۲].

توالی کرتاسه خاورمیانه می‌تواند به سه چرخه تکتونیکی-رسوبی بزرگ از قدیم به جدید شامل، کرتاسه زیرین (نئوکومین-آپتین)، کرتاسه میانی (آلبین-تورونین) و کرتاسه بالایی (کونیاسین-ماستریشتین) بر اساس دو ناپیوستگی ناحیه‌ای آپتین پسین و تورونین میانی تقسیم شود [۸، ۹، ۵۰، ۵۵]. توالی آلبین-تورونین شامل دو سازند کژدمی و سروک و معادل‌های آن‌ها در صفحه عربی است که بخش بالایی سکانس بزرگ مقیاس ناحیه‌ای AP8 را تشکیل می‌دهد (شکل ۱-B) [۵۶]. این چرخه رسوبی، خود یک سکانس رده دوم بزرگ مقیاس است که سازند کژدمی سیستم تراکت پیشرونده[6] و سازند سروک سیستم تراکت فرازین[7] آن در نظر گرفته می‌شود [۵۶]. در طی کرتاسه میانی آب و هوا گرم و مرطوب بوده و پلیت عربی تقریبا در موقعیت ۱۰ درجه استوا واقع بوده

[1] Log facies or electrofacies
[2] Supervise
[3] Non-Supervise
[4] Hierarchical Clustering
[5] Dendrogram
[6] Transgressive systems tract (TST)
[7] Highstand systems tract (HST)

است [۱۶، ۲۷، ۴۲، ۵۵، ۶۳]. در طی زمان پرمین پسین تا سنومانین میانی، بخش شمال شرقی صفحه عربی در حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار داشته است [۵۶]. در زمان سنومانین بالایی با شروع بسته شدن نئوتتیس و فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر صفحه ایران مرکزی، حاشیه غیرفعال قاره‌ای به فعال تبدیل گردیده است [۷، ۲۴، ۵۳، ۵۶]. شواهد این رویدادها توسط جاگیری افیولیت‌ها در حاشیه پوسته قاره‌ای در زاگرس و عمان قابل شناسایی است [۷].

سازند سروک در برش نمونه واقع در تاقدیس بنگستان، با مرز تدریجی بر روی سازند کژدمی قرار دارد و توسط سازند گورپی با مرز ناپیوسته پوشیده می‌شود [۲]. در ناحیه دشت آبادان، یک لایه آهک آرژیلیتی-شیلی با ضخامت حدود ۱۰-۱۵ متر، دو سازند سروک و ایلام را از هم تفکیک می‌کند. این افق که از آن با نام سازند یا بخش لافان یاد می‌شود به سمت دزفول فروافتاده ناپدید می‌شود و بنابراین در میادین دزفول فروافتاده تفکیک دو توالی کربناته سروک و ایلام دشوار می‌باشد. در میدان فاتح در امارات مرز بین سازند لافان و میشریف با یک لایه ناپیوسته سیلیسی به شدت هوازده مشخص می‌شود [۲۸]. بنابراین بر اساس ناپیوستگی موجود در مرز سازند سروک با افق لافان، ارتباط این توالی با سازند ایلام بیش‌تر است و به نظر می‌رسد که شروع رسوب‌گذاری در سانتونین پس از رخداد ناپیوستگی تورونین میانی، با آهک‌های آرژیلیتی- شیلی همراه بوده است.



شکل ۱. A) زون‌های ساختاری مختلف جنوب غرب ایران و موقعیت میدان مورد مطالعه در ناحیه دشت آبادان نشان داده شده است [۲]. B) ستون چینه‌شناسی توالی کرتاسه میانی (آلبین-تورونین) ناحیه دشت آبادان و حوضه مزوپوتامین عراق نشان داده شده است [۱۳].

داده‌ها و روش مطالعه

این پژوهش بخشی از یک مطالعه جامع مخزنی می‌باشد که در آن تاریخچه رسوب‌گذاری، فرآیندهای دیاژنزی و کیفیت مخزنی سازند سروک در یکی از میادین بزرگ ناحیه دشت آبادان مورد بررسی قرار گرفته است. با هدف شناسایی ارتباط بین رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی با توزیع رخساره لاگ‌ها، از داده‌های ۴ چاه کلیدی استفاده شده است. ابتدا یک چاه کلیدی با ۲۶۵ متر مغزه و ۷۶۰ مقطع نازک به منظور شناسایی این ویژگی‌ها استفاده شده است. به منظور مطالعات کانی‌شناسی (تفکیک کلسیت از دولومیت) تمام نمونه‌ها با محلول آلیزارین قرمز با استفاده از روش استاندارد [۱۵] رنگ‌آمیزی

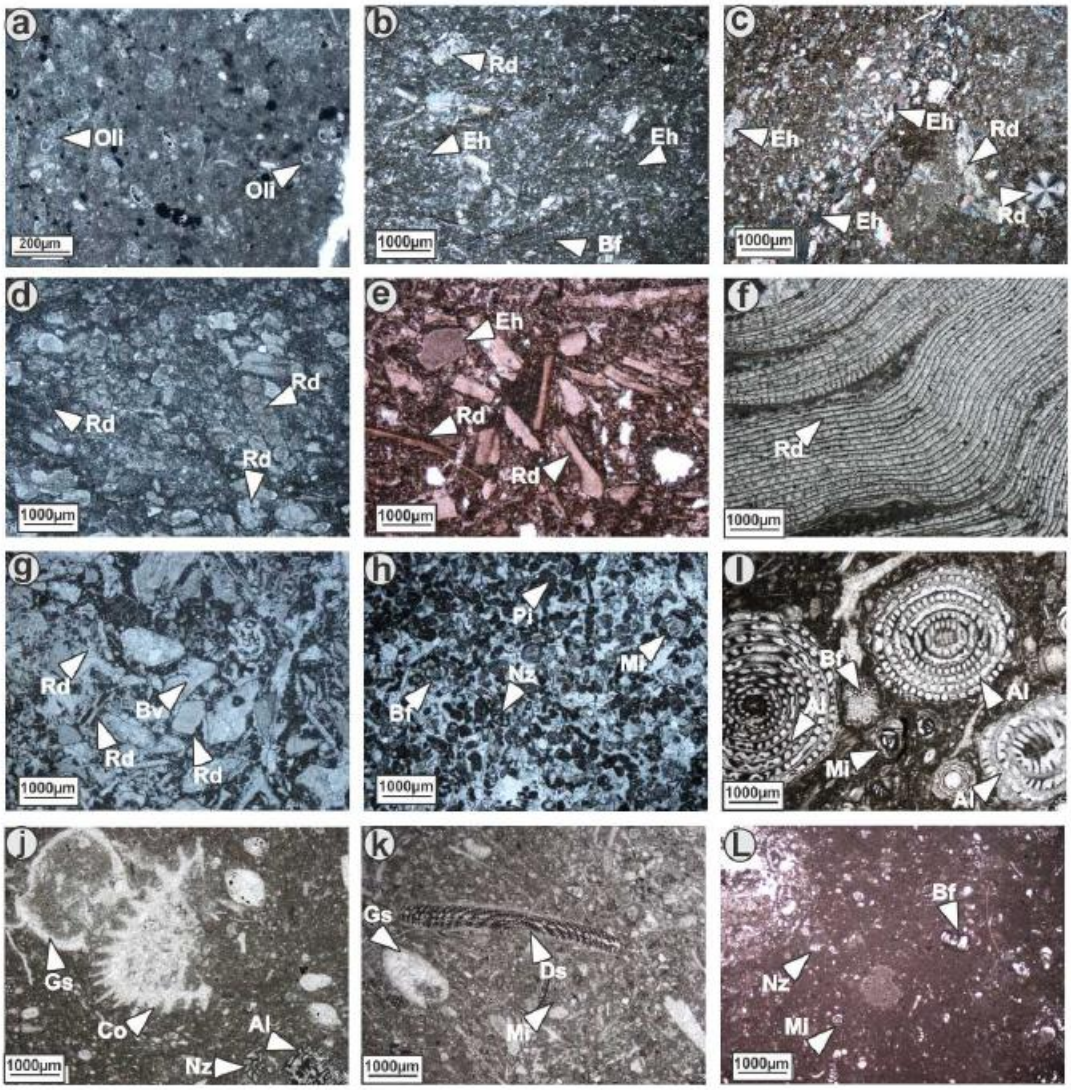
شده‌اند. علاوه براین با هدف ارزیابی بهتر سیستم منافذ و تفکیک تخلخل و انواع آن، به ۶۰ نمونه چسب اپوکسی آبی‌رنگ[1] تزریق گردید. در توصیف مغزه‌ها، سنگ‌شناسی، بافت، نوع تخلخل، اجزاء سازنده و فرآیندهای دیاژنزی مورد بررسی قرار گرفت. در پتروگرافی مقاطع نازک، لیتولوژی، فرآیندهای دیاژنزی، نوع منافذ، بافت، اجزاء اسکلتی و غیر اسکلتی، جورشدگی و اندازه اجزاء توصیف گردید. با هدف مقایسه بهتر ارتباط ویژگی‌های رخساره‌ای با مفهوم رخساره لاگ‌ها، از کمربندهای رخساره‌ای برای مقایسه استفاده شده است.

علاوه براین با هدف کمی کردن تاثیر فرآیندهای دیاژنزی در توالی مورد مطالعه، از گروه‌بندی توزیع فرآیندهای دیاژنزی در قالب رخساره‌های دیاژنزی استفاده شده است. با توجه به اهمیت فرآیندهای دیاژنزی انحلال و سیمانی شدن بر ویژگی‌های مخزنی سازند سروک، رخساره‌های دیاژنزی بر مبنای توزیع این فرآیندها معرفی شده است. به منظور تعیین رخساره لاگ‌ها از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده و پنج نمودار پتروفیزیکی اصلی شامل نمودار گاما[2]، صوتی[3]، نوترون[4]، چگالی[5] و مقاومت زون دست نخورده[6] به عنوان نمودارهای ورودی در مدل‌سازی رخساره لاگ استفاده شده است. تعداد رخساره لاگ‌ها، بر اساس ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی و نیز درخت خوشه‌ای تعیین گردیده است. سپس هر رخساره لاگ بر اساس توزیع مقادیر نمودارهای مورد استفاده در خوشه‌بندی توصیف شده است. علاوه براین به منظور بررسی ارتباط بین رخساره لاگ‌ها و رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی، گسترش هرکدام آن‌ها در هر رخساره لاگ مشخص گردیده است. در پایان در چاه‌های فاقد مغزه، از طریق رخساره لاگ‌های شناسایی شده، گسترش کمربندهای رخساره‌ای و زون‌های دیاژنزی پیش‌بینی شده است.

رخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای

شناسایی رخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای یکی از بخش‌های اصلی مطالعه زمین‌شناسی مخزن در مطالعات جامع مخزنی می‌باشد [۶، ۱۷، ۳۴، ۳۵، ۳۹، ۴۱]. توصیف رخساره‌ای سازند سروک به صورت دقیق در مطالعات گذشته صورت گرفته در بخش‌های مختلف زاگرس و خلیج فارس ارائه گردیده است [۲۱، ۳۸، ۳۹، ۴۴، ۴۶]. در این مطالعه با استفاده از مطالعات دقیق پتروگرافی، فراوانی آلوکم‌ها، ارتباط عمودی رخساره‌های میکروسکوپی و مقایسه با رخساره‌های استاندارد [۱۹، ۶۱]، ۱۲ رخساره شناسایی گردیده است. این رخساره‌ها در قالب شش کمربند رخساره‌ای اصلی شامل لاگون، شول، رودیست بایوستروم، شیب، دریای باز کم عمق و دریای باز عمیق تفسیر گردید (جدول ۱- شکل ۲). بر اساس فراوانی رودیست‌ها به صورت اجزاء سالم تا خرد شده، تغییرات گسترده رخساره‌ای به صورت جانبی و عمودی، توسعه رخساره‌های لاگونی و وجود رخساره‌های واریزه‌ای متعلق به شیب حوضه، یک مدل پلاتفرم شلف لبه‌دار برای نهشت بخش بالایی سازند سروک در میدان مورد مطالعه در ناحیه دشت آبادان ارائه گردید (شکل ۳). این مدل توزیع رخساره‌ای منطبق با مطالعات گذشته انجام شده در حوضه مزوپوتامین عراق و مدل رسوبی پیشنهادی برای سازند میشریف است [۳۵، ۳۶، ۵۰]. توسعه توده‌های رودیستی[7] به صورت بایوستروم‌ها، تحولات تکتونیکی و تغییر حاشیه غیر فعال قاره‌ای به فعال، تغییرات گستره رخساره‌ای به صوت جانبی و عمودی و رخساره‌های واریزه رودیستی گسترده، همگی شواهدی می‌باشند که توسعه پلاتفرم شلف کربناته را برای بخش بالایی سازند سروک در میدان مورد مطالعه تایید می‌کند [۱۱]. در بین کمربندهای رخساره‌ای مختلف، رخساره‌های شیب حوضه که از آن‌ها با عنوان رخساره‌های واریزه رودیستی نام برده می‌شود بهترین زون‌های مخزنی سازند سروک می‌باشند که در نمونه‌های مغزه نفت آغشتگی و تخلخل بالایی نشان می‌دهند. ریز رخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌شناسی سکانسی سازند سازند سروک در میدان مورد مطالعه، در مطالعات گذشته به صورت دقیق توصیف و ارائه گردیده است [۳، ۱۱]. با توجه به اینکه یکی از اهداف این مطالعه شناسایی ارتباط کمربندهای رخساره‌ای با توزیع رخساره لاگ‌ها می‌باشد از توصیف و معرفی جامع آن‌ها خوداری می‌شود.

[1] Blue-Dyed Epoxy
[2] GR
[3] DT
[4] NPHI
[5] RHOB
[6] LLD
[7] Rudist buildups



شکل ۲. مقاطع نازک میکروسکوپی از میکروفاسیس‌های شناسایی شده در توالی مخزنی سازند سروک. a) مادستون-وکستون با فرامینیفرهای پلاژیک (میکروفاسیس ۱)، b) وکستون دارای فرامینیفرهای بنتیک و پلاژیک (میکروفاسیس ۲)، c) پکستون بایوکلاستی اکینودرم‌دار (میکروفاسیس ۳)، d) پکستون-وکستون دارای اجزاء فسیلی حمل شده (میکروفاسیس ۴)، e) رودستون-فلوتستون واریزه رودیستی (میکروفاسیس ۵)، f) رودستون بایوکلاستی رودیست‌دار (میکروفاسیس ۶)، g) گرینستون بایوکلاستی رودیست‌دار (میکروفاسیس ۷)، h) گرینستون بایوکلاستی ریزدانه (میکروفاسیس ۸)، i) پکستون بایوکلاستی آلوئولین‌دار (میکروفاسیس ۹)، j) پکستون-وکستون بایوکلاستی دارای جلبک و مرجان (میکروفاسیس ۱۰)، k) وکستون-فلوتستون بایوکلاستی دارای فرامینیفرهای بنتیک (میکروفاسیس ۱۱)، l) مادستون میلیولیددار (میکروفاسیس ۱۲). تصاویر a-b-c در xpl و سایر تصاویر در ppl تهیه شده است. علایم اختصاری (Oli: الیگوستژین، Eh: اکینودرم، Rd: رودیست، Bv: دوکفه‌ای، Bf: فرامینیفرهای بنتیک، Pi: پلوئید، Nz: نزازاتا، Mi: میلیولید، Al: آلوئولین، Gs: گاستروپود، Co: مرجان، Ds: دایسیکلینا)

فرآیندهای دیاژنزی

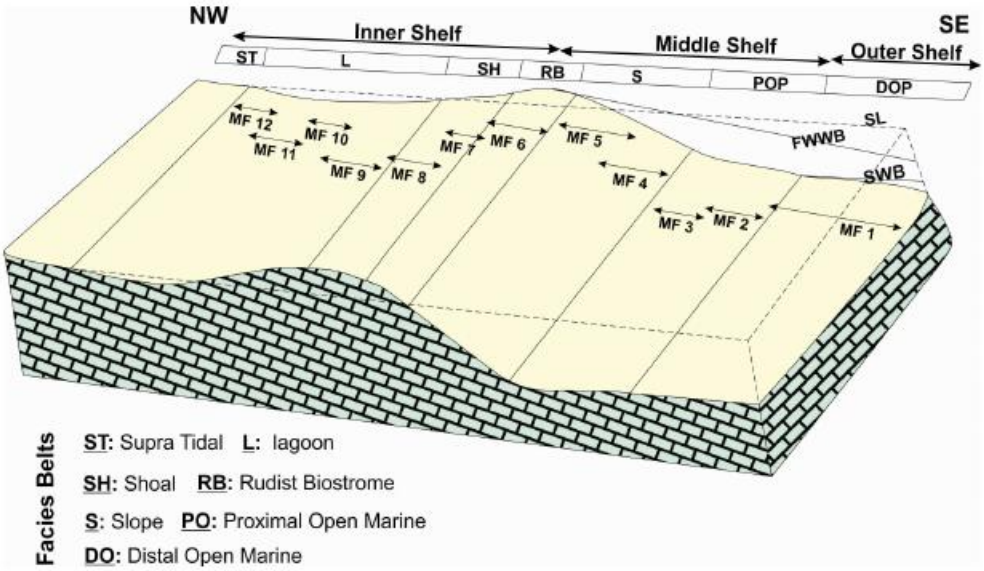
کربنات‌ها از نظر کانی‌شناسی ناپایدار بوده و می‌توانند تحت تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مختلفی پس از رسوب‌گذاری قرار گیرند [۶، ۸، ۱۰، ۵۰، ۵۹]. در این مطالعه به منظور بررسی فرآیندهای دیاژنزی از پتروگرافی مقاطع نازک و توصیف مغزه‌ها استفاده شده است.

فرآیندهای دیاژنزی شناسایی شده شامل میکرایتی شدن، زیست آشفتگی، سیمانی شدن، دولومیتی و ددولومیتی شدن، انحلال، تراکم فیزیکی و شیمیایی، شکستگی، سیلیسی شدن و پیریتی شدن می‌باشند. توصیف جامع رخداد فرآیندهای دیاژنزی در مطالعه صورت گرفته توسط اسعدی و همکاران [۱] ارائه گردیده است . در

شکل ۴ برخی از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر بخش بالایی سازند سروک نشان داده شده است. این فرآیندهای دیاژنزی در سه محیط دیاژنزی اصلی شامل دریایی، متئوریک و تدفینی رخ داده‌اند. تاثیر دیاژنز دریایی توسط فرآیندهای میکرایتی شدن، زیست آشفتگی و تشکیل سیمان‌های دریایی شناسایی می‌شود. عموما سیمان‌های دریایی تحت تاثیر فرآیندهای دیاژنز متئوریک و یا تدفینی جانشین یا شکل آن‌ها مبهم گردیده است. در طی دیاژنز متئوریک انحلال و شکل‌گیری تخلخل‌های تبعیت کننده و غیر تبعیت کننده از فابریک، سیمانی شدن، تبلور مجدد، دولومیتی شدن زون مخلوط، ددولومیتی شدن، پرشی شدن و کارستی شدن رخ داده است. توسعه رگچه‌های انحلالی، استیلولیت‌ها، شکستگی‌ها، دولومیت‌های وابسته به استیلولیت‌ها، سیمان‌های درشت بلور بلوکی، سیلیسی شدن و پیریتی شدن به عنوان مهم‌ترین شواهد مرتبط با دیاژنز تدفینی شناخته می‌شود. دیاژنز متئوریک و فرآیندهای ناشی از آن، نقش مهمی در تغییرات کیفیت مخزنی سازند سروک و معادل‌های آن در صفحه عربی داشته است [۱۰، ۱۸، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۳۵، ۳۹، ۴۰، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۵۸، ۶۰].

جدول ۱. رخساره‌های میکروسکوپی (میکروفاسیس‌ها) و خصوصیات رسوبی آن‌ها شامل اندازه دانه‌ها، جورشدگی، اجزای اسکلتی و غیراسکلتی، سطح انرژی و کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده به صورت خلاصه توصیف شده است.

شماره	میکروفاسیس	اندازه دانه ها	جورشدگی	اجزاء		انرژی محیط	کمربند رخساره‌ای
				اسکلتی	غیر اسکلتی		
۱	مادستون وکستون با فرامینیفرها پلاژیک	لوتایت	_	فرامینیفرهای پلانکتونیک مختلف (ف)، اسپیکول اسفنج (ف)، خرده‌های اکینودرم (ن)	_	خیلی پایین	دریای باز عمیق
۲	وکستون دارای فرامینیفرهای بنتیک و پلاژیک	آرنایت	متوسط	الیگوستژین (ر)، روتالیا (ر)، دایسیکلیتا (ر)، نزازاتا (ن)، خرده های اکینودرم (ف)، خرده های رودیست و دوکفه ای (ر)، اسپیکول اسفنج (ن)	پلوئید (ر)	متوسط پایین	دریای باز کم عمیق
۳	پکستون بایوکلاستی اکینودرم‌دار	آرنایت	متوسط	اکینودرم (ف)، بریوزوئرها (ر)، خرده های رودیست و دوکفه ای (ر)، آلوئولین (ن)	پلوئید (ن)	متوسط پایین	دریای باز کم عمیق
۴	پکستون وکستون دارای اجزاء فسیلی حمل شده	رودایت	ضعیف	خرده های رودیست (ف)، بریوزوئرها (ر)، اکینودرم (ر)، خرده های دوکفه ای (ر)، آلوئولین (ن)، رودیست (ن)	پلوئید (ر) ایتتراکلست (ر)	متوسط بالا	شیب
۵	رودستون فلوتستون واریزه رودیستی	رودایت	ضعیف	خرده های رودیست (ف)، اکینودرم (ف) ، دوکفه ای (ر)، بریوزوئرها (ر)، رودیست (ن)	_	متوسط بالا	شیب
۶	رودستون بایوکلاستی رودیست‌دار	آرنایت رودایت	متوسط	رودیست(ف)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)، اکینودرم (ر)، خرده‌های رویست و دوکفه‌ای (ر)	پلوئید (ن)	بالا	رودیست بایوستروم
۷	گریستون- بایوکلاستی رودیست- دار	آرنایت	خوب	خرده‌های رودیست و دوکفه‌ای (ف)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)، اکینودرم(ر)	پلوئید (ر)	بالا	شول
۸	گریستون بایوکلاستی ریزدانه	لوتایت	خوب	میلیولید (ف)، فرامینیفرهای بنتیک کوچک (ف) ، فرامینیفرهای بنتیک بزرگ (ن)	پلوئید (ف)	بالا	شول
۹	پکستون بایوکلاستی آلوئولین‌دار	آرنایت	متوسط	آلوئولین (ف)، کریزالیدین (ر)، اوربیتولین (ر)، میلیولید (ر)، گاستروپود (ر)، دایسیکلیتا (ر)، جلبک (ر)	پلوئید (ر)	متوسط	لاگون
۱۰	پکستون وکستون بایوکلاستی دارای جلبک و مرجان	آرنایت رودایت	ضعیف	آلوئولین (ف)، مرجان (ف)، خرده های رودیست و دوکفه ای (ف)، کریزالیدین (ر)، گاستروپود (ر)، جلبک (ر)، نزازاتا (ن)، میلیولید (ن)	پلوئید (ن)	متوسط	لاگون
۱۱	وکستون فلوتستون بایوکلاستی دارای فرامینیفرهای بنتیک	آرنایت	متوسط	فرامینیفرهای بنتیک کوچک (ف)، گاستروپود (ف)، مرجان (ر)، خرده‌های رودیست و دوکفه‌ای (ر)، فرامینیفرهای بنتیک بزرگ (ر)	_	متوسط	لاگون
۱۲	مادستون میلیولید دار	لوتایت	متوسط	میلیولید (ف)، تکستولاریا (ر)، اسپیکول اسفنج (ر)، استراکود (ر)، فرامینیفرهای بنتیک بزرگ (ن)، خورده های رودیست (ن)	_	خیلی پایین	لاگون



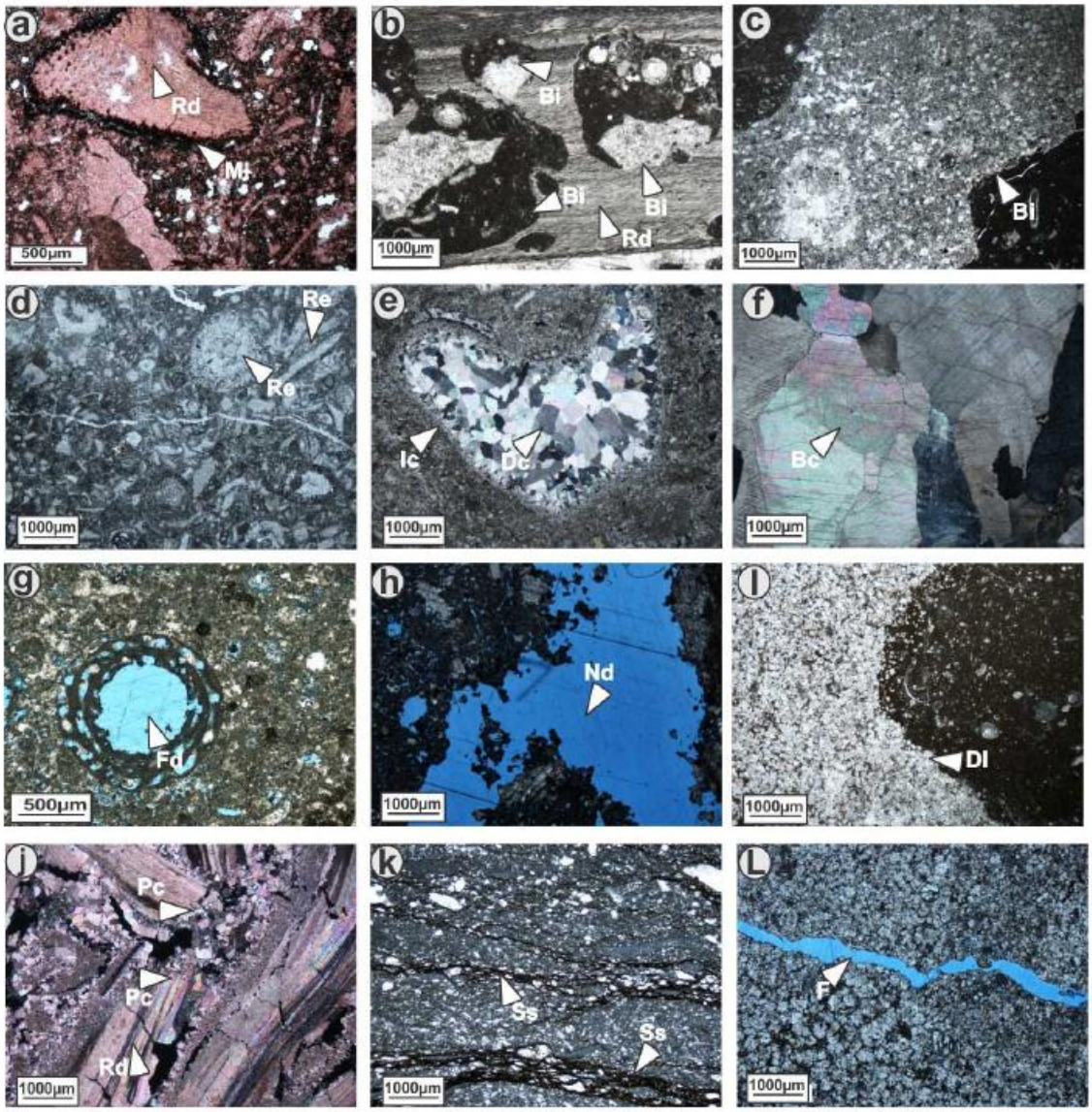
شکل ۳. مدل رسوبی پیشنهادی شلف لبه‌دار برای بخش مخزنی سازند سروک در میدان مورد مطالعه همراه با توزیع میکروفاسیس‌ها نشان داده شده است. در شکل (FWWB : سطح آب در شرایط آرام، SWB: سطح آب در شرایط توفانی)

رخساره دیاژنزی

به صورت کلی مفهوم رخساره دیاژنزی برای ارزیابی و توصیف توالی‌های کربناته یا ماسه‌سنگی با ویژگی‌های مشخص دیاژنزی استفاده می‌شود [۲۰، ۶۴]. رخساره‌های دیاژنزی می‌تواند در سه گروه رخساره‌های با تاثیر مثبت، منفی و یا ناچیز از دیدگاه تاثیر بر ویژگی‌های مخزنی گروه‌بندی شود. با توجه به اهمیت بالای فرآیندهای دیاژنزی سیمانی شدن و انحلال به عنوان مهم‌ترین عوامل کنترل کننده سیستم منافذ و کیفیت مخزنی سازند سروک، این دو پارامتر به عنوان پارامترهای اصلی معرفی رخساره‌های دیاژنزی استفاده شده است. بنابراین سه رخساره دیاژنزی اصلی شامل توالی‌های با تاثیر ناچیز فرآیندهای انحلال و سیمانی شدن (رخساره دیاژنزی ۱)، توالی‌های با انحلال بالا (رخساره دیاژنزی ۲) و توالی‌های با سیمانی شدن بالا (رخساره دیاژنزی ۳) تفکیک شده است. این رخساره‌ها بر اساس غالب بودن فرآیندها معرفی شده‌اند و ممکن است در هر کدام از آن‌ها مجموعه‌ای از فرآیندهای دیاژنزی مختلف رخ داده باشد. هرکدام از رخساره‌های دیاژنزی به صورت خلاصه در زیر معرفی شده است.

رخساره دیاژنزی ۱: اینتروال‌های مخزنی مرتبط با این رخساره دیاژنزی، توسط تاثیر ناچیز فرآیندهای سیمانی شدن و انحلال و در مقابل تاثیر عمده فرآیندهای زیست آشفتگی، میکرایتی شدن، تراکم فیزیکی یا شیمیایی مشخص می‌شود. بنابراین بخش‌هایی از سازند سروک که این رخساره دیاژنزی را در بر می‌گیرد سیستم منافذ و کیفیت مخزنی آن‌ها به میزان زیادی تحت تاثیر رخساره‌ها و فرآیندهای رسوبی تشکیل و حفظ شده است. این رخساره دیاژنزی با توجه به عدم گسترش فرآیندهای انحلال و سیمانی شدن تاثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر ویژگی‌های مخزنی نشان نمی‌دهد. این رخساره در چاه کلیدی مورد مطالعه در بازه‌های عمقی ۳۹۸۲-۳۹۹۶، ۴۱۲۵-۴۱۳۸ و ۴۲۱۰-۴۲۱۸ مشاهده می‌شود (شکل ۷). بیش‌ترین توسعه آن درکمربندهای رخساره‌ای لاگون و دریای باز مشاهده می‌شود.

رخساره دیاژنزی ۲: این رخساره دیاژنزی توسط تاثیر قابل‌ملاحظه انحلال مشخص می‌شود. در اینتروال‌هایی که این رخساره توسعه دارد مهم‌ترین عامل کنترل کننده سیستم منافذ انحلال است و در برخی موارد تاثیر سایر فرآیندهای دیاژنزی توسط انحلال تعدیل گردیده است. این اینتروال‌ها تخلخل نسبتا بالایی نشان می‌دهند و در چاه کلیدی مورد مطالعه در بازه‌های عمقی ۴۰۰۰-۴۰۱۵، ۴۰۳۹-۴۰۶۳، ۴۱۰۴-۴۱۲۴، ۴۱۳۸-۴۱۵۵ و ۴۱۶۰-۴۱۹۱ مشاهده می‌شود (شکل ۷). بیش‌ترین گسترش این رخساره دیاژنزی در کمربندهای رخساره‌ای شیب حوضه، شول و دریای باز کم عمق مشاهده می‌شوند.



شکل ۴. تصاویر مقاطع نازک از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی که توالی مخزنی سازند سروک را تحت تاثیر قرار داده است. a) میکرایتی شدن، b) حفاری و زیست آشفتگی در اجزاء رودیستی، c) زیست آشفتگی و دولومیتی شدن در امتداد آن، d) تبلور مجدد در اجزاء اسکلتی، e) سیمان‌های متئوریک دروزی، f) سیمان‌های تدفینی بلوکی با خاموشی موجی، g) تخلخل قالبی تبعیت کننده از فابریک، h) تخلخل حفره‌ای غیرتبعیت کننده از فابریک، i) دولومیتی شدن، j) تراکم فیزیکی، k) تراکم شیمیایی، l) شکستگی باز. تصاویر e-j-f در xpl و سایر تصاویر در ppl تهیه شده است. علایم اختصاری (Mi: میکرایتی شدن، Rd: رودیست، Bi: زیست آشفتگی، Re: تبلور مجدد، Ic: سیمان هم ضخامت، Dc: سیمان دروزی، Bc: سیمان بلوکی، Fd: تخلخل قالبی تبعیت کننده از فابریک، Nd: تخلخل حفره‌ای غیر تبعیت کننده از فابریک، Di: دولومیتی شدن، Pc: تراکم فیزیکی، Ss: انحلال فشاری، F: شکستگی

رخساره دیاژنزی ۳: اینتروال‌های مخزنی مرتبط با این رخساره دیاژنزی به شدت تحت تاثیر فرآیند سیمانی شدن قرار گرفته‌اند. سیمانی شدن گسترده در برخی موارد سبب شکل‌گیری پخش‌های سدی در توالی مخزنی سازند سروک گردیده است. این رخساره دیاژنزی در چاه مورد مطالعه در بازه‌های عمقی ۳۹۷۰-۳۹۸۲، ۳۹۹۶-۴۰۰۰، ۴۰۱۵-۴۰۳۹، ۴۰۶۳-۴۱۰۴، ۴۱۵۵-۴۱۶۰، ۴۱۹۱-۴۲۱۰ و ۴۲۱۸-۴۲۳۵ مشاهده می‌شود (شکل ۷). کمربندهای رخساره‌ای لاگون و رودیست پایوستروم توسعه فراوانی در این رخساره دیاژنزی نشان می‌دهند. علاوه براین برخی از زون‌های واریزه رودیستی و دریای باز نیز سیمانی شدن بالایی نشان می‌دهند. ذکر این نکته

ضروری است که سیمانی شدن رخساره‌های عموما گل غالب لاگونی در سازند سروک به دلیل سیمانی شدن حفرات انحلالی موجود در قطعات اسکلتی عموما آراگونیتی و زمینه سنگ و نیز ریز شکستگی‌ها می‌باشد. توزیع فرآیندهای و رخساره‌های دیاژنزی در چاه کلیدی مورد مطالعه نشان داده شده است (شکل ۷).

رخساره لاگ‌ها

در این مطالعه به منظور تعیین رخساره لاگ‌ها از روش آنالیز خوشه‌ای به عنوان یک روش غیرنظارتی استفاده شده است. یکی از مراحل مهم در تعیین شباهت داده‌ها و انجام خوشه‌بندی محاسبه فاصله بین داده‌های برداری است [۳۰]. دو روش رایج در اندازه‌گیری فاصله بین دو نمونه بردار، روش‌های فاصله اقلیدسی[1] (معادله ۱) و فاصله اقلیدوسی استاندارد[2] (معادله ۲) می‌باشد که به صورت زیر بیان می‌شود [۳۷].

$$d^2_{rs}= (x_r-x_s)(x_r-x_s)' \quad (1)$$

$$d^2_{rs}= (x_r-x_s)\, D^{-1}(x_r-x_s)' \quad (2)$$

در معادلات بالا، d فاصله اقلیدسی و به عنوان فواصل بین بردارهای x_r و x_s، r-s مشاهدات و D ماتریس قطری می‌باشد. به منظور انجام آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌ها، انجام سه مرحله زیر ضروری می‌باشد [۳۷].

۱- یافتن شباهت‌ها یا اختلاف بین هر جفت از مشاهدات موجود در مجموعه داده‌ها از طریق محاسبه فاصله بین مشاهدات.

۲- گروه‌بندی مشاهدات به صورت دوتایی یا درخت خوشه‌بندی یا استفاده از فاصله‌ای که در مرحله قبل مشخص گردیده است. در درخت خوشه‌ای در نهایت تمام داده‌ها در یک خوشه اصلی قرار می‌گیرند.

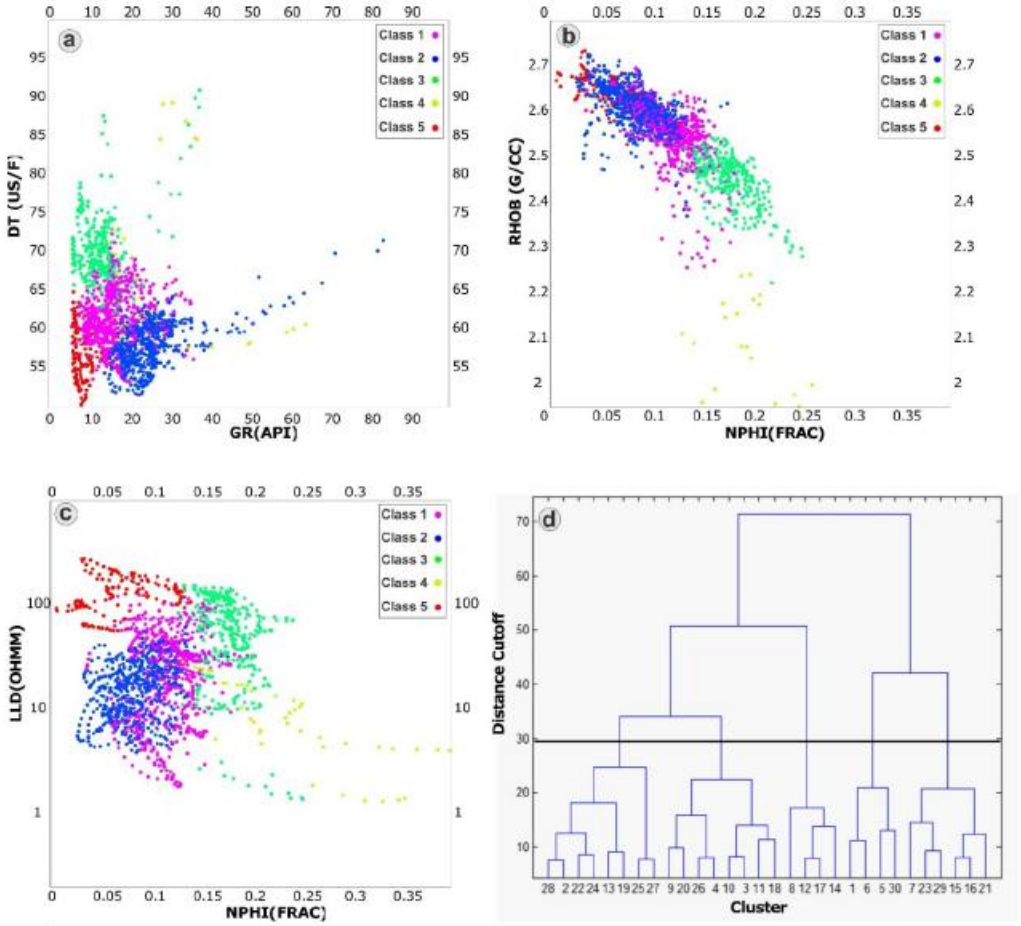
۳- تعیین محل برش بر روی درخت خوشه‌بندی بر اساس میزان ناهمگنی داده‌ها

پس انجام تصحیحات مورد نیاز بر روی نمودارهای پتروفیزیکی شامل حذف داده‌های نادرست و تطبیق نمودارهای پتروفیزیکی با مغزه‌ها در چاه کلیدی مورد مطالعه، نمودارهای پتروفیزیکی گاما، چگالی، صوتی، نوترون و مقاومت زون دست نخورده برای خوشه‌بندی انتخاب گردید. انتخاب این نمودارها در خوشه‌بندی با توجه به ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های پتروفیزیکی-زمین‌شناسی انتخاب گردیده است. چهار نمودار اصلی گاما، چگالی، صوتی و نوترون به دلیل اینکه اطلاعات ارزشمندی در زمینه سنگ‌شناسی، تخلخل، نوع هیدروکربن و ویژگی‌های زمین‌شناسی-پتروفیزیکی سنگ فراهم می‌کنند عموما در تعیین رخساره لاگ‌ها استفاده می‌شوند. نمودار مقاومت زون دست نخورده با توجه قرار گرفتن توالی مورد مطالعه در زون هیدروکربن‌دار، تغییرات آن می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در زمینه مقادیر هیدروکربن فراهم آورد. بر اساس ناهمگنی‌های رخساره‌ای - دیاژنزی و درخت خوشه‌ای، پنج رخساره لاگ مشخص گردید. نمودار شکل ۶ نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای همراه با درخت خوشه‌ای نشان داده شده است. پلات پارامترهای مورد استفاده در خوشه‌بندی نشان می‌دهد که گروه‌های رخساره‌ای تفکیک نسبتا خوبی نشان می‌دهند. به عنوان مثال رخساره لاگ ۳ توسط مقادیر بالای تخلخل نوترون، صوتی و مقاومت و نیز مقادیر نسبتا پایین چگالی و گاما مشخص می‌شود. توزیع مقادیر نمودارهای مورد استفاده در خوشه‌بندی و تفکیک مناسب هر رخساره لاگ نشان می‌دهد که روش خوشه‌بندی مورد استفاده به صورت مناسب داده‌ها را طبقه‌بندی کرده است. در جدول ۲ مقادیر میانگین پنج نمودار پتروفیزیکی گاما، چگالی، صوتی، نوترون و مقاومت در هر رخساره لاگ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر میانگین نمودارهای پتروفیزیکی مورد استفاده در آنالیز خوشه‌ای

رخساره لاگ	نمودار گاما (API)	نمودار صوتی (US/F)	نمودار نوترون (NPHI)	نمودار چگالی (RHOB)	نمودار مقاومت (LLD)
۱	۱۶/۴۳	۶۱/۹۲	۰/۱۱	۲/۵۶	۲۹/۴۴
۲	۲۴/۹۶	۵۷/۹۸	۰/۰۸	۲/۶۰	۱۸/۹۲
۳	۱۲/۰۹	۷۰/۶۲	۰/۱۷	۲/۴۵	۶۲/۴۳
۴	۲۵/۶۸	۶۶/۲۱	۰/۲۳	۱/۹۶	۱۰/۶۶
۵	۸/۴۷	۵۶/۳۰	۰/۰۷	۲/۶۲	۱۳۸/۹۰

[1] Euclidean distance
[2] Standardized Euclidean distance



شکل ۶. نمودار متقاطع پارامترهای مورد استفاده در خوشه‌بندی همراه با درخت خوشه‌ای نشان داده شده است. a) نمودار گاما در مقابل نمودار صوتی، b) نمودار تخلخل نوترون در مقابل چگالی، c) نمودار تخلخل نوترون در مقابل مقاومت زون دست نخورده، d) درخت خوشه‌ای و محل برش که بر اساس آن پنج رخساره لاگ مشخص گردیده است نشان داده شده است.

بحث

پس از معرفی رخساره‌های رسوبی، دیاژنزی و رخساره لاگ‌ها، با توجه به هدف این مطالعه، ارتباط این ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی مشخص گردیده است. با توجه به فراهم بودن نمودارهای پتروفیزیکی در بیش‌تر چاه‌های یک میدان، تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی در هر رخساره لاگ توصیف و در نهایت این رخساره‌ها در سایر چاه‌های میدان گسترش داده شده است. ذکر این نکته ضروری می‌باشد که در مخازن کربناته با توجه به ناهمگنی بالای مشاهده شده در ویژگی‌های زمین‌شناسی انتظار انطباق کامل رخساره لاگ‌ها با این پارامترهای زمین‌شناسی مرتبط با هم، منطقی نمی‌باشد. با این وجود هر رخساره لاگ به صورت کلی دارای مجموعه ویژگی‌های زمین‌شناسی مشخصی می‌باشد. ابتدا توصیف هر رخساره لاگ ارائه گردیده است.

رخساره لاگ ۱: این رخساره لاگ توسط مقادیر متوسط نمودارهای چاه‌پیمایی مشخص می‌شود. کمربندهای رخساره‌ای دریای باز کم عمق و عمیق و تا حدودی رخساره‌های لاگون، شول و شیب گسترش دارند. در مجموع تفکیک مشخصی این رخساره لاگ در ارتباط با کمربندهای دیاژنزی نشان نمی‌دهد. دو رخساره دیاژنزی ۱ و ۳ بر اساس توزیع فرآیندهای دیاژنزی قابل تفسیر می‌باشند. در مجموع در این رخساره لاگ پراکندگی نسبتا زیادی در توزیع رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی مشاهده می‌شود.

رخساره لاگ ۲: این رخساره لاگ توسط مقادیر نسبتا بالای گاما و تخلخل پایین مشخص می‌شود. این رخساره لاگ انطباق بالایی با کمربند رخساره‌ای لاگون و رودیست بایوستروم نشان می‌دهد. رودیست بایوستروم‌ها به دلیل تاثیر گسترده سیمان‌های متئوریک، کیفیت

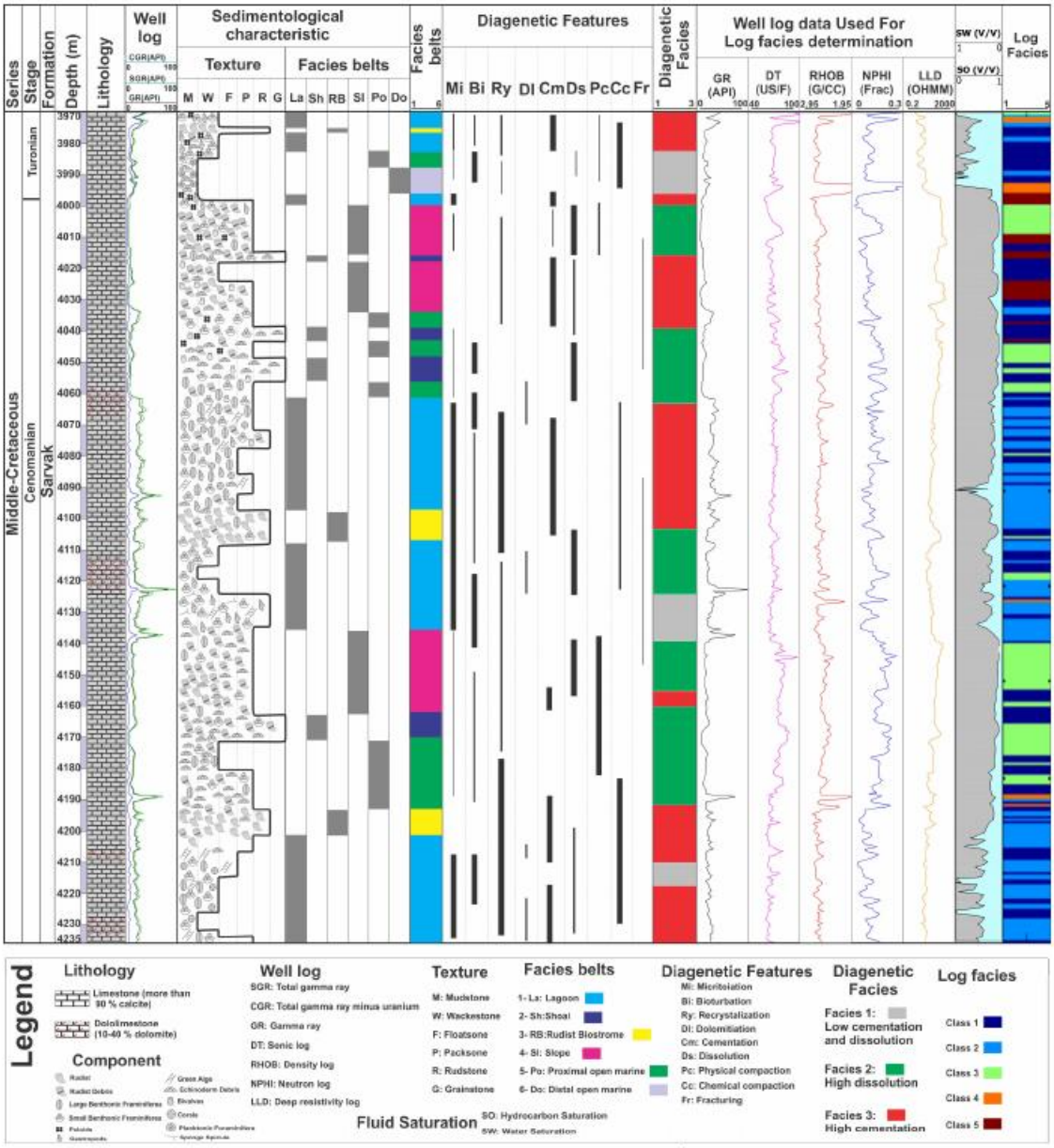
مخزنی پایینی نشان می‌دهند. این رخساره لاگ با رخساره‌های دیاژنزی ۳ و به میزان کمتر رخساره ۱ انطباق بالایی نشان می‌دهد. بنابراین فرآیندهای سیمانی شدن، میکرایتی شدن، زیست آشفتگی، تراکم فیزیکی و شیمیایی و غالب می‌باشند.

رخساره لاگ ۳: این رخساره لاگ توسط مقادیر پایین گاما و نیز مقادیر بالای تخلخل، و مقاومت شناسایی می‌شود. کمربندهای رخساره‌ای شیب حوضه و شول بیش‌ترین گسترش را در این رخساره لاگ نشان می‌دهند و نیز رخساره دیاژنزی ۲ بیش‌ترین فراوانی را نشان می‌دهد. در مجموع این رخساره لاگ می‌تواند به عنوان نشانگر اینتروال‌های با ویژگی‌های پتروفیزیکی (تخلخل-تراوایی) مناسب و کیفیت مخزنی بالا در نظر گرفته شود.

رخساره لاگ ۴: این رخساره لاگ توسط مقادیر بالای نمودار گاما، تخلخل، نمودار صوتی و نیز مقادیر پایین چگالی و مقاومت مشخص می‌شود. در مجموع می‌توان این رخساره لاگ را به بخش‌هایی که نمودارهای پتروفیزیکی پیک‌های مشخص و شدیدی نشان می‌دهند نسبت داد. کمربند رخساره‌ای دریای باز کم عمق و عمیق بیش‌ترین گسترش را دارند. علاوه بر این این موقعیت تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی شدید نیز می‌تواند توسط این رخساره لاگ تفسیر گردد. از نظر تغییرات دیاژنزی عموما محدود به توالی‌هایی می‌باشد که فرآیندهای سیمانی شدن و انحلال غالب نمی‌باشد و عموما در آن‌ها فرآیندهای زیست آشفتگی، میکرایتی شدن و تراکم غالب می‌باشد. بنابراین رخساره دیاژنزی ۱ در این رخساره لاگ غالب می‌باشد.

رخساره لاگ ۵: این رخساره لاگ توسط مقادیر پایین نمودار گاما و تخلخل و نیز مقاومت بالا مشخص می‌شود. کمربندهای رخساره‌ای شیب حوضه، شول و تا حدودی لاگون در این رخساره لاگ گسترش دارند. رخساره دیاژنزی ۳ (گسترش فرآیند سیمانی شدن) بیش‌ترین فراوانی را نشان می‌دهد. از نظر رخساره‌ای مشابه رخساره لاگ ۳ می‌باشد و تاثیر عمده فرآیند سیمانی شدن سبب تمایز آن گردیده است. بنابراین می‌توان رخساره لاگ‌های ۳ و ۵ را به بیش‌تر به توالی‌های واریزه رودیستی نسبت داد که رخساره لاگ ۳ در بخش‌های با رخساره‌های دیاژنزی ۲ و رخساره لاگ ۵ در زون‌های با رخساره دیاژنزی ۳ مشاهده می‌شوند.

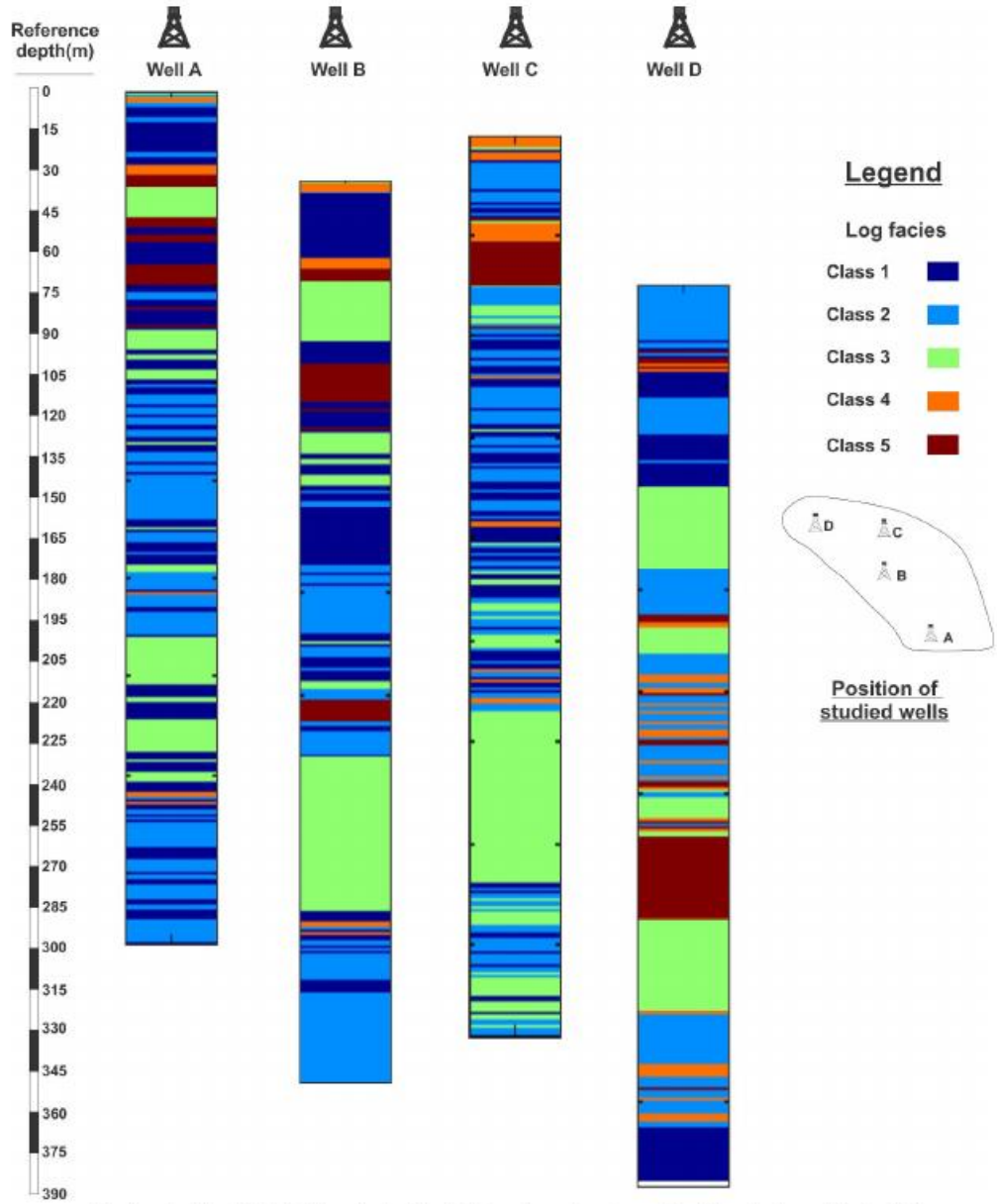
مقایسه توزیع رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی نشان می‌دهد با وجود پراکندگی، انطباق قابل قبولی بین توزیع رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی مشاهده می‌شود. به عنوان مثال زون‌های دیاژنزی با انحلال بالا در کمربندهای رخساره‌ای شیب، شول و بخش کم عمق دریایی باز گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند. در مقابل، سیمانی شدن بیش‌تر رخساره‌های لاگونی و رودیست بایوستروم‌ها را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۷). نتایج حاصل از تفسیر رخساره لاگ‌ها در چارچوب تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی مشخص نمود که بسیاری از تغییرات مشاهده شده در رخساره لاگ‌ها بر اساس تغییرات دیاژنزی-رخساره‌ای قابل تفسیر است. در جدول ۳ به صورت خلاصه رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی غالب در هر رخساره لاگ ارائه گردیده است. در حالت کلی رخساره لاگ ۳ که منطبق با رخساره‌های رسوبی واریزه رودیستی و شول‌ها و نیز رخساره دیاژنزی ۲ می‌باشد بهترین توالی‌های مخزنی را در سازند سروک در میدان مورد مطالعه تشکیل می‌دهد. پس از تفسیر هر کدام از رخساره لاگ‌ها، به منظور گسترش آن‌ها در سایر چاه‌های فاقد مغزه از مدل رخساره لاگ برای تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی در سایر چاه‌ها استفاده شده است (شکل ۸). رخساره لاگ ۳ که عموما منطبق بر زون‌های واریزه رودیستی (رخساره‌های شیب حوضه) سیمانی نشده یا تخلخل بالا می‌باشد در چاه‌های مختلف ضخامت متفاوتی نشان می‌دهد که به راحتی بر مبنای رخساره لاگ‌ها قابل شناسایی و تفسیر است. در مقابل رخساره لاگ ۲ و ۳ که عموما انطباق بالایی با رخساره‌های لاگونی و رخساره دیاژنزی ۱ و ۳ نشان می‌دهند در توالی مورد مطالعه قابل شناسایی می‌باشد. در مجموع از سمت جنوب‌شرقی به شمال غربی میدان ضخامت رخساره لاگ ۳ افزایش نشان می‌دهد. مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته نیز نشان می‌دهدکه ضخامت زون‌های واریزه رودیستی و شول‌ها که بهترین اهداف مخزنی را میدان مورد مطالعه تشکیل می‌دهند در جهت ذکر شده افزایش نشان می‌دهد. در مقابل در این روند ضخامت رخساره‌های لاگونی کاهش نشان می‌دهد.



شکل ۷. توزیع بافت، کمربندهای رخساره‌ای، فرآیندها و رخساره‌های دیاژنزی، اشباع شدگی، نمودارهای پتروفیزیکی و رخساره لاگ‌ها در چاه کلیدی مورد مطالعه. عموما انطباق قابل قبولی بین ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی و رخساره لاگ‌ها مشاهده می‌شود.

جدول ۳. ویژگی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی غالب در رخساره لاگ‌های معرفی شده در سازند سروک در میدان مورد مطالعه

رخساره لاگ	کمربندهای رخساره‌ای غالب	فرآیندها و رخساره‌های دیاژنزی غالب
۱	دریای باز عمیق و کم عمق، لاگون و تا حدودی سایر کمربند-های رخساره‌ای به صورت پراکنده	زیست آشفتگی، تراکم فیزیکی و شیمیایی و سیمانی شدن، رخساره دیاژنزی ۱ و ۳
۲	لاگون، رودیست بایوستروم	زیست آشفتگی، میکرایتی شدن و سیمانی شدن، رخساره دیاژنزی ۳
۳	شیب حوضه، شول و تا حدودی بخش کم عمق دریای باز	انحلال ، رخساره دیاژنزی ۲
۴	کمربندهای رخساره‌ای مختلف به ویژه دریای باز کم عمق و عمیق	رخساره دیاژنزی ۱
۵	شیب ، شول-و تا حدودی لاگون	سیمانی شدن، رخساره دیاژنزی ۳



شکل ۸. توزیع رخساره لاگ‌ها در چهار چاه مورد مطالعه همراه با موقعیت آن‌ها نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس تلفیق مطالعات پتروگرافی، توصیف مغزه‌ها و نمودارهای پتروفیزیکی در بخش مخزنی سازند سروک در یک چاه کلیدی با ۲۶۵ متر مغزه و ۷۶۰ مقطع نازک همراه با چهار چاه دارای نمودارهای پتروفیزیکی، ارتباط رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی با رخساره لاگ‌ها در یکی از میادن هیدروکربنی ناحیه دشت آبادان بررسی و نتایج زیر حاصل گردید.

توالی کربناته سازند سروک در میدان مورد مطالعه به دلیل تغییرات رخساره‌ای به صورت جانبی و عمودی و تاثیر زیاد فرآیندهای دیاژنزی متنوع، از ناهمگونی مخزنی زیادی برخوردار است.

بر اساس مطالعات پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها، ۱۲ میکروفاسیس در قالب کمربندهای رخساره‌ای لاگون، شول، رودیست بایوستروم، شیب، بخش کم عمق دریای باز و بخش عمیق دریای باز شناسایی و در چارچوب یک پلاتفرم شلف کربناته معرفی و توصیف گردید.

پس از شناسایی فرآیندهای دیاژنزی، با هدف مقایسه بهتر رخساره لاگ‌ها و توزیع فرآیندهای دیاژنزی، سه رخساره دیاژنزی بر مبنای توزیع فرآیندهای انحلال و سیمانی شدن در مخزن معرفی گردید. این سه رخساره

دیاژنزی توسط توالی‌های با انحلال و سیمانی شدن ناچیز (رخساره دیاژنزی ۱)، توالی‌های با انحلال بالا (رخساره دیاژنزی ۲) و توالی‌های با سیمانی شدن بالا (رخساره دیاژنزی ۳) در توالی مخزنی سازند سروک تفکیک شده است

پنج رخساره لاگ با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی و بر اساس نمودارهای پتروفیزیکی گاما، صوتی، تخلخل نوترون، چگالی و مقاومت زون دست نخورده شناسایی گردید.

این رخساره لاگ‌ها در چارچوب تغییرات رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی توصیف و معرفی گردید. در نهایت این رخساره‌ها در سایر چاه‌های مورد مطالعه گسترش داده شده است.

با هدف توصیف بهتر رخساره لاگ‌ها در مخزن، ضروری است ارتباط آن‌ها با توزیع رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی مشخص و از این طریق بتوان درک کامل‌تری نسبت به تغییرات این ناهمگنی‌های مهم زمین‌شناسی در مخزن کسب نمود.

منابع

[۱] اسعدی، ع.، هنرمند، ج، معلمی، س، ع.، عبداللهی‌فرد، ا (۱۳۹۵) تاثیر فرآیندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در یکی از میادین هیدروکربنی دشت آبادان، جنوب غرب ایران. مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی اصفهان. جلد ۶۲، شماره ۱، ص. ۵۸ ۸۰.

[۲] مطیعی، ه (۱۳۷۲) زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی نفت زاگرس ۱، سازمان زمین‌شناسی کشور. ص. ۵۷۲.

[۳] هنرمند، ج.، اسعدی، ع.، معلمی، س، ع.، عبداللهی فرد،ا.، منیبی، س (۱۳۹۵) ریز رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند سروک در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب‌غرب ایران. دوفصلنامه رخساره‌های رسوبی مشهد، سال ۹، شماره ۲.

[4] Abdollahie Fard, I. A., Braathen, A., Mokhtari, M., and Alavi, S. A (2006) Interaction of the Zagros Fold–Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. Petroleum Geoscience, v. 12, no. 4, p. 347-362.

[5] Abdollahie Fard, I. A., Mokhtari, M., Alavi, S. A (2007) The main structural elements of the Abadan Plain (SW Iran) and the N. Persian Gulf based on the integrated geophysical data. Geophysical Research Abstracts, v. 9, p. 111-146.

[6] Ahr, W.M (2008) Geology of carbonate reservoirs. John Wiley and Sons, Chichester, 296 p.

[7] Alavi, M (2007) Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. American Journal of Sciences, v. 307, p. 1064–1095.

[8] Alsharhan AS and Nairn AEM (1990) A review of the Cretaceous formations in the Arabian Peninsula and Gulf Part III, Upper Cretaceous Aruma Group stratigraphy and paleogeography Journal of Petroleum Geology, v. 13, no. 3, p. 247-266.

[9] Alsharhan, A.S., Nairn, A.E.M (1997) Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Elsevier, Amsterdam, 843 p.

[10] Aqrawi, A. A. M., Mahdi, T. A., Sherwani, G. H., Horbury, A. D (2010) Characterization of the Mid-Cretaceous Mishrif reservoir of the southern Mesopotamian Basin, Iraq. AAPG Middle East Geoscience Conference and Exhibition, Manama, Bahrain, p. 7-10.

[11] Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S.A., Abdollahie-Fard, I (2016) Depositional environments and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in an oil-field on the Abadan Plain, SW Iran, Fcaies, v. 62. p. 1-22.

[12] Bhatt, A., and Helle, H. B (2002) Committee neural networks for porosity and permeability prediction from well logs. Geophysical Prospecting, v. 50, no. 6, p. 645-660.

[13] Christian, L (1997) Cretaceous Subsurface Geology of the Middle East Region. GeoArabia, v. 2, no. 3, p. 239-256.

[14] Dercourt, J. et al, L. P. Zonenshain, L-E. Ricou, V. G. Kazmin, X. Le Pichon, A. L. Knipper, C1 Grandjacquet (1986) Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. Tectonophysics, v. 123, no. 1, p. 241-315.

[15] Dickson, J. A. D (1966) Carbonate identification and genesis as revealed by staining. Journal of Sedimentary Research, v. 36, no. 2, p. 491-505.

[16] Ehrenberg, S. N., Aqrawi, A. A., and Nadeau, P. H (2008) An overview of reservoir quality in producing Cretaceous strata of the Middle East. Petroleum Geoscience, v. 14, no. 4, p. 307-318.

[17] Esrafili-Dizaji, B. and Rahimpour-Bonab, H (2009) Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf. Petroleum Geoscience, v.15, p. 1–22.

[18] Esrafili-Dizaji, B., Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Afshin, S., Harchegani, F. K., Shahverdi, N (2015) Characterization of rudist-dominated units as potential reservoirs in the middle Cretaceous Sarvak Formation, SW Iran. Facies, v. 61, no. 3, p. 1-25.

Perth Basin, Western Australia. Open Journal of Geology. v. 4, p. 373-385.

[30] Kadkhodaie-Ilkhchi, R., Rezaee, R., Moussavi-Harami, R., and Kadkhodaie-Ilkhchi, A (2013) Analysis of the reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia. Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 111, p. 106-120.

[31] Kent, P.E (1979) The emergent Hormuz Salt diapirs of southern Iran. Journal of Petroleum Geology, v. 2, p. 117–144.

[32] Kohonen T (2001) Self-organizing maps, Springer series in Information Sciences, New York, Springer-Verlag, Vol. 30, 501 p.

[33] Li, Y., and Anderson-Sprecher, R (2006) Facies identification from well logs: A comparison of discriminant analysis and naïve Bayes classifier. Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 53, no. 3, p. 149-157.

[34] Lucia, F.J (2007) Carbonate Reservoir Characterization: an Integrated Approach. Springer, Berlin, New York, 336 p.

[35] Mahdi, T. A., and A. A. M. Aqrawi (2014) Sequence stratigraphic analysis of the Mid-Cretaceous Mishrif Formation, Southern Mesopotamian basin, Iraq. Journal of Petroleum Geology, v. 37, no. 3, p. 287-312.

[36] Mahdi, T. A., Aqrawi, A. A., Horbury, A., Sherwani, G. H (2013) Sedimentological characterization of the mid-Cretaceous Mishrif reservoir in southern Mesopotamian Basin, Iraq. GeoArabia, v. 18, no. 1, p. 139-174.

[37] MATLAB User's Guide (2009) Version 7.8, Statistics Toolbox, the Math Works Inc.

[38] Mehmandosti E, Adabi M, Woods A (2013) Microfacies and geochemistry of the Middle Cretaceous Sarvak Formation in Zagros Basin, Izeh Zone, SW Iran. Sedimentary Geology, v. 293, p. 9-20.

[39] Mehrabi H, Rahimpour-Bonab H, Hajikazemi E, Jamalian A (2015) Controls on depositional facies in Upper Cretaceous carbonate reservoirs in the Zagros area and the Persian Gulf, Iran Facies, v. 61, p.1-24.

[40] Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H (2014) Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian–early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. Facies, v. 60, no. 1, p.147-167.

[41] Moore, C. H., and Wade, W.J (2013) Carbonate reservoirs: porosity, evolution & diagenesis in a sequence stratigraphic framework: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework, Second edition, Elsevier, 369 p.

[19] Flugel, E (2010) Microfacies of carbonate rocks. Springer-Verlag, Berlin, 976 p.

[20] Fu, G. M., Qin, X. L., Qing, M., Zhang, T. J., & Yang, J. P (2009) Division of diagenesis reservoir facies and its control—case study of Chang-3 reservoir in Yangchang formation of Fuxian exploration area in northern Shaanxi. Mining Science and Technology, v. 19, p. 537-543.

[21] Ghabeishavi A, Vaziri-Moghaddam H, Taheri A, Taati F (2010) Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of the Bangestan anticline, SW Iran. Journal of Asian Earth Sciences, v. 37, p. 275-285.

[22] Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., & Coniglio, M (2010) 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 330, pp.253-272.

[23] Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., Coniglio, M (2012) Chemostratigraphy of Cenomanian–Turonian carbonates of the Sarvak Formation, Southern Iran. Journal of Petroleum Geology, v. 35, no. 2, p. 187-205.

[24] Heydari, E (2008) Tectonic versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran. Tectonophysics, v. 451, pp. 56-70.

[25] Hollis, C (2011) Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian–Turonian of the Arabian Plate. Petroleum Geoscience, v. 17, no. 3, p. 223-241.

[26] Hollis, C., Vahrenkamp, V., Tull, S., Mookerjee, A., Taberner, C., and Huang, Y (2010) Pore system characterisation in heterogeneous carbonates: An alternative approach to widely-used rock-typing methodologies. Marine and Petroleum Geology, v. 27, no. 4, p. 772-793.

[27] Huber, B. T., Norris, R. D., and MacLeod, K. G (2002) Deep-sea paleotemperature record of extreme warmth during the Cretaceous. Geology, v. 30, no. 2, p. 123-126.

[28] Jordan, C.F., Connally, T.C. and Vest, H.A (1985) Middle Cretaceous carbonates of the Mishrif Formation, Fateh Field, Offshore Dubai, UAE, In: Roehl, P.O., Choquette, P.W. (Eds.), Carbonate Petroleum Reservoirs. SpringerVerlag, New York, NY, p. 427-442.

[29] Kadkhodaie-Ilkhchi, R. K., Rezaee, R., Harami, R. M., Friis, H., and Ilkhchi, A. K (2014) An Integrated Rock Typing Approach for Unraveling the Reservoir Heterogeneity of Tight Sands in the Whicher Range Field of

Petroleum Geologists, v. 97, no. 3, p. 487-524.

[50] Sadooni, F.N., Aqrawi, A.A.M (2000) Cretaceous sequence stratigraphy and petroleum potential of the Mesopotamian Basin, Iraq. In: Scott, B., Alsharhan, A.S. (Eds.), Middle East Models of Jurassic/Cretaceous Carbonate Systems. SEPM Special Publication 69, p. 315-334.

[51] Saggaf, M. M., and Nebrija, L (2003) A fuzzy logic approach for the estimation of facies from wire-line logs. American Association of Petroleum Geologists, v. 87, no. 7, p. 1223-1240.

[52] Sattarzadeh Y, Cosgrove J, Vita-Finzi C (1999) The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt, In: Cosgrove, J. W. & Ameen, M. S. (Eds.), Forced Folds and Fractures, Geological Society, London, Special Publications 169, p.187-196.

[53] Sepehr, M., Cosgrove, J.W (2005) Role of the Kazerun fault zone in the formation and deformation of the Zagros fold thrust belt, Iran. Tectonics 24. p. 1-13.

[54] Serra, O. T., and Abbott, H. T (1982) The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy. Society of Petroleum Engineers Journal, v. 22, no. 01, p. 117-131.

[55] Setudehnia, A (1978) The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent areas. Journal of Petroleum Geology, v. 1, no. 1, p. 3–42.

[56] Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heyward, A.P., Horbury, A.D., Simmons, M.D (2001) Arabian plate sequence stratigraphy. GeoArabia, Special Publication 2, 371 p.

[57] Sparks, A. G., and Rankey, E. C (2013) Relations between geomorphic form and sedimentologic-stratigraphic variability: Holocene ooid sand shoal, Lily Bank, Bahamas. American Association of Petroleum Geologists, v. 97, no. 1, p. 61-85.

[58] Taghavi, A.A., Mork, A., Emadi, M.A (2006) Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehluran field, SW Iran. Petroleum Geoscience, v. 12, no 2, p. 115-126.

[59] Tucker, M.E., Wright, V.P (1990) Carbonate Sedimentology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 482 p.

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

[42] Murris, R.J (1980) Middle East: stratigraphic evolution and oil habitat. American Association of Petroleum Geologists, v. 64, no. 5, p. 597–618.

[43] Ozkan, A., Cumella, S. P., Milliken, K. L., and Laubach, S. E (2011) Prediction of lithofacies and reservoir quality using well logs, late cretaceous Williams fork formation, Mamm Creek field, Piceance basin, Colorado. American Association of Petroleum Geologists, v. 95, no. 10, p. 1699-1723.

[44] Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Enayati-Bidgoli, A. H., Omidvar, M (2012) Coupled imprints of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of a mid-Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran. Cretaceous Research, v. 37, 15-34.

[45] Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Omidvar, M., Enayati-Bidgoli, A. H., Sonei, R., Izadi-Mazidi, E (2013) Palaeo-exposure surfaces in Cenomanian–Santonian carbonate reservoirs in the Dezful embayment, SW Iran. Journal of Petroleum Geology, v. 36, no. 4, p. 335-362.

[46] Razin, P., Taati, F., Van Buchem, F. S. P (2010) 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 v. 329, p. 187-218.

[47] Rezaee, M. R., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., and Alizadeh, P. M (2007) Intelligent approaches for the synthesis of petrophysical logs. Journal of Geophysics and Engineering, v. 5, no. 1, p. 12-26.

[48] Ronchi, P., Ortenzi, A., Borromeo, O., Claps, M., and Zempolich, W. G (2010) Depositional setting and diagenetic processes and their impact on the reservoir quality in the late Visean–Bashkirian Kashagan carbonate platform (Pre-Caspian Basin, Kazakhstan). American Association of Petroleum Geologists, v. 94, no. 9, p. 1313-1348.

[49] Rustichelli, A., Tondi, E., Agosta, F., Di Celma, C., and Giorgioni, M (2013) Sedimentologic and diagenetic controls on pore-network characteristics of Oligocene–Miocene ramp carbonates (Majella Mountain, central Italy). American Association of

[61] Wilson, J.L (1975) Carbonate Facies in Geologic History. Springer-Verlag, New York, 471 p.
[62] Wolf, M., & Pelissier-Combescure, J (1982) Faciolog-automatic electrofacies determination. In SPWLA 23rd Annual Logging Symposium. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts. p. 1-22.
[63] Ziegler, M (2001) Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences. GeoArabia 6, p. 445-504.
[64] Zou, C. N., Tao, S. Z., Hui, Z. H. O. U., Zhang, X. X., He, D. B., Zhou, C. M., ... & Ping, L. U. O (2008) Genesis, classification, and evaluation method of diagenetic facies. Petroleum Exploration and Development, v. 35, p. 526-540.