

ارزیابی ویژگی‌های مخزنی سازند سروک در میدان نفتی یادآوران بر اساس داده‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی

رضا میرزایی محمودآبادی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد استهبان، استهبان، ایران

نویسنده مسئول: r_mirzaem@iau.est.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۲/۷ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۶

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

میدان یادآوران یکی از میدانی نفتی ایران است که در فاصله ۱۳۰ کیلومتری باختر اهواز در نقطه صفر مرزی با عراق و در مجاورت تالاب هورالهوریه قرار گرفته و با میدان مجنون عراق، در مخزن نفتی مشترک است. مهم‌ترین مخزن این میدان، سازند سروک (آلبین بالایی-تورونین) به همراه سازند ایلام از گروه بنگستان دومین مخزن نفتی مهم حوضه زاگرس را پس از سازند آهکی آسماری تشکیل می‌دهند. به منظور ارزیابی ویژگی‌های مخزنی سازند سروک بر اساس داده‌های پتروفیزیکی و پتروگرافی در میدان نفتی یادآوران تعداد ۱ حلقه چاه انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس بررسی کراس پلات‌های انتخابی سنگ‌شناسی غالب سازند سروک با ضخامت ۶۴۰ متر در چاه مورد مطالعه سنگ‌آهک تعیین شد. بر اساس مطالعه ۵۰۰ برش‌نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری و مغزه‌ها تعداد ۱۰ ریزرخساره کربناته شناسایی گردید که در یک رمپ کربناته هم‌شیب رسوب‌گذاری شده‌اند. فرایندهای دیاژنزی عمده که بر روی سازند سروک تأثیرگذار بوده‌اند شامل نوشکلی، زیست‌آشفتنگی، میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، فشردگی، پیریتی شدن، هماتی شدن و شکستگی هستند. انواع اصلی تخلخل‌های شناسایی شده در سازند سروک به ترتیب شامل تخلخل حفره‌ای، درون‌دانه‌ای، بین‌دانه‌ای، قالبی و شکستگی‌های میکروسکوپی است که درصد تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌های شناسایی شده بیشتر است. مجموع مطالعات پتروگرافی و پتروفیزیکی نشان داد که می‌توان مخزن سروک را در ناحیه مورد مطالعه به تعداد ۵ زون مخزنی اصلی و ۴ زیر زون مخزنی فرعی (در مجموع ۹) زون مخزنی تفکیک کرد که در میان زون‌های مخزنی معرفی شده تنها زون‌های اصلی ۲، زیر زون فرعی ۱-۴، ۳-۴ و تا حدی زیر زون فرعی ۵-۲ کیفیت مخزنی مناسبی را دارا هستند. همچنین مطالعات پتروفیزیکی نشان داد که مجموعاً در کل سسترا سازند مقادیر حجم شیل پایین (کمتر از ۵ درصد) است. نتایج محاسبات تخلخل کل نشان می‌دهد که زون ۲ بیش‌ترین میانگین تخلخل مفید (۷/۷٪) و زون ۴ با میانگین تخلخل مفید (۷/۳٪) در رتبه بعدی قرار دارد. بیش‌ترین میانگین اشباع آب محاسبه شده ۹۰ درصد و مربوط به زون ۵ و کمترین میانگین اشباع آب نیز مربوط به زون‌های ۲ و ۴ به ترتیب معادل ۴۱٪ و ۴۷٪ است. با توجه به میانگین پارامترهای مخزنی محاسبه شده در چاه مورد مطالعه زون‌های اصلی ۲ و ۴ به دلیل نسبت زون خالص به ناخالص (۵۷۶/۰) بالاتر، میانگین تخلخل بالاتر، میانگین اشباع آب کمتر و حجم شیل پایین‌تر پتانسیل مخزنی مطلوب‌تری نسبت به بخش‌های دیگر سازند سروک دارد.

واژگان کلیدی: میدان نفتی یادآوران، خواص مخزنی، پتروفیزیک، سازند سروک

پیشگفتار

ورا، احمدی، میشریف و رومیله در عراق و عربستان و همچنین در دره در جنوب‌خاوری ترکیه اشاره کرد (الشرحان و کندال، ۱۹۹۱؛ صدونی و همکاران، ۲۰۰۵؛ حاج کاظمی و همکاران، ۲۰۱۰؛ رازین و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعه خواص سنگ‌ها و ارتباط آن‌ها با سیالات درونی آن‌ها هدف اصلی مطالعات پتروفیزیکی است. ارزیابی پتروفیزیکی علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از نمودارهای چاه‌پیمایی است که از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین ویژگی‌های سنگ مخزن هیدروکربوری استفاده

سازند سروک (آلبین بالایی-تورونین) مهم‌ترین سازند مخزنی گروه بنگستان است که به همراه سازند ایلام دومین مخزن نفتی مهم حوضه زاگرس را پس از سازند آهکی آسماری تشکیل می‌دهند (مطیعی، ۱۳۷۴). این سازند با سسترای حدود ۸۲۱ متر در برش الگو در سال ۱۹۶۵ توسط جیمز و وایند معرفی شد. از سازندهای هم‌ارز سازند سروک می‌توان به سازند مدود، میشریف، در کویت، گروه واسیا در امارات متحده عربی، سازند ناتیح در عمان، سازند مدود،

سروک در یکی از میداین جنوبی باختری ایران توسط هنرمند و همکاران (۱۳۹۶)، مطالعه ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی در منطقه ایلام توسط محسنی و زبیرم جوانمرد (۱۳۹۷)، بررسی ارتباط ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی، دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند میشریف (سنومنین آغازین- تورونین) در میدان نفتی اسفند، خلیج فارس توسط حسینی و همکاران (۱۳۹۸)، بررسی واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی، ریزرخساره‌های سازند کنگان و ارتباط آن با محیط رسوبی و دیاژنز توسط سبوحی و رضایی (۱۳۹۸)، تحلیلی بر رخساره‌های الکتریکی، واحدهای جریان‌ی و توان مخزنی سازند میشریف در میدان نفتی اسفند، خلیج فارس توسط حسینی و همکاران (۱۳۹۹)، اشاره کرد. از مطالعاتی که جهت ارزیابی پتروفیزیکی، دیاژنز و زون‌بندی مخزن سروک در میداین مختلف صورت گرفته است، می‌توان به این مطالعات اشاره کرد. نبی‌خانی و همکاران در سال (۲۰۱۲) برای مخزن سروک در یکی از چاه‌های خلیج فارس تعداد هشت گونه سنگی معرفی کردند که در چهار زون مخزنی آرایش یافته‌اند. مسعودی و همکاران در سال (۲۰۱۲) سازند سروک را در شش چاه انتخابی در دشت آبادان را مورد ارزیابی پتروفیزیکی مقایسه‌ای قرار داده و گزارش کردند که سازند سروک در این منطقه به دو زون اصلی و هفت زون فرعی تولیدکننده نفت با اینتروال کم‌عمق ۳۰۰۰ متر و غیر تولیدکننده با اینتروال بیشتر از ۳۰۰۰ متر تشکیل شده است. جویباری و رضایی در سال (۲۰۱۷) با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ و روش احتمالی سازند سروک را در فروافتادگی دزفول به ۶ زون مخزنی اصلی تفکیک کردند. همچنین نوربان و همکاران در سال (۲۰۱۷) مخزن بنگستان را در میدان منصوری به ۶ زون مخزنی و غیرمخزنی تقسیم‌بندی کردند که زون شماره ۲ از سازند ایلام و زون‌های شماره ۴ و ۶ بیش‌ترین پتانسیل مخزنی را دار هستند. همچنین شعبانی و همکاران در سال (۲۰۲۰) سازندهای سروک و ایلام را در باختر دشت آبادان مورد مطالعه قرار دادند که نتایج بررسی‌های پتروفیزیکی نشان داد که در این منطقه کیفیت مخزنی سازند ایلام از سازند سروک بیشتر است. همچنین می‌توان به پژوهش‌هایی نظیر بررسی پتروفیزیکی و تعیین گونه سنگی مخزن سروک به روش احتمالی و قطعی توسط حیدری و همکاران (۲۰۲۰) و بررسی ریزرخساره‌های میکروسکوپی، ارزیابی رابطه بین رخساره‌های میکروسکوپی و پتانسیل

می‌کند. عواملی مانند ساختار مخزن، دما، فشار سازند و از همه مهم‌تر سنگ‌شناسی مخزن می‌تواند نقش مهمی در ارزیابی، تکمیل و بهره‌برداری از مخازن ایفا کنند. نگارهای چاه‌پیمایی به صورت یک ثبت پیوسته از خواص سنگ‌های درون چاه هستند که به علت ارزان‌تر بودن بر به کارگیری مغزه ارجحیت دارند. تعیین پارامترهای پتروفیزیکی و بررسی توزیع آن‌ها در فواصل مخزنی، می‌تواند منجر به زون‌بندی جدید و تغییر ستبرای تولیدی میداین شود. از آنجایی که سال‌های متمادی است که از میداین برداشت ذخایر هیدروکربوری صورت می‌گیرد، ارزیابی‌های انجام شده در گذشته‌های دور نیاز به بازنگری و بررسی‌های مجدد دارد تا در آینده برای فرایندهای ازدیاد برداشت و مدیریت تولید از این میداین مفید واقع شود. تخلخل و تراوایی سنگ‌های مخزنی از مهم‌ترین خواص پتروفیزیکی مربوط به ذخیره‌سازی و انتقال سیالات در مخزن هستند. آگاهی دقیق از این دو ویژگی برای هر مخزن به همراه خواص سیال جهت پیش‌بینی عملکرد آینده نفتی میدان لازم است (تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴). نمودارهای پتروفیزیکی مهم که برای تعیین تخلخل به کار می‌روند شامل داده‌های نوترون، چگالی و صوتی هستند. تعیین تراوایی توسط نمودارهای پتروفیزیکی با دقت پایینی همراه است. به همین دلیل می‌توان برای بررسی تعیین تراوایی از داده‌های مغزه استفاده کرد و همچنین برای مطالعات پتروگرافی شناسایی انواع تخلخل و بررسی فرایند دیاژنزی و ارتباط آن‌ها با میزان تخلخل و تراوایی می‌توان از برش‌های نازک استفاده کرد (به‌ورای، ۱۹۸۷).

از مطالعات قبلی صورت گرفته بر روی سازند سروک می‌توان به بررسی رخساره‌ها، فرایندهای دیاژنتیکی سازند سروک در یکی از میداین نفتی دشت آبادان توسط فرامرزی و همکاران (۱۳۹۵)، بررسی محیط رسوبی، دیاژنز و کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در خلیج فارس توسط شاهرودی و همکاران (۱۳۹۴)، تأثیر محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند سروک در چارچوب چینه‌نگاری سکansı در میدان نفتی کوپال توسط عالیشوندی و همکاران (۱۳۹۵)، تأثیر تغییرات سنگ‌شناسی و پارامترهای پتروفیزیکی بر پتانسیل مخزن ایلام در میدان نفتی اهواز توسط سلیمانی و همکاران (۱۳۹۶)، توزیع فرایندهای سیمانی شدن و انحلال در ارتباط با رخساره‌های رسوبی و سطوح ناپیوستگی سازند

گورپی همراه با رسوبات آغشته به ترکیبات آهن‌دار به صورت ناهمسازی فرسایشی است. سازند سروک در فروافتادگی دزفول به همراه سازند ایلام بیشتر به صورت یک رخساره کم‌ژرفا مشاهده می‌شود و تفکیک این دو سازند بر اساس شواهد چینه‌نگاری تا حدی دشوار است (مطیعی، ۱۳۷۲). سنگ‌شناسی عمده سازند سروک در چاه مورد مطالعه شامل آهک و آهک‌های دولومیتی است. موقعیت چینه‌شناسی سازند سروک در سیستم کرتاسه به همراه تقسیم‌بندی تک‌تونیکی ایران و موقعیت میدان نفتی یادآوران در شکل ۱ آمده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و مطالعه خواص مخزنی سازند سروک در میدان نفتی یادآوران تعداد ۱ حلقه چاه انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل پتروفیزیکی و میکروسکوپی قرار گرفت. جهت بررسی پتروفیزیکی سازند سروک از نرم‌افزار ژئولاگ (۷،۱) استفاده شده است. قبل از انجام پردازش کمی، نگارها از نظر ژرفا یکسان شده‌اند. به علت نبود داده‌های اسکن گامای مغزه، از نمودارهای نوترون و چگالی به عنوان مبنا برای تطابق ژرفای دیگر نمودارها استفاده شده است. در ادامه با استفاده از چارت‌های استاندارد، روی تمامی نمودارها تصحیحات محیطی صورت گرفته است. نرم‌افزار ژئولاگ دارای دو روش اصلی ارزیابی پتروفیزیکی است که عبارت‌اند از الف: روش محاسبه قطعی که به صورت محاسبات مرحله‌ای و پیوسته شامل محاسبه حجم شیل، تخلخل، اشباع آب و هیدروکربن است و از مزیت‌های آن می‌توان به کنترل دقیق داده‌ها در هر مرحله اشاره کرد و ب: روش احتمالی که بر مبنای روش‌های نوین احتمالات آماری است. روش احتمالی بر روش قطعی مزیت‌هایی دارد که از آن جمله می‌توان به مواردی نظیر حذف و عدم انتقال خطاهای محاسبه شده در هر بخش به بخش‌های دیگر به علت ارتباط چندگانه بین مقادیر اندازه گرفته شده و پاسخ‌ها، ایجاد نگارهای عدم قطعیت و میزان اعتبار نتایج، طراحی مدل برای انجام محاسبات بر طبق نظر کاربر و سرعت بالای محاسبات اشاره کرد.

در این مطالعه برای ارزیابی چاه از روش احتمالی استفاده شده است. مدل احتمالی با توجه با سیالات، ماتریکس و نمودارهای موجود و با استفاده از فرمول‌های مختلف، خصوصیات مجهول مخزن را تعیین می‌کند. به کمک این

مخزنی سازند سروک در جنوب‌باختری ایران توسط میرزایی محمودآبادی (۲۰۱۷) و (۲۰۲۰) اشاره کرد. هدف از این مطالعه بررسی هم‌زمان خصوصیات پتروگرافی و پتروفیزیکی مخزن سروک و تعیین توان مخزنی این سازند در میدان نفتی یادآوران است تا بتوان با استفاده از مقایسه داده‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه را زون‌بندی کرد. توصیف اختصاصات سنگ‌های مخزن پیش‌زمینه اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز است. در این راستا، تفکیک مناسب زون‌های مخزنی از غیرمخزنی در شناخت واحدهای جریانی، تهیه مدل‌های استاتیک، بررسی پویایی مخازن هیدروکربنی و توسعه میادین نفتی از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

موقعیت جغرافیایی میدان نفتی یادآوران

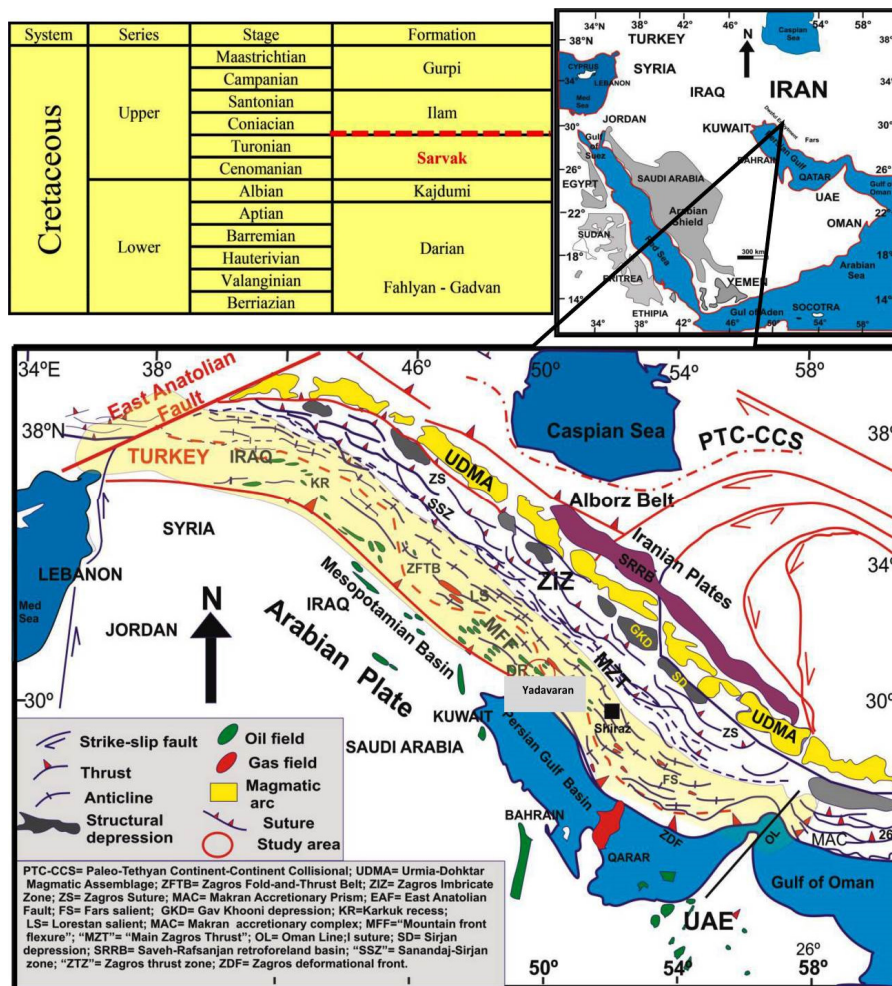
میدان یادآوران یکی از میادین نفتی ایران است که در فاصله ۱۳۰ کیلومتری باختر اهواز در نقطه صفر مرزی با عراق و در مجاورت تالاب هورالهویزه قرار گرفته و با میدان مجنون عراق، در مخزن نفتی مشترک است. درازای این میدان نفتی ۴۸ کیلومتر و پهنای آن ۲/۵ کیلومتر است که محدوده‌ای به مساحت حدودی ۱۲۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. تاق‌دیس یادآوران در ناحیه دزفول شمالی (دشت آبادان) در مجاورت و به موازات خط مرزی ایران و عراق و در فاصله ۳۰ کیلومتری باختر میدان نفتی جفیر و ۷۰ کیلومتری باختر میدان نفتی سوسنگرد قرار گرفته است. امتداد این تاق‌دیس در جهت شمال-جنوب بوده و با تاق‌دیس میدان نفتی دارخوین روند تقریباً مشابهی دارد (شکل ۱).

چینه‌نگاری سازند سروک

سازند سروک با دو رخساره کم‌ژرفا و ژرفا به سن آلبین تا تورونین از گروه بنگستان یکی از مهم‌ترین سنگ‌های مخزن در فروافتادگی دزفول است. نام این سازند در کوه بنگستان واقع در شمال باختری شهرستان بهبهان در استان خوزستان اقتباس شده است (مطیعی، ۱۳۷۴). این سازند در برش نمونه از حدود ۸۲۰ متر آهک نازک تا توده‌ای به رنگ‌های خاکستری تا تیره قهوه‌ای با میان لایه‌های مارن خاکستری همراه با گرهک‌های سیلیسی قهوه‌ای تا قرمز رنگ تشکیل شده است. حد زیرین آن با سازند کژدمی همساز و تدریجی و حد بالایی آن با سازند

دیاژنتیکی از تعداد ۵۰۰ برش نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری و مغزه‌ها استفاده شده است. جهت مطالعه پتروگرافیکی ریزرخساره‌ها از میکروسکوپ پلاریزان استفاده شده است. جهت تشخیص تخلخل از رنگ بلودای اپوکسی و جهت تشخیص کلسیت از دولومیت از پودر آلیزارین قرمز به روش دیکسون (۱۹۶۵) استفاده شده است.

مدل می‌توان تخلخل کل و مؤثر، تراوایی، اشباع‌شدگی آب، حجم شیل، حجم و نوع کانی‌های رسی و سنگ‌شناسی را تعیین کرد (دارلینگ، ۲۰۰۵). نمودارهای موجود در چاه مورد مطالعه شامل نمودارهای نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB)، صوتی (DT)، قطر سنج (CAL)، پرتوگاما (GR)، و فتوالکتریک (PEF) هستند. در این مطالعه برای تعیین رخساره‌های میکروسکوپی و فرایندهای



شکل ۱. موقعیت چینه‌شناسی سازند سروک در سیستم کرتاسه به همراه تقسیم‌بندی تکتونیکی ایران و موقعیت میدان نفتی یادآوران (با تغییرات از علوی، ۲۰۰۷)

آن‌ها استفاده شده است. دانه‌های اسکلتی مشاهده شده در رخساره‌های میکروسکوپی بیشتر از خانواده میلیولیده، اربیتولینیده، الیگوستژینیده و جلبک‌ها می‌باشند و دانه‌های غیراسکلتی عمدتاً شامل پلت و اینتراکلت می‌باشند که درصد فراوانی آن‌ها در بعضی نمونه‌ها به ۵۰ درصد می‌رسد. از مهم‌ترین سیمن‌های مشاهده شده در

ریزرخساره‌ها

در بررسی‌های پتروگرافیکی برش‌های مورد مطالعه، طیف وسیعی از ریزرخساره‌های کربناته شناسایی گردید. برای تفکیک و شناسایی آن‌ها از عامل‌هایی نظیر نوع اجزاء تشکیل‌دهنده سنگ‌های کربناته اعم از ارتوکم، آلوکم، نوع دانه‌های اسکلتی و غیراسکلتی، اندازه دانه و درصد فراوانی

روش دانهام (۱۹۶۲) انجام شده است. در مطالعه و مقایسه محیط‌های ته‌نشینی ریزرخساره‌های کربناته از ویلسون (۱۹۷۵) و ریزرخساره‌های استاندارد فلوگل (۲۰۱۰) استفاده شده است. در جدول ۱ ریزرخساره‌های شناسایی شده سازند سروک همراه با معادل کمر بند رخساره‌ای فلوگل (۲۰۱۰) و زیر محیط رسوبی آمده است.

نمونه‌ها می‌توان به سیمان‌های هم‌بعد، پویی کیلوتوپیک، دروزی، بلوکی و سین تکسیال (رورشدی هم‌محور) اشاره کرد. از فرایندهای دیاژنتیکی مهم صورت گرفته بر روی نمونه‌های مورد مطالعه می‌توان به سیمانی شدن، فشرده‌گی، انحلال، نئومورفیسیم، میکرایتی شدن توسط موجودات زنده، استیلولیتی شدن، پیریتی شدن، پرشدگی و شکستگی اشاره کرد. نام‌گذاری نمونه‌های کربناته به

جدول ۱. رخساره‌های شناسایی شده رسوب‌گذاری شده در یک رمپ کربناته در چاه مورد مطالعه (فلوگل، ۲۰۱۰).

ردیف	کد	نام میکروفاسیس	کمر بند رخساره‌ای فلوگل، ۲۰۱۰	کمر بند	محیط رسوبی
۱	A1	وکستون روزندار بیوکلاستی پلاژیک	FZ1 – FZ3	دریای باز	خارجی
۲	A2	پکستون بیوکلاستی الیگوستژینیدار	FZ1 – FZ3	دریای باز	
۳	B1	رودبست باندستون	FZ6	سد (شول)	میانی
۴	B2	گرینستون روزندار بیوکلاستی الیگوستژینیدار	FZ6	سد (شول)	
۵	B3	گرینستون روزندار بیوکلاستی پلویید و اینتراکلت‌دار	FZ6	سد (شول)	
۶	C1	وکستون روزندار بیوکلاستی بنینیک	FZ7 – FZ8	لاگون	داخلی
۷	C2	وکستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده	FZ7 – FZ8	لاگون	
۸	C3	پکستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده	FZ7 – FZ8	لاگون	
۹	D1	دولومادستون	FZ9	زون کشندی	
۱۰	D2	استروماتولیت باندستون	FZ9	زون کشندی	

گروه رخساره‌ای در محیط دریایی ژرف است، ویلسون (۱۹۷۵)، برناس و همکاران (۲۰۰۲).

ریزرخساره‌های کمر بند رخساره‌ای دریای باز A A1: وکستون روزندار بیوکلاستی پلاژیک (Pelagic bioclast foraminifera wacjstone)

بافت این ریزرخساره گل‌پشتیبان و درصد روزنداران پلانکتونیک بین ۵ تا ۳۰ درصد متغیر است. دانه‌های اسکلتی بیش‌تر شامل بیوکلاست‌های مشتق شده از اکینوئیدها، پوسته دوکفه‌ای‌ها و روزنداران پلانکتونیک است. وجود مقادیر بالای میکرایت و نبود فونای کم‌عمق نشان از رسوب‌گذاری این ریزرخساره در شرایط هیدرودینامیکی آرام و آب‌های عمیق با شوری طبیعی در رمپ خارجی دارد (ویلسون ۱۹۷۵؛ کاروزی ۱۹۸۹؛ فلوگل ۲۰۱۰)، (شکل ۲-۱).

A2: پکستون بیوکلاستی الیگوستژینیدار (Oligostigind bioclast packstone)

اجزای اصلی این ریزرخساره شامل روزنبران پلانکتونیک مانند خانواده گلوبیژنیده و الیگوستژینیده است. سوزن اسفنج، خرده‌های اکینوئید و پلوییدهای ریز از دیگر

تفسیر رخساره‌های میکروسکوپی و محیط رسوبی

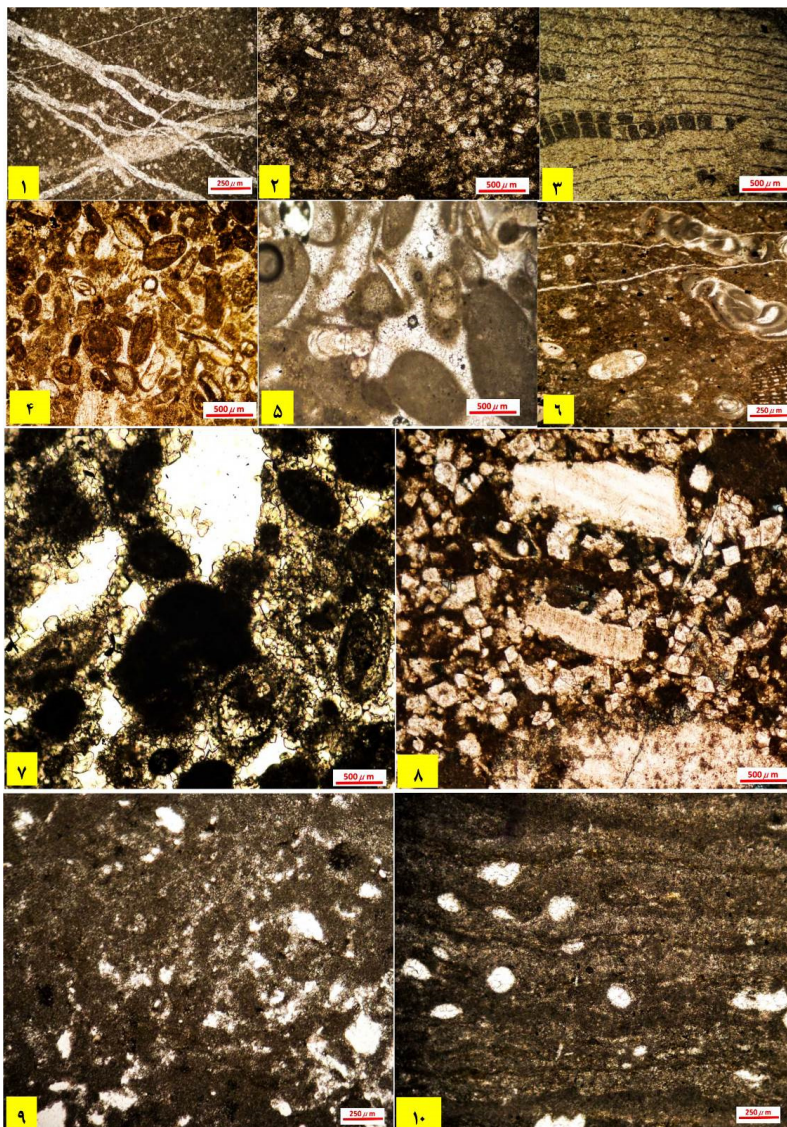
جهت ارزیابی محیط رسوبی سازند سروک در میدان مورد مطالعه ابتدا از روش سلی (۲۰۰۰) و قانون والتر الگوی برهم‌نهمش ریزرخساره‌ها مشخص و مجموعه‌های رخساره‌ای تعیین شدند، سپس با مقایسه خصوصیات ریزرخساره‌ها با کمر بندهای رخساره‌ای استاندارد نظیر ویلسون (۱۹۷۵) و فلوگل (۲۰۱۰) مدل رسوبی پیشنهادی سازند سروک در محدوده میدان نفتی مورد مطالعه پیشنهاد گردید. رخساره‌های سازند سروک در میدان مورد مطالعه در چهار کمر بند پهنه جزرومدی، سد (شول)، لاگون و دریای باز در یک پلاتفرم رمپ هموکلینال نهشته شده‌اند (شکل ۳).

کمر بند رخساره‌ای دریای باز (Open Marine)

در این کمر بند رسوب‌گذاری در آب با ژرفای چند ده متر تا صد متر اکسیژن‌دار و شوری معمول صورت می‌گیرد. میزان انرژی در این ناحیه پایین است. وجود میکروفونای الیگوستژینید و صدف میکروفسیل‌های پلانکتون در یک زمینه میکرایتی دیده می‌شود که نشان‌دهنده محیط آرام و کم انرژی است. بودن بیوکلاست‌های پلانکتون وابسته به دریایی ژرف و میکرایت فراوان نشانگر رسوب‌گذاری این

فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF3 ویلسون (۱۹۷۵) است. ریزرخساره A2 در کمر بند رخساره‌های FZ1 و FZ2 و کمر بند رخساره‌ای FZ3 ویلسون (۱۹۷۵) می‌تواند نهشته شود (شکل ۲-۲).

سازنده‌های این ریزرخساره هستند. فراوانی فونای پلاژیک، بافت گل‌پشتیبان، فراوانی ناچیز موجودات کفزی و نبود ذرات درشت نشان‌دهنده محیط ژرف و کم انرژی و نهشته شدن این رخساره در زیرخط اثر امواج دانست. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF2



شکل ۲. ریزرخساره‌های شناسایی شده در برش مورد مطالعه. ۱- وکستون روزندار بیوکلاستی پلاژیک؛ ۲- پکستون روزندار بیوکلاستی الیگوسترینیدار؛ ۳- رودیست باندستون؛ ۴- گرینستون روزندار بیوکلاستی اییدار؛ ۵- گرینستون روزندار بیوکلاستی پلویید و اینتراکلیست دار؛ ۶- وکستون روزندار بیوکلاستی بنتیک؛ ۷- وکستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده؛ ۸- پکستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده؛ ۹- دولومادستون؛ ۱۰- استروماتولیت باندستون.

در ریزرخساره‌های B1 (رودیست باندستون) و حضور دانه‌های الیید مربوط به محیط با انرژی بالا به همراه خرده‌های فسیل در ریزرخساره B2 (گرینستون روزندار بیوکلاستی اییدار) و ریزرخساره B3 (گرینستون روزندار

B: کمر بند رخساره‌ای سدی / شول (Bar/Shoal)

در این کمر بند میزان انرژی متوسط تا بالا است و به شستشوی رسوب می‌انجامد. نبود گل آهکی و اندازه بزرگ آلوکم‌های اسکلتی از جمله قطعات و خرده‌های رودیست

تا ۱/۵ میلی‌متر متغیر است. وجود بافت گریستونی و سیمان اسپارایتی در این ریزرخساره نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در یک محیط پراثری است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF11 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمر بند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل ۲-۵).

C: کمر بند رخساره‌ای مربوط به محیط لاگونی با چرخش آب محدود (Lagoon)

لاگون و حوضچه‌های جدا افتاده از دریا (توسط سد) معمولاً دارای چرخش آب محدود و آب شور هستند. شوری و میزان اکسیژن در این محیط متغیر است و رسوبات تشکیل شده در این نواحی اغلب کربناته است که پلویید فراوان‌ترین اجزاء تشکیل دهنده محسوب می‌شود (ویلسون، ۱۹۷۵). ریزرخساره‌های این گروه عمدتاً وکستون و پکستون به همراه روزنداران بنتیک دارای دیواره بدون منفذ هستند. وجود آلوکم اسکلتی نظیر خانواده میلیولیده، اربیتولینیده و آلوکم‌های غیراسکلتی نظیر اینتراکلت و پلت نشانگر رسوب‌گذاری در یک محیط آرام پشت سد می‌باشد که در رخساره‌های C1 (وکستون روزندار بیوکلاستی بنتیک)، C2 (وکستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده)، C3 (پکستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده) مربوط به محیط لاگون مشاهده می‌شوند (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۱۰). در ریزرخساره‌های دولومیتی شده، با وجود اینکه بافت اولیه در اثر فرایند دولومیتی شدن تقریباً از بین رفته ولی اثرهای به جا مانده از بافت اولیه و نوع و فراوانی آلوکم یافت شده از قبیل فسیل میلیولیده، پلت و اینتراکلت گواه به این است که این رخساره در یک محیط کم‌ژرفای لاگونی به سمت ساحل نهشته شده است.

ریزرخساره‌های کمر بند رخساره‌ای لاگون C

C1: وکستون روزندار بیوکلاستی بنتیک (Benthonic bioclast foraminifera wackestone)

در این ریزرخساره حدود ۲۵ درصد آلوکم اسکلتی نظیر روزنداران بنتیک، اکینوئید، قطعات دوکفه‌ای است به همراه حدود ۲۰ درصد پلت در یک زمینه گل آهکی مشاهده می‌شود. آشفته‌گی زیستی یکی از ویژگی‌های بارز این ریزرخساره محسوب می‌شود. وجود روزنداران بنتیک

بیوکلاستی پلویید و اینتراکلت‌دار) نشان از رسوب‌گذاری در منطقه با انرژی بالا و کمر بند رخساره‌ای سدی شول است. ریزرخساره‌های این کمر بند شامل گریستون‌های آلوکم‌دار با جورشدگی خوب در اندازه ماسه متوسط تا درشت تشکیل شده‌اند. این ریزرخساره‌ها به زیرمحیط پشته کربناته یا شول تعلق دارند. عمده آلوکم‌های اسکلتی این گروه روزندارانی از خانواده میلیولیده، اربیتولینیده و رودیست‌ها هستند.

ریزرخساره‌های کمر بند رخساره‌ای سدی/شول B

B1: رودیست باندستون (Rudist boundstone)

این ریزرخساره تماماً از قطعات درشت و سالم رودیست تشکیل شده است. ریزرخساره رودیست باندستون در ریف‌های کومه‌ای در زیر محیط شول معادل کمر بندهای رخساره‌های FZ5 و FZ6 ویلسون (۱۹۷۵) تشکیل شده است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF28 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF20 ویلسون (۱۹۷۵) است (شکل ۲-۳).

B2: گریستون روزندار بیوکلاستی ائیددار (Ooid

bioclast foraminifera grainstone)

در این ریزرخساره بین ۱۰ تا ۲۰ درصد آلوکم اسکلتی شامل روزنداران بنتیک و به مقدار کمتر از ۱۰ درصد خرده‌های اسکلتی و پلت دیده می‌شود. از ویژگی‌های شاخص این ریزرخساره مشاهده آلوکم غیراسکلتی ائید در اندازه حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد در زمینه اسپارایتی به همراه سایر آلوکم‌هاست. وجود سیمان اسپارایتی، نبود گل آهکی و جورشدگی و گردشدگی تقریباً خوب دانه‌ها نشان از محیط رسوب‌گذاری این ریزرخساره در محیط پراثری است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF11 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمر بند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل ۲-۴).

B3: گریستون روزندار بیوکلاستی پلویید و

اینتراکلت‌دار (Intraclat, pelloid, bioclast,)

(foraminifera graibstone)

این ریزرخساره شباهت زیادی به رخساره B2 داشته ولی حاوی دانه‌های غیراسکلتی شاخصی نظیر اینتراکلت در حدود ۲۰ درصد است. اندازه دانه‌های اینتراکلت بین ۰/۲

ریزرخساره‌های کمربند رخساره‌ای پهنه‌کنشندی D**D1: دولومادستون (Dolomudstone)**

این رخساره دربرگیرنده پلویید در یک زمینه میکرایتی دولومیتی شده است. اندازه بلورهای دولومیت ریز و بافت موزاییکی آن گزنوتوپیک است. از عناصر فرعی می‌توان به اکسید آهن اشاره کرد که در برخی نمونه‌ها میزان آن به ۱۵ درصد می‌رسد. تخلخل حفره‌ای (فابریک فنسترال) از ویژگی‌های مهم این ریزرخساره است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF21 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF21 ویلسون (۱۹۷۵) است. این ریزرخساره در کمربند رخساره‌ای شماره FZ9 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل ۲-۹).

D2: استروماتولیت باندستون (Stromatolite boundstone)

این رخساره به‌صورت لامینه‌های تیره و روشن مشخص می‌شود و از به دام افتادن رسوب یا چسبیدن آن به سیانوباکتری‌ها (جلبک‌های سبز - آبی) پدید آمده است. قالب کانی‌های تبخیری و فابریک چشم‌پرنده‌ای از ویژگی‌های بارز این رخساره است. استروماتولیت با دولومیت ریزبلور به همراه قالب کانی‌های تبخیری در محیط‌های هیپرسالین تشکیل می‌شوند. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF22 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF20 ویلسون (۱۹۷۵) است. این ریزرخساره در کمربند رخساره‌ای FZ9 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل ۲-۱۰).

محیط رسوبی

با مطالعه برش‌های نازک میکروسکوپی و تعیین ریزرخساره‌ها و ارتباط عمودی آن‌ها، مدل رسوبی سازند سروک در میدان نفتی مورد مطالعه بر اساس مدل ویلسون (۱۹۷۵) و فلوگل (۲۰۱۰) یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ هم‌شیب است. همچنین تغییرات تدریجی ریزرخساره‌ها از کم‌عمق تا عمیق، تنوع رخساره‌ای نه چندان زیاد، فقدان رخساره‌های آواری و توربیدیتی از دیگر شواهد رسوب‌گذاری در محیط رسوبی رمپ کربناته با شیب کم است. ریزرخساره‌های شناسایی شده سازند سروک در زیر محیط‌های رسوبی پهنه‌کنشندی، لاگون، سد (شول) و دریای باز نهشته شده‌اند (شکل ۳).

مانند خانواده میلیولیده در یک زمینه میکرایتی نشان از رسوب‌گذاری این ریزرخساره در شرایط لاگون دارد (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل؛ ۲۰۱۰). این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF18 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF8 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمربند‌های رخساره‌ای شماره FZ7 و FZ8 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل ۲-۶).

C2: پکستون روزندار بیوکلاستی بنتیک**(Benthonic bioclast foraminifera packstone)**

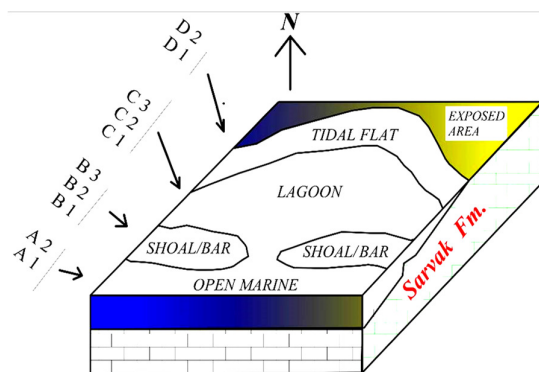
خصوصیات این ریزرخساره شباهت زیادی به رخساره C1 داشته ولی مجموع درصد دانه‌های اسکلتی و غیراسکلتی از ۵۰ درصد حجم کل نمونه‌ها بیشتر است. فابریک این رخساره دانه‌پشتیبان است و در محیط رسوبی لاگون به سمت پشته‌های کربناته و شول رسوب‌گذاری شده است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF18 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمربند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل ۲-۷).

C3: پکستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده**(Dolomitized bioclast foraminifera packstone)**

این ریزرخساره بین ۱۵ تا ۲۵ درصد دولومیتی شده است. بلورهای دولومیت به‌صورت شناور به همراه سایر دانه‌ها در یک زمینه ماتریکس میکرایتی قرار دارند. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF27 فلوگل (۲۰۱۰) و ریزرخساره استاندارد شماره SMF18 ویلسون (۱۹۷۵) است. این رخساره در کمربند رخساره‌ای شماره FZ6 ویلسون رسوب‌گذاری شده است (شکل ۲-۸).

D: کمربند رخساره زون‌کنشندی

در این کمربند سنگ‌شناسی غالب دولومیت ریزبلور به همراه ژپس و انیدریت و استروماتولیت می‌باشد. موجودات زنده بندرت در این محیط یافت می‌شوند. این محیط به‌طور کلی به دو بخش سوپراتایرال (فرا‌کنشندی) و اینترتایدال (بین‌کنشندی) تقسیم می‌شود. وجود نداشتن آشفستگی زیستی، وجود گل فراوان و عدم وجود فونای محدود به لاگون بیان‌کننده ته‌نشست ریزرخساره‌های این گروه در زون‌کنشندی است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۱۰).



شکل ۳. مدل رسوبی پیشنهادی برای سازند سروک در منطقه مورد مطالعه

سازند سروک در چاه مورد مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

نوشکلی: فرایند دیاژنتیکی نوشکلی به دو صورت نوشکلی ماتریکس میکرایتی که در این حالت گل آهکی در اثر تبلور دوباره و رشد بلورها به میکرواسپارایت تبدیل می‌شود. این فرایند در بسیاری از نمونه‌های نازک میکروسکوپی بسیار گسترده است؛ به گونه‌ای که تشخیص بافت اولیه رسوبی را در برخی از رخساره‌ها غیر ممکن ساخته است. نوع دوم نوشکلی به صورت تبدیل آراگونیت به کلسیت (نوشکلی پلی‌مورفیک) است که در این حالت بیوکلاست‌هایی نظیر خرده‌های رودیست کلسیتی می‌شوند. در نمونه‌های مورد مطالعه این فرایند دیاژنتیکی در محیط‌های دیاژنتیکی فرائیک و وادوز در شرایط دفنی صورت گرفته است. وجود دانه‌های ناپایدار و آب‌های فقیر از منیزیم از شرایط اساسی این فرایند دیاژنتیک است (بترست، ۱۹۷۵). این نوع فرایند دیاژنتیکی بیشتر در بخش‌های کم‌ژرفای رمپ میانی دیده می‌شود (شکل ۴-۱).

زیست‌آشفته‌گی: زیست‌آشفته‌گی از فرایندهای دیاژنتیکی است که بر اثر فعالیت زیستی و به هم‌ریختگی توسط موجودات در محیط دریایی بخصوص در رمپ خارجی ایجاد می‌شود. فرایند زیست‌آشفته‌گی در محیط‌های دریایی با تغییر بافت و ساختار اولیه رسوب سبب تغییر رنگ رسوبات به صورت تیره و روشن می‌شوند (فلوگل، ۲۰۱۰؛ هولیس، ۲۰۱۱). در نمونه‌های مطالعه سازند سروک زیست‌آشفته‌گی بیشتر در ریزرخساره گل‌پشتیان ناحیه آرام و عمیق در ریزرخساره‌های دریای باز و لاگون سازند سروک مشاهده می‌شود. در بعضی از نمونه‌ها این فرایند باعث جهت‌گیری سوزن‌های اسفنجی شده است آشفته‌گی زیستی

دیاژنز

رسوبات در طی زمان معمولاً در چند محیط دیاژنتیکی قرار می‌گیرند، چرخه قرارگیری آن‌ها در سیستم سنگ - سیال به طور متناوب صورت گرفته و واکنش بین سنگ و سیال به صورت حفره‌ها، سیمانی شدن، دولومیتی شدن و غیره مشاهده می‌شود (رحیم‌پوربناب، ۱۳۸۴). دیاژنز عبارت است از تغییراتی که در مشخصات، ویژگی‌ها و ترکیب رسوب از زمان نهشته شدن تا سنگ شدن و وارد شدن به محیط دگرگونی روی می‌دهد. مهم‌ترین این تغییرات شامل فشردگی، سیمانی شدن، انحلال، تبلور مجدد، تجزیه مواد آلی و تولید هیدروکربن‌ها است. رویدادهای دیاژنتیکی بر تخلخل و نفوذپذیری که از خواص کنترل‌کننده پتانسیل یک رسوب به عنوان مخزن نفت، گاز و آب است، تأثیر می‌گذارند. با افزایش ژرفا و سن رخساره‌ها که همراه با افزایش تدفین و دما است، میزان تأثیر فرایندهای دیاژنزی افزایش یافته و در نتیجه تخلخل بیشتر کاهش می‌یابد. بررسی و مطالعه مراحل دیاژنتیکی نیز به دلیل تغییراتی که در سنگ پدید می‌آورد بسیار حایز اهمیت است. با توجه به اینکه سنگ‌های رسوبی از نظر اقتصادی و وجود مواد هیدروکربوری اهمیت زیادی دارند، مطالعه فرایندهای دیاژنتیکی یکی از مراحل مهم در پیش‌بینی رفتار مخزن خواهد بود. مطالعات پتروگرافیکی نمونه‌های سازند سروک در چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که سازند سروک دیاژنز کم‌ژرفای دریایی و جوی تا محیط دیاژنتیکی ژرف را تجربه کرده است. در مطالعات دیاژنتیکی از منابعی نظیر (شاهوردی و همکاران، ۱۳۹۴؛ عالیشوندی و همکاران، ۱۳۹۷؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ملک‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰ و خطیر و همکاران، ۱۴۰۰) استفاده شده است. از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیکی صورت گرفته بر روی

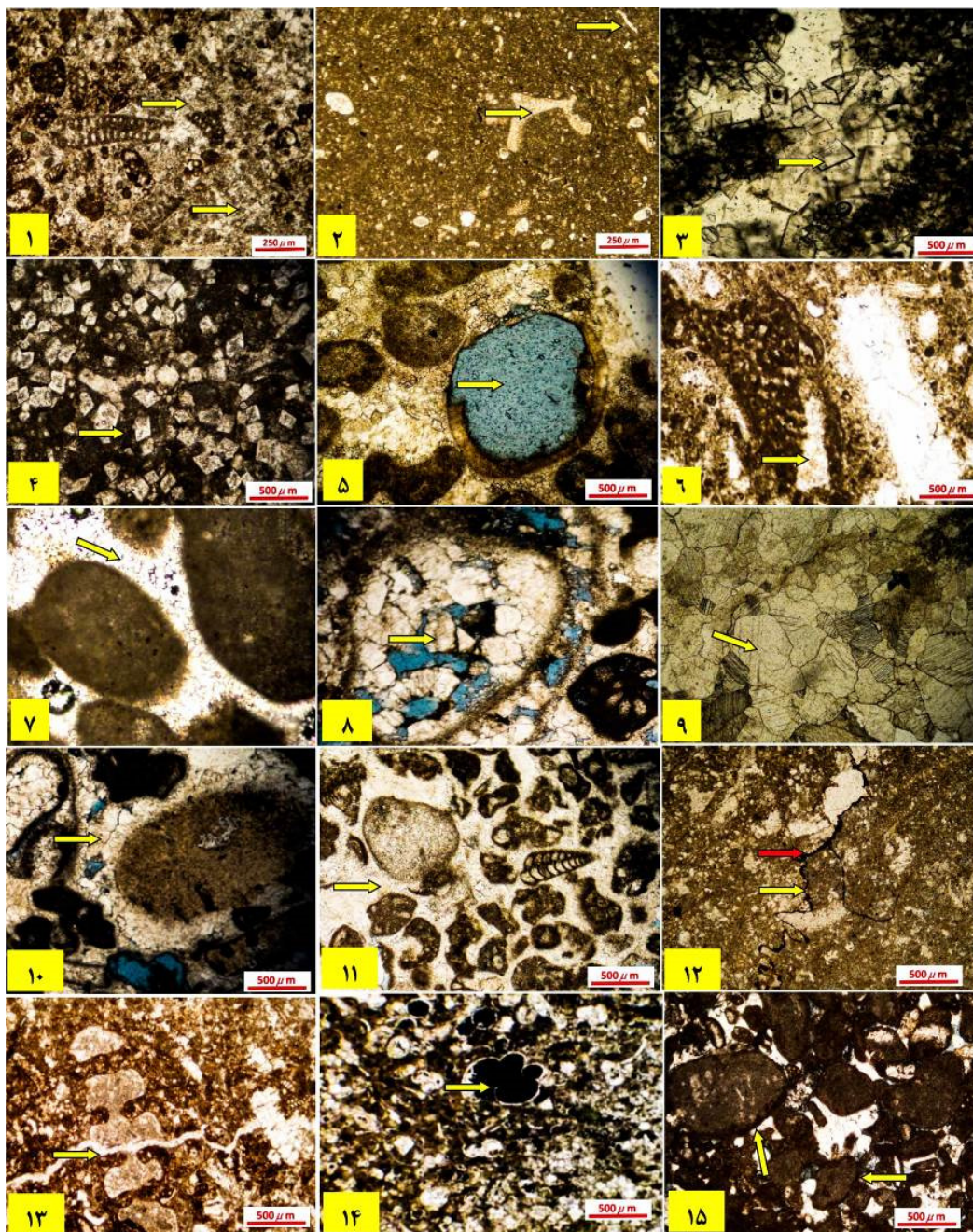
محکم از فشردگی بیشتر رسوب جلوگیری کرده و سبب حفظ تخلخل اولیه می‌شوند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸). حاج‌کاظمی و همکاران (۲۰۱۰) همانند این سیمان‌ها را در سازند سروک در جنوب‌باختر ایران گزارش کرده و تشکیل آن را به محیط جوی نسبت داده‌اند. سیمان کلسیت‌دروزی در محیط‌های جوی و دفنی تشکیل شده (تاگر و رایت، ۱۹۹۰). در برش‌های مورد مطالعه این سیمان تخلخل‌های اولیه و ثانویه را پر کرده است. در توالی مورد مطالعه این سیمان در رخساره‌های دانه‌پشتیبان در پشته‌ها و رمپ میانی به فراوانی و در رخساره‌های ریف و لاگون به میزان کمتر و در رخساره‌های رمپ خارجی خیلی کم دیده می‌شود. در توالی مورد مطالعه این نوع سیمان هم در محیط جوی و هم در محیط دفنی گسترش دارد. سیمان‌های بلوکی پرکننده بخشی از تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای و شکستگی‌ها هستند که نشانگر تشکیل در محیط دفنی است. این سیمان در تمامی گروه‌های ریزرخساره‌ای مورد مطالعه به‌ویژه در رخساره‌های دانه‌پشتیبان بیشتر مشاهده می‌شود. از دیگر سیمان‌های مهم مشاهده شده در برش‌های مورد مطالعه می‌توان به سیمان کلسیت پویی‌کیلوتوپیک (درب‌گیرنده) اشاره کرد. این نوع سیمان به‌صورت فراگیر تخلخل‌های بین‌بلوری و بین‌دانه‌ای را پر کرده و سبب کاهش پتانسیل مخزنی شده است. سیمان پویی‌کیلوتوپیک در محیط تدفینی تشکیل شده و بیشتر در رخساره‌های دانه‌پشتیبان دیده می‌شود (شول و شول ۲۰۰۳)، (شکل‌های ۴-۷ الی ۴-۱۱).

استیلولیتی شدن: از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیکی شاخص دیاژنز دفنی در نمونه‌های مورد رگه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها هستند که بیشتر در ریزرخساره‌های گل‌پشتیبان مادستون تا وکستونی مشاهده می‌شوند. استیلولیت‌ها بیشتر در رخساره‌های مربوط به محیط لاگون، بخش‌های ژرف رمپ خارجی و حوضه گسترش دارند. استیلولیت‌ها در گروه‌های ریزرخساره ریف‌های رودیستی و رمپ میانی کمتر دیده می‌شوند. فرایند دولومیتی شدن در امتداد استیلولیت‌ها دیده می‌شود و استیلولیت‌ها مجراهایی برای عبور سیال‌های دولومیت‌ساز ایجاد کرده‌اند. همچنین در امتداد استیلولیت‌ها آثار هیدروکربور فراوان دیده می‌شود. استیلولیت‌ها فابریک سنگ، دانه‌ها، سیمان و زمینه را با هم قطع می‌کنند (شکل ۴-۱۲).

تأثیر محسوسی بر روی پتانسیل مخزنی سازند سروک در چاه مورد مطالعه نداشته است (شکل ۴-۲).
دولومیتی شدن: مهم‌ترین فرایند دیاژنتیکی در ریزرخساره‌های مطالعه شده میدان مورد مطالعه دولومیتی شدن است. برخی از دولومیت‌ها به‌صورت ریزبلور و برخی به‌صورت لوزی شکل درشت‌بلور در زمینه ریزرخساره‌ها شناور هستند. شکل‌گیری اولیه دولومیت‌ها در طی فرایندهای دیاژنتیکی اولیه (ائوژنتیک) صورت می‌گیرد و در مراحل بعدی دیاژنز تاخیری و در اثر بالآمدگی زمین‌ساختی کربنات‌های مدفون و قرارگیری مجدد آن‌ها در محیط دیاژنتیکی تولوژنیک تشکیل می‌شوند. در نتیجه دولومیت‌های جانیشینی از تبلور دولومیت‌های ریز و متوسط بلور (دولومادستون و دولووکستون) تشکیل می‌شوند. همچنین در نمونه‌های مورد مطالعه ارتباط معنی‌داری بین استیلولیت‌ها و دولومیتی شدن ریزرخساره‌ها مشاهده می‌شود (حاج‌کاظمی و همکاران، ۲۰۱۰، رحیم‌پوربناب و مهرابی، ۲۰۱۲)، (شکل‌های ۴-۳ و ۴-۴).

انحلال: یکی از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیکی مشاهده شده در نمونه‌های مورد مطالعه سازند سروک در میدان مورد مطالعه انحلال است. این فرایند موجب گسترش تخلخل‌های حفره‌ای شده و تقریباً در طول ضخامت سازند مورد مطالعه مشاهده می‌شود. انحلال در همه دانه‌های تشکیل‌دهنده ریزرخساره‌ها اعم از دانه‌های اسکلتی و غیراسکلتی، سیمان و ماتریکس مشاهده می‌شود. هرچند که در ریزرخساره‌های دانه‌پشتیبان فرایند دیاژنتیکی انحلال بیشتر مشاهده می‌شود (شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶).

سیمانی شدن: در بررسی‌های دیاژنتیکی توالی‌های کربناته یکی از مهم‌ترین فرایندهایی که می‌بایست مورد مطالعه قرار گیرد، تفکیک و شناخت انواع سیمان‌ها است. مهم‌ترین سیمان‌های شناسایی شده در نمونه‌های مورد مطالعه سیمان کلسیتی هم‌بعد ریزبلور، سیمان دروزی، سیمان بلوکی، سیمان سین‌تکسیال و سیمان‌های دفنی نیمه‌ژرف تا ژرف است. سیمان کلسیتی هم‌بعد در توالی مورد مطالعه بخشی از تخلخل میان‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای واقع در حجرات رودیست‌ها و روزنیران را پر کرده است و بیشتر در رخساره‌های دانه‌پشتیبان نزدیک به پشته‌ها در رمپ میانی و پشته‌ها دیده می‌شود. این سیمان به‌صورت بلورهای کوچک و هم‌اندازه در محیط‌های جوی و دفنی تشکیل می‌شود. سیمان‌های هم‌ضخامت با ایجاد ساختاری



شکل ۴. ۱- نوشکلی، تبدیل میکرایت به میکرواسپارایت، ریزرخساره و کستون روزندار بیوکلاستی بنتیک، ۲- آشفته‌گی زیستی در ریزرخساره و کستون روزندار بیوکلاستی پلاژیک، ۳- دولومیتی شدن، دولومیت حفره پر کن در ریزرخساره و کستون روزندار بیوکلاستی بنتیک دولومیتی شده، ۴- دولومیتی شدن، دولومیت‌های شکل‌دار شناور در ماتریکس میکرایتی محصول دیاژنز دغنی در ریزرخساره و کستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده، ۵- انحلال در ریزرخساره گرینستون روزندار بیوکلاستی پلویید و اینتراکلاست‌دار، ۶- انحلال دانه اسکلتی در رخساره و کستون روزندار بیوکلاستی دولومیتی شده، ۷- سیمان هم‌بعد در ریزرخساره گرینستون روزندار بیوکلاستی پلویید و اینتراکلاست‌دار، ۸- سیمان بلوکی متوسط بلور که تا حدود ۸۰ درصد تخلخل درون‌دانه‌ای و قالبی را پر کرده است، ریزرخساره گرینستون روزندار بیوکلاستی پلویید و اینتراکلاست‌دار، ۹- سیمان بلوکی در ریزرخساره گرینستون روزندار بیوکلاستی بنتیک محصول دیاژنز دغنی، ۱۰- سیمان رورشدی هم‌محور (سین‌تکسیال) اطراف دانه اسکلتی در ریزرخساره گرینستون روزندار بیوکلاستی بنتیک، ۱۱- سیمان پویی کیلوتوپیک (دربرگیرنده) در رخساره گرینستون روزندار بیوکلاستی اابیدار، ۱۲- استیلوبیتی شدن در ریزرخساره و کستون روزندار بیوکلاستی پلاژیک (فلش زرد) به همراه پرشدگی استیلوبیت‌ها با هماتیت (فلش قرمز)، ۱۳- شکستگی دانه اسکلتی به همراه فرایند هماتیته شدن در ریزرخساره و کستون روزندار بیوکلاستی بنتیک، ۱۴- پیرینی شدن درون حجرات روزندار پلانکتونیک (تخلخل پر شده درون حجره روزندار با پیریت، فلش زرد) در ریزرخساره و کستون روزندار بیوکلاستی الیگوستژنیدار، ۱۵- میکرایتی شدن اطراف دانه‌های اسکلتی که باعث حفظ دانه‌ها شده است در ریزرخساره گرینستون روزندار بیوکلاستی پلویید و اینتراکلاست‌دار.

تغییرات آن‌ها به‌طور عمودی در برابر ژرفای مربوط به خود از پایین چاه به سمت بالا ترسیم شده است، بطوریکه پراکندگی آن‌ها در هر زون مخزنی کاملاً مشخص است. در شکل ۵ پراکندگی تغییرات فرایندهای دیاژنزی و انواع اصلی تخلخل مربوط به سازند سروک در محدوده پهنه‌های مخزنی آورده شده است.

زون‌بندی سازند سروک در چاه مورد مطالعه

ارزیابی پتروفیزیکی سازندهای مخزنی بر مبنای تفسیر اطلاعات نگارهای پتروفیزیکی و مغزه‌ها به منظور بررسی کیفیت و زون‌بندی مخازن جهت تعیین توالی‌های با نرخ بهره‌برداری مناسب، انجام می‌شود. شناخت نوع سنگ‌شناسی، ریزرخساره‌ها، محاسبه پارامترهای مخزنی از قبیل حجم شیل و رس، میزان تخلخل کل، تخلخل مؤثر و درجه اشباع از آب در ارزیابی پتروفیزیکی به جهت پی‌بردن به کیفیت مخزنی سازندها و مدل‌سازی مخازن امری ضروری است. زون‌بندی در مخازن به منظور شناسایی لایه‌های مخزنی از مهم‌ترین مراحل مطالعات به شمار می‌رود. به این ترتیب در قسمت‌هایی که پتانسیل بیشتری برای تولید هیدروکربن دارند، مطالعات تولیدی در آن‌ها بیشتر متمرکز گردیده و از اتلاف هزینه‌های گزاف در لایه‌های غیرمخزنی جلوگیری می‌شود؛ بنابراین با شناخت دقیق زون‌های مخزن می‌توان در راستای بهره‌برداری بهینه از مخزن گام برداشت. به‌طور کلی هر زون مخزنی می‌تواند از یک یا چند گونه سنگی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی و پتروفیزیکی تقریباً مشابه تشکیل شود که متعاقباً ویژگی‌های رفتاری و دینامیکی تقریباً یکسانی از خود نشان می‌دهند.

سازند سروک در میدان یادآوران تاکنون به‌طور مستقل زون‌بندی نشده است و گاهی مطابق زون‌بندی در مخازن مجاور و بر اساس اطلاعات موجود روی بعضی از نقشه‌های ترسیمی سرچاهی و نمودارهای الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته است؛ بنابراین زون‌بندی دقیق سازند سروک در این میدان می‌تواند در بررسی و پیش‌بینی رفتار مخزن مفید واقع شود. تعیین عمق زون‌های شناسایی شده و زون‌بندی سازند سروک در میدان مورد مطالعه بر اساس تغییرات لاگ‌های چاه‌پیمایی از جمله لاگ گاما و لاگ نوترون، درصد اشباع آب، درصد اشباع نفت، حجم شیل، تعیین ریزرخساره‌ها و درصد تخلخل آن‌ها (مطالعه

شکستگی: در توالی مورد مطالعه شکستگی‌ها بیشتر در گروه‌های ریزرخساره‌های لاگون و رمپ خارجی دیده می‌شوند. شکستگی‌ها معمولاً در آخرین مراحل دیاژنز دفنی ایجاد می‌شوند (تاکر و رایت، ۱۹۹۰). برخی از آن‌ها هنوز از سیمان پر نشده و به‌صورت شکستگی باز مشاهده می‌شوند. این نوع شکستگی در ارتباط بین تخلخل‌ها و افزایش تراوایی سنگ مخزن، مهاجرت و در نهایت رفتار مخزن نقش مهم را ایفا می‌کنند (شکل ۴-۱۳).

هماتیتی شدن: فرایند هماتیتی شدن به‌صورت پراکنده در برخی نمونه‌های مورد مطالعه دیده می‌شود. هماتیت به‌صورت پرکننده حجرات برخی از روزنداران و یا به‌صورت آغشتگی در زمینه میکرایتی ریزرخساره‌ها مشاهده می‌شود. همچنین در برخی نمونه‌ها پوشش هماتیتی به‌صورت آغشتگی در سطح آلوکوم‌ها دیده می‌شود. منشأ آهن می‌تواند انحلال کانی‌های رسی و یا انتقال توسط آب‌های جوی فرورو در بازه زمانی دیاژنز تدفینی و یا در هنگام مرحله تلوزن در زمان بالآمدگی باشد (تاکر، ۲۰۰۴؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۸)، (شکل ۴-۱۳).

پیری شدن: در برش‌های میکروسکوپی پیریت به‌صورت جانیشینی هم در زمینه و هم درون حجرات روزنداران مشاهده می‌شود. بیش‌ترین مقادیر پیریتی شدن در ریزرخساره‌های گل‌پشتیبان مربوط به رمپ داخلی مشاهده می‌شود. هنگامی که کربن آلی اکسید شده توسط باکتری‌ها با سولفات احیاء شده ترکیب شود، سولفید آهن تشکیل می‌شود و در ادامه سولفید با آهن واکنش داده و پیریت تشکیل می‌شود (شونن، ۲۰۰۴). هر چه میزان سولفات، آهن و کربن آلی ناپایدار در محیط بیشتر باشد مقادیر بیشتری پیریت تشکیل می‌شود (شونن، ۲۰۰۴؛ کانفیلد، ۲۰۰۴؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۸)، (شکل ۴-۱۴).

میکرایتی شدن: فرایند میکرایتی شدن بیشتر در محیط‌های آرام لاگون انجام شده و پوشش ایجاد شده در اطراف دانه‌ها بخصوص دانه‌های اسکلتی باعث حفظ ساختار اولیه و قالب دانه‌ها می‌شود. و تخلخل اولیه رسوب با حفظ‌شدگی دانه‌ها تأمین می‌شود (شکل ۴-۱۵).

ارتباط فرایندهای دیاژنزی و انواع تخلخل با زون‌های مخزنی

در این مطالعه پس از مطالعه برش‌های نازک میکروسکوپی و بررسی فرایندهای دیاژنزی غالب در سازند سروک،

رگچه‌های انحلال فشاری^۴ و استیلولیتی شدن نیز مشاهده می‌شود. در این زون نیز همچنان تخلخل اصلی از نوع حفره‌ای^۵ با میزان کمتر از ۵ درصد است. سایر تخلخل‌های مشاهده شده در این زون شامل تخلخل درون‌دانه‌ای^۶، بین‌دانه‌ای^۷ و قالبی^۸ هر کدام با میانگینی بین ۲ تا ۵ درصد مشاهده می‌باشند. به علت درصد پایین تخلخل مؤثر این زون مخزن مستعدی برای برداشت محسوب نمی‌شود.

زون مخزنی ۴ (Zone#4): زون مخزنی ۴ با ستبرای حدود ۲۶۰ متر منطبق بر بخش‌های میانی سازند سروک و از ژرفای ۲۷۵۲ تا ۳۰۱۲ متری از توالی کربناته سازند سروک را در بر می‌گیرد. بافت رسوبی عمدتاً پکستون و گرینستون است. فرایندهای دیاژنزی مشاهده شده شامل دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن و تا حدودی سیمانی شدن می‌باشند. تخلخل‌های مشاهده شده شامل تخلخل‌های حفره‌ای، درون‌دانه‌ای و قالبی می‌باشند. این زون را می‌توان به سه زیر زون تقسیم‌بندی کرد. زیر زون شماره ۴-۱ با ضخامت حدود ۱۲۰ متر با بافت پکستونی و گرینستونی زون مستعدی برای ذخیره هیدروکربن به شمار می‌رود. عمده تخلخل‌های مشاهده شده در این زیر زون به میزان کمتر تخلخل ناشی از دولومیتی شدن و به میزان بیشتر تخلخل حفره‌ای و شکستگی است. زیر زون فرعی شماره ۴-۲ با ضخامت حدود ۴۰ متر کیفیت مخزنی کمتری را داراست که دلیل آن می‌تواند فرایندهای اصلی دیاژنزی مخرب کیفیت مخزن باشد که باعث کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش کیفیت مخزنی این زیر زون شده است. زیر زون فرعی شماره ۴-۳ با ضخامت حدود ۱۰۰ متر از پتانسیل مخزنی قابل قبولی برخوردار هست و خصوصیات پتروگرافیکی و پتروفیزیکی تقریباً مشابه‌ای با زیر زون فرعی ۴-۱ دارد.

زون مخزنی ۵ (Zone#5): این زون مخزنی با ستبرای ۲۰۰ متر از ژرفای ۳۰۱۲ تا ۳۲۱۲ متری از توالی کربناته سازند سروک را در بر می‌گیرد. این ژرفا منطبق بر بخش‌های پایینی سازند سروک است. بافت رسوبی عمدتاً مادستونی - وکستونی و تا حدودی پکستون است. این زون به‌طور کلی کیفیت مخزنی چندان مطلوبی ندارد، ولی با تغییراتی که در نمودارهای چاه‌پیمایی و تغییرات کمی و

برش‌های نازک میکروسکوپی) و هم‌ارزی داده‌های پتروگرافی با پتروفیزیکی صورت گرفته است. در چاه مورد مطالعه تعداد ۵ زون مخزنی اصلی و ۴ زون مخزنی فرعی (در مجموع ۹) زون مخزنی تفکیک شده که به شرح زیر است.

زون مخزنی ۱ (Zone#1): ستبرای زون ۱ حدود ۴۰ متر است و از ژرفای ۲۵۷۰ تا ۲۶۱۰ متری توالی سازند سروک را در بر می‌گیرد. ریزرخساره‌های مشاهده شده در این زون عمدتاً وکستون تا پکستون می‌باشند. فرایند دیاژنزی اصلی در زون ۱ سیمانی شدن^۱ و به میزان کمتر می‌توان به دولومیتی شدن و استیلولیتی شدن (ناشی از پدیده فشردگی شیمیایی) اشاره کرد. تخلخل‌های اصلی مشاهده شده در این زون شامل تخلخل‌های درون‌دانه‌ای و بین‌دانه‌ای با میانگینی در حدود کمتر از ۳ درصد می‌باشند. در این زون تخلخل‌ها غیر مرتبط بوده و فشردگی شیمیایی و سیمانی شدن ثانویه مخرب کیفیت مخزنی بوده و آن را به زونی نامناسب جهت تجمع مواد هیدروکربنی تبدیل کرده است.

زون مخزنی ۲ (Zone#2): این زون مخزنی با ستبرای حدود ۸۲ متر ژرفای ۲۶۱۰ تا ۲۶۹۲ متری از توالی کربناته سازند سروک را در بر می‌گیرد. بافت رسوبی در این زون عمدتاً پکستون تا گرینستون است. فرایند دیاژنزی اصلی که در این زون رخ داده انحلال^۲ می‌باشد. به میزان کمتر سیمانی شدن و استیلولیت (ناشی از پدیده فشردگی شیمیایی) در این زون مشاهده می‌شود. تخلخل اصلی مشاهده شده در این زون حفره‌ای^۳ با میانگین حدود ۱۲ درصد می‌باشد. سایر تخلخل‌های مشاهده شده در این زون تخلخل درون‌دانه‌ای، تخلخل ناشی از دولومیتی شدن، تخلخل ناشی از شکستگی است. این زون یکی از زون‌های مهم با توان هیدروکربن‌زایی بالا است.

زون مخزنی ۳ (Zone#3): این زون مخزنی با ستبرای حدود ۶۰ متر ژرفای ۲۶۹۲ تا ۲۷۵۲ متری از توالی کربناته سازند سروک را در بر می‌گیرد. بافت رسوبی عمدتاً وکستون است. انحلال و دولومیتی شدن فرایندهای اصلی دیاژنزی مشاهده شده در این زون می‌باشند. همچنین در بخش‌هایی از این زون فرایند دیاژنتیکی سیمانی شدن،

⁵ Vuggy

⁶ Intraparticle

⁷ Interparticle

⁸ Moldic

¹ Cementation

² Dissolution

³ Vuggy

⁴ Dissolution seams

ارزیابی پتروفیزیکی

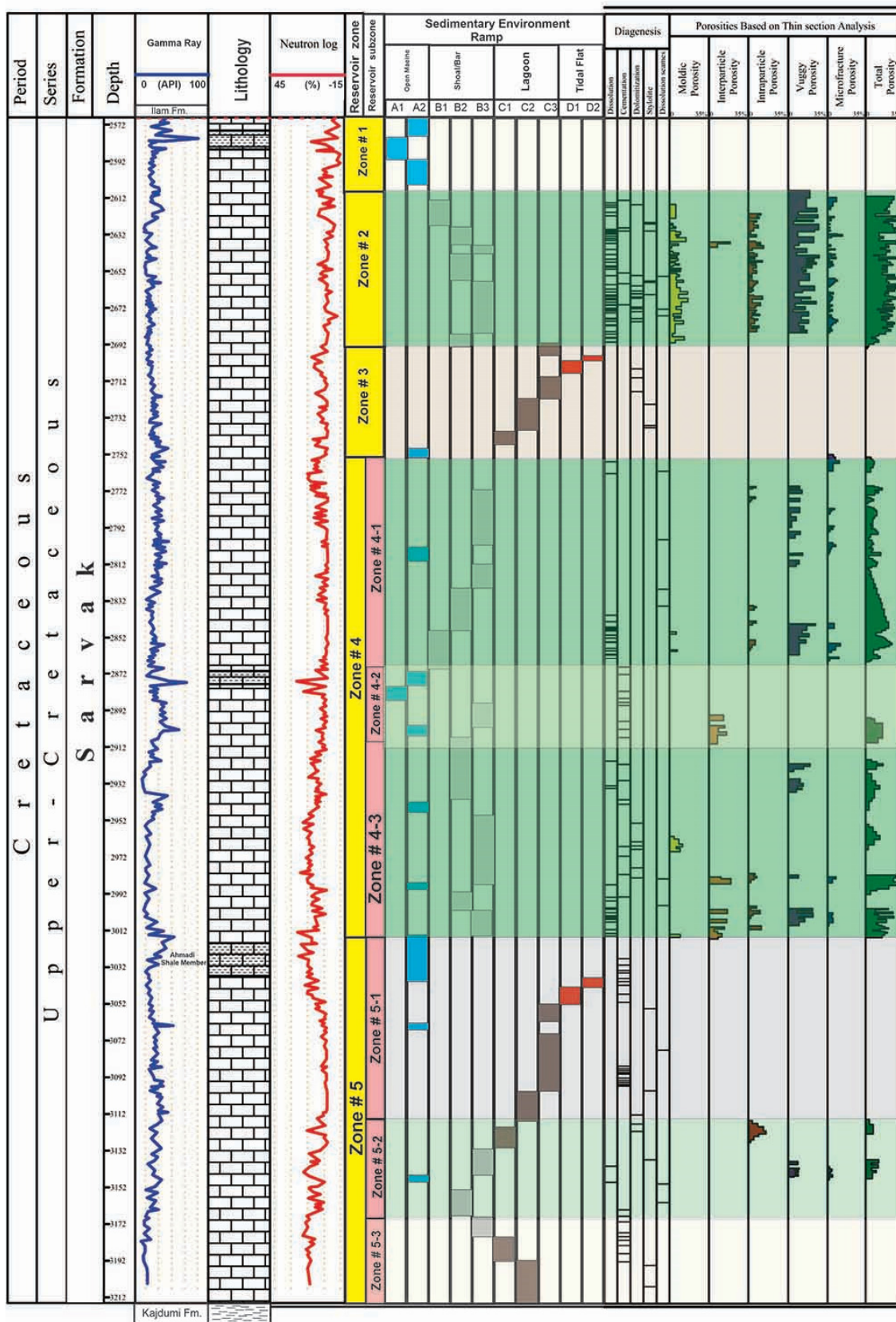
ارزیابی پتروفیزیکی شامل بررسی رابطه بین خواص فیزیکی سنگ، سیالات درون آن و همچنین محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی از قبیل تخلخل، تراوایی و اشباع‌شدگی جهت تهیه مدل پتروفیزیکی و استاتیکی است. پارامترهای فیزیکی اصلی مورد نیاز برای ارزیابی یک مخزن شامل تعیین سنگ‌شناسی، تخلخل، اشباع آب و حجم شیل می‌باشند. ارزیابی پتروفیزیکی یک سازند با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی می‌تواند نقش مهمی در ارزیابی کمی و کیفی آن سازند داشته باشد. به واسطه این ارزیابی می‌توان سازند را از دید مخزنی و غیر مخزنی زون‌بندی کرد و در برنامه‌های آینده توسعه میدان، برای بخش‌هایی از سازند مخزنی که توانایی بهتری در تولید هیدروکربور دارند و در کل توسعه پایدار میدان تصمیمات بهتری گرفت.

تعیین سنگ‌شناسی

از مهم‌ترین مراحل ارزیابی خواص مخزنی تعیین کمی و کیفی سنگ‌شناسی مخازن می‌باشد. با تعیین دقیق سنگ‌شناسی می‌توان مناطق دارای کیفیت مخزنی از غیرمخزنی را تمیز داد. در آنالیز کمی نگارها دلایل متعددی مبنی بر ضرورت شناخت سنگ‌شناسی وجود دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل این است که ضریب سازندی و متغیرهای مورد استفاده در رابطه با اشباع آب آرچی برحسب سنگ‌شناسی تغییر می‌یابند. افزون بر این اهمیت شناسایی سنگ‌شناسی یک سازند از آنجا معلوم می‌گردد که دانستن آن باعث ارزیابی دقیق فاکتورهای پتروفیزیکی دیگری مانند تخلخل و اشباع آب می‌گردد. پارامترهای مورد نیاز در محاسبه این فاکتورها Δt و ρ_{ma} می‌باشند و لازم است در روش مولتی مین با آگاهی از سنگ‌شناسی و سیال سازند به طراحی مدل مناسب پرداخته شود. البته باید توجه کرد که با تکیه بر نگارهای چاه‌پیمایی سنگ‌شناسی دقیق یک سازند را مشخص کرد تردیدهایی وجود دارد (هرست و همکاران، ۲۰۰۰). از این‌رو داده‌های حاصل از نگارهای چاه‌پیمایی باید با سایر منابع زمین‌شناسی مانند خرده‌های حفاری و مغزه ترکیب گردند تا امکان تعیین دقیق سنگ‌شناسی میسر گردد.

کیفی تخلخل در برش‌های میکروسکوپی مورد مطالعه می‌توان این زون را به سه زیر زون فرعی شماره ۵-۱، ۵-۲ و ۳-۵ تقسیم‌بندی کرد. زیر زون فرعی شماره ۱-۵ با ضخامت حدود ۱۰۰ متر بخش شیل احمدی را نیز در بر می‌گیرد. بافت رسوبی عمدتاً وکستون و مادستون و تا حدودی پکستون است. فرایندهای دیاژنزی مشاهده شده عمدتاً سیمانی شدن، استیلولیتی شدن و تا حدودی دولومیتی شدن می‌باشند. در طول ستبرای این زون درزه‌های انحلالی نیز به مقدار کم مشاهده می‌شوند. تخلخل‌های مشاهده شده شامل تخلخل‌های حفره‌ای، بین‌دانه‌ای و تخلخل حاصل از ریزشکستگی می‌باشند. فرایندهای دیاژنزی مشاهده شده مخرب کیفیت مخزن بوده و باعث کاهش تخلخل شده و در نتیجه این زون را به زونی بدون کیفیت مخزنی مبدل کرده است. فرایندهای دیاژنتیکی از جمله دولومیتی شدن، شکستگی، رگچه‌های انحلال فشاری، استیلولیتی شدن و تا حدی انحلال باعث شده که تنها زیر زون فرعی شماره ۵-۲ تا حدی کیفیت مخزنی از خود نشان دهد.

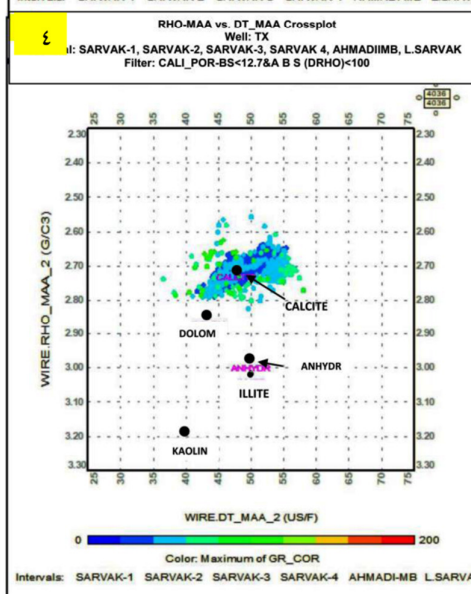
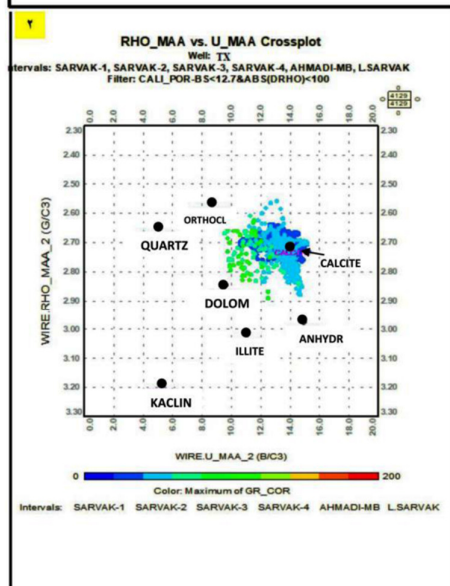
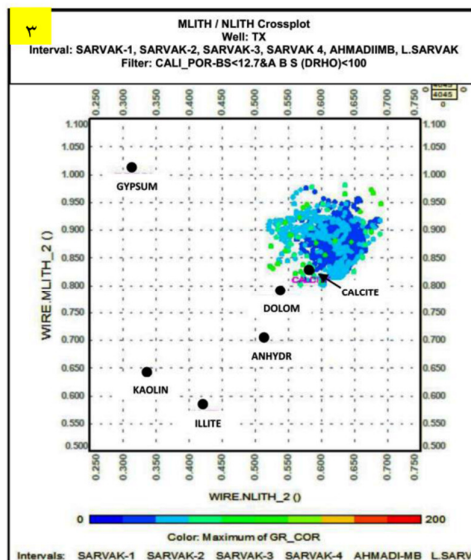
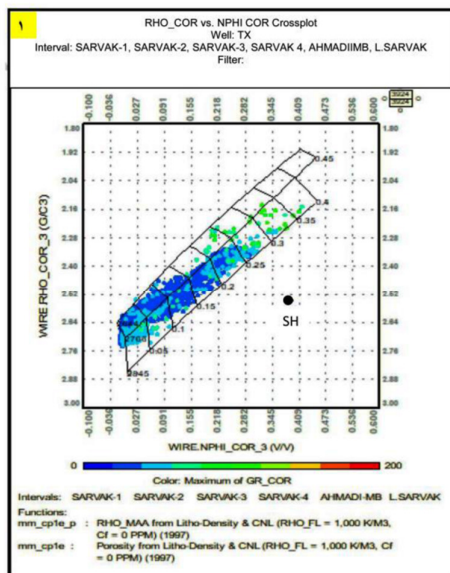
در میان زون‌های مخزنی معرفی شده در بالا تنها زون‌های اصلی ۲، زیر زون فرعی ۴-۱، ۳-۴ و تا حدی زیر زون فرعی ۲-۵ کیفیت مخزنی مناسبی را دارا هستند. این زون‌ها به دلیل دارا بودن تخلخل مؤثر و تحمل فرایندهای دیاژنزی که در نهایت موجب ایجاد تخلخل و تراوایی مناسب جهت تجمع مواد هیدروکربنی شده است، به زون‌های مخزنی مناسب و مستعد برداشت نفت معرفی می‌شوند. در سایر بخش‌های توالی چینه‌ای سازند سروک در چاه مورد مطالعه فرایندهای دیاژنزی کم‌وبیش بر روی کرنات‌های این سازند تأثیرگذار بوده‌اند. بیشترین میزان دیاژنز مؤثر بر روی توالی کرنات‌ها سازند سروک در این بخش‌ها فرایند سیمانی شدن است که موجب پر شدن فضاهای تخلخل اولیه و ثانویه با انواع سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی شده است و به همین دلیل تخلخل قابل اندازه‌گیری در این بخش‌ها کاهش یافته و در نتیجه این زون‌های مخزنی دارای کیفیت مناسب مخزنی جهت تجمع مواد هیدروکربنی معرفی نشده‌اند. پراکندگی فرایندهای دیاژنزی به همراه زون‌های مخزنی شناسایی شده در ستون چینه‌شناسی سازند سروک در میدان نفتی یادآوران در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵. پراکندگی فرایندهای دیاژنزی به همراه زون‌های مخزنی شناسایی شده در ستون چینه‌شناسی سازند سروک، میدان نفتی یادآوران، زون‌های اصلی ۲ و ۴ بالاترین پتانسیل مخزنی را دارا هستند (رنگ سبز).

– سنگ MID – Plot و M-N Plot MAA vs. U-MAA)
 شناسی غالب سازند سروک در چاه مورد مطالعه سنگ
 آهک تعیین می‌شود (شکل ۶).

در این مطالعه سنگ‌شناسی سازند سروک با استفاده از
 نگارهای چاه‌پیمایی و نمودارهای متقاطع استاندارد به
 چهار روش شناسایی شده است. بر اساس بررسی کراس
 پلات‌های نوترون- چگالی (RHO-NPHI)، (RHO-
 MLITH / NLITH Crossplot
 Well: TX
 Interval: SARVAK-1, SARVAK-2, SARVAK-3, SARVAK 4, AHMADI MB, L.SARVAK
 Filter: CALI_POR-BS<12.7&A B S (DRHO)<100



شکل ۶. تعیین سنگ‌شناسی با استفاده از کراس پلات‌ها ۱- کراس پلات RHO-NPHI ۲- کراس پلات RHO-MAA vs. U-MAA ۳- کراس پلات M-Plot RHO ۴- کراس پلات MID – Plot

تخلخل‌هایی (درون ذره‌ای) که دارند چنانچه مورد توجه و
 محاسبه قرار نگیرند، اثر مشهودی بر نتایج محاسبه تخلخل،
 تراوایی و اشباع آب مخزن خواهند گذاشت؛ بنابراین لازم
 است که در مطالعات پتروفیزیکی میزان حجم شیل
 محاسبه شده و به صورت تصحیح شده گزارش شود. امروزه
 متداول‌ترین شیوه محاسبه حجم شیل بخصوص در

محاسبه حجم شیل
 از مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی در تمامی مطالعات
 پتروفیزیکی و بررسی کیفیت مخزن محاسبه حجم شیل
 است. خواص الکتریکی رس‌های موجود در شیل‌ها تأثیر
 زیادی روی مقاومت ویژه محاسبه شده نگارهای چاه‌پیمایی
 دارد. همچنین شیل و کانی‌های رسی به دلیل ریز

در رابطه فوق، برای تعیین گامای حداقل (CGRmin)، فواصل کاملاً تمیز عاری از شیل و برای تعیین گامای حداکثر (CGR max)، لایه‌های کاملاً شیلی انتخاب می‌شوند. CGR log نیز قرائت نگار گاما در ژرفایی که حجم شیل در آن نقطه مورد محاسبه قرار می‌گیرد. میانگین حجم شیل محاسبه شده برای چاه مورد مطالعه در جدول ۲ بیان شده است.

بر اساس ارزیابی انجام شده در چاه مورد مطالعه، به استثنای بخش شیلی احمدی (زون ۵) که درصد بالایی شیل دارد و از این نظر فاقد پتانسیل مخزنی است، بقیه زون‌های این سازند در مجموع از مقادیر حجم شیل پایین (کمتر از ۵ درصد) برخوردار هستند. به طور کلی هرچه میانگین حجم شیل بیشتر باشد، کیفیت مخزن پایین می‌آید. البته باید در نظر داشت که کیفیت مخزن به نوع کانی‌های رسی و نحوه توزیع آن‌ها بستگی مستقیم دارد.

پروژه‌های صنعتی و غیردانشگاهی، روش خطی^۱ با استفاده از نگار تصحیح شده اشعه گاما است. به طور معمول محاسبه حجم شیل از طریق نگار GR و CGR انجام می‌شود. مقادیر شیل محاسبه شده با استفاده از نگار GR بیشتر از CGR است، زیرا نگار گاما افزون بر پتاسیم و توریم که توسط نگار CGR ثبت می‌شود، میزان اورانیوم کانی‌های غیر رسی رادیواکتیو مانند دولومیت را نیز ثبت می‌کند و به همین دلیل میزان بالاتری از گاما را نشان می‌دهد. همچنین در سازندهای بیتومین‌دار به علت وجود مقادیر بالای اورانیوم میزان SGR بالاتری از CGR را نشان می‌دهند. به همین علت در محاسبه حجم شیل تنها از روش CGR می‌توان به ارزیابی درستی از میزان حجم شیل دست یافت. این محاسبه از طریق رابطه زیر صورت می‌گیرد:

$$V_{sh} = (CGR_{log} - CGR_{min}) / (CGR_{max} - CGR_{min})$$

جدول ۲. میانگین حجم شیل محاسبه شده در چاه مورد مطالعه

زون ۵		زون ۴	زون ۳	زون ۲	زون ۱	مخزن
سروک پایینی	بخش شیل احمدی					
۱/۸	۲۵ >	۱/۶۸	۲/۱	۰	۲/۳	حجم شیل %

متخلخل به صورت ریز شده که این امر باعث بالا رفتن S_w می‌شود، در این حالت تخلخل چندان کاهش پیدا نمی‌کند ولی تراوایی بشدت کم می‌شود. در این مطالعه از نمودارهای متقاطع استاندارد شلومبرژه شامل کراس‌پلات فاکتور جذب فتوالکتریک (PEF) در برابر نسبت توریم به پتاسیم، کراس‌پلات فاکتور جذب فتوالکتریک در برابر پتاسیم و همچنین کراس‌پلات توریم- پتاسیم استفاده گردیده است. با توجه به تأثیر ترکیبات افزوده شده به گل حفاری (از جمله KCL Polymer و باریت) بر روی نگار طیف‌سنجی اشعه گاما (NGS) و نگار فاکتور جذب فتوالکتریک (PEF) به دلیل ترکیب شیمیایی کانی رسی گلوکونیت $(K_0.7(Mg, Fe_2, Al)(Si_4, Al_{10})O_2(OH))$ که حاوی عنصر پتاسیم و کانی کلریت است به همین دلیل نقاط در نمودارهای متقاطع ترسیم شده مربوط به تعیین نوع کانی‌های رسی، از ایلیت به سمت گلوکونیت و کلریت جایجا شده است. لازم به ذکر است که در دمای مخزن،

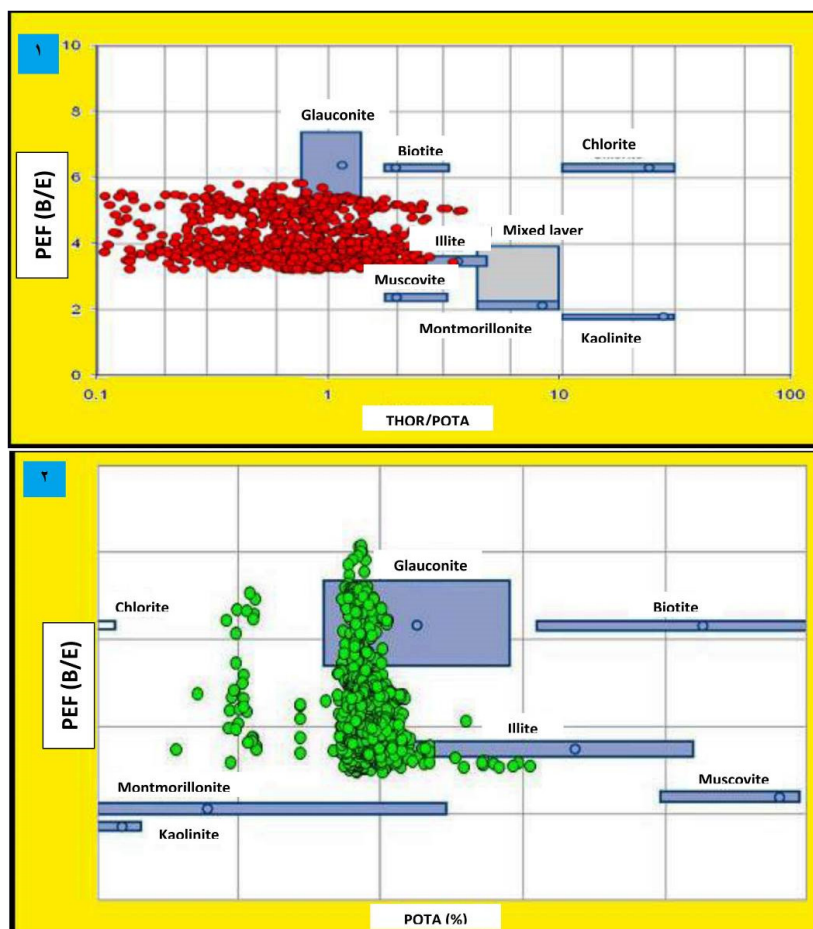
تعیین نوع کانی‌های رسی

میزان تأثیر رس‌ها بر خواص مخزنی تابع حجم، نوع کانی‌های رسی موجود در سازند مخزنی و نحوه توزیع آن‌هاست. توزیع متفاوت کانی‌های رسی از لحاظ کمی و کیفی بر پتانسیل مخزنی تأثیر مستقیم دارد بنابراین لازم است در ارزیابی‌های پتروفیزیکی افزون بر تعیین حجم شیل، نوع کانی‌های رسی نیز مشخص شوند. تراوایی و تخلخل در حضور کانی‌های رسی از نوع اسمکتیت به‌ویژه نوع مونت‌موریلونیت به دلیل پراکندگی وسیع و شکل صفحه‌ای آن دیده می‌شود. مشکل مربوط به گروه اسمکتیت‌ها از سطح ویژه زیاد آن‌ها و توانایی آبدگیری‌شان ناشی می‌شود که می‌تواند باعث حجیم شدن آن‌ها و مسدود کردن گلوگاه‌ها شود. ایجاد رس‌های پل زنده بین دانه‌های از ویژگی‌های کانی‌های رسی مانند ایلیت است. این گروه به شدت بر تراوایی تأثیر می‌گذارند. سطح ویژه زیاد در ایلیت باعث اشغال حجم زیادی از فضاها

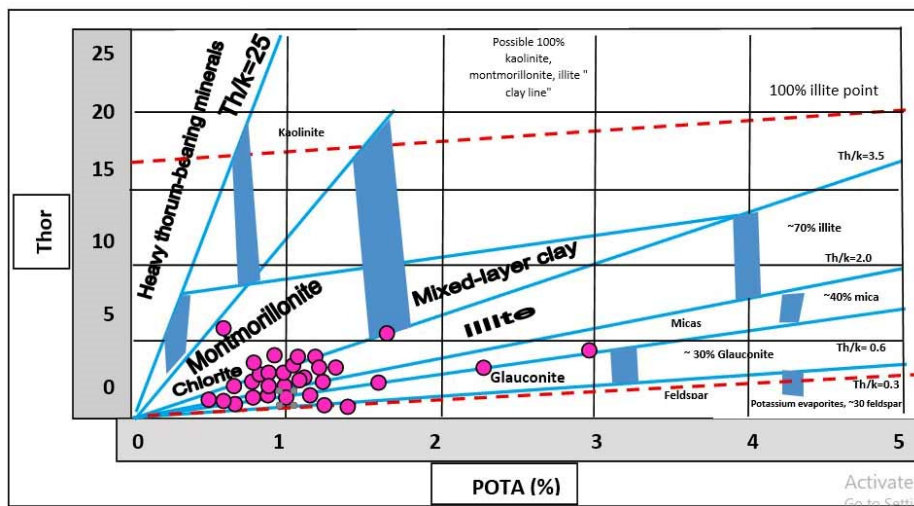
¹ Linear Method

X و میکروسکوپ الکترونی روی نمونه‌های مغزه حفاری
 ضرورت دارد (شکل‌های ۷ و ۸).

مونت‌موریلونیت تبدیل به ایلیت می‌شود. برای تعیین دقیق
 و مطمئن‌تر نوع کانی رسی سازند سروک در چاه مورد
 مطالعه بخصوص بخش‌های مخزنی آن مطالعه پراش اشعه



شکل ۷. ۱) کراس پلات نسبت توریم به پتاسیم در مقابل فاکتور جذب فتوالکتریک؛ ۲) کراس پلات فاکتور جذب فتوالکتریک (PEF) در برابر پتاسیم



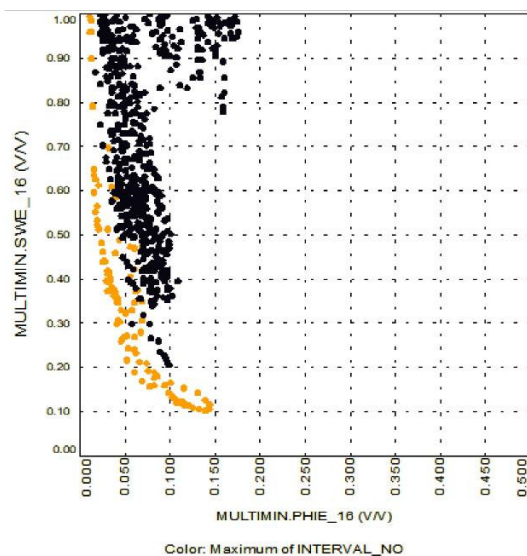
شکل ۸. نمودار توریم - پتاسیم Th/Pota سازند سروک در چاه مورد مطالعه

محاسبه تخلخل

کمیت اساسی مورد نیاز برای محاسبات حجمی مخزن و توصیف فابریک سنگ تخلخل است (لوسیا، ۱۹۹۹). برای محاسبه تخلخل از نگارهای چگالی، نوترون، صوتی و نمودارهای متقاطع استفاده شده است. روش‌های مختلفی برای محاسبه تخلخل در ارزیابی پتروفیزیکی چاه‌های نفتی وجود دارد. به‌طور کلی برای محاسبه تخلخل در ابتدا تصحیحاتی از قبیل محیطی، هیدروکربن، شیل و تخلخل بر روی داده‌ها صورت می‌گیرد مراحل زیر باید طی شود. نتایج محاسبه تخلخل کل به‌صورت گرافیکی در چاه مورد مطالعه در سازند سروک نشان می‌دهد که زون ۲ بیش‌ترین میانگین میزان میانگین تخلخل مفید (۷۷٪) و زون ۴ با میانگین تخلخل مفید ۷۳٪ در رتبه بعدی قرار دارد. زون‌های ۱ و ۵ میزان میانگین تخلخل مفید بسیار کمتری را داشته (میانگین تخلخل کمتر از ۵٪) و از این نظر بدون پتانسیل مخزنی ارزیابی می‌شوند. به‌طور کلی هرچه مقدار تخلخل مفید زیاده‌تر باشد، پتانسیل مخزنی نیز بیشتر بوده و قابلیت تجمع هیدروکربن در آن زون بیشتر خواهد بود.

محاسبه میزان اشباع آب

تخمین صحیح اشباع آب در مخازن یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی پتروفیزیکی است. منظور از اشباع‌شدگی سیال، نسبت حجم سیالات موجود در سنگ به حجم فضاهای متخلخل است. این پارامتر بدون واحد بوده و به‌صورت درصد (٪) بیان می‌شود. در واقع اساس این مسئله ناشی از اختلاف رسانایی بین آب سازندی و هیدروکربورها است. برای محاسبه اشباع‌شدگی از نگارهای مقاومت و به‌کارگیری فرمول‌های مناسب استفاده می‌شود. نتایج ارزیابی و محاسبات در چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد بیشترین میانگین اشباع آب محاسبه شده مربوط به بخش سروک پایینی با میزان ۹۰ درصد بوده که در واقع به‌عنوان یک زون آبی قلمداد می‌شود. کمترین میانگین اشباع آب نیز مربوط به بخش زون ۲ و زون ۴ با مقادیر ۴۱٪ و ۴۷٪ است. به‌طور کلی هر چه میانگین اشباع آب کمتر باشد، پتانسیل مخزنی بیشتر خواهد بود در شکل ۹ کراس پلات تخلخل مفید در برابر اشباع آب در زون ۲ سازند سروک با خواص مخزنی مطلوب آمده است. شکل ۱۰ همین مقادیر را در سایر زون‌های تفکیک شده نشان می‌دهد.



شکل ۹. کراس پلات تخلخل مفید در برابر اشباع آب در زون ۲ سازند سروک با خواص مخزنی مطلوب

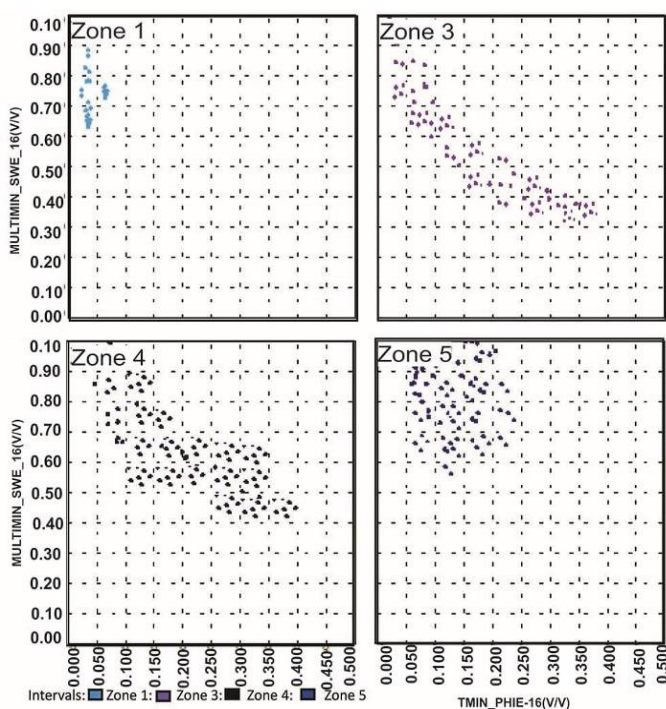
آنالیز اجرا

در مرحله آنالیز اجرا تجزیه تحلیل‌هایی بر روی یک میان لایه یا محدوده‌ای از ژرفاها صورت می‌گیرد. پس از طراحی مدل بر اساس نوع سنگ‌شناسی، سیال سازند و پارامترهای مربوطه، با اجرای مرحله مولتی‌مین، محاسبات هم‌زمان

پارامترهای پتروفیزیکی، انجام و نتایج به‌صورت گرافیکی و منحنی قابل ارایه می‌باشند. در این مطالعه پس از انجام مراحل پردازش، طراحی مدل و اجرای روش مولتی‌مین، نتایج به‌صورت مقادیر عددی در جدول ۳ آمده است. نتایج حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی سازند سروک همراه با

سروک می‌باشد. بر اساس مطالعه و ارزیابی انجام شده در چاه مورد مطالعه در مجموع در سازند سروک میزان تخلخل و حجم سیال هیدروکربنی (نفت) تجمع یافته در زون‌های ۲ و ۴ (۱-۴ و ۳-۴) قابل‌ملاحظه و این بخش‌ها از پتانسیل مخزنی خوبی برخوردار می‌باشند. همچنین بخش‌های ابتدایی ستون چینه‌شناسی سازند سروک در چاه مورد مطالعه (زون ۱)، قسمت‌های از بخش میانی (زون ۳) و سروک پایینی (زون ۵) به دلیل دارا بودن سنگ‌شناسی آهک‌های با فشردگی بالا فاقد تخلخل عملاً بدون پتانسیل مخزنی ارزیابی می‌شود (شکل ۱۱).

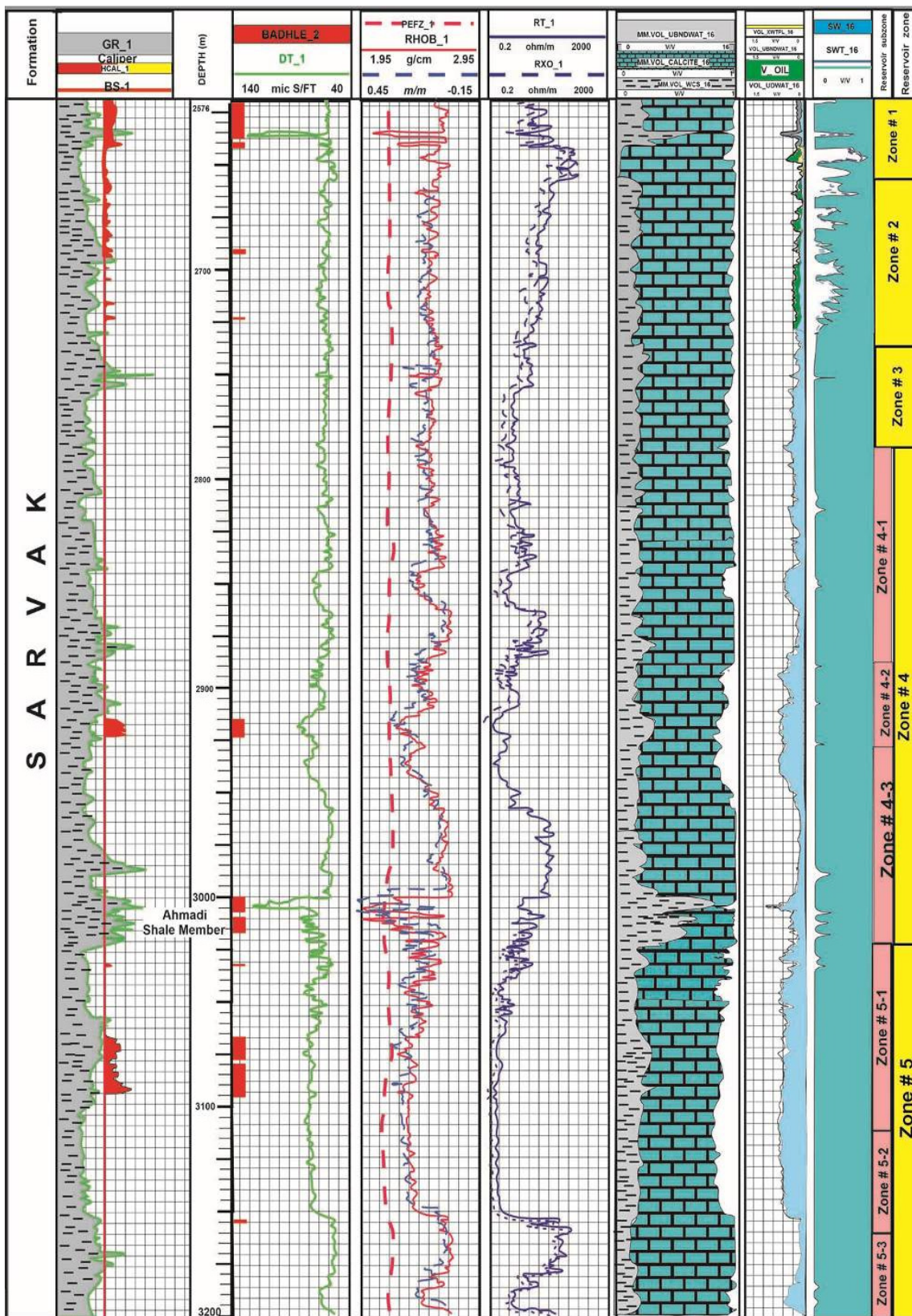
تفکیک زون‌بندی بر اساس داده‌های زمین‌شناسی در چاه مورد مطالعه در شکل ۱۱ آمده است. در این شکل ستون اول از سمت راست نشان‌دهنده اشباع آب، ستون دوم اشباع سیال، ستون سوم سنگ‌شناسی به دست آمده از پردازش و تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی و تلفیق آن با داده‌های زمین‌شناسی از جمله توصیف خرده‌های حفاری و نمودارهای ترسیمی سر چاهی را نشان می‌دهد. همچنین ستون چهارم نگارهای مقاومت ویژه، ستون پنجم نگار نوترون، چگالی و اندیس جذب فتوالکتریک، ستون ششم نگار صوتی، ستون هفتم مقیاس ژرفا، ستون هشتم نگار پرتو گاما و قطر سنج و ستون نهم مربوط به زون‌بندی سازند



شکل ۱۰. کراس پلات تخلخل مفید در برابر اشباع آب در سایر زون‌های تفکیک شده سازند سروک

جدول ۳. میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده سازند سروک در چاه مورد مطالعه

ZONE	Gross (m)	Net (m)	Net/Gross (m/m)	PHIE %	SWE %	Vsh %
۱	۱۵	۰	-	۱/۷	۸۶	۲/۳
۲	۱۸	۱۰/۳۶۳	۰/۵۷۶	۷/۷	۲۱/۱	۰
۳	۹	۰	-	۱/۳	۸۳	۲/۱
۴	۳۹۴	۳۶/۸۸	۰/۰۹۴	۷/۲	۴۷/۷	۱/۶۸
۵	بخش شیلی احمدی	۰	-	۰/۹	۸۷	۲۵>
	سروک پایینی	۱۸۱	۰	-	۴/۸	۸۹



شکل ۱۱. تصویر داده‌های چاه‌نگاری و نتایج ارزیابی نهایی پتروفیزیکی سازند سروک در چاه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

مطالعه هم‌زمان خصوصیات پتروگرافیکی، فرایندهای دیاژنتیکی و داده‌های پتروفیزیکی مخزن سروک در چاه مورد مطالعه در میدان نفتی یادآوران منجر به نتایج زیر گردید.

بر اساس مطالعه برش‌های نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری و مغزه‌ها تعداد ۱۰ رخساره کربناته شامل وکستون روزندار بیوکلاستی پلاژیک، پکستون بیوکلاستی الیگوسترینیدار، رودیست باندستون، گرینستون روزندار بیوکلاستی اییدار، گرینستون روزندار بیوکلاستی پلت و اینتراکلاست‌دار، وکستون روزندار بیوکلاستی بنتیک، وکستون روزندار بیوکلاستی بنتیک دولومیتی شده، پکستون روزندار بیوکلاستی بنتیک، دولومادستون و استروماتولیت باندستون می‌باشند که در یک رمپ کربناته هم‌شیب رسوب‌گذاری شده‌اند. فرایندهای دیاژنزی عمده که بر روی سازند سروک تأثیرگذار بوده‌اند شناسایی و در مقابل ژرفا ترسیم شده‌اند. مشخص شد که عمده این فرایندها شامل انحلال، سیمانی شدن، فشردگی و دولومیتی‌شدن بوده‌اند. مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر سازند سروک در چاه مورد مطالعه می‌توان به نوشکلی، زیست‌آشفنگی، میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، فشردگی، پیریتی شدن، هماتیتی شدن و شکستگی اشاره کرد. مطالعات پتروگرافیکی نمونه‌های سازند سروک در چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که سازند سروک دیاژنز کم‌ژرفای دریایی و جوی تا محیط دیاژنتیکی ژرف را تجربه کرده است.

بیش‌ترین میزان دیاژنز مؤثر بر روی توالی کربناته سازند سروک در این بخش‌ها فرایند سیمانی شدن می‌باشد که موجب پر شدن فضاهای تخلخل اولیه و ثانویه با انواع سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی شده است و به همین دلیل تخلخل قابل اندازه‌گیری در این بخش‌ها کاهش یافته و در نتیجه این زون‌های مخزنی دارای کیفیت مناسب مخزنی جهت تجمع مواد هیدروکربنی معرفی نشده‌اند.

فرایندهای دیاژنزی هم نقش منفی و هم مثبت در کیفیت مخزنی سازند سروک داشته‌اند. در جاهایی که تخلخل اولیه حفظ‌شده، عمدتاً سیمانی شدن اولیه زیردریایی باعث ایجاد

محاسبه میانگین پارامترهای پتروفیزیکی با اعمال

مقادیر حد برش

پس از زون‌بندی مخزن مورد مطالعه، جهت به دست آوردن میانگین پارامترهای پتروفیزیکی مانند حجم شیل، تخلخل کل، تخلخل مؤثر، اشباع آب، حجم هیدروکربور، ستبرای خالص، ستبرای ناخالص و نسبت ستبرای خالص به ناخالص در هر زون می‌توان از ماژول Pay Summary در منوی Petrophysics در نرم‌افزار استفاده نمود. برای این کار مقادیر حد برش کات اف^۱ برای پارامترهای تخلخل و اشباع آب به منظور تعیین لایه‌های با حداقل ارزش اقتصادی، با توجه به نوع هیدروکربور تعیین می‌شوند. طبق اطلاعات به دست آمده ستبرای ناخالص^۲ کل ستبرای حفاری شده با احتساب مقدار حدود برش مورد نظر جهت تخلخل و اشباع آب می‌باشد و ستبرای خالص^۳ عبارت از میزان ستبرایی از سازند که شرایط مخزنی و پتروفیزیکی قابل قبول و قابلیت ذخیره‌سازی سیال در آن وجود دارد. این شرایط توسط حدود برش‌های در نظر گرفته شده جهت محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی تعیین می‌شود. زون تولید شاخص مهمی در بررسی کیفیت مخزن به شمار می‌رود. همچنین نسبت ستبرای خالص به ناخالص^۴ برای مشخص شدن ستبرای لایه‌های اقتصادی نسبت به ستبرای کل هر زون از این پارامتر پتروفیزیکی استفاده می‌شود. هر چه این مقدار به عدد یک نزدیک‌تر شود، کیفیت مخزنی بهبود می‌یابد. میانگین پارامترهای مخزنی محاسبه شده برای سازند سروک در چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش زون ۳ و ۴ دارای پتانسیل مخزنی مطلوبی می‌باشند. دلیل این موضوع بالا بودن نسبت زون خالص به ناخالص، بالا بودن میانگین تخلخل مفید، کمتر بودن میزان اشباع آب و پایین بودن میانگین حجم شیل در این بخش‌ها است. با توجه به میانگین پارامترهای مخزنی محاسبه شده در چاه مورد مطالعه از میدان نفتی یادآوران، بخش زون ۳ به دلیل نسبت زون خالص به ناخالص (۰/۵۷۶) بالاتر، میانگین تخلخل بالاتر، میانگین اشباع آب کمتر و حجم شیل پایین‌تر پتانسیل مخزنی مطلوب‌تری نسبت به بخش زون ۴ دارد. در جدول ۳ پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده برای سازند سروک در چاه مورد مطالعه آورده شده است.

³ Net

⁴ Net/Gross

¹ Cutt Off

² Gross

دارای کیفیت مخزنی مناسب در محدوده زون‌های اصلی ۲ و ۴ و همچنین زون‌های فرعی ۴-۱ و ۴-۳ قرار می‌گیرند.

قدردانی

از دواران محترم این نشریه که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از سردبیر محترم جناب دکتر سیدرضا موسوی حرمی، ریاست محترم انجمن رسوب‌شناسی ایران جناب آقای دکتر محمدحسین آدابی، دکتر سعید خدابخش، مدیرمسئول نشریه جناب دکتر بهروز رفیعی، اعضای محترم هیات تحریریه و مدیر اجرایی سرکار خانم مهندس ناھید صحرارو نهایت تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از معاونت پژوهشی و مدیر پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان که در پیشبرد این پژوهش یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- حسینی، ک.، رضایی، پ.، و کاظم‌شیرودی، س (۱۳۹۹) تحلیلی بر رخساره‌های الکتیکی، واحدهای جریان و بررسی توان مخزنی سازند میشریف (سنومانین-تورونین) در میدان نفتی اسفند، خلیج فارس. مجله رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۱۵، ص ۴۶ تا ۶۴.
- حسینی، ک.، رضایی، پ.، و کاظم‌شیرودی، س (۱۳۹۸) بررسی ارتباط ریزرخساره‌ها، دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند میشریف (سنومانین آغازی-تورونین) در میدان نفتی اسفند (سیری E)، شمال خاوری خلیج فارس، مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۲، سال سی و پنجم، ص ۱۰۹-۱۳۴.
- خطیر، ر.، جهانی، د.، آل‌علی، م.، و کهنسال قدیم‌وند، ن (۱۴۰۰) رخساره‌ها، محیط‌رسوبی، دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند سروک در میدان نفتی دارخوین، جنوب‌باختری ایران، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۹، شماره ۱۷، ص ۱۷۲-۱۸۷.
- رحیم‌پورناب، ح (۱۳۸۴) سنگ‌شناسی کربناته، ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ ص.
- سبوحی، م.، رضایی، پ (۱۳۹۸) بررسی واحدهای جریان و هیدرولیکی، ریزرخساره‌های مخزنی ناحیه پشته کربناتی نهشته‌های سازند کنگان (تریاس پیشین) و ارتباط آن با محیط رسوبی و دیاژنز، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۳، ص ۱۶۷-۱۸۳.

یک چارچوب مقاوم در سنگ شده و نقش فشردگی را کاهش داده و در برخی جاها که سیمان تمام فضاها را اشغال کرده، این پدیده نقش مخرب در کیفیت مخزن داشته است. انواع اصلی تخلخل‌های شناسایی شده در سازند سروک به ترتیب شامل تخلخل حفره‌ای، درون‌دانه‌ای، بین‌دانه‌ای، قالبی و شکستگی‌های میکروسکوپی است که در این میان تخلخل حفره‌ای بیش‌ترین میزان تخلخل موجود را دارا است.

در چاه مورد مطالعه تعداد ۵ زون مخزنی اصلی و ۴ زون مخزنی فرعی (در مجموع ۹) زون مخزنی تفکیک شد که در میان زون‌های مخزنی معرفی شده تنها زون‌های اصلی ۲، زیر زون فرعی ۴-۱، ۴-۳ و تا حدی زیر زون فرعی ۵-۲ کیفیت مخزنی مناسبی را دارا هستند.

بر پایه نمودارهای متقاطع ترسیم شده و تلفیق آن با داده‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی غالب سازند سروک آهک و مقادیر کمی شیل شناسایی شد. مطالعات نشان می‌دهد که به‌استثنای بخش احمدی، سازند سروک از میانگین حجم شیل پایینی (کمتر از ۵ درصد) برخوردار است. بر اساس نمودارهای متقاطع استاندارد شلومبرژه نوع کانی‌های رسی شناسایی شده شامل ترکیبی از گلوکونیت، ایلیت و مونت‌موریلونیت است. با توجه به تأثیر ترکیبات افزوده شده به گل حفاری (از جمله KCL Polymer و باریت) بر روی نگار طیف‌سنجی اشعه گاما (NGS) و نگار فاکتور جذب فتوالکتریک (PEF) و همچنین تأثیر ترکیب شیمیایی کانی رسی گلوکونیت $(K_{0.7}(Mg, Fe_2, Al)(Si_4, Al_{10})O_2(OH))$ که حاوی عناصری مانند پتاسیم و کلر است نقاط در نمودارهای متقاطع ترسیم شده از ایلیت به سمت گلوکونیت و کلریت جابجا (Shift) شده است.

پردازش و تفسیر نمودارهای چاه‌پیمایی و محاسبه میانگین پارامترهای مخزنی محاسبه شده (تخلخل، اشباع آب، حجم شیل و نسبت زون خالص به ناخالص) نشان می‌دهد سازند سروک در چاه مورد مطالعه از ژرفای ۲۶۱۰ متری تا ۲۶۹۲ متری (زون اصلی شماره ۲) دارای کیفیت مناسب مخزنی است. این فاصله ژرفای منطبق بر بخش‌های میانی سازند سروک است. دلیل این موضوع، بالا بودن میانگین تخلخل مفید، پایین بودن میزان اشباع آب و پایین بودن میانگین حجم شیل در این بخش‌ها می‌باشد. محاسبه و بررسی میانگین پارامترهای مخزنی محاسبه شده در بخش‌های

- Bathurst, R. G. C (1975) Carbonate sediments and their diagenesis: New York, Elsevier, science pub. Co, 658 p.
- Bernaus, J. M., Vanneau, A., Caus, E (2002) Carbonate platform sequence stratigraphy in a rapidly subsiding area: the late Barremian – Early Aptian of the Organya Basin, Spanish pyrenees, *Sed. Geo.*, 159: 177-201.
- Borai, A (1987) A new correlation for the cementation factor in low-porosity carbonates, *J. SPE Formation Evaluation*, 2 (4): 495.
- Canfield, D. E (2004) The evolution of the Earth surface sulfur reservoir. *American Journal of Science*, 304 (10): 839-861.
- Carozzi, A. V (1989) Carbonate rocks depositional models: A microfacies approach. Prentice- Hall, New Jersey, 604 p.
- Darling, T (2005) Well logging and formation evaluation. Gulf Professional Publishing, ISBN: 9780750678834, 336 P.130.
- Dickson, J. A. D (1965) A modified staining technique for carbonate in thin section. *Natures*: 205-287p.
- Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in W. E. Ham, ed., *Classifications of carbonate rocks—a symposium: AAPG Memoir*, 1: 108–121.
- Flügel, E (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis Interpretation and Application*, Springer-Verlag, Berlin, 976p
- Jooybari, A., Rezaee, P (2017) Petrophysical Evaluation of the Sarvak Formation Based on Well Logs in Dezful Embayment, Zagros Fold Zone, South West of Iran. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7 (1): 1358-1362.
- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S. and Coniglio, M (2010) Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran, In: Leturmy, P., Robin, C. (Ed.), *Tectonics and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic-Cenozoic*. Geological Society, London, Special Publication, 330: 253-272.
- Hearst, J. R., Nelson, P. H. and Paillet, F. L (2000) Well logging for physical properties, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 492P.
- Heydari, A., Amini, N., Amini, H., Emami Niri, M., Zunino, A., Mejer Hansen, T (2020) Calibration of two rock-frame models using deterministic and probabilistic approaches: Application to a carbonate reservoir in south-west Iran. *Journal of petroleum science and engineering*, vol 192.
- Hollis, C (2011) Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian–Turonian of the Arabian Plate. *Petroleum Geoscience*, 17 (3): 223-241.
- سلیمانی، ب.، روانشاد، م. ص.، و لرکی، ا. (۱۳۹۷) تأثیر تغییرات سنگ‌شناسی و پارامترهای پتروفیزیکی بر پتانسیل نفتی مخزن ایلام (کرتاسه بالایی) در میدان نفتی اهواز جنوب باختری ایران، فصلنامه علوم زمین، پاییز ۹۷، شماره ۱۰۹، ص ۱۲۱ تا ۱۳۲.
- شاهوردی، ن.، رحیم‌پوربناب، ح.، کمالی، م. ر.، و اسرافیلی دیزجی، ب (۱۳۹۴) محیط رسوبی، دیانژ و کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در خلیج فارس، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۸، ص ۵۵ تا ۶۶.
- عالیشوندی، ز.، رحیم‌پوربناب، ح.، کدخدایی، ع. و آری، م (۱۳۹۷) بررسی تأثیر محیط رسوبی و فرآیندهای دیانژنی بر کیفیت مخزنی سازند سروک در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی، میدان نفتی کوپال، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و هفتم، شماره ۱۰۷، ص ۲۷۷ تا ۲۸۶.
- فرامرزی، س.، رحیم‌پوربناب، ح. و رنجبران، م (۱۳۹۶) کنترل رخساره‌ها و فرایندهای دیانژنی بر کیفیت مخزنی سازند سروک در یکی از میدان‌های نفتی ناحیه دشت آبادان، جنوب باختر ایران، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و هفتم، شماره ۱۰۵، ص ۱۱۷ تا ۱۳۰.
- محسنی، ح.، زبیرم جوانمرد، ر (۱۳۹۷) ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند سروک در برش تنگ بولک و شاهنخچیر، شهرستان ملکشاهی (استان ایلام)، نشریه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال ۳۴، شماره ۲، ص ۴۳-۶۸
- مطیعی، ه (۱۳۷۲) زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۸۲ ص.
- مطیعی، ه (۱۳۷۴) زمین‌شناسی نفت زاگرس ۱ و ۲، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۲۴ ص.
- هنرمند، ج.، کدخدایی ایلخچی، ر.، اسعدی، ع.، ایمن‌دوست، ع و خدایی، ن (۱۳۹۷) توزیع فرایندهای سیمانی شدن و انحلال در ارتباط با رخساره‌های رسوبی و سطوح ناپیوستگی سازند سروک در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب باختری ایران، نشریه پژوهش نفت، شماره ۹۸، ص ۳۲-۴۶.
- Alavi, M (2007) Structures of the Zagros Fold-Thrust Belt in Iran. *American Journal of Science*, 307: 1064-1095.
- Alsharhan, A. S., and Kendall, C. G (1991) Cretaceous chronostratigraphy, unconformities and eustatic sea level change in sediments of Abu Dhabi. United Arab Emirates.

- Shabani, M., Sadeghtabaghi, Z., Khoshsiar, Z. (2020) Petrophysical Evaluation of Bangestan Group Formations in an Iranian Oil Field, *Journal of Oil, Gas and Petrochemical Technology*, 7 (1): 30-42.
- Selley, R. E. (2000) *Applied Sedimentology*. Academic press, pp.523.
- Scholle, P. A. and Ulmer-Scholle, D. S. (2003) *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis*. The American Association of Petroleum Geologists, pp 470
- Schoonen, M. A. A. (2004) Mechanisms of sedimentary pyrite formation. In Amend J. P. Edwards K. J. Lyon T.W. (Eds.) *Sulfur Biogeochemistry: Past and Present*. Geological Society of America, Special Paper 379, Boulder, 117-134
- Tiab, D., Donaldson, E. C. (2004) *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*. Amsterdam: Elsevier, 889 pp.
- Tucker, M. E., Wright, V. P. (1990) *Carbonate sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482 p
- Wilson, J. (1975) *Carbonate facies in geological history*. Springer, New York, p 471.
- Lucia, F. J. (1999) *Carbonate Reservoir Characterization*, New York, Springer – Verlag, 226 p.
- Malekzadeh, H., Daraei, M., Bayet-Goll, A. (2020) Field-scale reservoir zonation of the Albian–Turonian Sarvak Formation within the regional-scale geologic framework: A case from the Dezful Embayment, SW Iran, *Marine and petroleum geology*, 121 (10): 45-86.
- Masoudi, P., Tochmechi, B., Bashari, A., Ansari Jafari, M. (2012) Identifying productive zones of Sarvak Formation by integrating outputs of different classification methods. *Journal of geophysics and engineering*, 9: 1-9.
- Mirzaee Mahmoodabadi, R. (2017) The Assessment of microfacies and reservoir potential relationship (porosity and pore size) of the Sarvak Formation in SW Iran, *Geosciences Journal*, 22 (5): 793-805.
- Mirzaee Mahmoodabadi, R. (2020) Sequence stratigraphy of Albian–Campanian carbonate deposits (Sarvak and Ilam formations) in Shiraz area, Fars, SW Iran. *Carbonates Evaporites*, 35, 92.
- Nabikhani, N., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Kadkhodaie, A., Yousefpour, M. R. (2012) The Evaluation of Reservoir Quality of Sarvak Formation in One of Oil Fields of the Persian Gulf, *Journal of Petroleum Science and Technology*, 2 (1): 3-15.
- Noorian, Y., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Abdollahi-Moussavi A. A. (2017) Evaluation of reservoir characterization in the framework of electro-facies: a case study from the Bangestan reservoir in the Mansuri oilfield, SW Iran. *Geosciences Journal*, 21(5): 713-727.
- Rahimpour–Bonab, H. Mehrabi, H., Navidtaieb, A. and Izadi-MAzidi, E. (2012) Flow unit Distribution and Reservoir Modelling in Cretaceous carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oil Field, Dezful Embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 35 (3): 1 – 24.
- Razin, P. Taati, F. and 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. *Geological Society of London, Special Publications*, 329: 187-218.
- Sadooni F. N. (2005) The nature and origin of Upper Cretaceous basin-margin rudist buildups of the Mesopotamian Basin, southern Iraq, with consideration of possible hydrocarbon stratigraphic entrapment. *Cretaceous Research*, 26: 213-224