

بررسی کیفیت مخزنی و محیط رسوبی سازند عرب (ژوراسیک بالایی) در یکی از میادین نفتی خلیج فارس

علی کدخدایی^{۱*}، ریحانه اتابکی^۲، رحیم مهاری^۳ و عادل نجف‌زاده^۴

- ۱- دانشیار گروه علوم‌زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
- ۲- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران
- ۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران
- ۴- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

نویسنده مسئول: kadkhodaie.ali@tabrizu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۸

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

سازند عرب مهم‌ترین مخزن نفتی در میدان سلمان واقع در خلیج فارس است. سازند عرب به‌عنوان بخش بالایی سازند سورمه به سن ژوراسیک پسین شناخته می‌شود. این سازند در چاه مورد مطالعه ۱۲/۲۰ متر ضخامت داشته و متشکل از واحدهای تبخیری و کربناته می‌باشد. به منظور بررسی ریزرخساره، محیط رسوبی و ارائه مدل رسوبی تعداد ۶۵ مقطع نازک با میکروسکوپ پلاریزان بررسی و تعداد ۱۱ ریزرخساره شناسایی شده است. بر اساس تجزیه و تحلیل ریزرخساره‌های شناسایی شده، مدل رسوبی رمپ هموکلینال پیشنهاد شده است که سازند عرب در قسمت کم عمق و بالای سطح FWWB در قسمت رمپ درونی در زیر محیط‌های پری‌تایدال، لاگون، شول و دریای محصور ته‌نشست شده است. پهنه پری‌تایدال با ریزرخساره‌های مادستون بیوکلستی، وکستون-پکستون بیوکلستی و پهنه شول با ریزرخساره‌های گرینستون بیوکلستی اینتراکلستی، گرینستون اینتراکلستی، گرینستون اینتراکلستی اووئیدی، گرینستون اووئیدی، پکستون-گرینستون بیوکلستی مشخص شده‌اند. فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر سازند عرب در چاه مورد مطالعه شامل آشفستگی زیستی، میکرایتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، تراکم، نفومورفیسم و دولومیتی شدن می‌باشد. سیمانی شدن به صورت سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت، سیمان کلسیتی هم‌بعد و سیمان انیدریتی مشاهده می‌شود که مهمترین عامل کاهش کیفیت مخزنی سازند عرب و انحلال و دولومیتی شدن مهمترین عامل افزایش کیفیت مخزنی سازند عرب می‌باشد. تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، قالبی و حفره‌ای مهمترین نوع تخلخل هستند که تخلخل بین‌دانه‌ای گسترش بیشتری دارد. توزیع تخلخل-تراوایی در پهنه‌های رسوبی مختلف نشان می‌دهد که رخصاره‌های دانه غالب پهنه شول به دلیل توسعه گرینستون‌ها مقادیر تخلخل-تراوایی بالاتری را نشان می‌دهند و از کیفیت مخزنی بالایی برخوردارند.

واژگان کلیدی: سازند عرب، محیط رسوبی، کیفیت مخزنی، تخلخل، تراوایی، خلیج فارس

۱- پیشگفتار

از میادین، از توالی‌های آهکی صورت می‌گیرد (کانترل و همکاران، ۲۰۰۴؛ دارایی و همکاران، ۲۰۱۴). این سازند اهمیت زیادی در تولید نفت کشورهایمانند عربستان، بحرین، قطر، امارات و ایران دارد (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱). سازند عرب اصلی‌ترین مخزن هیدروکربنی در میدان سلمان می‌باشد. این میدان سه مخزن تولیدی دارد، لایه عرب تحتانی در عمق ۱۰ هزار پایی از بستر دریا قرار دارد و ۷۰ درصد نفت میدان سلمان از آن تولید می‌شود، همچنین از لایه‌های عرب فوقانی در عمق هشت هزار پایی

ایران به‌عنوان کشوری واقع در منطقه خاورمیانه دارای مواد هیدروکربنی بسیاری است. مجموع ذخایر استحصال شدنی نفت خام و میعانات گازی ایران بیش از ۱۵۴ میلیارد بشکه برآورد می‌شود (مصلح و همکاران، ۱۳۸۷). که این میزان، معادل ۱۰ درصد از مجموع کل ذخایر نفت خام موجود در جهان محسوب می‌شود (ساکستون، ۲۰۰۶). سازند عرب یکی از مهمترین مخازن نفتی خلیج فارس و صفحه عربی می‌باشد که بخش عمده تولید آن در بسیاری

می‌باشد. این میدان در استان هرمزگان در ۱۴۴ کیلومتری جنوب جزیره لاون قرار گرفته است (شکل ۱).

۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور دستیابی به اهداف موردنظر از ۶۵ مقطع نازک تهیه شده از مغزه‌های حفاری استفاده شده است. مقاطع نازک تهیه شده توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. برای نام‌گذاری رخساره‌های کربناته از تقسیم‌بندی دانه‌ام (۱۹۶۲) استفاده شده است. به منظور مقایسه رخساره کربناته از رخساره‌های استاندارد ارائه شده توسط فلوگل (۲۰۱۰) استفاده گردیده است. مطالعات صورت گرفته منجر به شناسایی و تعیین رخساره‌ها و تفسیر محیط‌رسوبی و شناخت فرایندهای دیاژنزی و تأثیر آن‌ها بر کیفیت مخزنی شده است. از مقدار تخلخل (نسبت به هلیوم) و تراوایی (نسبت به هوا)، ۶۵ نمونه از مغزه‌های چاه برای تعیین کیفیت مخزنی استفاده شده است.

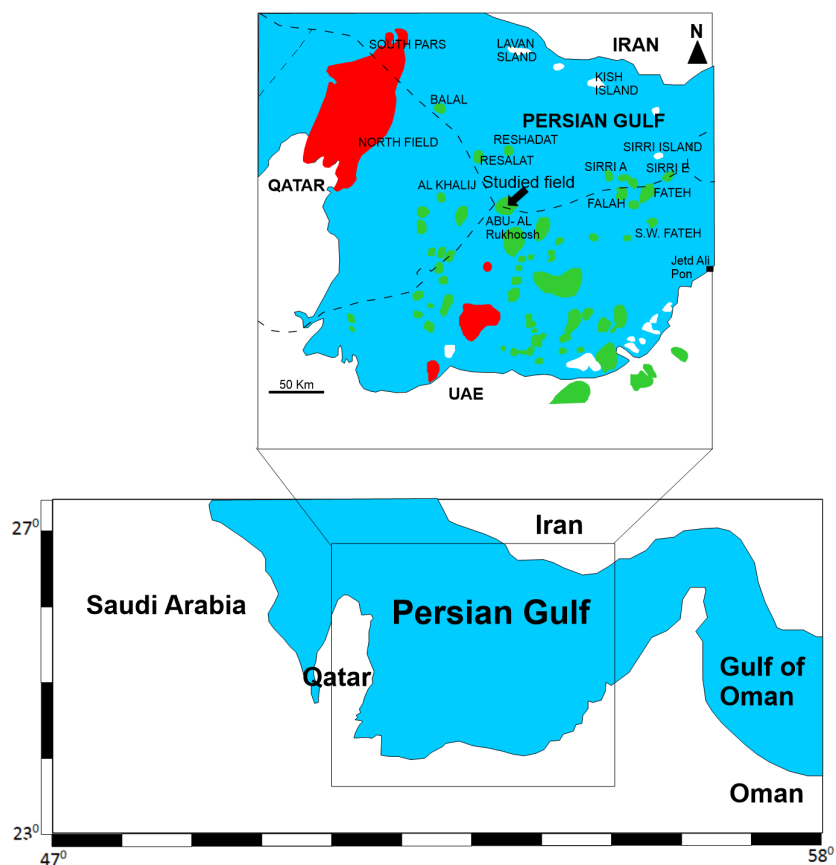
۳- زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

از نگاه زمین‌شناسی، خلیج فارس فرونشست زمین‌ساختی کم‌ژرفایی است که در زمان ترشیری پسین در حاشیه جنوبی کوه‌های زاگرس تشکیل شده است. محور اصلی خلیج فارس نیز یکی از پیامدهای زمین‌ساختی رخداد چین‌خوردگی زاگرس است که در زمان پلیو-پلیستوسن شکل گرفته است. در پایان دوره پلیوسن، سطح دریا به احتمال حدود ۱۵۰ متر بالاتر از سطح کنونی بوده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). در خلیج فارس، در زمین‌های مسطح فراکشنندی، دولومیت همراه با گچ تشکیل می‌شود و رسوبات دولومیتی در اعماق بیشتر از ۲ متر کمیاب می‌گردد. بر اثر وجود امواج ساحلی، در خلیج فارس انولیت‌های آهکی تشکیل می‌شوند که در نواحی کم‌عمق اطراف قطر و تنگه هرمز، بیشترین مقدار را دارد. به‌طور کلی رسوبات عهد حاضر خلیج فارس، از ساحل به اعماق (عمق بیشینه ۹۰ متر) دانه ریزتر می‌شوند، به‌گونه‌ای که مارن‌ها در بخش مرکزی خلیج فارس تشکیل و نهشته می‌شوند. آهک‌های مارنی، عمیق‌ترین رخساره عهد حاضر خلیج فارس است (آقانباتی، ۱۳۸۳ و درویش‌زاده، ۱۳۷۰). رویدادهای تکتونیکی مختلف، نوسانات جهانی سطح آب دریا و تغییرات آب‌وهوایی سبب شکل‌گیری یکی از بهترین

و لایه بوئیب در عمق پنج هزار پایی به ترتیب ۲۰ و ۱۰ درصد نفت سلمان تولید می‌شود (جهان مهین، ۱۳۸۱). لایه عرب تحتانی و فوقانی مربوط به دوره ژوراسیک و لایه بوئیب مربوط به دوره کرتاسه می‌باشد (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱). سنگ‌های کربناته یکی از بهترین و مهمترین مخازن و ذخایر نفتی در جهان محسوب می‌شوند (لوسیا، ۲۰۰۷). خواص مخزنی توسط فرایندهای دیاژنزی و رسوب‌شناسی کنترل می‌شوند، به همین دلیل مدل‌سازی مخازن کربناته دشوار است (رحیم‌پوربناب، ۲۰۰۷). عموماً رخساره‌های رسوبی، الگوی توزیع ویژگی‌های مخزنی را بصورت اولیه مشخص می‌کنند؛ با وجود این در مخازن کربناته به دلیل حساسیت زیاد به فرایندهای دیاژنزی، ناهمگنی‌های عمده‌ای در این ویژگی‌ها ایجاد می‌شود (مراد و همکاران، ۲۰۱۲؛ سینگ و جوشی، ۲۰۲۰). ناهمگنی کربناته‌ها به این صورت است که احتمال دارد قسمتی از سنگ در مرحله رسوب‌گذاری ویژگی مخزنی پیدا کند اما در مرحله دیاژنزی این ویژگی را از دست دهد و یا بالعکس آن به وقوع بپیوندد (مور، ۲۰۱۳ و رحیم‌پوربناب و سلطانی، ۲۰۱۴). مطالعه رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی نخستین و اساسی‌ترین قدم در تجزیه و تحلیل مخازن کربناته است (لوسیا، ۲۰۰۷). نوع تخلخل، هندسه گلوگاه منافذ، توزیع اندازه حفرات و تراوایی تحت تأثیر محیط‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی هستند (مهرابی و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات گسترده‌ای از لحاظ چینه‌نگاری، رسوب‌شناسی و کیفیت مخزنی بر روی سازند عرب صورت گرفته است به طور مثال می‌توان به مطالعات (السعد و سعدونی، ۲۰۰۱؛ سوارت و همکاران، ۲۰۰۵؛ الحسینی، ۲۰۰۹؛ نادر و همکاران، ۲۰۱۳؛ دارایی و همکاران، ۲۰۱۴؛ الاوآد و پومار، ۲۰۱۵؛ هالیس و همکاران، ۲۰۱۷؛ مارچوندا و همکاران، ۲۰۱۸؛ سفی‌داری و همکاران، ۲۰۱۹؛ مراد و همکاران، ۲۰۱۲، ۲۰۱۹؛ شریفی یزدی و همکاران، ۲۰۱۹؛ صارفی و همکاران، ۲۰۲۲؛ الموجل و همکاران، ۲۰۲۰؛ سفی‌داری و همکاران، ۲۰۲۱؛ بیگی شیر محمد و همکاران، ۱۳۹۵؛ قلندری و همکاران، ۱۳۹۹؛ عبدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ اسعدی و همکاران، ۱۴۰۰ و شاکری و همکاران، ۱۴۰۲) اشاره کرد. هدف از این مطالعه بررسی ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی، دیاژنز و تأثیر آن‌ها بر کیفیت مخزنی سازند عرب در یکی از میداین نفتی خلیج فارس می‌باشد. میدان مورد مطالعه یکی از میداین واقع در دریا

یکی از مهم‌ترین سنگ‌مخزن‌های دنیا در تولید نفت محسوب می‌شود (کانترل و همکاران، ۲۰۰۱، ۲۰۰۴؛ السعد و سعدونی، ۲۰۰۱؛ اهرنبرگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ مراد و همکاران، ۲۰۱۲؛ الاوآد و کالینز، ۲۰۱۳؛ مارچوندا و همکاران، ۲۰۱۸). پوش‌سنگ این سیستم نفتی با سنگ‌شناسی تبخیری، سازنده‌های هیث و گوتنیا هستند که با توجه به ضخامت زیاد تبخیری‌ها، کارآمدی زیادی دارند (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱).

سیستم‌های هیدروکربنی دنیا در ژوراسیک بالایی خاورمیانه شده است (الحسینی، ۱۹۹۷؛ شارلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ زیگلر، ۲۰۰۱؛ کانترل و همکاران، ۲۰۰۱، ۲۰۰۴؛ مراد و همکاران، ۲۰۱۲؛ دارایی و همکاران، ۲۰۱۴). کربنات‌های شیلی دباب - دارب، توویق - حنیفا و سرگلو - نجمه سنگ منشأهای مستعد تغذیه‌کننده سیستم نفتی ژوراسیک بالایی در نظر گرفته می‌شود (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱). سازند عرب با سن ژوراسیک بالایی و سنگ‌شناسی کربناته - تبخیری، به مثابه سنگ مخزن این سیستم نفتی،



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه
Fig. 1. Geographical location of the studied field

و فارس ساحلی و کشورهای حاشیه جنوب خلیج فارس تحت عنوان سازند عرب شناخته می‌شوند (بشری، ۱۳۹۷). این سازند با توجه به ماهیت لایه کیک‌ی آن به عنوان یک توالی کربناته - تبخیری کلاسیک در بیشتر بخش‌های خلیج فارس و نواحی اطراف به چهار بخش A، B، C و D از قدیم به جدید تقسیم می‌شود (پاورز، ۱۹۶۲ و الحسینی، ۱۹۹۷). ضخامت سازند عرب در میدان سلمان (به طور متوسط حدود ۱۶۳ متر) بیشتر از میدان رشادت (۸۶ متر)

میدان نفتی مورد مطالعه از یک طاق‌دیس نامتقارن به ابعاد تقریبی ۱۱ کیلومتر در ۱۴ کیلومتر تشکیل شده است (شیبانی و حسن‌نیا، ۱۳۹۸ و موسوی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۵). این طاق‌دیس در نتیجه بالآمدگی گنبد نمکی ناشی از برخورد تکتونیکی پلیت عربی و ایران شکل گرفته است. در این میدان گسل‌های اصلی نرمال باعث ایجاد گرابن شده است (نصرتی و همکاران، ۱۴۰۲). بخش انتهایی سازند سورمه در منطقه مرکزی و شرق خلیج فارس

بیوکلیست‌ها شامل فرامینی‌فر، دوکفه‌ای و خارپوست است. این ریزرخساره بافتی دانه غالب، متوسط تا درشت‌دانه، گرد تا نیمه گرد شده نشان می‌دهد. سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت اطراف دانه‌ها مشاهده می‌شود. دولومیتی شدن و انیدریت حفره پرکن از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنتیکی مؤثر روی این رخساره است. تخلخل بین‌دانه‌ای تخلخل اصلی در این ریزرخساره است. تخلخل بین‌دانه‌ای به طور عمده به‌وسیله سیمان انیدریتی پر شده یا کاهش یافته است.

تفسیر: وجود سیمان اسپارایتی، نبود میکرایت، فابریک دانه‌پشتیبان، وجود فونای دریایی و اینتراکلیست مؤید پدید آمدن این ریزرخساره در یک محیط پرانرژی و محیط سدی بالای خط موج است (تاکر و رایت، ۱۹۹۰ و الشرهان و کندال، ۲۰۰۲). این ریزرخساره معادل ریزرخساره رمپ ۲۷ است که در محیط سدی تشکیل می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰).

MF2: گرینستون اینتراکلیست

توصیف: اینتراکلیست با فراوانی ۷۰ درصد بیشترین فراوانی را در این ریزرخساره دارد. سایر آلوکم‌ها شامل ایدید (۲-۶ درصد) و بیوکلیست (۶-۱۰ درصد) است فضای بین آلوکم‌ها توسط سیمان اسپاری پر شده است. اینتراکلیست‌ها دارای گردش‌دگی و جورشدگی ضعیفی هستند. فرامینی‌فرها و دوکفه‌ای‌ها بیوکلیست‌های عمده در این ریزرخساره هستند. تخلخل بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای و قالبی مهم‌ترین نوع تخلخل هستند (شکل ۲، b). دولومیتی شدن، میکرایتی شدن، تراکم، انحلال و به مقدار کمتر نئومورفیسم فرایندهای دیاژنتیکی مؤثر بر این ریزرخساره است. انیدریت حفره پرکن شکستگی‌ها و حفرات را پر کرده و باعث کاهش تخلخل و تراوایی شده است.

تفسیر: اینتراکلیست‌ها نشان‌دهنده محیطی بالانرژی متفاوت هستند (فلوگل، ۲۰۱۰). وجود سیمان دریایی و عدم وجود گل کربناته موید این است که محیط ته‌نشست، محیط دریایی کم‌عمق تحت تأثیر امواج و در بالای قاعده امواج معمولی در یک آب‌وهوای گرم و خشک است (تاکر و رایت، ۱۹۹۰). این ریزرخساره معادل ریزرخساره رمپ ۲۸ است که در محیط شول ته‌نشست می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰).

MF3: گرینستون اینتراکلیست اووید

توصیف: این ریزرخساره از آلوکم‌های اووید (۶۵ درصد) و اینتراکلیست (۱۰ درصد) تشکیل شده است که در یک

و میدان سیبری (۶۳ متر) می‌باشد. پتانسیل نفتی سازند عرب از میدان سلمان به سمت غرب (میدان رشادت و میدان رسالت) کاهش می‌یابد و به سمت میدان سیبری احتمالاً با توجه به دو عامل مهم یعنی نداشتن پوش سنگ مناسب و دور بودن از سنگ منشا (سازند دیاب)، فاقد هیدروکربور می‌باشد (بشری ۱۳۶۷، ۱۳۹۷؛ جهان مهین، ۱۳۸۱). علت کاهش ضخامت سازند عرب به دلیل فرونشینی فعال در زمان ژوراسیک بالایی در نتیجه پیشروی سریع دریا از شرق به غرب و به وجود آمدن یک پهنه باز دریایی در نتیجه حرکت پهنه ساحلی با راستای شمالی- جنوبی به سمت شرق می‌باشد (جهان مهین، ۱۳۸۱). سازند عرب در چاه مورد مطالعه از عمق ۲۳۸۳/۵ متر تا عمق ۲۳۹۵/۷ متر، ۱۲/۲۰ متر ضخامت داشته و از بالا به پایین متشکل از واحدهای لیتولوژیکی: ۲/۲ متر سنگ‌آهک دولومیتی، ۳۷ سانتی‌متر انیدریت، ۳۰ سانتی‌متر سنگ‌آهک دولومیتی، ۹۲ سانتی‌متر انیدریت، ۱/۱۵ متر سنگ‌آهک دولومیتی، ۱/۲۸ متر انیدریت، ۹۲ سانتی‌متر سنگ‌آهک دولومیتی، ۱/۵۲ متر انیدریت، ۹۲ سانتی‌متر سنگ‌آهک دولومیتی، ۶۱ سانتی‌متر انیدریت و ۲/۴۱ متر سنگ‌آهک دولومیتی می‌باشد. سازند عرب در چاه مورد مطالعه معادل عرب بالایی می‌باشد.

۴- ریزرخساره و محیط رسوبی

به‌منظور بررسی ریزرخساره‌ها و تفسیر محیط‌رسوبی، آلوکم‌های بیوکلیستی و غیربیوکلیستی، زمینه سیمانی و میکرایتی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه نام‌گذاری انواع بافت‌های آهکی بر اساس طبقه‌بندی دانهام (۱۹۶۲) صورت گرفته و در تفسیر محیط‌های رسوبی نیز عمدتاً از فلوگل (فلوگل، ۲۰۱۰) استفاده شده است. مطالعات صورت گرفته بر روی سازند عرب در چاه مورد مطالعه منجر به شناسایی ۱۱ ریزرخساره شده است. با مقایسه ریزرخساره‌های شناسایی شده با ریزرخساره‌های استاندارد (فلوگل، ۲۰۱۰)، ۴ پهنه رسوبی مشخص شده است. ریزرخساره‌های تشکیل‌دهنده سازند عرب در چاه مورد مطالعه از دریا به سمت خشکی به شرح زیر است:

MF1: گرینستون بیوکلیست اینتراکلیست

توصیف: آلوکم‌های تشکیل‌دهنده این ریزرخساره شامل ۵۰ درصد اینتراکلیست و ۲۰ درصد بیوکلیست است که در زمینه سیمان اسپارایتی قرار گرفته‌اند (شکل ۲، a).

اوویدها در درون یا نزدیک لبه به سمت دریای پلت‌فرم‌ها، کرانه‌ها و شلف‌ها رخ می‌دهد و در داخل پلت‌فرم و در رمپ‌های داخلی و میانی تشکیل می‌شود (هالی و همکاران، ۱۹۸۳).

MF5: پکستون - گرینستون بیوکلست

توصیف: این ریزرخساره از آلوکم‌های استراکود (۵۰ درصد)، خرده‌های بیوکلستی (۵ درصد)، گاستروپود (۵ درصد) و خرده‌های صدف (۵ درصد) تشکیل شده است. آلوکم‌ها توسط میکرایت و اسپارایت به هم متصل شده‌اند (شکل ۲، e). تخلخل قالبی مهم‌ترین نوع تخلخل است. دولومیتی شدن، میکرایتی شدن، انحلال و نئومورفیسم فرایندهای دیاژنزی مؤثر در این ریزرخساره است. انیدریت حفره پرکن قابل توجهی دیده می‌شود.

تفسیر: استراکودها در لاگون‌های محصور فراوانی بیش‌تری دارند (چتالوف و همکاران، ۲۰۱۵؛ آقایی و همکاران، ۲۰۱۳؛ آکوردی و همکاران، ۱۹۹۸؛ جز و همکاران، ۲۰۱۱). بافت این ریزرخساره موید انرژی متوسط تا بالا در محیط رسوب‌گذاری است (مورو و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین محیط رسوب‌گذاری این ریزرخساره را می‌توان محیط لاگون محصور در نظر گرفت.

MF6: مادستون بیوکلست

توصیف: این ریزرخساره دارای آلوکم‌های میکروبیال فیلامنت (۵ درصد) و پلویید (۲ درصد) است که در زمینه میکرایتی پراکنده شده‌اند. دولومیتی شدن و انیدریت حفره پرکن فرایند اصلی دیاژنز در این ریزرخساره است. تخلخل قالبی در این ریزرخساره به مقدار کمتر دیده می‌شود. (شکل ۲، f).

تفسیر: این ریزرخساره معادل ریزرخساره رمپ ۱۹ می‌باشد که به پهنه لاگونی تعلق دارد (فلوگل، ۲۰۱۰). میکرایتی بودن زمینه و وجود پلویید بیانگر یک محیط کم‌انرژی و لاگون است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ آداجی و همکاران، ۲۰۰۴).

MF7: وکستون بیوکلست

توصیف: این ریزرخساره دارای آلوکم‌های استراکود (۱۰ تا ۳۰ درصد)، میکروبیال فیلامنت (۲۵ درصد) و خرده‌های دوکفه‌ای (۲ درصد)، گاستروپود (۲ درصد)، فرامینی‌فر بنتیک (۲ درصد) و خرده‌های بیوکلستی (۲ درصد) است که در زمینه ماتریکس میکرایتی قرار گرفته‌اند. شکستگی‌ها در این رخساره توسط انیدریت حفره پرکن پر

زمینه سیمان اسپارایتی قرار گرفته‌اند. اوویدها و اینتراکلست‌ها جورشدگی و گردشدگی خوبی نشان می‌دهند (شکل ۲، c). تخلخل درون‌دانه‌ای، بین‌دانه‌ای و قالبی در این ریزرخساره مشاهده می‌شود. سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت در اطراف آلوکم‌ها، دولومیتی شدن، میکرایتی شدن، نئومورفیسم، انحلال و پرشدگی منافذ با انیدریت فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر این ریزرخساره هستند.

تفسیر: این ریزرخساره معادل ریزرخساره رمپ ۲۹ می‌باشد که در محیط‌های شول تشکیل می‌شود (ویلسون، ۱۹۷۵ و فلوگل، ۲۰۱۰). جورشدگی و گردشدگی آلوکم‌ها و وجود سیمان و نبود میکرایت نشان‌دهنده انرژی بالای محیط می‌باشد. ویژگی‌های بیان شده برای این ریزرخساره دلیل نهشته شدن آن در یک محیط سد‌الیتی در بالای خط موج می‌باشد (تاکر و رایت، ۱۹۹۰ و الشهران و کندال، ۲۰۰۲).

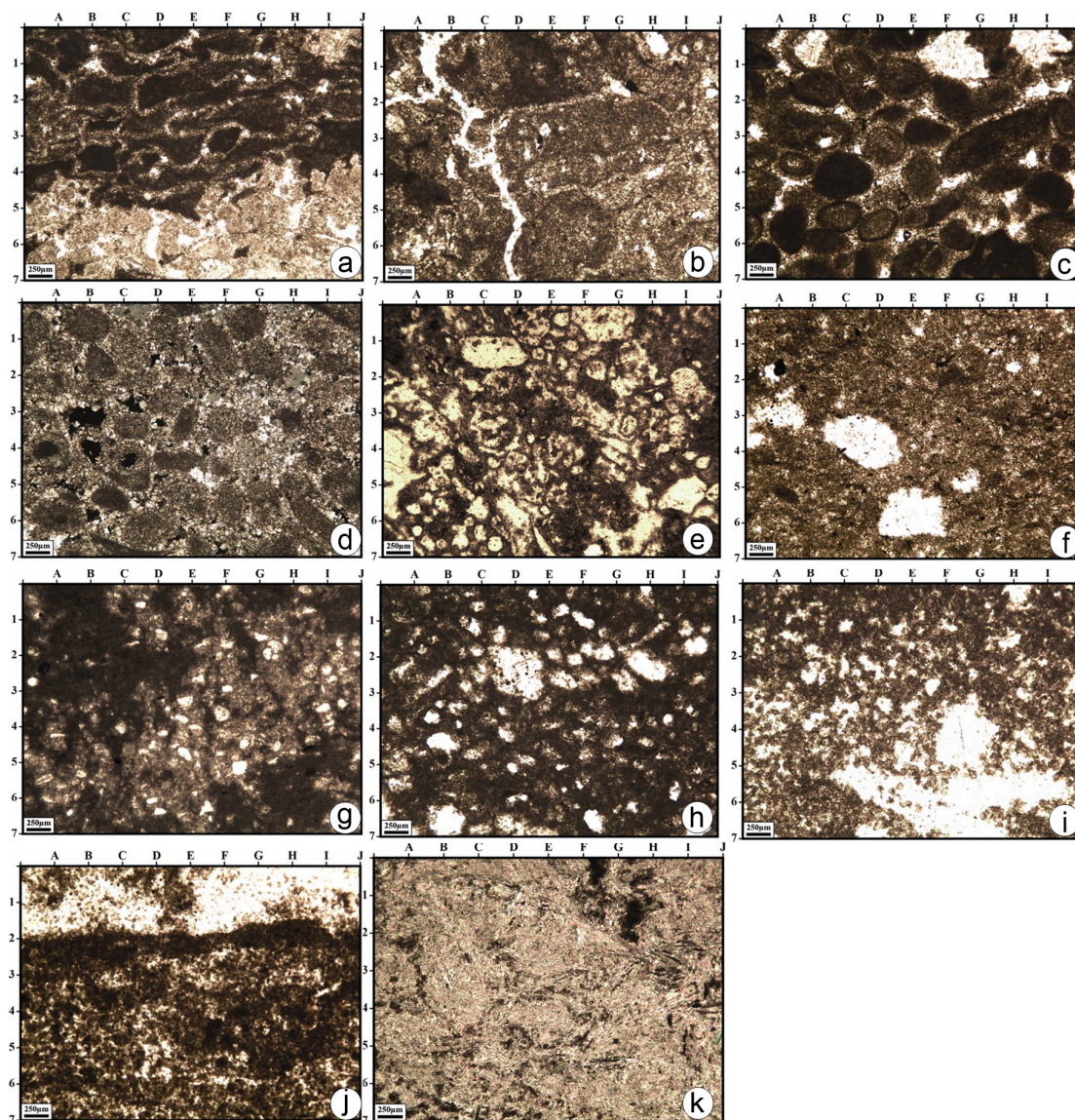
MF4: گرینستون اووید

توصیف: این ریزرخساره دارای آلوکم‌های اووید (۶۰ تا ۹۰ درصد)، اینتراکلست (کمتر از ۸ درصد) و دوکفه‌ای (تا ۹ درصد) است که در زمینه اسپارایتی قرار گرفته‌اند. این ریزرخساره دانه غالب بوده و آلوکم‌ها جورشدگی و گردشدگی خوبی نشان می‌دهند. دولومیتی شدن و سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت میکرایتی شدن، نئومورفیسم و انحلال و پرشدگی منافذ با انیدریت فرایندهای دیاژنزی مهم در این ریزرخساره هستند. تخلخل قالبی اوویدها تا ۲۰٪ می‌رسد که کیفیت مخزن خوبی را برای این رخساره ایجاد می‌کند. تخلخل درون‌دانه‌ای و بین‌دانه‌ای نیز در این ریزرخساره مشاهده می‌شود (شکل ۲، d).

تفسیر: نبود گل و پرشدن فضای بین دانه‌ها با سیمان اسپاری و حضور اووید و دانه‌های با جورشدگی خوب، تشکیل این ریزرخساره را در محیط پرانرژی نشان می‌دهد (آرمل و همکاران، ۲۰۰۷). توده‌های اوویدی با جورشدگی خوب دارای ساخت‌های جریانی از ویژگی‌های شاخص سدهای ماسه‌ای فعال هستند و جزء محیط‌های پرانرژی پیوسته در حال مهاجرت محسوب می‌شوند (ویلسون، ۱۹۷۵). این ریزرخساره معادل ریزرخساره رمپ ۲۹ و ریزرخساره استاندارد ۱۵ است که در محیط‌های رمپ درونی در شول‌ها و سواحل تشکیل می‌شوند (فلوگل، ۲۰۱۰). انباشته‌شدن ماسه کربناته با درصد بالایی از

ریزرخساره معادل ریزرخساره رمپ ۱۸ می‌باشد که در محیط‌های با انرژی پایین و محصور شده تشکیل می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). آشفستگی زیستی به‌خوبی در محیط‌های لاگون کم‌انرژی و زیر سطح FWWB توسعه می‌یابد (تاگر و رایت، ۱۹۹۰؛ فلوگل، ۲۰۱۰؛ برچت و رایت، ۱۹۹۲).

شده‌اند. آشفستگی زیستی و دولومیتی شدن مهم‌ترین فرایندها در این ریزرخساره است (شکل ۲، g). تخلخل قالبی مهم‌ترین نوع تخلخل در این ریزرخساره است. تفسیر: آشفستگی زیستی در بخش‌های ژرف تالاب‌ها به دلیل محدود بودن مواد غذایی و فعالیت زیاد موجودات رسوب‌خوار تشکیل می‌شود (رایت و برچت، ۱۹۹۶). این



شکل ۲. ریزرخساره‌های شناسایی شده سازند عرب در میدان نفتی سلمان. (a) MF1: بیوکلاست اینتراکلاست گریستون، (b) MF2: اینتراکلاست گریستون، (c) MF3: اینتراکلاست اووئید گریستون، (d) MF4: اووئید گریستون، (e) MF5: بیوکلاست پکستون-گریستون، (f) MF6: بیوکلاست مادستون، (g) MF7: بیوکلاست وکستون، (h) MF8: بیوکلاست وکستون-پکستون، (i) MF9: فنسترال مادستون، (j) MF10: استروماتولیت باندستون، (k) MF11: آنیدریت

Fig. 2. Identified microfacies of Arab formation in Salman oil field. a) MF1: bioclast intraclast grainstone, b) MF2: intraclast grainstone, c) MF3: intraclast ooid grainstone, d) MF4: ooid grainstone, e) MF5: bioclast packstone-grainstone, f) MF6: bioclast mudstone, g) MF7: bioclast wackstone, h) MF8: bioclast wackstone-packstone, i) MF9: fenestral mudstone, j) MF10: stromatolite boundstone, k) MF11: anhydrite.

MF8: وکستون - پکستون بیوکست

توصیف: این ریزرخساره شامل آلوکم‌های جلبک سبز (۳۵ درصد)، استراکود (۳۵ درصد)، دوکفه‌ای (۵ درصد)، گاستروپود (۲ درصد) و فرامینیفر بینتیک (۲ درصد) است که در زمینه میکرایتی قرار گرفته‌اند (شکل ۲، h). دولومیتی شدن، انحلال و انیدریت حفره پرکن فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر این ریزرخساره هستند. تخلخل قالبی مهم‌ترین نوع تخلخل در این ریزرخساره است.

تفسیر: این ریزرخساره معادل ریزرخساره رمپ ۲۰ می‌باشد. جلبک‌های سبز عمدتاً در رخساره‌های کم عمق رمپ درونی و در محیط‌های لاگونی نیمه محصور و محصور شده یافت می‌شوند (فلوگل، ۲۰۱۰). تسلط بیوکست‌های استراکودها نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در یک محیط کم عمق لاگونی و در عین حال گردش محدود تا متوسط آب می‌باشد (تاکر و رایت، ۱۹۹۲؛ اسکافین، ۱۹۸۷).

MF9: مادستون فنسترال

توصیف: این ریزرخساره از میکرایت با فنسترال‌های قابل توجه تشکیل شده است. فنسترال‌ها توسط انیدریت حفره پرکن پر شده‌اند. نبود فسیل، فابریک فنسترال، دولومیتی شدن و وجود قالب‌های انیدریتی از ویژگی‌های این ریزرخساره است (شکل ۲، i).

تفسیر: این ریزرخساره را می‌توان معادل ریزرخساره استاندارد ۲۱ و ریزرخساره رمپ ۲۳ دانست که در پهنه پری‌تایدال در محیط‌های جزرومدی (FZ 8) و سواحل تبخیری خشک (FZ 9A) و در محیط‌های شور و یا تبخیری مانند برکه‌های جزرومدی نهشته می‌شوند (فلوگل، ۲۰۱۰).

MF10: باندستون استروماتولیت

توصیف: این ریزرخساره از لامینه‌های تیره و روشن به صورت موازی و موجی تشکیل شده و دارای حفره‌های فنسترال است که توسط انیدریت پر شده‌اند. پلوئید (۴۰ درصد) و استراکود (۲۰ تا ۳۰ درصد) مهم‌ترین آلوکم‌ها در این ریزرخساره هستند (شکل ۲، j). بافت‌های لامینیشن ناشی از فرش‌های میکروبی/جلبکی و فابریک فنسترال هستند. دولومیتی شدن فرایند دیاژنزی مؤثر بر این ریزرخساره است.

تفسیر: باندستون با حفره‌های فنسترون با اندازه‌های مختلف در چارچوبی که توسط دانه‌های رسوبی و بیوژنیک تشکیل شده است مشخص می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد ۲۱ و ریزرخساره

رمپ شماره ۲۳ است. ریزرخساره رمپ شماره ۲۳ شاخص محیط پری‌تایدال است و ریزرخساره استاندارد ۲۱ در تجزیه و تحلیل رخساره‌ها اغلب به عنوان شاخص برای محیط‌های اینترتایدال و سوپراتایدال استفاده می‌شود. ریزرخساره استاندارد ۲۱ در محیط‌های سوپراتایدال و اینترتایدال (لاگون‌های محدود، FZ 8) و لاگون‌های تبخیری (FZ 9A) تشکیل می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). این رخساره حاکی از وجود جریان‌های جزرومدی در محیط رسوبی است (دمیکو و هاردی، ۱۹۹۴) و شاخص محیط‌های بین جزرومدی است (شین، ۱۹۸۳).

MF11: انیدریت

توصیف: این ریزرخساره از انیدریت با فابریک قفس‌مرغی و فاقد هر گونه فسیل و آثار فسیلی تشکیل شده است. در این رخساره بلورهای انیدریت به صورت بافت درهم‌فشرده و بلورین قابل تشخیص است. انیدریت به صورت لایه‌ای و هم‌زمان با رسوب‌گذاری نهشته شده است. ضخامت لایه‌های انیدریت در حد کمتر از یک متر تا ۱/۵ متر متغیر است. در مطالعات میکروسکوپی، لایه انیدریت شامل ترکیب فشرده‌ای از بلورهای هم‌بعد یا توفال‌های کشیده و درهم بافته با جهت‌گیری نیمه موازی یا نامنظم و تصادفی است. در این ریزرخساره دولومیت نیز مشاهده می‌شود (شکل ۲، k).

تفسیر: این ریزرخساره معادل با ریزرخساره استاندارد ۲۵ و ریزرخساره رمپ ۲۵ فلوگل (۲۰۱۰) می‌باشد. این رخساره در محیط‌های سبخای اینترتایدال بالایی تا سوپراتایدال (FZ 9A) در دشت‌های ساحلی خشک و نیمه خشک و حوضه‌های دریاچه‌ای تبخیری تشکیل می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). ریزرخساره انیدریت تورپرند‌ای مجموعه‌ای از گرهک‌های فشرده و چگال انیدریتی حاصل رشد انبساطی گرهک‌های انیدریتی است. وجود دولومادستون در این رخساره به عنوان پلی میان گرهک‌های انیدریت بوده و بافت تورپرند‌ای را تشکیل می‌دهد (وارن، ۲۰۰۶؛ تاکر و رایت، ۱۹۹۰). غالب بودن کانی انیدریت نسبت به سنگ‌آهک و دولومیت نشان‌دهنده شدت تبخیر بالا و بخش‌های بالایی سبخا می‌باشد. این لایه‌های تبخیری انیدریتی با بافت قفس‌مرغی شاخص محیط‌های سوپراتایدال و سبخای ساحلی می‌باشد (لوسیا، ۲۰۰۷؛ الشهران و کندال، ۲۰۰۳؛ اینسالاکو و همکاران، ۲۰۰۶؛ وارن، ۲۰۰۶). نبود فسیل نشان از نبود شرایط

رمپ، بالاتر از FWB و در رمپ درونی هستند. رخساره‌های گرینستونی نشان‌دهنده انرژی بالا در محیط سدی و رخساره‌های مادستون، وکستون تا پکستون، محیط رسوبی کم‌انرژی لاگون و یا دریای محصور را نشان می‌دهد، محیط‌های پری‌تایدل نیز شامل رخساره‌های مادستونی، باندستونی و انیدریت است (شکل ۳).

۶- فرآیندهای دیاژنزی

بسیاری از ویژگی‌های پتروفیزیکی سنگ‌های رسوبی به‌ویژه سنگ‌های کربناته را فرایندهای دیاژنزی تعیین می‌کنند (فلوگل، ۲۰۱۰). فرایندهای دیاژنزی با اعمال تغییرات قابل‌توجه بر رسوبات و سنگ‌های میزبان خود موجب تغییر در سیستم اولیه حفرات شده و توزیع اولیه کیفیت مخزنی را دچار تغییرات اساسی می‌سازند (لوسیا، ۲۰۰۷). در طی مطالعات میکروسکوپی، فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر سازند عرب در چاه مورد مطالعه به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

آشفنگی زیستی: آشفنگی زیستی در مقطع مورد مطالعه در رخساره‌های مربوط به محیط لاگونی مشاهده می‌شود که به‌صورت تغییر رنگ رسوبات به صورت تیره و روشن ناشی از فعالیت موجودات دیده می‌شود (شکل ۴، a). این فرایند بلافاصله پس از رسوب‌گذاری و بر روی رسوبات نرم انجام می‌شود. این فرایند از ویژگی‌های بارز مناطق پایین جزرومدی است و بیشتر در محیط‌های فریاتیک دریایی شکل می‌گیرد (تاکر و رایت، ۱۹۹۰). این فرایند تأثیر چندانی بر کیفیت مخزنی سازند عرب ندارد.

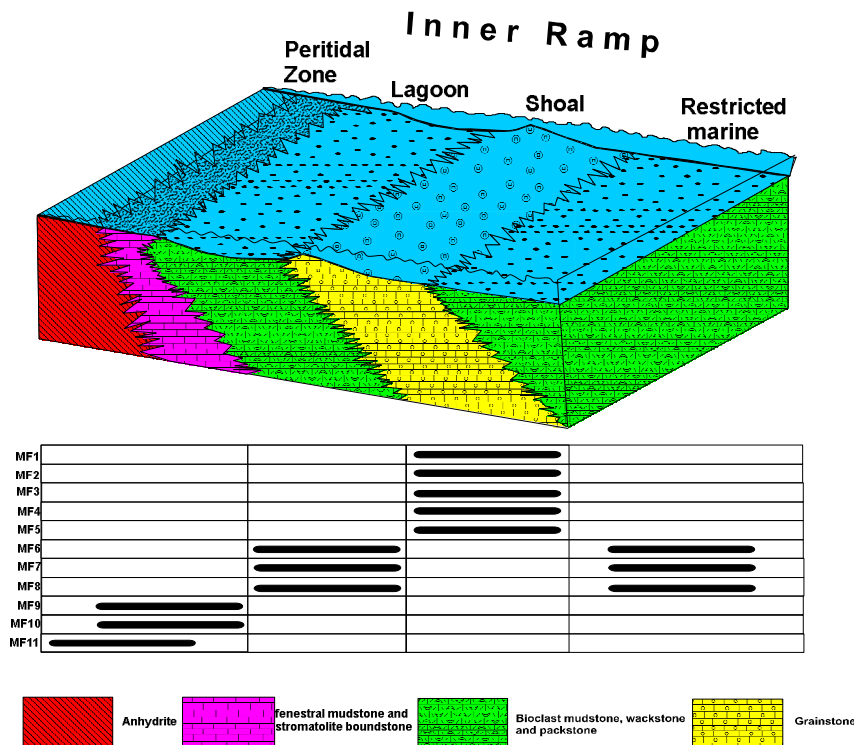
میکرایتی شدن: میکرایتی شدن در سازند عرب به‌ویژه در رخساره‌های مربوط به محیط‌های لاگون و سدی دیده می‌شود (شکل ۴، b). در طی میکرایتی شدن حاشیه‌های دانه‌های کربناتی یا همه حجم دانه به وسیله جلبک‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها دگرسان می‌شوند و توسط بلورهای کربناتی ریزبلور و یا نهان بلور جایگزین می‌شوند (فلوگل، ۲۰۱۰). این فرایند در محیط فریاتیک دریایی رخ می‌دهد (لانگمن، ۱۹۸۰) و مانع از انحلال دانه‌ها در مراحل بعدی دیاژنزی می‌شود. میکرایتی شدن می‌تواند باعث ازبین‌رفتن تخلخل درون دانه شده و تأثیر منفی بر نفوذپذیری و کیفیت مخزنی سازند عرب دارد.

مساعد جهت زیست موجودات زنده و چرخش محدود آب و حاکی از نهشته شدن در پهنه سوپراتایدال است (بریه و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین این رخساره شاخص آب و هوای گرم و خشک و متعلق به پهنه سوپراتایدال می‌باشد (سفیداری و همکاران، ۱۳۹۶). لایه انیدریت معمولاً به عنوان یک سد یا پوش‌سنگ برای مخازن عمل می‌کند (لوسیا، ۱۹۹۹).

۵- مدل رسوبی

با توجه به تغییر تدریجی رخساره‌ها، تنوع کم رخساره‌ها، فقدان اجزای ریف‌ساز و نبود رسوبات ثقیلی و لغزشی ناشی از تغییر ناگهانی شیب محیط‌رسوبی، تجمع اووید نزدیک خط ساحلی در رمپ درونی و در شول‌های رمپ میان، فراوانی بالای رخساره‌های کم‌ژرفا و نبود رسوبات آواری موید یک محیط رمپ کربناته از نوع هموکلینال برای ته‌نشست سازند عرب است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ رید، ۱۹۸۵؛ تاکر و رایت، ۱۹۹۰؛ تاکر، ۱۹۹۳؛ ریدینگ، ۱۹۹۶؛ رایت و بورچته، ۱۹۹۸؛ فینسله، ۲۰۰۰؛ فلوگل، ۲۰۱۰؛ بیگی شیرمحمد و همکاران، ۱۳۹۵؛ قلندری و همکاران، ۱۳۹۸؛ اسعدی و همکاران، ۱۴۰۰ و شاکری و همکاران، ۱۴۰۲).

مطالعات و بررسی‌های انجام شده بیانگر حضور گسترده رخساره‌های گرینستونی دانه غالب در بخش‌های پراترزی حوزه، مخصوصاً در ناحیه سدی بانرژی بالا است که دلیل آن رخساره‌های اوویدی فراوان در سراسر حوضه رسوبی است. باتوجه‌به نادر بودن رخساره‌های دانه غالب در رمپ میانی و بیرونی (محیط‌های کم‌انرژی) این‌گونه از رخساره‌ها غالباً در رمپ داخلی تشکیل می‌گردند (تاکر، ۲۰۰۱ و فلوگل و موننکه، ۲۰۱۰). تغییرات بسیار تدریجی رخساره‌های کم‌عمق به انواع عمیق، انعکاسی از پیوستگی و ارتباط رخساره‌ای به هم و مورفولوژی حوزه در حین رسوب‌گذاری است که با رمپ‌ها همخوانی بیشتری دارد. تنوع کم رخساره‌ای، فراوانی بالای رخساره‌های کم‌عمق، مشخصه سیستم‌های رمپ هم شیب در یک اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (فلوگل و موننکه، ۲۰۱۰). کاهش موجودات چارچوب‌سازی شرایط را برای گسترش رمپ کربناته هموار می‌سازد (فلوگل، ۲۰۱۰). بر اساس مطالعات ریزرخساره‌ها در توالی مورد مطالعه، پهنه‌های رسوبی پری‌تایدال، لاگون، سد و دریای محصور برای ته‌نشست سازند عرب ارائه می‌شود که مربوط به قسمت کم‌عمق



شکل ۳. مدل رسوبی ارائه شده برای سازند عرب. MF1: بیوکلست اینتراکلست گرینستون، MF2: اینتراکلست گرینستون، MF3: اینتراکلست اووید گرینستون، MF4: اووید گرینستون، MF5: بیوکلست پکستون - گرینستون، MF6: بیوکلست مادستون، MF7: بیوکلست وکستون، MF8: بیوکلست وکستون - پکستون، MF9: فنسترال مادستون، MF10: استروماتولیت باندستون، MF11: انیدریت

Fig. 3. Sedimentary model presented for the Arab Formation. MF1: bioclast intraclast grainstone, MF2: intraclast grainstone, MF3: intraclast ooid grainstone, MF4: ooid grainstone, MF5: bioclast packstone-grainstone, MF6: bioclast mudstone, MF7: bioclast wackstone, MF8: bioclast wackstone-packstone, MF9: fenestral mudstone, MF10: stromatolite boundstone, MF11: anhydrite

سیمانی شدن

بر اساس مطالعات پتروگرافی سیمانی شدن به سه نوع کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی رخ داده است. سیمانی شدن باعث کاهش تخلخل و کاهش کیفیت مخزن می‌شود. سه نسل سیمان کلسیتی دریایی، متئوریک و جوی در سازند عرب تشخیص داده شده که به شرح زیر هستند:

سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت: سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت سیمان‌های نسل اول هستند که به صورت سیمان‌های حاشیه‌ای متقارن در اطراف آلوکم‌ها، هم‌زمان با رسوب‌گذاری یا کمی پس از رسوب‌گذاری متأثر از جریان آب دریا تشکیل می‌شوند. تشکیل این سیمان در مراحل اولیه دیانژن و قبل از تراکم از ویژگی‌های محیط فریاتیک دریایی است (شین، ۱۹۶۹؛ مور، ۲۰۰۱؛ فلوگل، ۲۰۱۰؛ تاکر و رایت، ۱۹۹۰). این نوع سیمان با کاهش اثر تراکم منجر به حفظ تخلخل طی تدفین می‌شود. سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت در رخساره‌های گرینستونی وابسته به محیط سدی مشاهده می‌شود (شکل ۴، c)

سیمان کلسیتی هم‌بعد:

سیمان کلسیتی هم‌بعد: سیمان کلسیتی هم‌بعد فضای بین آلوکم‌ها و یا درون آلوکم‌ها را پر می‌کند. این بافت سیمانی به صورت بلورهای کلسیت شفاف با اندازه تقریباً برابر و پرکننده فضاهای خالی بین‌دانه‌ای است (فلوگل، ۲۰۱۰). این سیمان شبیه سیمان‌هایی است که در منطقه فریاتیک جوی کم‌رغا در سدهای آلیتی تشکیل می‌شود (جیمز و شوکت، ۱۹۸۴؛ هالی و هریس، ۱۹۷۹؛ هیسلی و همکاران، ۲۰۰۰). این نوع سیمان بین آلوکم‌ها در رخساره‌های گرینستونی متعلق به محیط‌های سدی و درون حفرات صدف دوکفه‌ای‌ها دیده می‌شود (شکل ۴، d).

سیمان انیدریتی: سیمان انیدریتی یکی از پدیده‌های دیانژنی غالب در سازند عرب است. انیدریت‌های سازند عرب را می‌توان به دو نوع اولیه و ثانویه تفکیک کرد. انیدریت‌های اولیه به صورت لایه‌ای و نودولار است و هم‌زمان با رسوب‌گذاری تشکیل می‌شود. این نوع انیدریت در بحث ریزرخساره‌ها شرح داده شده است. انیدریت ثانویه پس از رسوب‌گذاری و در طی دیانژن تشکیل می‌شود. این سیمان

تراکم: تراکم در سازند عرب بیشتر در رخساره‌های گرینستونی مشاهده می‌شود که باعث تغییر شکل آلوکم‌ها، نزدیک شدن آلوکم‌ها به همدیگر و ایجاد تماس‌های نقطه‌ای و محدب - مقعر شده است (شکل ۴، g). تراکم بر اثر فشار لیتواستاتیک به وجود می‌آید و باعث کاهش حجم رسوبات و کاهش نفوذپذیری و تخلخل می‌شود.

نئومورفیسم: فرایند نئومورفیسم در سنگ‌های آهکی غالباً از نوع افزایشی است که منجر به تشکیل بلورهای با اندازه بزرگ‌تر می‌گردد (تا کر، ۲۰۰۱؛ تا کر و رایت، ۱۹۹۰). این فرایند عمدتاً در رخساره‌های لاگونی و محیط‌های آرام که میکرایت گسترش زیادی دارد با تبدیل میکرایت به میکرواسپاریت و همچنین در پوسته دوکفه‌ها با تغییر ترکیب کلسیتی و آراگونیتی به کلسیت درشت‌بلور مشاهده می‌شود (شکل ۴، h). این فرایند تأثیر چندانی بر کیفیت مخزنی سازند عرب ندارد.

دولومیتی شدن: دولومیتی شدن اثر متفاوتی روی کیفیت تخلخل و تراوایی داشته و باعث کم یا زیاد شدن تخلخل و تراوایی می‌شود که این بستگی به زمان و طریقه دولومیتی شدن دارد (ادبی، ۲۰۰۹). دولومیتی شدن در سازند عرب را می‌توان به دو نوع حفظ‌کننده فابریک و تخریب‌کننده فابریک تقسیم‌بندی کرد. در دولومیتی شدن با حفظ فابریک اولیه هم آلوکم‌ها و هم زمینه به صورت بخشی با دولومیت جانشین شده‌اند؛ ولی فابریک اولیه حفظ شده و قابل تشخیص است. در دولومیتی شدن تخریب‌کننده فابریک، کل سنگ دولومیتی شده و فابریک اولیه قابل تشخیص نیست (شکل ۴، i و j). در رخساره‌های مرتبط با دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک دولومیتی شدن می‌تواند باعث افزایش کیفیت مخزنی شود. در سازند عرب رخساره‌های دولومیتی مرتبط با دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک به دلیل تأثیر بیشتر فرآیندهای دیاژنزی همراه، نسبت به دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک کیفیت مخزنی پایین‌تری نشان می‌دهند. در رخساره‌های مرتبط با دولومیتی شدن بخشی فرآیند دولومیتی تأثیر ناچیز و نیز منفی بر ویژگی‌های مخزنی داشته است (صرفی و اسعدی، ۱۳۹۶).

۷- توالی پاراژنتیکی

تفسیر توالی‌های پاراژنتیکی در یک ناحیه بیانگر زمان تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی و تقدم‌وتأخر آن‌ها است (تا کر و

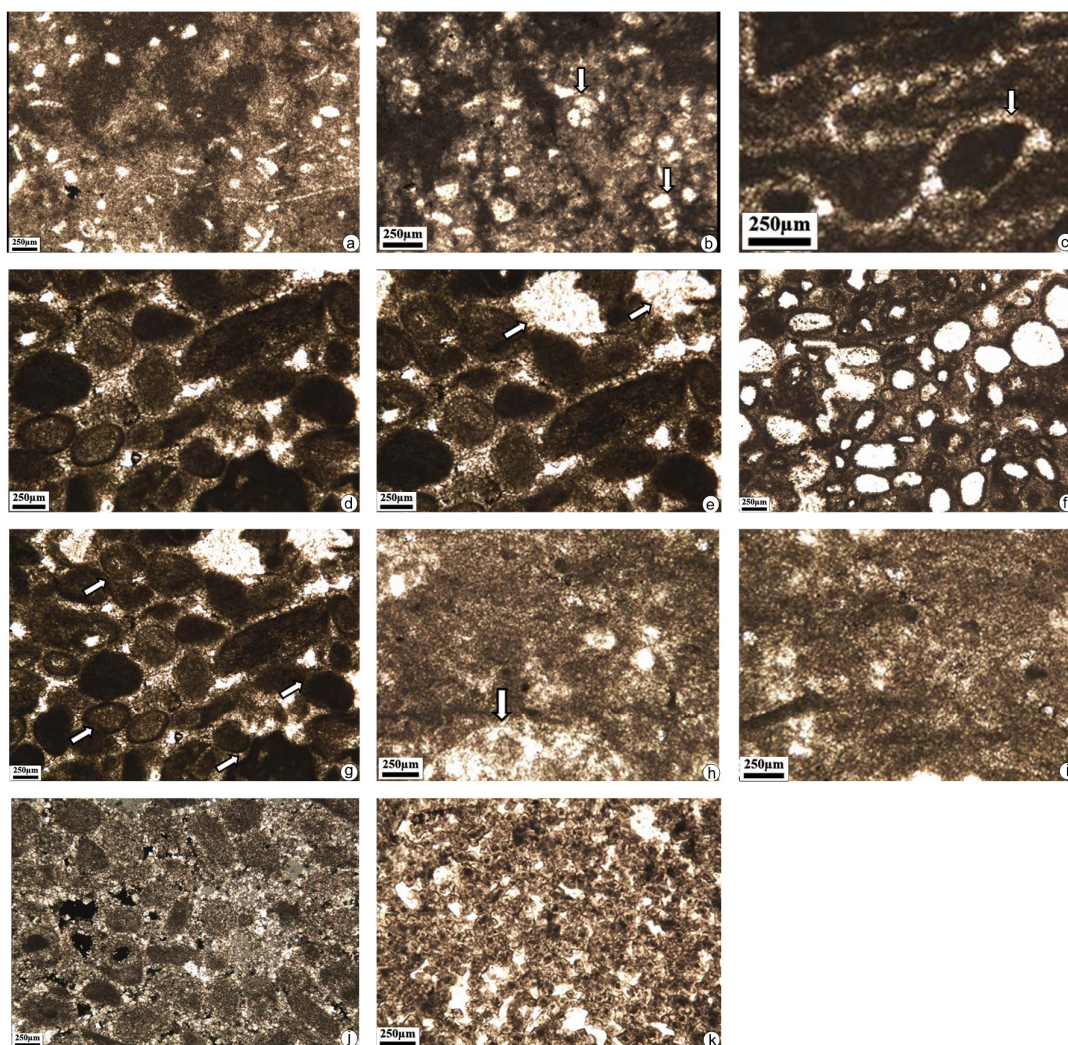
به صورت بلورهای بزرگ و عمدتاً پرکننده تخلخل بین‌دانه‌ای در گرینستون‌ها و به صورت جانیشینی در اوویدها و بیوکلست‌ها گسترش یافته است (شکل ۴، e). همراهی این سیمان با رخساره‌های دانه غالب دولومیتی بیانگر تأثیر شورابه‌های تبخیری در فرآیند دولومیتی شدن است. در تفسیر روند دولومیتی شدن و گسترش سیمان انیدریت همراه آن می‌توان گفت که دولومیتی شدن همراه با ایجاد سیالات فقیر از منیزیم و غنی از کلسیم است. این امر ارتباط بین دولومیتی شدن و ته‌نشینی انیدریت را در جایی که سولفات کافی موجود باشد نشان می‌دهد که می‌تواند به طور قابل‌ملاحظه‌ای باعث کاهش تخلخل شود (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۱).

اندازه درشت‌بلورهای سیمان، نبود آن در سطح تماس بین دانه‌ها، تشکیل آن بعد از سیمان‌های کلسیتی مراحل اولیه دیاژنز و همچنین تشکیل آن به صورت سیمان جوش درون شکستگی‌ها و اجزاء شکسته بیانگر تشکیل آن طی مراحل دیاژنز دفنی است. اما از طرفی فضای باز بین دانه‌ها که امکان حرکت شورابه‌های تبخیری را در بین آن‌ها تسهیل نموده نشان می‌دهد که رخساره‌های دارای این نوع سیمان قبل از تشکیل آن تدفین قابل‌ملاحظه‌ای را متحمل نشده‌اند. بر اساس این شواهد می‌توان محیط تشکیل آن را یک محیط دیاژنز تدفین کم‌عمق در نظر گرفت (کدخدایی و همکاران، ۱۳۹۰). انیدریت پرکننده حفرات بر روی خصوصیات مخزنی تأثیر مخرب داشته و باعث کاهش تخلخل و تراوایی می‌شود (آورند و همکاران، ۱۴۰۳). فرآیند کانی‌زایی تبخیری یکی از عوامل مهم ایجاد ناهمگنی می‌باشد و تأثیر مهمی بر کاهش کیفیت مخزنی دارد (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۳).

انحلال: انحلال در سازند عرب باعث ایجاد تخلخل قالبی و حفره‌ای در رخساره‌های گرینستونی شده است (شکل ۴، f). در مواردی که توالی‌های کربناته به سطح زمین نزدیک شده‌اند، آب‌های با منشأ متئوریکی با عبور از واحدهای کربناته موجب انحلال آلوکم‌های ناپایدار به خصوص اییدها شده و باعث ایجاد تخلخل قالبی و حفره‌ای می‌شود. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که سیستم سنگ - سیال در تعادل نباشد و بیشتر در محیط جوی یا منطقه آمیختگی آب ایجاد می‌شود (آهر، ۲۰۰۸). فرایند انحلال می‌تواند یکی از عوامل افزایش تخلخل، نفوذپذیری و افزایش کیفیت مخزنی سازند عرب باشد.

زیستی، میکریتی شدن و سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت فرایندهای دیاژنزی هستند که طی دیاژنز دریایی و فاز ائوژنز رخ داده‌اند. این مرحله از دیاژنز شامل فرآیندهایی است که رسوبات را در حین ته‌نشست و بلافاصله پس از ته‌نشست تحت تأثیر قرار می‌دهند (تاگر و رایت، ۱۹۹۰). انحلال، دولومیتی شدن، نئومورفیسم و سیمانی شدن هم بعد از فرآیندهای دیاژنزی مهم فاز مزوژنز هستند که نشان‌دهنده تغییر از محیط فریاتیک دریایی به محیط فریاتیک آب شیرین هستند.

رایت، ۱۹۹۰) و همچنین با توجه به اینکه خواص و مشخصات یک مخزن هیدروکربوری توسط دیاژنز و رخساره کنترل می‌شود؛ بنابراین با ارائه مدل دیاژنزی، درک این ارتباط آسان‌تر خواهد شد (مور، ۲۰۰۱). با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص گردید که کربنات‌های سازند عرب در میدان مورد مطالعه تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی در محیط‌های دریایی، متئوریک، تدفینی و طی بالآم‌دگی قرار گرفته‌اند. محیط‌های مذکور در سه فاز ائوژنز، مزوژنز و تلوزنز تقسیم‌بندی می‌شود. فرآیندهای آشفستگی



شکل ۴. فرایندهای دیاژنزی موثر بر سازند عرب. a- آشفستگی زیستی، b- میکریتی شدن، c- سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت، d- سیمان کلسیتی هم‌بعد، e- سیمان انیدریتی، f- انحلال، g- تراکم، h- نئومورفیسم پوسته دوکفه‌ای‌ها با تغییر ترکیب کلسیتی و آراگونیتی به کلسیت درشت بلور، i- نئومورفیسم تبدیل میکرایت به میکرواسپارایت، j- دولومیتی شدن حفظ‌کننده فابریک، k- دولومیتی شدن تخریب‌کننده فابریک

Fig. 4. Diagenesis processes affecting the Arab Formation. a- bioturbation, b- micritization, c- isopach rim cement, d- Equant Calcite cement, e- Anhydrite cement f- dissolution, g- compaction, h- Neomorphism of the shell of bivalves by changing the composition of calcite and aragonite to coarse crystal calcite, i- Neomorphism of converting micrite to microsparite, j- Fabric preservation dolomitization, k- Fabric-destroying dolomitization

در مقاطعی توسط سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی پر شده‌اند. تخلخل قالبی گسترده‌ترین نوع تخلخل در رخساره‌های غنی از دانه در سنگ مخزن است و بیشتر در رخساره‌های اولیتی دولومیتی شده و همچنین در ارتباط با انحلال بایوکلست‌ها در رخساره‌های وکستونی و پکستونی است. این نوع تخلخل بیشتر به صورت قالب‌های اوپیدی مجزا و جزء تخلخل‌های غیرمفید است. تخلخل حفره‌ای در رخساره‌های گرینستونی و مادستونی دیده می‌شود. غالباً این نوع از تخلخل‌ها به ندرت حفظ شده و اغلب توسط سیمان پر می‌شود. پراکندگی انواع تخلخل‌ها در سازند عرب در شکل ۵ نشان داده شده است. عموماً پس از مطالعات دقیق رخساره‌ای و دیاژنزی، به منظور بررسی تأثیر این پارامترها بر کیفیت مخزنی، از نمودار تخلخل در برابر تراوایی استفاده می‌شود. تأثیر بافت، محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی بر توزیع تخلخل - تراوایی سازند عرب در میدان مورد مطالعه در شکل ۵ بررسی شده است. میزان تخلخل در نمونه‌های این سازند از ۷/۹ تا ۳۰/۳۹ درصد و میزان تراوایی از ۰/۶۷ تا ۸۱/۶۲ میلی‌داری می‌تغیر است.

نتایج نشان می‌دهد که عموماً رخساره‌های دانه غالب گرینستونی در مقایسه با وکستون و مادستون‌های گل غالب مقادیر تخلخل - تراوایی بالاتری را نشان می‌دهند. در نمونه‌های این سازند، رخساره‌های دانه غالب با بافت گرینستونی متعلق به محیط پارانرژی اول از تخلخل ۱۴/۱ تا ۳۰/۳۹ درصد (میانگین ۲۳/۲۸ درصد) و تراوایی ۶/۹ تا ۸۱/۶۲ میلی‌داری (میانگین ۴۸/۶۶ میلی‌داری) بالایی برخوردارند (شکل ۶). به لحاظ رسوب‌شناسی، در میدان‌های هیدروکربنی، اغلب رخساره‌های دانه غالب مانند گرینستون به طور معمول دارای خصوصیات مخزنی خوبی هستند (هنرمند و امینی، ۲۰۱۲). این پدیده در ارتباط با خصوصیات بافتی رخساره‌های دانه غالب است و در ارتباط با انرژی بالا و مداوم محیط ته‌نشست آن‌ها است. این رخساره‌ها دارای تخلخل بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای و قالبی هستند. فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر این رخساره، دولومیتی شدن، انحلال، تراکم، سیمانی شدن، میکراتیتی شدن و انیدریتی شدن هستند. دولومیتی شدن و انحلال باعث افزایش کیفیت مخزنی و تراکم، سیمانی شدن، میکراتیتی شدن و انیدریتی شدن باعث کاهش کیفیت مخزنی می‌شوند. میکراتیتی شدن می‌تواند باعث از بین رفتن تخلخل

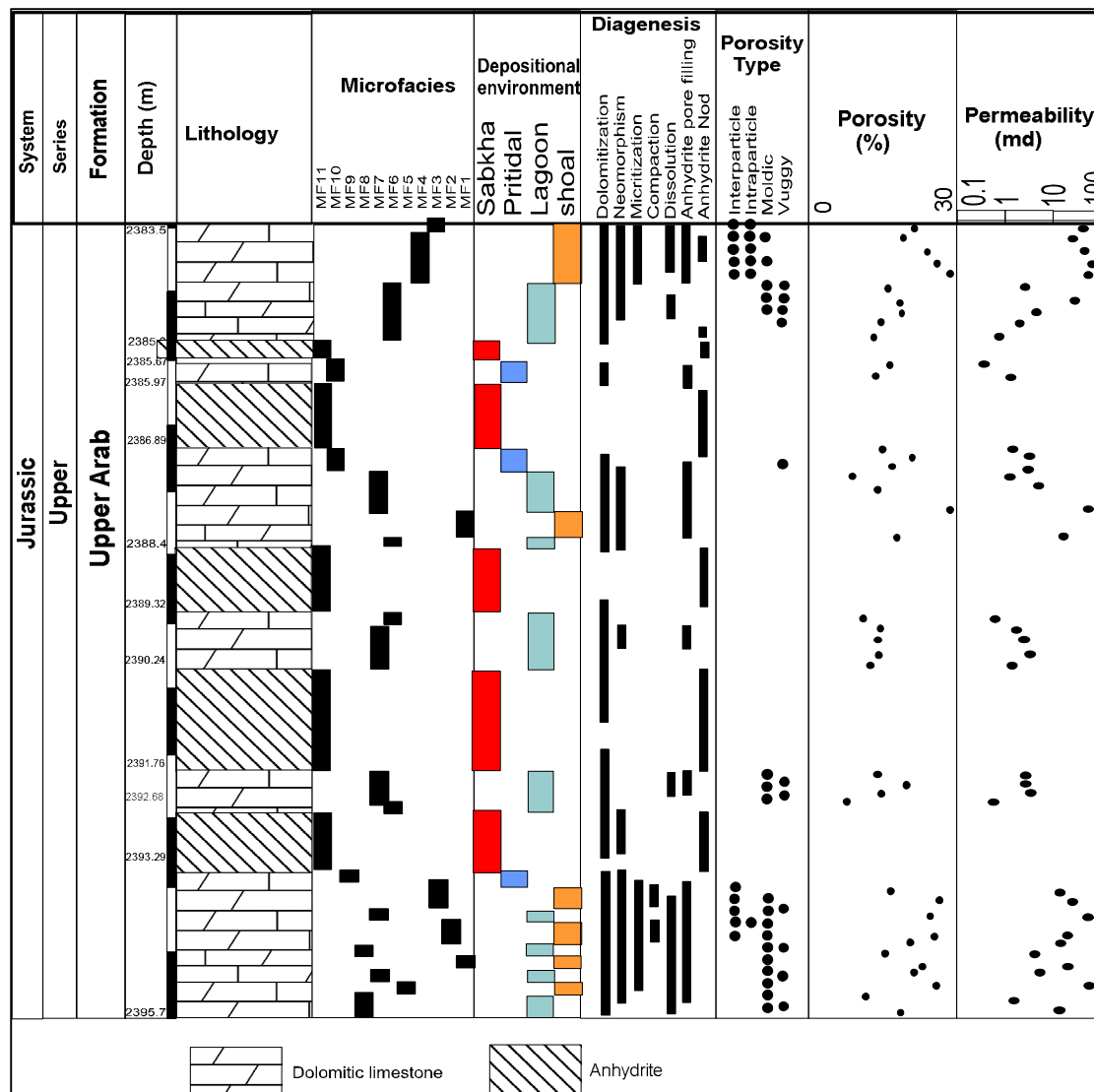
فرآیند انحلال در سنگ‌های آهکی که نقش مهمی در توسعه مخازن هیدروکربوری دارد هم در محیط‌های دیاژنتیکی تدفینی (داوسون و کاروزی، ۱۹۹۳) و هم در محیط‌های دیاژنتیکی متئوریک (بولر و تاکر، ۲۰۰۲؛ کانینگهام و همکاران، ۲۰۱۲) به دلیل ورود آب‌های تحت اشباع گسترش دارد. با تدفین، رسوبات در اعماق تحت عملکرد فرآیندهای دیاژنزدنی قرار می‌گیرند. در این مرحله از دیاژنز فرآیندهای مشاهده شده شامل تراکم، دولومیتی شدن تخریب‌کننده فابریک، سیمانی‌شدن انیدریت و کلسیت هستند (پورامینی و همکاران، ۱۳۹۱). تراکم فیزیکی معمولاً در مراحل اولیه دیاژنز که سیمان کمی وجود دارد به وقوع می‌پیوندد، ولی تافشردگی مراحل تدفینی نیز می‌تواند امتداد داشته باشد. انیدریت‌های ثانویه عمدتاً به صورت سیمان با بافت‌های پرکننده منافذ و پوکی‌توتوپیک در رخساره‌های دولومیتی مرتبط با محیط لاگون و شول مشاهده می‌شوند. عموماً سیمان‌های انیدریتی مرتبط با سیالات دیاژنزی در مواقعی که به صورت فراگیر سیستم منافذ را مسدود کرده‌اند، کیفیت دولومیت‌های سازند عرب را به میزان زیادی کاهش داده‌اند (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۹).

۸- کیفیت مخزنی

پتانسیل مخزنی یک سنگ توسط پارامترهای تخلخل، تراوایی و سیستم منافذ اندازه‌گیری می‌شود. تخلخل موجود در سنگ‌های کربناته به دو گروه تخلخل اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود. تخلخل اولیه از ابتدا در میان ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات وجود دارد و تخلخل ثانویه در هر زمانی پس از رسوب‌گذاری نهایی ایجاد می‌شود (چکوت و پرای، ۱۹۷۰). تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، قالبی و حفره‌ای عمده‌ترین نوع تخلخل‌ها در سازند عرب هستند. تخلخل بین‌دانه‌ای در بین دانه‌های اوپید، اینتراکلست‌ها و بایوکلست‌ها گسترش پیدا کرده و در صورت ارتباط این منافذ باعث ایجاد تخلخل مفید شده و در کیفیت مخزنی تأثیرگذار است. این نوع تخلخل دارای منشأ اولیه بوده و حاصل فابریک رسوبی است. تخلخل درون‌دانه‌ای در کربنات‌ها اغلب قبل از رسوب‌گذاری قطعات یا دانه‌های رسوبی تشکیل شده‌اند و اغلب با دانه‌های رسوبی پر شده و مقدار کمی از آن‌ها حفظ شده‌اند. این نوع تخلخل بیشتر در دانه‌های اوپیدی مربوط به محیط سدی وجود دارد که

دیاژنزی نظیر انحلال میکروسکوپی، دولومیتی شدن دفنی و شکستگی‌ها در بهبود کیفیت مخزن و فرآیندهایی نظیر فشردگی فیزیکی و شیمیایی و سیمانی شدن موجب کاهش کیفیت مخزن می‌شود (دهکار و همکاران، ۱۳۹۹؛ عباس‌پور و همکاران، ۱۴۰۱ و آورند و همکاران، ۱۴۰۳).

درون‌دانه‌ای شود. سیمانی شدن و به‌ویژه انیدریتی شدن که به فراوانی مشاهده می‌شود فضاهای بین‌دانه‌ای و فضاهای خالی را پر کرده و باعث کاهش کیفیت مخزنی می‌شوند. در حالت کلی نقش بافت اولیه سنگ در افزایش کیفیت مخزنی گرینستون‌ها مؤثر بوده و فرایندهای دیاژنزی تأثیر چندانی بر کیفیت مخزنی ندارند. به‌طور کلی فرآیندهای



شکل ۵. پراکندگی ریزرخسارها، محیط رسوبی، فرایندهای دیاژنزی، انواع تخلخل، میزان تخلخل و نفوذپذیری بر روی ستون چینه‌شناسی سازند عرب در چاه مورد مطالعه

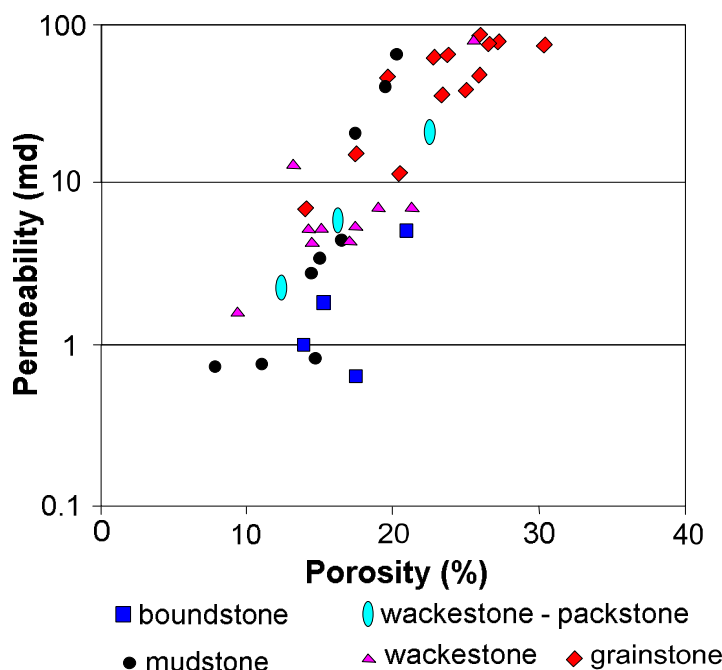
Fig. 5. The distribution of microfacies, depositional environment, diagenesis processes, types of porosity, porosity and permeability on the stratigraphic column of the Arab formation in the studied well

۷۴/۰ تا ۴۲/۴ میلی داری (میانگین ۴۲/۱۵ میلی داری) است (شکل ۶). رخساره‌های مادستونی به دلیل ته‌نشست در محیط آرام دارای گل فراوان بوده و از تخلخل و تراوایی اولیه بسیار کمی برخوردارند. دولومیتی شدن و انحلال

رخساره‌های مادستونی شامل رخساره‌های رسوبی زیر محیط لاگون است که از تخلخل و تراوایی پایینی برخوردارند. میزان تخلخل در این رخساره‌ها بین ۷/۹ تا ۳۰/۳۰ درصد (میانگین ۲۳/۱۵ درصد) میزان تراوایی بین

عوارض دیاژنزی مانند دولومیتی شدن، انحلال افزایش پیدا کرده است. رخساره باندستون جلبکی که گسترش بسیار اندکی دارد و فقط در ۴ نمونه مشاهده شده است تخلخل ۱۳/۹ تا ۲۱ درصد (میانگین ۱۶/۹ درصد) و تراوایی ۰/۶۷ تا ۵/۱ میلی‌داریسی (میانگین ۲/۱۹) را نشان می‌دهند (شکل ۶). این رخساره نیز متحمل فرآیندهای دیاژنزی دولومیتی شدن، انحلال و انیدریتی شدن شده است.

باعث افزایش تخلخل و تراوایی در این رخساره‌ها شده است. در این رخساره، انیدریتی شدن باعث کاهش تخلخل و تراوایی شده است. رخساره‌های وکستونی و پکستونی شامل رخساره‌های رسوبی مربوط به زیر محیط لاگون هستند و مقادیر متفاوتی از تخلخل ۹/۳ تا ۲۵/۴ درصد (میانگین ۱۶/۷ درصد) و تراوایی ۱/۶ تا ۷۵/۹ میلی‌داریسی (میانگین ۱۲/۰۴ میلی‌داریسی) را نشان می‌دهند (شکل ۶). مقادیر متفاوت تخلخل و تراوایی در این رخساره‌ها به دلیل



شکل ۶. نمودار تخلخل در برابر نفوذپذیری انواع رخساره‌های سازند عرب در چاه مورد مطالعه

Fig. 6. The diagram of porosity versus permeability for facies types of Arab Formation in the studied well

- تخلخل عمده در سازند عرب از نوع وابسته به فابریک و اولیه بوده و شامل تخلخل بین‌دانه‌ای است.
- توزیع تخلخل - تراوایی در زیر محیط‌های رسوبی مختلف شامل پری‌تایدال، لاگون و شول نشان می‌دهد که رخساره‌های زیر محیط شول به دلیل توسعه گرینستون‌ها مقادیر تخلخل - تراوایی بالاتری را نشان می‌دهند.
- در ارتباط با تأثیر فرآیندهای دیاژنزی، بر سیستم منافذ و ویژگی‌های مخزنی، مشاهده می‌شود که انحلال و دولومیتی شدن، بیشترین تأثیر را بر توزیع تخلخل - تراوایی اعمال نموده‌اند. انیدریتی شدن بیشترین تأثیر مخرب را بر کیفیت مخزنی سازند عرب دارند.
- در ارتباط با تأثیر سیستم منافذ در انواع رخساره‌های مخزنی سازند عرب، مشاهده می‌شود که تخلخل‌های

۹- نتیجه‌گیری

مطالعه مقاطع نازک تهیه شده از مغزه‌های حفاری و میزان تخلخل و نفوذپذیری سازند عرب با سن ژوراسیک بالایی در چاه مورد مطالعه نتایج زیر حاصل شده است:
- بر اساس مطالعات میکروسکوپی ۱۱ ریزرخساره شناسایی شده است که در پهنه‌های دریای محصور، سد، لاگون و پری‌تایدال در قسمت کم عمق رمپ درونی و از نوع هموکلینال نهشته شده‌اند.
- نهشته‌های سازند عرب هر سه محیط دیاژنزی شامل دریایی، متوریکی و تدفینی را پشت سر گذاشته‌اند. آشفستگی زیستی، میکرایتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، تراکم، نئومورفیزم و دولومیتی شدن فرآیندهای دیاژنزی غالب بر روی نهشته‌های این سازند بوده‌اند.

- Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks, A JOHN WILEY and SONS, INC., 277 p. doi:10.1002/9780470370650.
- Al-Awwad, S. F., and Collins, L. B (2013) Arabian carbonate reservoirs: A depositional model of the Arab-D reservoir in Khurais field, Saudi Arabia. AAPG Bulletin, 97 (7): 1099-1119
- Al-Awwad, S. F., Pomar, L (2015) Origin of the rudstone–floatstone beds in the Upper Jurassic Arab-D reservoir, Khurais Complex, Saudi Arabia. Marine and Petroleum Geology, 67: 743- 768.
- Al-Husseini, M (2009) Update to Late Triassic–Jurassic stratigraphy of Saudi Arabia for the Middle East geologic time scale. GeoArabia, 14(2): 145-186.
- Al-Husseini, M. I (1997) Jurassic sequence stratigraphy of the western and southern Arabian Gulf. GeoArabia, 2 (4): 361-382.
- Al-Mojel, A., Razin, P., & Dera, G (2020) High-resolution sedimentology and sequence stratigraphy of the Oxfordian-Kimmeridgian, Hanifa, Jubaila and Arab outcrops along Jabal Tuwaiq, Central Saudi Arabia, Journal of African Earth Sciences, 165, 103803. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2020.103803.
- Al-Saad, H., Sadooni, F. N (2001) A new depositional model and sequence stratigraphic interpretation for the Upper Jurassic Arab “D” reservoir in Qatar. Journal of Petroleum Geology, 24 (3): 243-264.
- Alsharhan, A. S., Narin, A. E. M (2003) Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Elsevier Science, Netherland, 843 p.
- Asaadi, A., Sarfi, M., Imandoust, A., Ghane, M (2021) Controls of depositional facies and diagenetic processes on reservoir quality of the Arab Formation in the one oil field, Southern Persian Gulf (in Persian). Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches, 37 (3-84): 61-90.
- Bashari, A (1988) Occurrence of Heavy Crude Oil in the Persian Gulf, in R.F. Myer and E. J. Wiggins, (Eds): Fourth International Unitar International Conference on Heavy Crude and Tar Sands, Edmonton, Alberta, Canada, 2: 204-214. (In Persian).
- Bashari, A (2017) Facies, thickness variations and reservoir characterization of the Arab Formation (Surmeh), Eastern part of the Persian Gulf. Journal of Petroleum Geology of Iran, 14: 35-48. (In Persian).
- Beigi Shirmohammad, M., Ghazanfari, P., Hamdollahi, M., Yahyaei, A (2016) Microfacies, Sedimentary Environment and diagenetic processes of Surmeh Formation (Arab Member) in Salman Oil field, Persian Gulf, Iran, Sedimentary Facies, 9 (1): 35-56. (In Persian).
- بین‌دانه‌ای در مقایسه با انواع حفره‌ای و ریزتخلخل‌ها، کیفیت مخزنی بالاتری دارند. حفرات قالبی با وجود تخلخل بالا به دلیل عدم ارتباط مناسب سیستم منافذ، مقادیر تراوایی پایینی نشان می‌دهند.
- نتایج ارزیابی کیفیت مخزنی نشان می‌دهد که توزیع تخلخل – تراوایی توسط هر دو پارامتر رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی کنترل شده است. با این وجود سهم دیاژنز در کیفیت مخزنی قابل‌ملاحظه بوده است و حتی تخلخل‌های بین‌دانه‌ای نیز تحت‌تأثیر انیدریتی شدن، انحلال و تراکم قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر، اگرچه ژنز و ماهیت شکل‌گیری این تخلخل‌ها در ارتباط با محیط رسوب‌گذاری بوده است، ولی بخشی از کیفیت مخزنی آن‌ها متأثر از دیاژنز است.

References

- Abbaspour, A., Mehrabi, H., Rahimpour bonab, H., Zamannejad, A (2022) Reconstruction of sedimentary environment, diagenetic history and reservoir quality of Ilam formation in one of the oil fields of Lorestan region, western Iran. Applied Sedimentology, 10: 19. (In Persian). doi.org/ 10.22084/PSJ.2021.24257.1290.
- Abdi, F., Kamali, M., Al Hashim, S. M., Kodkhodaei, A (2017) Identification of rock types using the concept of water flow units and its distribution by simulating sequential index, in Upper Surmeh reservoir (Arab) in one of the oil fields in southern Iran (in Persian). Applied Sedimentology, Volume 6, Number, 12: 87-102.
- Accordi, G., Carbone, F., Pignatti, J. O (1998) Depositional history of a Paleogene carbonate ramp (western Cephalonia, Ionian Islands, Greece): Geologica Romana, 34: 131–205.
- Adabi, M. H (2002) Petrography and Geochemical criteria for recognition of unaltered cold water and diagenetically altered Neoproterozoic dolomite, western Tasmania, Australia. 16 th Australian Geol. Conv., Australia (Abst.), 350p.
- Adachi, N., Ezaki, Y., Lin, J (2004) The origins of peloids immediately after the end-permain extinction, Guizhou Province, South China. Sedimentary Geology, 164: 164-178.
- Agha Nabati, A (2006) Geology of Iran (In Persian). Geological Survry and Mineral Exploration of the country, 586 p.
- Aghaei, A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Heubeck, C., Nadjafi, M (2013) Facies analysis and sequence stratigraphy of an Upper Jurassic Carbonate ramp in the Eastern Alborz range and Binalud Mountains, Ne Iran: Facies, 59(4): 863–889. doi:10.1007/s10347-012-0339-8.
- Ahr, W. M (2008) Geology of Carbonate Reservoirs; The Identification, Description, and

- Berbier, M., Hamon, Y., Callot, J. P., Floquet, M., Daniel, J. M., Daniel, J. M (2012) Sedimentary and diagenetic controls on the multiscale fracturing pattern of a carbonate reservoir, The Madison Formation (Sheep Mountain, Wyoming, USA). *Marine and Petroleum Geology*, 29: 50-67.
- Boiler, J., Tucker, M. E (2002) Distribution and geometry of facies and early diagenesis, the key accommodation space variation and sequence stratigraphy: Upper Cretaceous Congost Carbonate platform, Spanish Pyrenees. *Sedimentary Geology*, 146 (3): 225-247. doi:10.1016/S0037-0738(01)00120-8.
- Cantrell, D., Swart, P., and Hagerty, R (2004) Genesis and characterization of dolomite, Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia. *Geo-Arabia*, 9: 11-36.
- Cantrell, D., Swart, P., and Hagerty, R (2004) Genesis and characterization of dolomite, Arab-D reservoir, ghawar field, Saudi Arabia. *Geo Arabia*, 92: 11-36.
- Cantrell, D. L., Swart, P. K., Handford, R. C., Kendall, C. G., and Westphal, H (2001) Geology and production significance of dolomite, Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia, *Geo-Arabia*, 6: 45-60.
- Chatalov, A., Bonev, N., Ivanova, D (2015) Depositional characteristics and constraints on the mid-Valanginian demise of a carbonate platform in the intra-Tethyan domain, Circum-Rhodope Belt, northern Greece: Cretaceous Research, 55: 84–115.
- Choquette, P. W., & Pray, L. C (1970) Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates”, *AAPG Bulletin*, 54: 207-250.
- Cunningham, K. J., Sukop, M. C., Curran, H. A (2012) Carbonate aquifers, *Developments in Sedimentology*, 64: 869-896. doi:10.1016/B978-0-444-53813-0.00028-9.
- Darvishzadeh, A (1991) *Geology of Iran*. (in Persian) Danesh Emroz Publication, 901 p.
- Dawson, W. C., Carozzi, A. V (1993) Experimental deep burial, fabric-selective dissolution in Pennsylvanian phylloid algal limestones. *Carbonates and Evaporites*, 8 (1): 71-81.
- Dehkar, A., Sajadian, A., Noura, M., Shabani Gorji, K., Amrai, A (2019) The effect of diagenetic processes on the reservoir quality of Fahlian Formation (Early Cretaceous) in Arvand oil field, Dasht Abadan. *Applied Sedimentology*, 8 (15): 208-223. (In Persian).
- Demicco, R. V., Hardie, L. A (1994). Sedimentary structures and early digenetic features of shallow marine carbonate deposits. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Atlas Series*, 265 p.
- Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to their depositional texture classification of carbonate rocks. *Aapg*. 1:108-121.
- Ehrenberg, S. N., Aqrabi, A. A., Nadeau, P. H (2008) An overview of reservoir quality in producing Cretaceous strata of the Middle East. *Petroleum Geoscience*, 14(4): 307-318. doi:10.1144/1354-079308-783.
- Einsele, G (2000) *Sedimentary basin evolution, facies and sediment budget*, Second edition. SpringerVerlag, 292p.
- Flügel, F (2010) *Microfacies of carbonate rocks, analysis interpretation and application* (2nd edition). Springer, New York. 976 p.
- Flügel, E., & Munnecke, A (2010). *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*, 976 (2004), Berlin: Springer.
- Ghalandari, Z., Vahidinia, M., Moussavi-Harami, S. R (2020) Biostratigraphy, depositional environment and sequence stratigraphy of Arab Member in the middle part of Persian Gulf (in Persian), *Sedimentary Facies*, 13 (1): 37-51. doi: 10.22067/sed.facies.v13i1.70447.
- Gregg, J. M., Shelton, K. L (1990) Dolomitization and neomorphism in the back reef facies of the Bonnetterre and Davies Formations (Cambrian), southeastern Missouri. *J. Sed. Petrology*, 60: 549-562. <https://doi.org/10.1306/212f91e2-2b24-11d7-8648000102c1865d>.
- Hampaian, R. Rahimpour Bonab, H. Kamale, M. R. and Mousavi Harami, S. R (2014) The Study of Factors Affecting Reservoir Quality of Upper Surmeh (Arab) in the Balal and Salman Oil Fields, the Persian Gulf. Volume 25, Number 83, P. 68-81. (in Persian). doi: 10.22078/pr.2015.534.
- Hollis, C., Lawrence, D. A., De Periere, M. D. & Al-Darmaki, F. (2017). Controls on porosity preservation within a Jurassic oolitic reservoir complex, UAE. *Marine and Petroleum Geology*, 88:888–906, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.09.015>.
- Honarmand, J. and Amini, A (2012) Diagenetic processes sandr eservoirproperties in the ooid grain stones of the Asmari Formation, Cheshmeh Khush Oil Field, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 81: 70-79. (In Persian)
- Jahan Mahin, R (2002) Facies and thickness changes of Heath and Arab formations from Salman to Siri field and its effect on hydrocarbon gathering in the Persian Gulf (in Persian). University of Tehran, 95 p.
- Jez, J., Otonicar, B., Fucek, L., Ogorelec, B (2011) Late Cretaceous sedimentary evolution of a northern sector of the Adriatic Carbonate Platform (Matarsko Podolje, Sw Slovenia) *Facies*, 57(3): 447–468.
- Kodkhodaei Ilkhchi, R., Rahimpour Bonab, H., Mousavi Harami, S. R., Kodkhodai Ilkhchi, A (2010) Factors controlling distribution of

- different textures of anhydrite cement and its relation to reservoir quality in the Upper Dalan and Kangan carbonate reservoirs, South Parsfield. *Stratigraphy and Sedimentology Research*, twenty-seventh year, 42 (1): 1-26. (In Persian).
- Lucia, F. J (2007) Carbonate Reservoir Characterization An Integrated Approach, Second Edition. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 55(6): 336. doi: 10.1007/978-3-540-72742-2.
- Lucia, F. J (2007) Carbonate Reservoir characterization: an integrated approach. Springer, Berlin, New York, 341 p. doi:10.1007/978-3-540-72742-2.
- Marchionda, E., Deschamps, R., Cobianchi, M. Nader, F. H., Giuliu, A. D., Morad, D. J., Al-Darmaki, F. & Ceriani, A (2018) Field-scale depositional evolution of the Upper Jurassic Arab Formation (onshore Abu Dhabi, UAE). *Mar Pet Geol*, 89: 350–369.
- Mehrabi, H., Ranjbar-Karami, R., and RoshaniNejad, M (2019) Reservoir rock typing and zonation in sequence stratigraphic framework of the Cretaceous Dariyan Formation, Persian Gulf. *Carbonates and Evaporites*, 34(4): 1833–1853.
- Moore, C. H (2001) Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework. *Development in Sedimentology*, Amsterdam Elsevier, 55, 460 p.
- Moore, C. H (2013) Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a SequenceStratigraphic Framework. Elsevier, Amsterdam: 370.
- Morad, D., Nader, F. H., Morad, S., Rossi, C., Gasparrini, M., Alsuwaidi, M., Hellevang, H (2019) Limited thermochemical sulfate reduction in hot, anhydritic, sour gas carbonate reservoirs: The Upper Jurassic Arab Formation, United Arab Emirates. *Marine and Petroleum Geology*, 106: 30-41.
- Morad, S., Al-Aasm, I. S., Nader, F. H., Ceriani, A., Gasparrini, M., and Mansurbeg, H (2012) Impact of diagenesis on the spatial and temporal distribution of reservoir quality in the Jurassic Arab D and C members, offshore Abu Dhabi oilfield, United Arab Emirates. *Geo-Arabia*, 17: 17-56. doi: 10.2113/geoarabia170317.
- Morad, S., Al-Aasm, I. S., Nader, F. H., Ceriani, A., Gasparrini, M., Mansurbeg, H (2012) Impact of diagenesis on the spatial and temporal distribution of reservoir quality in the Jurassic Arab D and C members, offshore Abu Dhabi oilfield, United Arab Emirates. *Geo-Arabia*, 17: 17-56.
- Moro, A., Velic, I., Mikuz, V., Horvat, A (2018) Microfacies characteristics of carbonate cobble from Campanian of Slovenj Gradec (Sloenia) implications for determining the Fleuryana adriatica De Castro, Drobne and Gusic paleoniche and extending the biostratigraphic range in the Tethyan realm: *Rudarskogeološko-naftni zbornik*, 33(4): 1–12.
- Mosleh, K., Dehghani, F., Elzami, M., Mirza Ebrahimi, R (2008) Oil Reserves of the World, Optimum Use of Gas Resources in Iran, Islamic Council Research Center, p. 10 (In Persian).
- Mousavi Nasab, S., Kodkhodaie, A., Alizadeh, A. and Barati, M. B (2016) Evaluation of the impact of stresses on the pattern of dispersion and displacement of faults in the Salman oil field (in Persian). *Journal of petroleum Research*, 3: 82-92.
- Nader, F. H., De Boever, E., Gasparrini, M., Liberati, M., Dumont, C., Ceriani, A., Doligez, B (2013) Quantification of diagenesis impact on the reservoir properties of the Jurassic Arab D and C members (Offshore, UAE). *Geofluids*, 13 (2): 204-220. doi: 10.1111/gfl.12022.
- Nosrati, A., Mesbahi, F., Kodkhodaie, A., Hasanpour Sedghi, M (2023) Identification of fractures and faults in the Salman oil field in the Persian Gulf using seismic data by ant tracking algorithm (in Persian). *Journal of petroleum Research*, 130: 3-17.
- Pouramini Bezenjani, S., Adabi, M., Hosseini Barzi, M., Hanachi, J (2011) Microfacies, sedimentary environment and diagenesis of the upper part of Dalan and Kangan Formations in the Kuh-e Surmeh area, Folded Zagros. *Stratigraphy and Sedimentology Research*, 28 (1): 55-74. (In Persian).
- Powers, R. W (1962) Arabian upper jurassic carbonate reservoir rocks,” In W.E. Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1: 122-192.
- Rahimpour-Bbonab, H., and Soltani, B (2014) A hybrid approach for litho-facies characterization in the framework of sequence stratigraphy: A case study from the South Pars gas field, the Persian Gulf basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 121: 87–102.
- Rahimpour-Bonab, H (2007) A procedure for appraisal of a hydrocarbon reservoir continuity and quantification of its heterogeneity. *J. Pet. Sci. Eng*, 58 (1–2): 1–12.
- Read, J. F (1985) Carbonate platform facies models. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 69: 1-21.
- Reading, H. G (1996) *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Black Well Science, 688 p.
- Sadeghi, L. Hasanpour Sedghi, M. and Kodkhodaie, A (2022) Tectonic analysis of one of the oil fields in southwestern Iran, using a visual FMI diagram, *Oil Research*, 32 (6): 3-21 (In Persian).

- Sarfi, M., Asaadi, A., Imandoust, A., Navidtalab, A (2022) Depositional environments and sequence stratigraphy of the Arab Formation, Persian Gulf, Offshore Iran, *Petroleum Science and Technology*, Petroleum Science and Technology, 41 (6): 1-21.
- Scoffin, T. P (1987) *An Introduction to Carbonate Sediments and Rocks*. Chapman and Hall, 274 p.
- Sefidari, E., Amini, A., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Chehrizi, A., & Zamanzadeh, S. M (2018) Depositional facies, diagenetic overprints and sequence stratigraphy of the upper Surmeh reservoir (Arab Formation) of offshore Iran, *Journal of African Earth Sciences*, 149: 55-71. doi:10.22078/PR.2023.4856.3169.
- Sfidari, E., Amini, A., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Chehrizi, A., Zamanzadeh, S. M (2019) Depositional facies, diagenetic overprints and sequence stratigraphy of the upper Surmeh reservoir (Arab Formation) of offshore Iran, *Journal of African Earth Sciences*, 149: 55-71. doi:10.22078/PR.2023.4856.3169.
- Sfidari, E., Sharifi, M., Amini, A., Zamanzadeh, S. M., Kadkhodaie, A (2021) Reservoir quality of the Surmeh (Arab-D) reservoir in the context of sequence stratigraphy in Salman Field, Persian Gulf. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 198: 108180.
- Shakeri, A., Parham, S., Rezaiee Parto, K (2023) Facies Analysis, Depositional Environment and Reservoir Zonation of the Upper Part of Surmeh Formation (Arab Formation) in one of the Persian Gulf Fields (in Persian). *Petroleum Research*, 33 (129): 88-105.
- Sharifi-Yazdi, M., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Nazemi, M. & Kamali, M. R (2019) Linking diagenetic history to depositional attributes in a high-frequency sequence stratigraphic framework: a case from upper Jurassic Arab formation in the central Persian Gulf, *Journal of African Earth Sciences*, 153: 91-110.
- Sharland, P. R., Casey, D. M., Davies, R. B., Simmons, M. D., Sutcliffe, O. E (2001) Arabian Plate sequence stratigraphy *Geo-Arabia*, Special Publication, 2: 371 p.
- Shibani, H. R., and Hassania, M (2019) The historical island of Lavan and its economic capacities (in Persian), *The 17th Conference of Geophysics of Iran*, Persian Gulf Studies, 17 p.
- Shinn, E. A (1983) Tidal flat environment. In: Scholle, P. A., Bebout, D. G., & Moore, C. H., (Eds.), *Carbonate Depositional Environments*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 33: 171-210.
- Singh, K. H., and Joshi, R. M (2020) *Petro-Physics and Rock Physics of Carbonate Reservoirs*. Springer Singapore 291p.
- Swart, P. K., Cantrell, D. L., Westphal, H., Handford, C. R., Kendall, C. G (2005) Origin of dolomite in the Arab-D reservoir from the Ghawar Field, Saudi Arabia, evidence from petrographic and geochemical constraints. *Journal of Sedimentary Research*, 75(3): 476-491. doi: 10.2110/jsr.2005.037.
- Tucker, M. E (1993) *Carbonate Diagenesis and Sequence Stratigraphy*. *Sedimentology Reviews*, 1: 51-72.
- Tucker, M. E (2001) *Sedimentary petrology*, Third edition, Blackwell, Oxford, 260. doi: 10.1017/S0016756802266510.
- Tucker, M. E., Wright, P (1990) *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482p.
- Tucker, M. E., Wright, V. P (1992) *Carbonate Sedimentology*, 2nd Reprint. Blackwell, 482 p.
- Vaezi, M (2009) *Oil and Foreign Policy* (in Persian). Strategic Research Center of the Expediency Council, 148 p.
- Warren, J. K (2006) *Evaporites, Sediments, Resources and Hydrocarbons*. Springer Verlag, Brunei, 1035 p.
- Wilson, J. L (1975) *Carbonate facies in geologic history*. Springer, New York, 471 p.
- Wright, V. P., Burchette, T. P (1998) *Carbonate Ramps*. Geological Society of London, Special Publication, 149: 1-472.
- Ziegler, M. A (2001) Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *Geo-Arabia*, 6: 445-504.

Investigating the reservoir quality and sedimentary environment of the Arab Formation in one of the Persian Gulf oil fields

A. Kadkhodaie^{*1}, R. Atabaky², R. Mahari³ and A. Najafzadeh⁴

1- Assoc. Prof., Dept., of Geology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Ph. D., student. Dept., of Geology, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran

3- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran

4- Assist. Prof., Dept., of Geology, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran

* kadkhodaie_ali@tabrizu.ac.ir

Recieved: 2025.3.6 Accepted: 2025.6.29

Abstract

Arab Formation is the most important oil reservoir at Salman Field of Persian Gulf. Arab Formation is known as the upper part of Late Jurassic-aged Sourmeh Formation. This formation is 12.2 m thick in the studied well, consisting evaporative and carbonate units. In order to study the microfacies, sedimentary environment and presenting a sedimentary model, it has been studied 65 thin sections by polarizing microscope and identified 11 microfacies. On the basis of the analysis of identified microfacies, it has been proposed the homoclinal ramp sedimentary model in which, Arab Formation has deposited in the shallow part and above the FWFB surface in the internal ramp, in the pretidal, lagoon, shoal and restricted marine environments. The pretidal flat has been specified by fenestral mudstone, stromatolite boundstone and anhydrite microfacies, the lagoon and restricted marine by bioclast mudstone, bioclast wackstone and bioclast wackstone-packstone, and finally the shoal by bioclast intraclast grainstone, intraclast grainstone, intraclast ooid grainstone, ooid grainstone and bioclast packstone-wackstone. The effective diagenetic processes on Arab Formation in the studied well comprise bioturbation, micritization, cementation, dissolution, compaction, neomorphism and dolomitization. The cementation is observed as isopach rim cement, equant calcitic cement and anhydritic cement that is the most important factor of decreasing in the reservoir quality of Arab Formation and also dissolution and dolomitization are the most important factors of increasing in the reservoir quality of Arab Formation. Intergranular, intragranular, moldic and vuggy porosities are the most important type of porosity, and intergranular porosity has a wide spread. The distribution of porosity-permeability in different sedimentary environments shows that the dominant grain facies of the shoal environment show higher porosity-permeability values due to the development of grainstones and have high reservoir quality.

Keywords: Arab formation, Sedimentary environment, Reservoir quality, Porosity, Permeability, Persian Gulf

Introduction

Arab Formation is one of the most important oil reservoirs of Persian Gulf and Arabian Plate in which the major production is extracted from calcareous successions in many fields. This formation is very important in oil production of the countries such as Saudi Arabia, Bahrain, Qatar, Unites Arab Emirates and Iran. The end parts of Sourmeh Formation in central and eastern parts of Persian Gulf, coastal Fars and southern Persian Gulf countries are known as Arab Formation. Considering Cake-layer nature of this formation as a classic carbonate-evaporate sequence, it is divided to four parts of A, B, C and D from older to younger in most parts of Persian Gulf and surrounding areas. The thickness of

Arab Formation at Salman Field (on average, about 163 m) is more than Reshadat Field (86 m) and Siberi Field (63 m). The oil potential of Arab Formation decreases from Salman Field to the west (Reshadat and Resalat Fields) and to the Siberi Field has no any hydrocarbon; probably because of two important factors i.e. the lack of a proper caprock and to be away from source rock (Diyab Formation). The reason of decreasing in the thickness of Arab Formation is an active subsidence in Upper Jurassic time due to a fast global transgression from east to the west and creating of a marine open plain resulted from the movement of beach plain to the east along the north-south direction.

Materials and Method

In order to achieve the intended purposes in this study, they were used of 183 thin sections prepared from drilling chips. The prepared thin sections have been studied by the polarizing microscope. It was used of the classifications of Dunham (1962) to name the carbonate facies. It has been used of standard facies presented by Flugel (2010) in order to comparison of carbonate facies. The performed investigations have lead to identification and determination of facies, interpretation of sedimentary environment and diagnosing diagenetic processes along with their impact on reservoir quality. The porosity (relative to helium) and permeability (relative to air) values of 65 well core samples were used to determine reservoir quality.

Discussion and Results

Arab Formation in the studied well is 12.2 m thick from depth of 2383.5 m to the depth of 2395.7 m, consisting of following lithological units from top to the bottom as: 2.2 meters of dolomitic limestone, 37 centimeters of anhydrite, 30 centimeters of dolomitic limestone, 92 centimeters of anhydrite, 1.15 meters of dolomitic limestone, 1.28 meters of anhydrite, 92 centimeters of dolomitic limestone, 1.52 meters of anhydrite, 92 centimeters of dolomitic limestone, 61 centimeters of anhydrite and 2.41 meters of dolomitic limestone. Arab Formation in the studied well is equivalent to Upper Jurassic-aged Upper Arab.

In order to investigation of microfacies and interpretation of sedimentary environment, bioclastic and nonbioclastic allochems, cement and micritic matrix have been studied. Naming the all types of calcareous textures in this study were done on the basis of the classifications of Dunham (1962) and Embury and Klovan (1971), as well as it was mainly used of Flugel (2010) for the interpretation of sedimentary environments. These studies on Arab Formation at the wells have lead to identification of 12 microfacies. By comparison of identified microfacies with standard microfacies (Flugel, 2010), 4 sedimentary subenvironments were specified. The constituent microfacies of Arab Formation in the studied wells from the sea to the land are as follows:

MF1: bioclast intraclast grainstone, **MF2:** intraclast grainstone, **MF3:** intraclast ooid grainstone, **MF4:** ooid grainstone, **MF5:** bioclast packstone-grainstone, **MF6:** bioclast mudstone, **MF7:** bioclast wackstone, **MF8:** bioclast wackstone-packstone, **MF9:** fenestral mudstone, **MF10:** stromatolite boundstone, **MF11:** dolomudstone, **MF12:** anhydrite

Considering gradual variation of facies, low variety of facies, the lack of reef-forming components, the absence of segregation and sliding deposits resulted from sudden change of slope in sedimentary environment, accumulation of ooid near to shoreline at internal ramp and also at ponded waters of the middle ramp, high abundance of shallow facies and the lack of clastic sediments confirms the existence of an environment of homoclinal carbonate ramp for deposition of Arab Formation. The identified microfacies in the shallow parts of the ramp have deposited at the internal ramp. Intraclast grainstone, intraclast ooid grainstone, ooid grainstone and bioclast packstone-grainstone belong to ponded water environments; bioclast mudstone, bioclast wackstone and bioclast wackstone-packstone are related to lagoon environments; and fenestral mudstone, stromatolite boundstone, dolomudstone and anhydrite are indicator of pretidal flats. During microscopic studies, it was specified that the effective diagenetic processes on Arab Formation in the studied well comprise bioturbation, micritization, cementation, dissolution, compaction, neomorphism and dolomitization. Micritization, cementation and compaction cause to decrease of the reservoir quality, instead dolomitization and dissolution lead to increase of the reservoir quality of Arab Formation. Noticed on performed studies, it was identified that Arab Formation carbonates in the studied field have been affected by diagenetic processes at the marine, meteoric and burial environments and during the upwelling. The mentioned environments are classified to three phases including eogenesis, mesogenesis and telogenesis. The processes such as bioturbation, micritization, the isopach rim cement and anhydritization are of diagenetic processes which have synchronously occurred with sedimentation during marine diagenesis and eogenesis phase. This phase of diagenesis comprise processes which affect the sediments during deposition and immediately after deposition. Dissolution, dolomitization, neomorphism and equant cementation are of significant diagenetic processes belong to mesogenesis phase that indicate a variation from a marine phreatic environment to a fresh water phreatic environment. Dissolution process in the limestones which have a major role in developing hydrocarbon reservoirs, is expanding both in burial diagenetic environments (Dawson and Carozzi, 1993) and in meteoric diagenetic environments. due to ingress of the undersaturated waters. Compaction, fracturing and the formation of calcitic and anhydritic veins,

dolomitization and dissolution (to a lesser extent) are of processes occurring at the telogenesis phase. The results show that generally, grain-dominated grainstone facies show higher porosity-permeability values compared to micrite-dominated wackestones and mudstones. In samples of this formation, the grain-dominant facies with greenstone texture belonging to the high-energy shoal environment have a porosity of 14.1 to 30.39 percent (average 23.28 percent) and permeability of 6.9 to 81.62 md (average 48.66 md). This facies have intergranular, intragranular, and moldic porosities. The diagenetic processes affecting this facies are dolomitization, dissolution, compaction, cementation, micritization, and anhydritization. Generally, the role of the early texture is effective in increasing the reservoir quality of grainstones, and diagenetic processes do not have much effect on reservoir quality. Mudstone facies include depositional facies of lagoon environment that have low porosity and permeability. The porosity of these facies ranges from 7.9 to 20.30 percent (average 15.23 percent), and the permeability ranges from 0.74 to 4.62 md (average 15.42 mD). Mudstone facies, due to sedimentation in a slow environment, contain abundant mud and have very low initial porosity and permeability. Mudstone facies, due to sedimentation in a slow environment, have abundant mud and have very low initial porosity and permeability. Dolomitization and dissolution have increased porosity and permeability in these facies. In this facies, anhydritization has reduced porosity and permeability. The wackestone and packstone facies are depositional facies associated with the lagoonal subenvironment and exhibit varying values of porosity from 9.3 to 25.4 percent (mean 16.7 percent) and permeability from 1.6 to 9.75 mD (mean 12.04 mD). The varying values of porosity and permeability in these facies have been enhanced by diagenetic processes such as dolomitization and dissolution. The algal bondstone facies, which is very poorly distributed and observed in only 4 samples, shows a porosity of 13.9 to 21% (mean 16.9%) and a permeability of 0.67 to 1.5 mD (mean 2.19). This facies has also undergone diagenetic processes of dolomitization, dissolution, and anhydritization.

Conclusions

The study of thin sections prepared from drill cores and the porosity and permeability of the Upper Jurassic Arab Formation in the well studied yielded the following results:

- Based on microscopic studies, 11 microfacies have been identified that are deposited in the restricted marine, shoal, lagoon, and peritidal zone in the shallow part of the inner ramp and are of the homoclinal type.
- The deposits of the Arab Formation have undergone all three diagenetic environments including marine, meteoric, and burial. Bioturbation, micritization, cementation, dissolution, compaction, neomorphism, and dolomitization have been the dominant diagenetic processes on the deposits of this formation.
- The distribution of porosity-permeability in different sedimentary subenvironments including peritidal, lagoon, and shoal shows that the shoal subenvironment facies show higher porosity-permeability values due to the development of grainstones.
- Regarding the effect of diagenetic processes on the pore system and reservoir properties, it is observed that dissolution and dolomitization have the greatest effect on the porosity-permeability distribution. Anhydritization has the most destructive effect on the reservoir quality of the Arab Formation.
- Regarding the effect of the pore system in the various reservoir facies of the Arab Formation, it is observed that intergranular porosities have higher reservoir quality compared to moldic and microporosities. Moldic pores, despite their high porosity, show low permeability values due to the Lack of proper communication of the pore system results in low permeability values.
- The results of reservoir quality assessment show that the porosity-permeability distribution is controlled by both sedimentary facies and diagenetic processes parameters. However, the contribution of diagenesis to reservoir quality has been considerable, and even intergranular porosity has been affected by anhydritization, dissolution, and compaction. In other words, although the genesis and nature of the formation of these porosities were related to the depositional environment, part of their reservoir quality is affected by diagenesis.