

تعیین نقش محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی در کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سورمه در میدان سلمان

ابراهیم سفیداری^{۱*}، عبدالحسین امینی^۲، محمدرضا یوسف‌پور^۳ و سید محمد زمانزاده^۴

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران
۲. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران
۳. کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی شرکت نفت فلات قاره
۴. دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۴

چکیده

بخش بالایی سازند سورمه به سن ژوراسیک بالایی با لیتولوژی آهک، دولومیت و میان لایه‌های انیدریت معادل سازند عرب در بخش عربی خلیج فارس به حساب می‌آید. توالی ذکر شده بزرگ‌ترین سنگ مخزن سیستم ژوراسیک پلیت عربی را تشکیل می‌دهد. مطالعه حاضر بر اساس داده‌های مغزه (مقطع نازک، تخلخل و تراوایی مغزه و فشار موئینه تزریق جیوه) و لاگ‌های چاه‌پیمایی به بررسی محیط رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و نقش آنها در کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سورمه پرداخته است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی نه میکروفاسیس رسوبی شناسایی شد. رخساره‌های شناسایی شده به بخش داخلی یک رمپ کربناته کم شیب، متشکل از زیرمحیط‌های سوپرتایدال، لاگون و شول نسبت داده شده‌اند. فرایندهای دیاژنزی نقش متغیری بر کیفیت مخزنی سازند مورد مطالعه داشته‌اند. دولومیتی شدن، انحلال و شکستگی باعث افزایش کیفیت مخزنی شده‌اند، حال آنکه سپمانی شدن، دولومیتی شدن بیش از اندازه، انیدریتی شدن و فشردگی باعث کاهش کیفیت مخزنی شده‌اند. بر اساس داده‌های تخلخل، تراوایی و فشار موئینه حاصل از تزریق جیوه، رخساره‌های انیدریتی و مادستون حاوی انیدریت مربوط به بخش پرتایدال، دارای پایین‌ترین کیفیت مخزنی می‌باشند و در مقابل رخساره‌های گرینستون ائیدی و پکستون تا گرینستون بایوکلاستی مربوط به زیرمحیط شول از بهترین کیفیت مخزنی برخوردار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ژوراسیک بالایی، سورمه بالایی، سازند عرب، کیفیت مخزنی.

مقدمه

سعودی (میادین قوار، خوریس و قطیف)، قطر (میادین بولحنین، ام شرجی) و امارات متحده عربی (میادین ام شیف و ابوالبوخوش) را تشکیل می‌دهد. بایواستراتیگرافی سازند عرب توسط هاگس (Hughes, 1996) در عربستان سعودی، السیلود و همکاران (Al Silwadi et al., 1996)

بخش بالایی سازند سورمه به سن کیمریجین تا تیتونین در فرهنگ چینه‌شناسی کشورهای جنوبی حاشیه خلیج فارس به اسم سازند عرب خوانده می‌شود. این سازند، سنگ مخزن میادین هیدروکربنی عظیمی در کشورهای عربستان

* نویسنده مرتبط: ebrahimspidari@ut.ac.ir

کف حوضه، سه حوضه درون شلفی: ربع الخالی^۱ در شمال غربی امارات کنونی، حوضه عربی^۲ در شمال و شمال شرق عربستان و حوضه گوتنیا^۳ در محدوده کنونی کشور کویت و جنوب شرقی عراق گسترده بودند (شکل ۱). این حوضه‌های درون شلفی به‌وسیله عناصر تکتونیکی کمان قطر-فارس (جداکننده حوضه ربع الخالی از حوضه عربی و گوتنیا) و کمان ریمتان (جداکننده حوضه عربی از حوضه گوتنیا) از همدیگر و به‌وسیله اولیت آساب^۴ از دریای نئوتتیس جدا شده بودند (Al-Husseini, 2000). در طی دوره ژوراسیک، نوسانات سطح آب دریا همراه با تغییرات تکتونیکی کف حوضه در این پلاتفرم کربناته، منجر به رسوب‌گذاری توالی‌های ضخیم رسوبی شامل سنگ منشاء در مناطق عمیق‌تر حوضه‌های درون پلاتفرمی، سنگ مخزن در مناطق کم‌عمق‌تر و پوش سنگ‌های منطقه‌ای گسترده در اثر پایین آمدن سطح آب دریا و تشکیل لاگون‌های محدود شده، و شرایط برای تشکیل سیستم‌های نفتی عظیم ژوراسیک فراهم شده است (Murris 1980). در طی ژوراسیک میانی شرایط بی‌اکسیژنی باعث تشکیل سنگ منشاءهای کربناته Jubaila در عربستان سعودی، Darb و Daiyab در امارات متحده عربی و قطر و بخش میانی سازند سورمه در بخش شمالی خلیج فارس شده است. در طی ژوراسیک پسین، منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی حدود ۱۰ درجه قرار گرفته بود و در این شرایط نیمه‌خشک، سازند کربناته-تبخیری عرب معادل بخش بالایی سازند سورمه رسوب‌گذاری کرده است. با ادامه پایین رفتن سطح آب دریاها در انتهای ژوراسیک و در طی تیتونین، سازند انیدریتی هیث به‌عنوان یک پوش سنگ در مناطق گسترده‌ای رسوب‌گذاری کرده است و در ادامه آن هم سازندهای ابتدای کرتاسه به‌صورت ناپیوسته بر روی سازند هیث قرار گرفته‌اند. سازندهای Arab، Jubaila و Hiht بخش HST دومین مگاسکانس ژوراسیک پلیت عربی یعنی مگاسکانس شماره هفت (AP7) شارلند و همکاران (۲۰۰۱) را تشکیل می‌دهند.

در امارات متحده عربی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. لیتوفاسیس، محیط رسوبی و چینه نگاری سکانسی این سازند توسط پاورس و همکاران (Powers et al., 1966)، لینیندره و همکاران (Le Nindre et al., 1990) مایر و همکاران (Meyer et al., 1996)، در رخنمون مطالعه شده است. همچنین مطالعات زیرسطحی فراوانی بر روی این سازند در چاه‌های حفاری شده انجام گرفته که در آنها به محیط رسوبی (Azar and Peebls, 1998; Alsad and Sadoini, 1996; Meyer et al., 2001)، فرایندهای دیاژنزی (Alsharhan and Whittle, 1995; Morad et al., 2012)، چینه نگاری سکانسی (Handford et al., 2002; Azar and Peeble, 1998; Al-Husseini, 1997; Sharlan et al., 2001)، و کیفیت مخزنی (Meyer et al., 2000; Lucia et al., 2001) پرداخته شده است. با این وجود، با توجه به این‌که سازند عرب مخازن هیدروکربنی مهمی را در میادین سلمان، بلال، رشادت، رسالت و فردوسی در بخش شمالی خلیج فارس تشکیل داده است، اما مطالعات محدودی از این سازند در بخش ایرانی انجام شده (Daraei et al., 2014) و اکثر مطالعاتی که بر روی این سازند انجام شده به کشورهای عربی محدود شده است، در این راستا مطالعه حاضر به بررسی سازند عرب در میدان سلمان پرداخته و سه هدف اصلی به شرح زیر را دنبال خواهد کرد. ۱) تشخیص میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی سازند عرب در میدان مورد مطالعه، ۲) تعیین فرایندهای دیاژنزی و مطالعه نقش آنها در کیفیت مخزنی سازند مورد مطالعه، ۳) بررسی کیفیت مخزنی سازند در میدان مورد مطالعه.

زمین‌شناسی منطقه

در طی ژوراسیک پیشین تا پسین، پلاتفرم کربناته وسیعی در بخش جنوبی اقیانوس نئوتتیس در بخش شمالی پلیت عربی گسترده شده بود (Murris, 1980). در این پلاتفرم کربناته وسیع، به دلیل فرایندهای تکتونیکی مختلف، از قبیل غسل‌های پی‌سنگی و فرونشست متفاوت

1. Rub alkhalī
2. Arab basin
3. Goutnia basin
4. Asab

که بخش بالایی سازند سورمه معادل سازند عرب در حاشیه جنوبی خلیج فارس مخزن اصلی تولیدکننده میدان را تشکیل می‌دهد.

داده‌ها و روش مطالعه

داده‌های این مطالعه از چاه‌های حفاری شده تا رسوبات کربناته ژوراسیک بالایی در میدان سلمان تهیه شده است. مجموع ۱۷۵ مقطع نازک تهیه شده از مغزه، از چاه ۲S-۲ برای تشخیص رخساره‌های رسوبی استفاده شده است. برای توصیف رخساره‌ها از الگوی دانهام (۱۹۶۲) همراه با ساخت‌های رسوبی، اندازه دانه‌ها، ترکیب سنگ و دیاژنز آلوکماها استفاده شده است (شکل ۳). بعد از تشخیص رخساره‌ها در میدان، بر اساس توزیع رخساره‌ها، مدل رسوبی سازند عرب در میدان مورد مطالعه بازسازی شده و نقش توزیع رخساره‌ها در کیفیت مخزنی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های تخلخل و تراوایی موجود از چاه‌های مورد مطالعه برای بررسی کیفیت مخزنی سازند، مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور از روش پتروفیزیکی فابریک سنگ لوسیا استفاده شد. در مرحله اول با استفاده از گامای مغزه و گامای حاصل از لاگ‌های چاه‌پیمایی عمق بین داده‌های مغزه و لاگ‌ها تصحیح شد. در ادامه با استفاده از داده‌های تخلخل و تراوایی چاهی که در آنها آنالیز رخساره‌ای انجام گرفته شده بود کیفیت مخزنی رخساره‌ها با استفاده از روش لوسیا (۱۹۸۳) از نظر کمی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای بررسی دقیق‌تر کیفیت مخزنی رخساره‌های شناسایی شده و تعیین نوع فضاهای منفذی در هر رخساره، از داده‌های تزریق جیوه استفاده شد. از طرف دیگر از لاگ‌های چاه‌پیمایی موجود برای ارزیابی پتروفیزیکی و تعیین لیتولوژی استفاده شد.

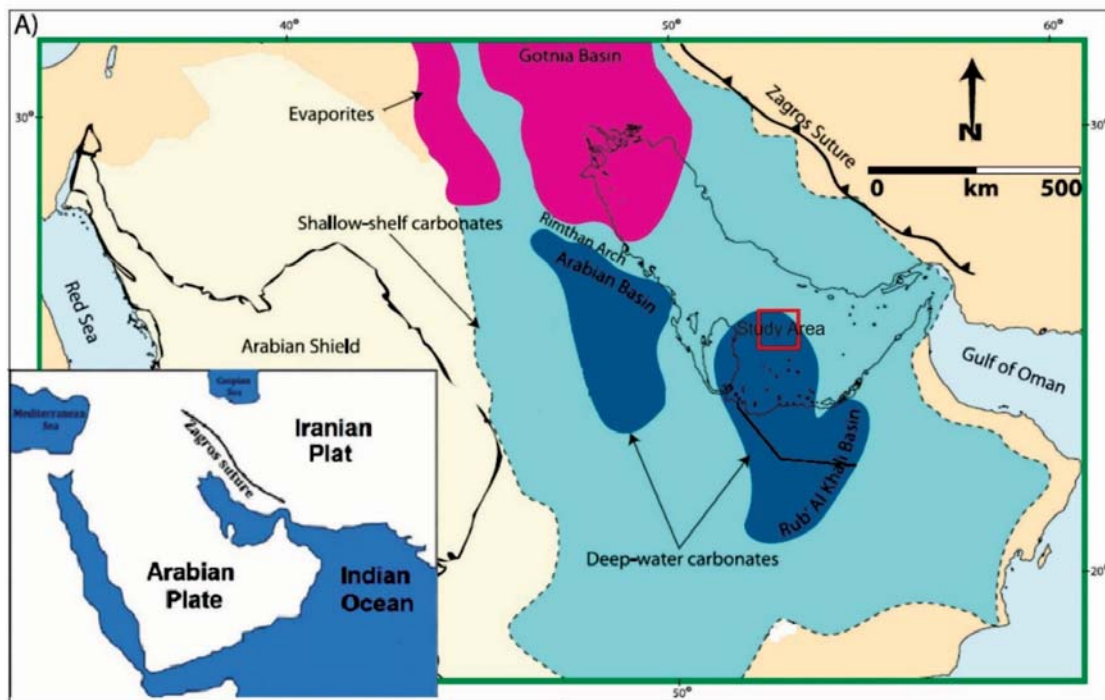
بحث

در ادامه نتایج مورد مطالعه با رخساره‌های رسوبی ارائه خواهد شد.

برای اولین بار مقطع نمونه سازند عرب در چاه شماره ۷ دمام در شرق عربستان سعودی با ضخامت ۱۲۷ متر توسط پاورس و همکارانش (Powers et al., 1966) معرفی شد. به‌طور کلی سازند عرب با لیتولوژی آهک، دولومیت و انیدریت از چهار چرخه به سمت بالا کم‌عمق شونده شامل D, C, B, A و تشکیل شده است که D قدیمی‌ترین و A جوان‌ترین آن می‌باشد (Powers et al., 1966). سیکل‌های کربناته-تبخیری سازند عرب نشان‌دهنده سکانس‌های رسوبی پیشرونده-پسرونده در بازه‌های تقریبی پنج میلیون سال می‌باشند (Sharland et al., 2001). این سیکل‌ها با کربنات‌های بخش پیرانژی شول‌های رمپ داخلی شروع و با مادستون‌های دولومیتی شده لاگون ادامه یافته و در انتها هم به رسوبات تبخیری بخش بالایی اینترتایدال و سوپراتایدال ختم می‌شود (Azar and Peeble, 1998). انیدریت‌های بخش بالایی هر چرخه به‌عنوان پوش برای آن چرخه عمل می‌کنند و به‌عنوان لایه‌های کلیدی برای انطباق ناحیه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (Azar and Peeble, 1998; Sharland et al., 2001). لایه انیدریتی پوشاننده بخش عرب D به‌عنوان انیدریت زیرین^۱ شناخته می‌شود که به سمت شرق امارات به لایه آهکی چگال^۲ تغییر لیتولوژی می‌یابد. انیدریت جداکننده کربنات‌های بخش C از B به‌عنوان انیدریت میانی^۳ و بخش B از A به‌عنوان انیدریت بالایی^۴ نامیده می‌شود (Al Silwadi et al., 1996; Sharland et al., 2001). انیدریت‌های پوشاننده بخش A به‌عنوان سازند هیث خوانده می‌شود.

میدان سلمان به‌صورت یک میدان گنبدی شکل در اثر نفوذ توده‌های نمکی، در بخش دور از ساحل ایران و در شرق میدان پارس جنوبی قرار گرفته است. این میدان در خط مرزی بین جمهوری اسلامی ایران و امارات متحده عربی قرار گرفته و یک میدان مشترک به شمار می‌آید که ۳/۴ آن متعلق به ایران و ۱/۴ آن متعلق به امارات می‌باشد. در این میدان بازه‌های مخزنی زیادی از قبیل: رسوبات آواری قبل از خوف پالئوزوئیک، رسوبات کربناته کنگان و دالان، رسوبات کربناته بخش بالایی سازند سورمه و کربنات‌های کرتاسه زیرین شامل سازندهای فهلیان و داریان وجود دارند

1. Lower Anhydrite
2. Dense Limestone
3. Middle Anhydrite
4. Upper Anhydrite



شکل ۱. موقعیت حوضه‌های درون شلفی در ژوراسیک بالایی و موقعیت میدان مورد مطالعه (Cantrell et al., 2001)

نشان‌دهنده تأثیر شورابه‌های نفوذی از سابخا (سوپراتایدال) هستند. در مطالعات (Azer and Peebles, 1998) بر اساس کارهای ایزوتوپی، منشأ شورابه‌های تبخیری با دمای کم برای فرآیند تبخیر و دولومیتی شدن تأیید شده است. فضاهای بین بلوری بیشترین بخش تخلخل را در این میکروفاسیس تشکیل می‌دهند. این میکروفاسیس (با کیفیت مخزنی بالا) به همراه میکروفاسیس انیدریت (بدون کیفیت مخزنی) یک روند تناوبی و تکراری را در بخش‌های بالایی سازند عرب ایجاد کرده‌اند. از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی در این رخساره، می‌توان به تراکم و سیمانی شدن انیدریتی اشاره کرد. بر اساس ویژگی‌های اصلی، این میکروفاسیس بیانگر یک محیط اینترتایدال تا سوپراتایدال می‌باشد (Brett et al., 2004).

رخساره مادستون دارای انیدریت (MF3)

این میکروفاسیس دارای فابریک تبخیری غالب با لامینه‌بندی بوده و مربوط به زیر محیط فوق جزر و مدی (سوپراتایدال) تا بین جزر و مدی (اینترتایدال) می‌باشد (شکل ۲-E). در بعضی از مقاطع، بافت تکه‌ای در زمینه سولفات‌ها جایگزین شده که بیانگر تغییرات از خشکی به سمت

رخساره انیدریت (MF1)

بافت انیدریت در مقاطع مورد مطالعه به اشکال توده‌ای تا لانه قفس مرغی می‌باشد (شکل ۲-A و B). انیدریت، عمده حجم این رخساره را به خود اختصاص می‌دهد با این وجود در بعضی موارد رشته‌های دولومیتی در اندازه‌های مختلف و میکریت هم دیده می‌شود. این رخساره مربوط به زیر محیط‌های سوپراتایدال و یا نمکزارهای حواشی لاگون بوده و شاخص آب و هوای گرم و خشک و متعلق به کمربند رخساره‌ای بالای پهنه جزر و مد (سوپراتایدال) می‌باشد.

رخساره دولوستون متبلور (MF2)

این میکروفاسیس در اصل یک رخساره مادستونی بوده که در زیر محیط سوپراتایدال دولومیتی شده است. دولومیتی شدن در این میکروفاسیس به صورت فراگیر و غیرتقلیدی است و تقریباً تمام اجزا دولومیتی شده‌اند که در اثر نفوذ شورابه‌های هایپرسالین صورت گرفته است. در این میکروفاسیس، اندازه بلورهای دولومیت متغیر هستند که بیانگر شرایط رشد بلورها و تشکیل هسته آنها می‌باشد (شکل ۲-C و D). تکه‌های انیدریت در مقاطع وجود دارد که

این رخساره می‌توان به میکرایتی شدن، سیمانی شدن کلسیستی، دولومیتی شدن انتخابی، نئومورفیسیم، انحلال و غیره اشاره کرد. این رخساره نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در شرایط انرژی کم تا متوسط در دریای محدود شده و لاگون می‌باشد.

رخساره وکستون پلوییدی (MF6)

این میکروفاسیس دارای پلوئیدهای میکرایتی در یک زمینه گلی است و خاص زیرمحیط لاگون می‌باشد (Flugel, 2004). اجزای تشکیل‌دهنده این میکروفاسیس شامل فرامینیفرهای کفزی، جلبک سبز، خرده‌های استراکود و اجزای دیگر است (شکل ۲-۱). میکرایتی شدن گسترده بر روی آلوکم‌های مختلف نیز بیانگر شرایط لاگونی محدود می‌باشد. بلورهای خودشکل دولومیت در این رخساره هم‌جانشین آلوکم‌ها و ماتریکس گلی شده و هم‌فضاهای خالی بین‌دانه‌ای را پر کرده‌اند. از این‌رو، باعث کاهش تخلخل و تراوایی شده‌اند. فضاهای خالی اندک باقیمانده در این رخساره بیشتر به‌صورت بین‌بلوری و ریزتخلخل در زمینه است. از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر آن می‌توان میکرایتی شدن، سیمانی شدن، دولومیتی شدن و تراکم را نام برد.

رخساره وکستون بایوکلاستی (MF7)

در این میکروفاسیس، آلوکم‌ها عمدتاً خرده‌های فسیلی جلبک سبز از قبیل کلیپینا، فرامینیفرهای کفزی از جمله میلیولید و گاستروپود است که به نظر می‌رسد مربوط به زیرمحیط لاگون باشند (شکل ۲-۲ K و J). اجزای فرعی دیگر شامل ذرات پلوئید، اینتراکلاست و آنکوئید هستند. این رخساره نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در شرایط انرژی کم تا متوسط و در زیرمحیط حدواسط لاگون تا پهنه جزر و مدی می‌باشد. از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر این رخساره می‌توان به دولومیتی شدن، سیمانی شدن، میکرایتی شدن، زیست‌آشفتگی و انحلال اشاره کرد.

رخساره پکستون تا گریبستون بایوکلاستی (MF8)

این میکروفاسیس عمدتاً از خرده‌های فسیلی مختلف فرامینیفرهای کفزی، جلبک سبز، دوکفه‌ای و گاستروپود

دریا می‌باشد. اشکال تیغه‌ای بلورهای انیدریت در این بخش از سازند عرب وجود دارند. تکه‌های انیدریت به دلیل داشتن الگوی توزیع غیریکنواخت، تأثیر ناچیزی روی کیفیت مخزنی دارند. دولومیتی شدن و انیدریتی شدن در این رخساره از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی می‌باشند.

رخساره مادستون استروماتولیتی (MF4)

این میکروفاسیس دارای تناوبی از لایه‌های تاریک فرش‌های میکروبی و روشن رسوبات می‌باشد (شکل ۲-۲ F و G) و عمدتاً به زیرمحیط جزر و مدی محیط‌های قدیمی و امروزی نسبت داده می‌شود (Flugel, 2004). تکه‌های پراکنده انیدریت (شکل ۲-۲ F) نشان‌دهنده تأثیر شورابه‌های سابخا (سوپراتابdal) می‌باشد. رخساره، دارای بافت فنسترال بوده و در آن دولومیت میکرایتی تا بسیار ریزبلور، بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار، گاهی با بافت به هم فشرده‌جانشین آلوکم‌ها و ماتریکس سنگ‌آهک شده است. این رخساره، گل میکرایتی زیاد داشته و دارای میزان فراوان تخلخل چشم‌پرنده‌ای (فنسترال) است. دولومیتی شدن، انحلال، انواع مختلف بافت‌های انیدریتی و تبلور مجدد از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مشاهده شده در این رخساره است. این رخساره نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در شرایط انرژی کم تا متوسط و در زیر محیط حدواسط لاگون تا پهنه جزر و مدی می‌باشد.

رخساره بایندستون جلبکی (MF5)

اجزای تشکیل‌دهنده این میکروفاسیس عمدتاً شامل ذرات مختلف پلوئید، اینتراکلاست و خرده‌های صدفی مختلف هستند (شکل ۲-۲ H). حفرات روزه‌ای یا فنسترال از دیگر ویژگی‌های این میکروفاسیس بوده و عمدتاً باعث افزایش تخلخل شده اما تأثیر مشخصی روی تراوایی ندارند. این میکروفاسیس مشخصه زیرمحیط بین جزر و مدی و لاگون است. آلوکم‌ها بیشتر متشکل از خرده‌های فسیلی از جمله گاستروپودها، قطعات دوکفه‌ای، خارپوست، استراکود، فرامینیفر و جلبک کلیپینا هستند. بخشی زیادی از زمینه، توسط گل‌آهکی پوشیده شده است. آلوکم‌ها هم‌به‌شدت میکرایتی شده‌اند. نمونه‌ها آثار زیست‌آشفتگی هم‌نشان می‌دهند. از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی همراه

کرده و موجب کاهش تخلخل شده است. در این رخساره انحلال، دولومیتی شدن، سیمانی شدن با انیدریت و تراکم از فرایندهای دیاژنزی عمده مؤثر هستند.

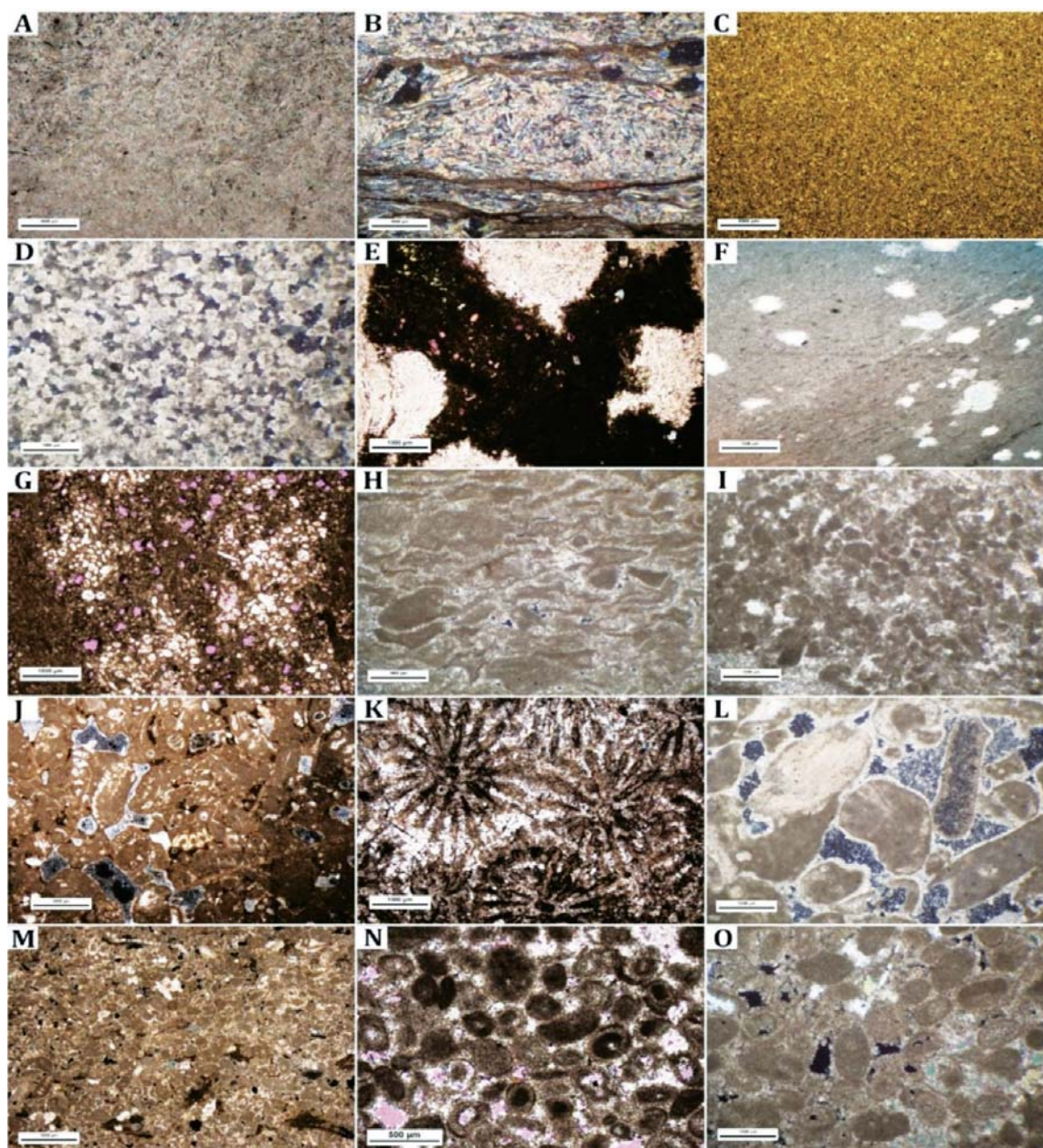
مدل رسوبی

توزیع رخساره‌های رسوبی در مقیاس قائم و جانبی همراه با تفسیر شرایط رسوبی، اطلاعات مناسبی در مورد مدل رسوبی سازند ارائه می‌دهد. رخساره‌های همراه با شلف‌های لبه‌دار، رخساره‌های توربیدیته، نهشته‌های دور از ساحل و همچنین رخساره‌ها و قطعات فسیلی بخش دریای باز در میدان مورد مطالعه دیده نمی‌شود. از این رو بر اساس مطالعات گذشته بر روی خصوصیات رسوب‌شناسی و لیتواستراتیگرافی سازند عرب در خاورمیانه (Alsharhan and Kendall, 1986; Alsharhan and Whittle, 1995) و تقسیم‌بندی نهشته‌های رسوبی بر اساس مدل (Burchette and Wright, 1992) و همچنین تبدیل تدریجی رخساره‌ها به هم، نبود ساخت‌های ریفی سدی قابل ملاحظه، به نظر می‌رسد توالی مورد مطالعه سازند عرب در میدان سلمان در بخش‌های داخلی یک رمپ کربناته کم شیب رسوب‌گذاری کرده است (Buxton and Pedley, 1989; Burchette and Wright, 1992). در توالی مورد مطالعه از سازند عرب، زیر محیط‌های جزر و مدی، لاگون و شول در این رمپ کربناته تشخیص داده شده است (شکل ۴). این استدلال با استفاده از مشاهدات زیر انجام گرفته است: (۱) میکروفاسیس‌های مربوط به محیط پرتایدال، شامل رخساره‌های ۱ تا ۴، که به وسیله رخساره‌های معمول سبخت از قبیل انیدریت و دولومادستون‌های حاوی انیدریت، نبود اجزاء فسیلی و وجود فابریک فنسترال به رسوب‌گذاری در قسمت بالای حداقل جزر (FWWB) در یک رمپ کربناته نسبت داده شده است (Wilson, 1975; Buxton and Pedley, 1989; Burchette and Wright, 1992). (۲) رخساره‌های مربوط به زیرمحیط لاگون شامل رخساره‌های ۵ تا ۷، که با استفاده از اجزاء تشکیل دهنده لاگون شامل فرامینیفرهای بنتیک (میلیولیدها، گاستروپودها و تکستولاریدها)، زیست آشفستگی جلبک‌های سبز و ماتریکس میکریته به محیط لاگون که به وسیله

تشکیل شده است. اجزای غیراسکلتی فرعی شامل پلویید، آئید، آنکوئید و اینتراکلاست می‌باشند (شکل ۲-M و L). محیط تشکیل این میکروفاسیس به محدوده پارانرژی تا متوسط بین لاگون و شول نسبت داده می‌شود. سیمان دور دانه‌ای اولیه محیط فریاتیگ دریایی به فراوانی در اطراف و فضاهای خالی درون آلوکوم‌ها تشکیل شده است. همچنین آثاری از تشکیل سیمان رشد اضافی هم‌محور در اطراف برخی آلوکوم‌ها مشاهده می‌شود. فضاهای خالی در این رخساره بیشتر حفره‌ای، بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای و قالبی است. ماتریکس میکریته خیلی کم است و یا اصلاً وجود ندارد. از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر این رخساره، انحلال، دولومیتی شدن، سیمانی شدن با انیدریت و دولومیت و شکستگی است. به نظر می‌رسد رسوب‌گذاری این رخساره در شرایط انرژی متوسط تا بالا و در پشت سد/پشته با گردش آزاد آب صورت گرفته باشد.

رخساره گربنستون آئیدی (MF9)

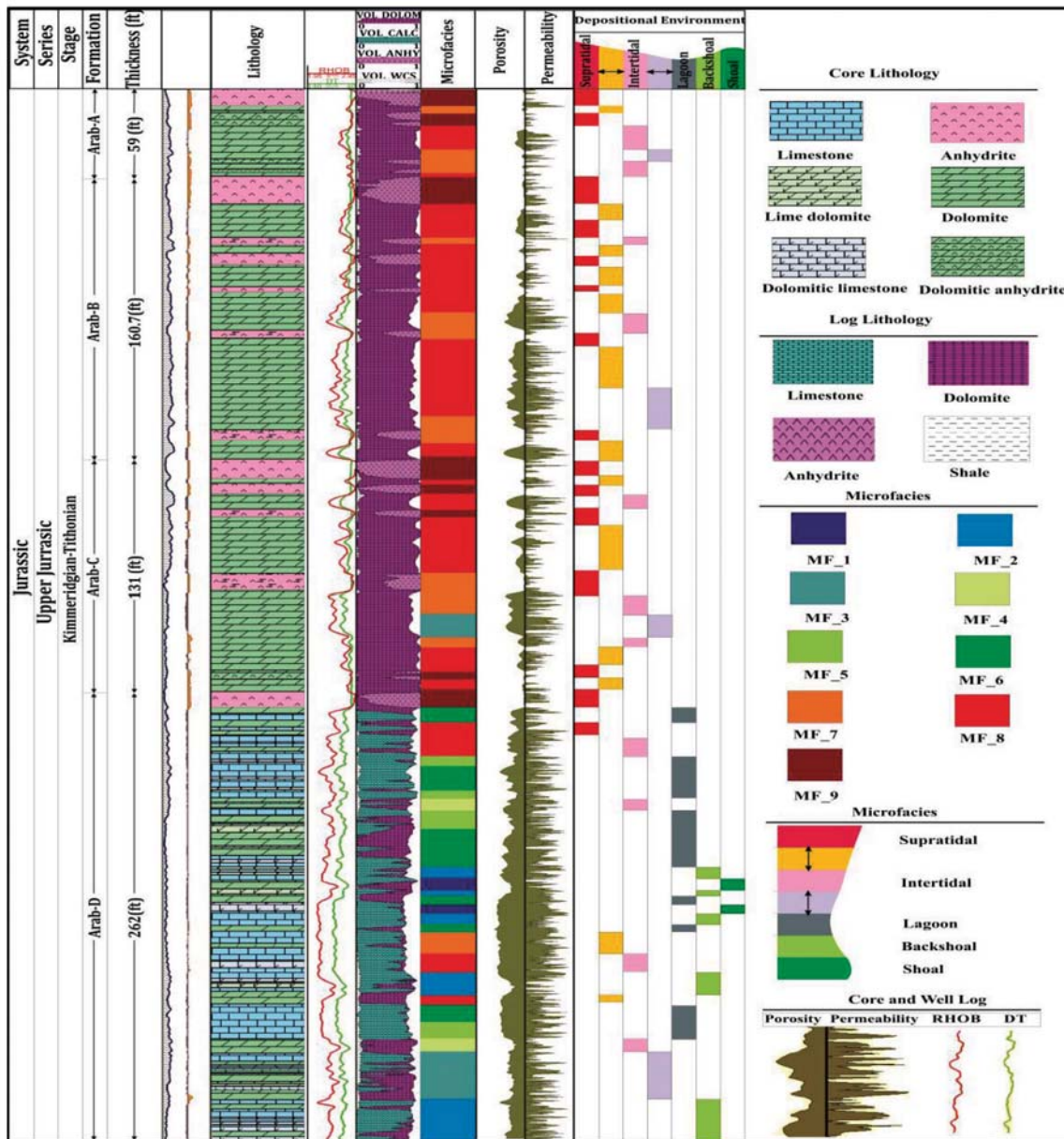
این میکروفاسیس جزء اصلی تشکیل دهنده کمر بند رخساره‌ای شول می‌باشد. وجود آلوکوم‌های خوب جور شده، سیمانی شدن زیاد و نبود گل بیانگر شرایط پارانرژی محیط تشکیل این میکروفاسیس هستند. اجزای اصلی تشکیل دهنده این رخساره بیشتر آئید و به مقدار کمتر خرده‌های فسیلی هستند. اجزای فرعی سازنده شامل اینتراکلاست و آنکوئید هستند (شکل ۲-O و N). ذرات موجود یک چهارچوب تشکیل داده‌اند که باعث حفظ تخلخل بین‌دانه‌ای اولیه شده است. آئیدها عمدتاً دارای ترکیب کلسیتی بوده و شکل خود را در طی دیاژنزی حفظ کرده و عمدتاً هسته آئیدها را حل نموده و در مرحله بعد توسط انیدریت یا دولومیت پر شده‌اند. در این رخساره، نمونه آهکی اولیه توسط بلورهای ریز دولومیت جانشین شده است. با وجود این، فرآیند دولومیتی شدن که در فضای بین آلوکوم‌ها و دور آنها موجب جانشینی سیمان اولیه فریاتیگ دریایی شده است، با فرآیند گسترده انحلال دنبال شده است. آثار میکریته شدن آلوکوم‌ها هم در حاشیه آنها مشهود است. بخشی از فضاهای خالی قالبی و بین‌دانه‌ای را سیمان انیدریتی مربوط به مراحل تأخیری دیاژنزی پر



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی میکروفاسیس‌های شناسایی شده در میدان سلمان، انیدریت، (A-B) دولوستون متبلور، (C-D) مادستون (E) دارای انیدریت، (F-G) مادستون استروماتولیتی، (H) بایندستون جلبکی، (I) وکستون پلوئیدی، (J-K) وکستون بایوکلاستی، (L-M) بکستون تاگرینستون بایوکلاستی، (N-O) گرینستون آبییدی

از قبیل نبود انیدریت و ماتریکس میکریتی، و فور آلوکمها (آئید و بایوکلاستاها)، وجود سیمان دریایی و دانه‌های خوب جور شده به زیرمحیط پرانرژی شول نسبت داده شده است (Wilson, 1975) (شکل ۴).

مجموعه شول محدود شده است نسبت داده شده است (Wilson, 1975; Burchette and Wright, 1992). رخساره‌های مربوط به زیرمحیط شول شامل رخساره‌های ۸ و ۹، که با استفاده از پارامترهای خاص



شکل ۳. لاگ رسوب‌شناسی بخش بالایی سازند سورمه (عرب) در میدان سلمان

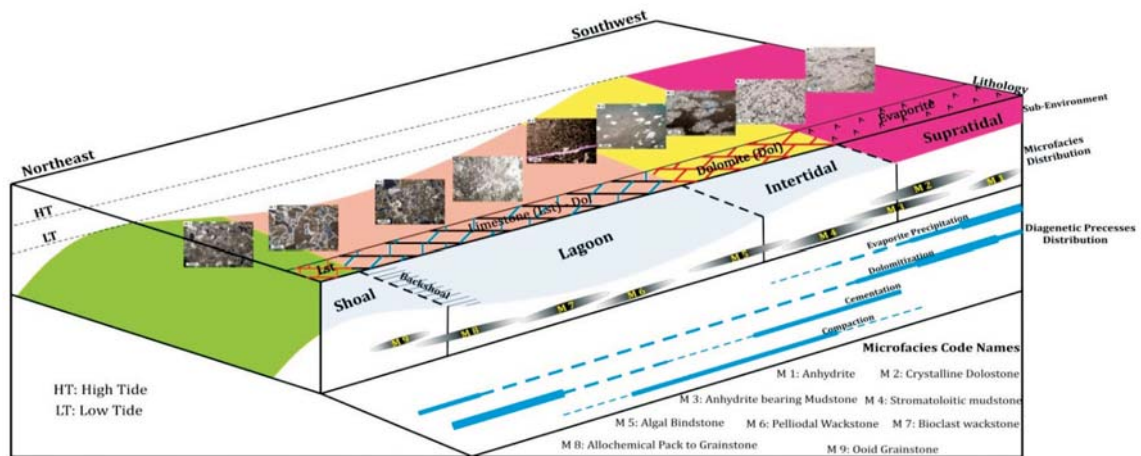
گذار بر سازند مورد مطالعه در سه محدوده دیاژنزی، دریایی، هایپرسالین و تدفینی معرفی خواهد شد.

دیاژنز دریایی

میکریتی شدن (شکل ۵-A) و سیمان دریایی (شکل ۵-B) مهم‌ترین پارامترهای این محدوده هستند که در طی دوره بالا بودن سطح نسبی آب دریا اتفاق افتاده‌اند. میکریتی شدن در بیشتر رخساره‌های دانه غالب دیده می‌شود و فرایند

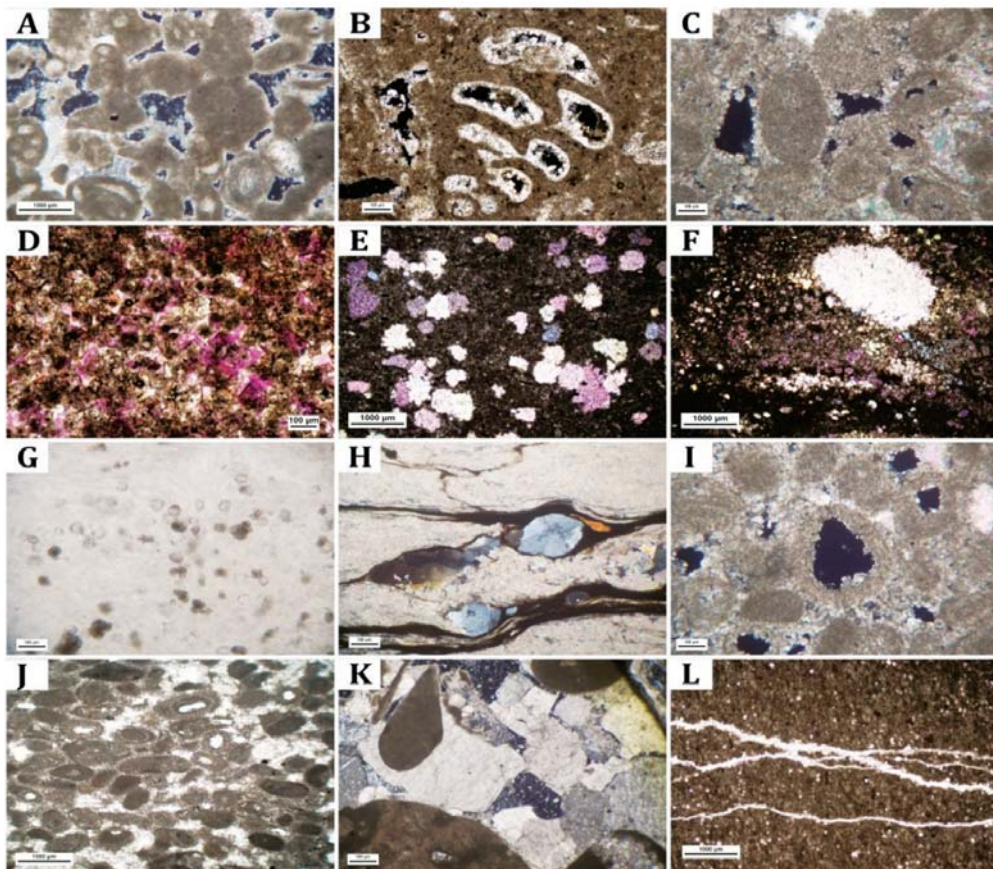
دیاژنز و نقش آن بر کیفیت مخزنی

مخازن کربناته نسبت به فرایندهای دیاژنزی از حساست بالایی برخوردار می‌باشند. برای ارزیابی کیفیت مخزنی مخازن کربناته، فهم توزیع فرایندهای دیاژنزی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. پارامترهای دیاژنزی تاثیر گذار بر سازند عرب در میدان سلمان نقش دوگانه‌ایی بر کیفیت مخزنی داشته‌اند. در زیر مهم‌ترین پارامترهای دیاژنزی تاثیر



شکل ۴. مدل رسوبی سازند عرب و توزیع میکروفاسیس‌های سازند عرب در میدان مورد مطالعه

غالب در محدوده دیاژنز دریایی می‌باشد (شکل ۵-۷). این فرایند در طول رسوب‌گذاری یا بلافاصله بعد از رسوب‌گذاری به صورت پوشش‌های نازک اطراف آلوکوم‌ها مخصوصاً آئیدها و پلوئیدها مشاهده می‌شود (شکل ۵-۷). میکریت در بازه مورد مطالعه منجر به حفظ فابریک آلوکوم‌ها شده است.



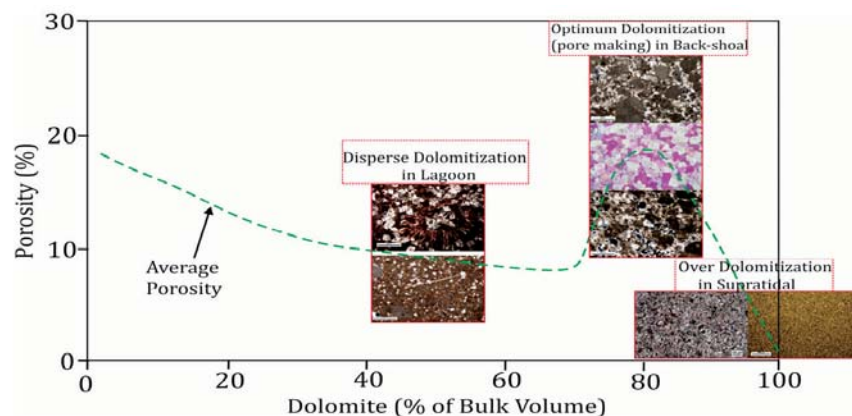
شکل ۵. عکس‌های میکروسکوپی نشان‌دهنده خصوصیات دیاژنزی سازند عرب می‌باشند. (A) میکریتی شدن، (B) سیمان دریایی در حجره گاستروپود، (C) سیمان دریایی حفظ‌کننده چارچوب، (D) تخلخل‌های درون بلوری، (E-F) انیدریت تکه‌ای، (G) جایگزینی کریستال‌های کوچک دولومیت به وسیله انیدریت، (H) جایگزینی چرت با انیدریت، (I) تخلخل قالبی، (J) فشردگی، (K) سیمان تدفینی و (L) شکستگی‌های سیمانی شده

سیمان‌های دریایی به‌صورت انیدریت، دولومیت و کلسیت در رخساره‌های دانه غالب اتفاق افتاده است (شکل ۵-I). سیمان دریایی بیشتر در رخساره‌های مربوط به محیط پارانرژی (محیط شول) معمول می‌باشد. این سیمان‌های دریایی از تغییرات دیاژنزی بعدی در طول تدفین جلوگیری کرده باین‌حال در مواردی فضاهای خالی را پر کرده و باعث کاهش تخلخل اولیه شده است (شکل ۵-J). سیمان دریایی همچنین از فشردگی بیشتر رخساره‌های گریستونی در طول تدفین و کاهش گسترده تخلخل جلوگیری کرده است (شکل ۵-C). رخساره‌های شول با شدت‌های متفاوتی تحت تاثیر سیمان دریایی قرار گرفته است و تخلخل و تراوایی بالا در این رخساره، تاثیر مثبت این پارامتر بر کیفیت مخزنی را نشان می‌دهد.

دیاژنز هایپرسالین

دولومیتی شدن و انیدریتی شدن مهم‌ترین پارامترهای دیاژنزی این محدوده را تشکیل می‌دهند که نقش متغیری بر کیفیت مخزنی دارا می‌باشند. دولومیت عمدتاً در رخساره‌های پرتایدال و بخش پشتی شول اتفاق افتاده است (شکل ۵-D). رسوبات لاگون هم به مقدار کمتر تحت تاثیر سیالات دولومیتی کننده قرار گرفته‌اند. رابطه پیچیده بین شدت دولومیتی شدن و تخلخل در شکل (۶) نشان داده شده است (Lucia, 1999). همان‌طور که دیده می‌شود میزان دولومیتی شدن تا ۶۵ درصد و از ۸۰ تا ۱۰۰ درصد با کاهش تخلخل همراه بوده، حال آنکه از ۶۵ تا ۸۰ درصد با افزایش تخلخل همراه می‌باشد. دولومیتی شدن فراگیر رخساره‌های اینترتایدال و سوپراتایدال در مقایسه

با رخساره‌های گل غالب به دلیل گسترش تخلخل‌های بین‌بلوری، باعث افزایش کیفیت مخزنی شده است (شکل ۵-D) (Lucia, 2007) به نظر می‌رسد دولومیتی شدن و سیمانی شدن سولفات‌ها (انیدریت) رخساره‌های سوپراتایدال و اینترتایدال در محیط‌های سبخی اتفاق افتاده است، حال آنکه دولومیتی شدن رخساره‌های پکستون و گریستون زیر ناحیه جزرومدی به‌وسیله نفوذ سیالات شور لاگون به سمت پایین (نشتی-برگشتی) در طول زمان پایین بودن سطح آب دریا اتفاق افتاده است (Morad et al., 2012). دولومیتی شدن به دلیل تهی شدن سیالات هایپرسالین از سولفات با انیدریتی شدن همراه می‌باشد (Lucia, 1999). سیمان انیدریتی تاثیر منفی بر روی کیفیت مخزنی داشته است (شکل ۵-E و F). لایه‌های انیدریت اولیه، پوش‌های مهمی را در سازند عرب تشکیل داده‌اند. شکل ۵-H جایابی کریستال‌های کوچک دولومیت را به‌وسیله انیدریت نشان می‌دهد. انیدریت همچنین در طول پایین افتادن سطح نسبی آب دریا به‌وسیله چرت جایگزین شده است (شکل ۵-H). سیالات فوق شور همچنین باعث انحلال آئیدها، پلوئیدها و بایوکلاست‌ها در رخساره‌های دانه غالب گردیده و تخلخل نوع قالبی و درون دانه‌ای ایجاد کرده‌اند (شکل ۵-I). کانی‌های آزاد شده توسط انحلال ممکن است که به‌صورت سیمان در نواحی نزدیک فضاهای انحلالی دوباره رسوب کنند (شکل ۵-I). دیاژنز متئوریک تاثیر ناچیزی بر روی سازند مورد مطالعه داشته است و سیمان متئوریک هم در رخساره‌ها دیده نمی‌شود.



شکل ۶. رابطه بین میزان دولومیتی شدن با تخلخل با تغییر از لوسیا (۲۰۰۷)

دیاژنز تدفینی

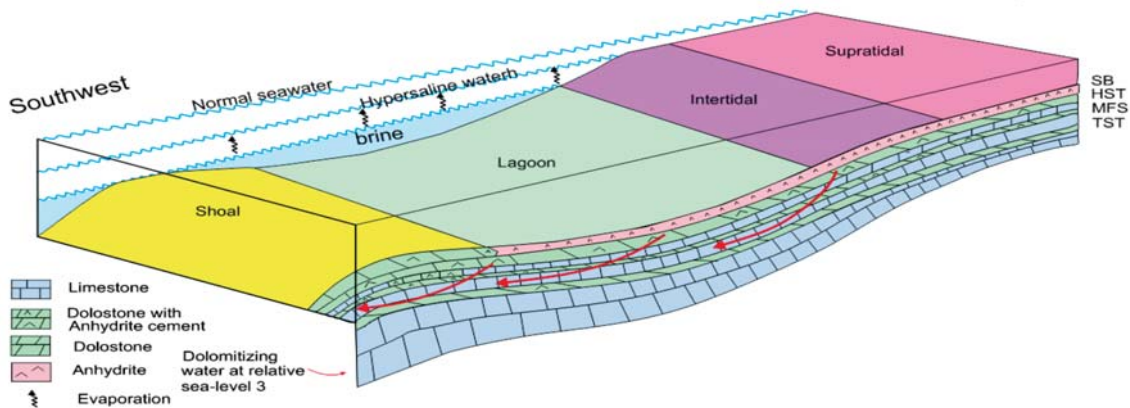
دولومیتی شدن رسوبات منطقه بین جزر و مدی و زیر جزر و مدی شده است. سیکل‌هایی که به طرف بالا به صورت رسوبات پشته کم عمق هستند به تبخیری‌های سوپراتایدال و اینترتایدال ختم می‌شوند و موجب تشکیل مخازنی شده‌اند که شامل رخساره‌های خطوط ساحلی حوضه لاگون می‌باشند. تکرار مهاجرت رخساره‌ها به سمت دریا و خشکی، موجب تشکیل مخازن رسوبی گوه‌ای شکلی از رسوبات زیر جزر و مدی و بین جزر و مدی در زیر و رخساره‌های سوپراتایدال انیدریتی غیرقابل نفوذ در میان آنها می‌شود. گرینستون‌های آلیتی مربوط به پشته کم عمق (شول) و کانال‌های جزر و مدی و همچنین دولومیت‌های دانه شکری (درشت بلور) زیر جزر و مدی رخساره اصلی این مخازن را تشکیل داده‌اند. انحلال تبخیری‌ها می‌توانند برش‌های ریزشی را ایجاد کنند که منجر به تشکیل مخازن با کیفیت بالا شوند. مخازن سوپراتایدال نسبتاً کم ضخامت هستند ولی به طور جانبی وسعت زیادی دارند.

همراهی دولومیت‌ها با انیدریت‌های لایه‌ای ضخیم و حجم بالای دولومیت نشان می‌دهد که مکانیزم و فرآیند تشکیل دولومیت باید مرتبط به دو مدل تراوشی-برگشتی و تبخیری باشد. کاهش دولومیتی شدن به سمت بخش‌های پایین سازند و وجود تبخیری‌های گسترده، نشان می‌دهد که ورود این آب‌های غنی از منیزیم از سمت بالا، عامل اصلی دولومیتی شدن بوده است. بنابراین، اصلی‌ترین مدلی که می‌تواند این فرآیندها را توضیح دهد مکانیزم نشتی-برگشتی و تبخیری است. این مدل‌ها می‌توانند به منظور توضیح فرآیندهای تشکیل اکثر دولومیت‌های سازنده به کار برده شوند. بر اساس نتایج حاصل از میکروفاسیس، دیاژنز و محیط‌های رسوبی، دولومیتی شدن تبخیری، سیمانی شدن و تکامل تخلخل-تراوایی به احتمال زیاد در یک رمپ کربناته لاگونی رخ داده است که از طریق سد/شول از دریای باز جدا بوده است (شکل ۷). دولومیتی شدن نشتی-بازگشتی عمدتاً در طول پایین آمدن نسبی سطح آب دریا و افزایش پیوسته شوری در محیط لاگون به وقوع پیوسته است (Saller and Henderson, 1998). دولومیتی شدن در رسوبات پری تایدال از نوع مدل سابخا می‌باشد (Morad et al., 2012).

فشرده‌گی رسوبات در تمام مراحل دیاژنز اتفاق افتاده است. فشرده‌گی رابطه مستقیمی با فشار رسوبات بالایی داشته و باعث گسترش استیلولیت گردیده است (Alsharhan and Whittle, 1995). فشرده‌گی، شکستگی، سیمانی شدن و دولومیتی شدن مهم‌ترین پارامترهای دیاژنزی این مرحله در سازند عرب را تشکیل می‌دهند. تاثیر این عوامل بر روی سازند مورد مطالعه در شکل ۵-L، J و K نشان داده شده است. هر دو نوع فشرده‌گی مکانیکی و شیمیایی باعث کاهش تخلخل و تراوایی در بازه مورد مطالعه مخصوصاً در گرین استون‌های دولومیتی شده گردیده است. شکستگی‌ها در هر دو مقیاس میکرو و ماکرو در مخزن دیده می‌شوند. آنها اکثراً همراه با فشرده‌گی و استیلولیتی شدن رخساره‌های گل غالب (مادستون، وکستون) می‌باشند (شکل ۵-L). شکستگی در رخساره‌های دولومیتی شده به خوبی گسترش یافته است. شکستگی در بعضی از مقاطع نازک معمولاً آخرین فرایند دیاژنزی می‌باشد و استیلولیت‌ها را قطع کرده است.

مدل دولومیتی شدن سازند عرب

فرایند دولومیتی شدن در سازند عرب رابطه نزدیکی با رسوب‌گذاری کربنات‌های اولیه دارد. مطالعات متعددی در خصوص منشأ دولومیت‌های سازند عرب در پلیت عربی صورت گرفته است و تغییرات قابل ملاحظه در نوع و مقدار دولومیتی شدن از سمت جنوب (قطر و امارات متحده عربی) به سمت بخش‌های شمالی پلیت عربی (جنوب ایران) مشخص شده است (Wood and Wolfe, 1969; Azer and Peebles, 1998; Alsharhan and Whittle, 1995; Al-Saad and Sadooni, 2001; Morad et al., 2012; Daraei et al., 2014). بر اساس این نتایج، بخش‌های عمیق‌تر حوضه درون سلفی ربع الخالی عمدتاً دارای دولومیت‌های مدل نشتی-بازگشتی است در حالی که در بخش‌های پری تایدال (بخش شمالی)، دولومیت‌های نوع سابخا فراوان‌تر هستند. ایجاد شورابه‌های فوق اشباع به واسطه تبخیر در پهنه‌های سوپراتایدال، موجب رسوب‌گذاری انیدریت و بالارفتن نسبت Mg/Ca در شورابه‌های باقی‌مانده می‌شود و حرکت جانبی و قائم این شورابه‌ها، سبب



شکل ۷. مدل شماتیکی از دولومیتی شدن تبخیری، سیمانی شدن و تکامل تخلخل-تراوایی در رمپ کربناته-تبخیری سازند عرب در میدان مورد مطالعه

کیفیت مخزنی

(میانگین ۲/۵ درصد) و تراوایی ۰/۰۱ تا ۸۰ میلی داریسی (میانگین ۱۸ میلی داریسی به دلیل وجود شکستگی) است. نمودار تخلخل-تراوایی در گروه پتروفیزیکی فابریک سنگی (Lucia, 2007)، خواص پتروفیزیکی را به صورت جداگانه با کیفیت مخزنی پایین نسبت به سایر میکروفاسیس‌ها نشان می‌دهد (شکل ۸-A). نمودار فشار مویینه (Pc) در برابر آب اشباع‌شدگی (Sw) برای این میکروفاسیس، بیانگر نبود خطوط صاف و شیب‌دار بودن منحنی می‌باشد (شکل ۹-A). این خصوصیات به همراه مقادیر متوسط تخلخل و تراوایی بیانگر کیفیت مخزنی ضعیف در مقایسه با سایر میکروفاسیس‌ها است.

دولومیت متبلور (MF2)

این میکروفاسیس دارای کیفیت مخزنی خوب با محدوده تخلخل ۳/۳۹ تا ۲۹/۶۵ درصد (میانگین ۱۸/۸۸ درصد) و تراوایی ۰/۰۲ تا ۸۷۲ میلی داریسی (میانگین ۱۰۶/۳۶ میلی داریسی) است. نمودار تخلخل-تراوایی خصوصیات پتروفیزیکی متغیری را در اندازه‌های بلوری مختلف نشان می‌دهد (شکل ۸-B). نمودار فشار مویینه (Pc) در برابر آب اشباع‌شدگی (Sw) دارای محدوده گسترده‌ای بوده که بیانگر شعاع‌های گلوگاهی منفذی متفاوت می‌باشد (شکل ۹-B). این میکروفاسیس عمدتاً در بخش‌های بالایی سازند عرب گسترش پیدا کرده است و در مواردی نیز در بخش بالایی سازند عرب پایینی گسترش دارد.

تخلخل یا فضاهای خالی، کنترل‌کننده ظرفیت ذخیره سنگ مخزن می‌باشد و از طرف دیگر قطر گلوگاه‌های تخلخل و جورشدگی آنها کنترل‌کننده تراوایی یا قابلیت عبور سیالات از داخل سنگ مخزن می‌باشد. نوع تخلخل، قطر گلوگاه‌های اتصال‌دهنده تخلخل به همدیگر و میزان جورشدگی آنها را با استفاده از تست‌های فشار موئینگی تزریق جیوه اندازه‌گیری می‌کنند. هر چه قطر گلوگاه‌های تخلخل بزرگ‌تر و جورشده‌تر باشند، فشار کمتری برای اشباع سنگ لازم می‌باشد. بنابراین منحنی فشار در مقابل اشباع‌شدگی کم ارتفاع‌تر و مسطح‌تر می‌باشد. از طرف دیگر هر چه قطر گلوگاه‌های تخلخل کوچک‌تر بوده و از جورشدگی کمتری برخوردار باشد، نمودار فشار در مقابل اشباع‌شدگی این منحنی‌ها مرتفع‌تر و از شیب بالاتری برخوردار است. در سنگ‌های کربناته قطر گلوگاه‌های تخلخل و جورشدگی آنها به رخساره‌های رسوبی و فرایندهای ثانویه دیاژنزی وابسته می‌باشند. نقش فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی در بخش دیاژنز مورد اشاره قرار گرفت. در ادامه کیفیت مخزنی هر یک از رخساره‌های معرفی شده به عنوان اجزاء تشکیل دهنده توالی مورد مطالعه با استفاده از داده‌های تخلخل تراوایی حاصل از اندازه‌گیری‌های مغزه و داده‌های تزریق جیوه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

میکروفاسیس انیدریت (MF1)

این میکروفاسیس دارای تخلخل صفر تا ۱۴ درصد

مادستون دارای انیدریت (MF3)

مقادیر پایین تخلخل و تراوایی همراه با نبود سطح مسطح مشخص و فشار جابجایی بالا در منحنی MICP نشان دهنده کیفیت مخزنی پایین در این میکروفاسیس می باشد (اشکال C-8 و C-9). در بخش های بالایی سازند عرب، این میکروفاسیس در بخش های میانی هر سه زون عرب A، B و C دیده می شود ولی در بخش های پایینی سازند عرب (D) به صورت یک پهنه کم عمق گسترش یافته است.

مادستون استروماتولیتی (MF4)

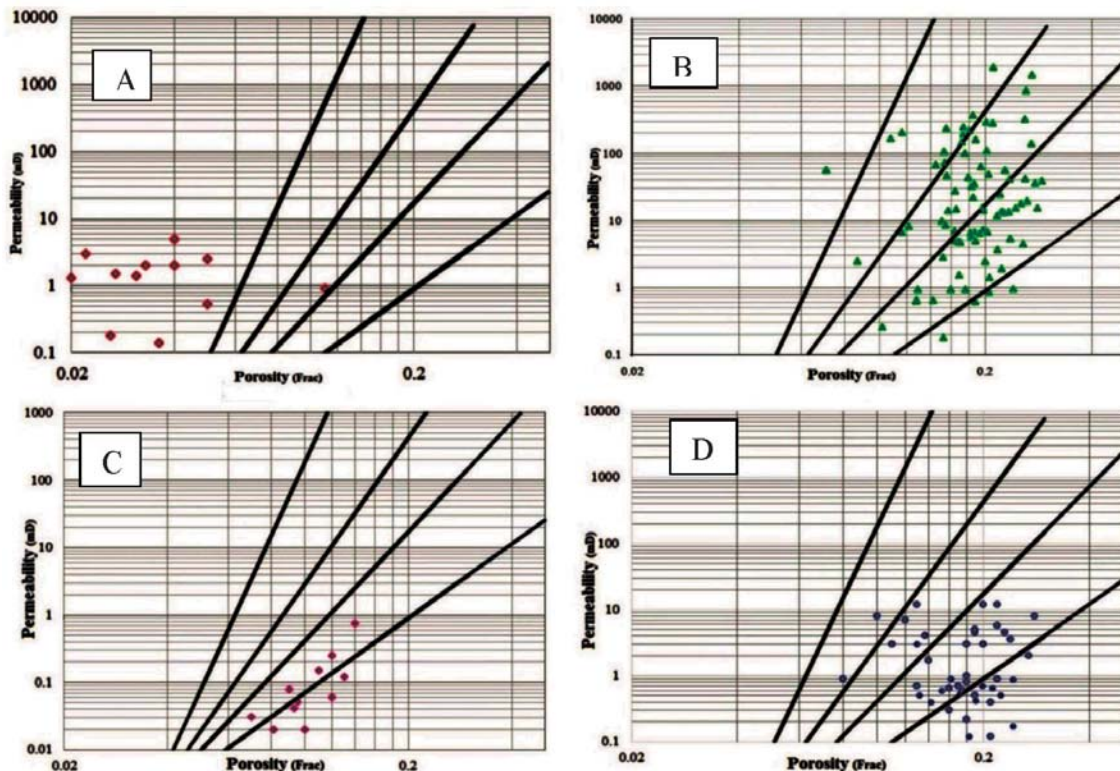
در این میکروفاسیس، دامنه تخلخل از ۰/۰۸ تا ۲۸ درصد (میانگین ۱۸ درصد) و میزان تراوایی از ۰/۱۲ تا ۱۲ میلی داری (میانگین ۲/۶ میلی داری) تغییر می کند. تغییرات فشار مویینه در برابر آب اشباع شدگی (شکل D-8) به همراه تراوایی متوسط و پارامترهای پتروفیزیکی دیگر بیانگر کیفیت مخزنی پایین در این میکروفاسیس هستند. تخلخل عمدتاً به صورت روزنه ای (فنسترال) و تا حدی حفره ای می باشد (شکل D-9).

بایندستون جلبکی (MF5)

تخلخل بالا و تراوایی نسبتاً پایین ویژگی اصلی این میکروفاسیس است (شکل A-10). نمودار فشار مویینه در برابر آب اشباع شدگی همانند میکروفاسیس قبلی (MF4) می باشد (شکل A-11). تخلخل عمدتاً از نوع روزنه ای و رشدی است. زیر محیط های لاگون تا اینترتیدال به عنوان محیط نسبتاً عمیق بخش بالایی سازند عرب، محدوده گسترش این رخساره در نظر گرفته شده است. این میکروفاسیس در بخش پایینی سازند عرب گسترش چندانی ندارد.

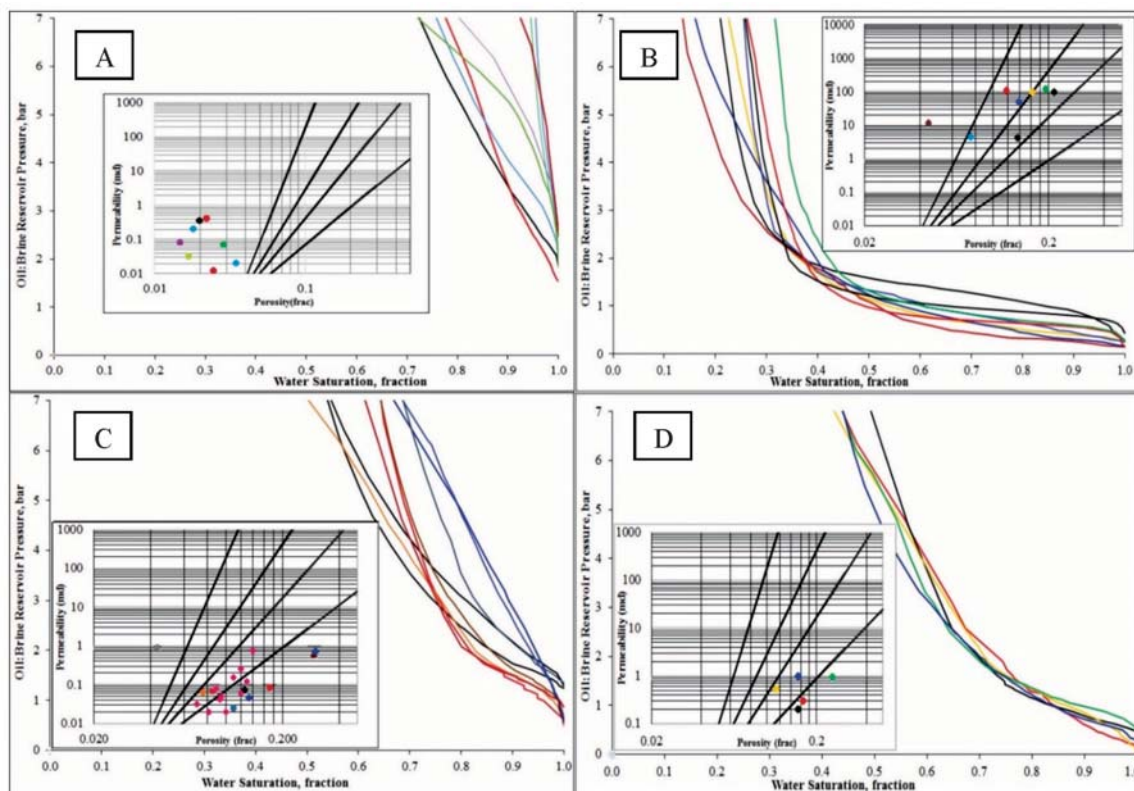
وکستون پلوییدی (MF6)

در این میکروفاسیس، دامنه تخلخل از ۴/۳ تا ۲۸/۴ درصد (میانگین ۱۸/۳ درصد) و تراوایی از ۰/۱ تا ۱۹۰۰ میلی داری (میانگین ۹۹/۵۵ میلی داری) می باشد. نمودار تخلخل-تراوایی کلاس های ۲ و ۳ فابریک سنگی پتروفیزیکی لوسیا را در این میکروفاسیس نشان می دهد (شکل B-10). سطح پهن نمودارهای فشار مویینه در برابر آب اشباع شدگی نشان می دهد که نمونه ها دارای شعاع گلوگاه منفذی بزرگ تری می باشند



شکل ۸. نمودارهای تخلخل-تراوایی در میکروفاسیس های (A) MF1، (B) MF2، (C) MF3، (D) MF4

و سیستم گلوگاه منفذی نامنظم دارند (شکل ۱۱-B). انواع اصلی تخلخل شامل تخلخل بین بلوری، بین ذره‌ای و بعضی بخش‌های میانی بخش D سازند عرب گسترش دارد.



شکل ۹. نمودارهای فشار موئینه در برابر آب اشباع‌شدگی در میکروفاسیس‌های (A) MF1، (B) MF2، (C) MF3، (D) MF4.

درون ذره‌ای و قالبی است. این میکروفاسیس دومین واحد عمیق در توالی D سازند عرب می‌باشد.

گرینستون آئیدی (MF9)

با توجه به مقادیر تخلخل و تراوایی، بهترین کیفیت مخزنی مربوط به این میکروفاسیس می‌باشد. دامنه تخلخل از ۲۲/۴۴ تا ۲۷/۷۲ درصد (میانگین ۲۵ درصد) و تراوایی از ۴/۱۸ تا ۱۸۴۰ میلی دارسی (میانگین ۴۲۵/۷۵ میلی دارسی) متغیر هستند. فشار جابجایی پایین در منحنی فشار موئینه در برابر آب اشباع‌شدگی نشان‌دهنده سیستم گلوگاه منفذی بزرگ و به هم مرتبط است (شکل ۱۲). تخلخل بین ذره‌ای، بخش اصلی تخلخل در این میکروفاسیس می‌باشد. با وجود این، بعضی از تخلخل‌های درون ذره‌ای و قالبی نیز وجود دارند که باعث افزایش تخلخل کل شده ولی تأثیری روی افزایش تراوایی ندارند. این خصوصیات معرف

دولووکستون بایوکلاستی (MF7)

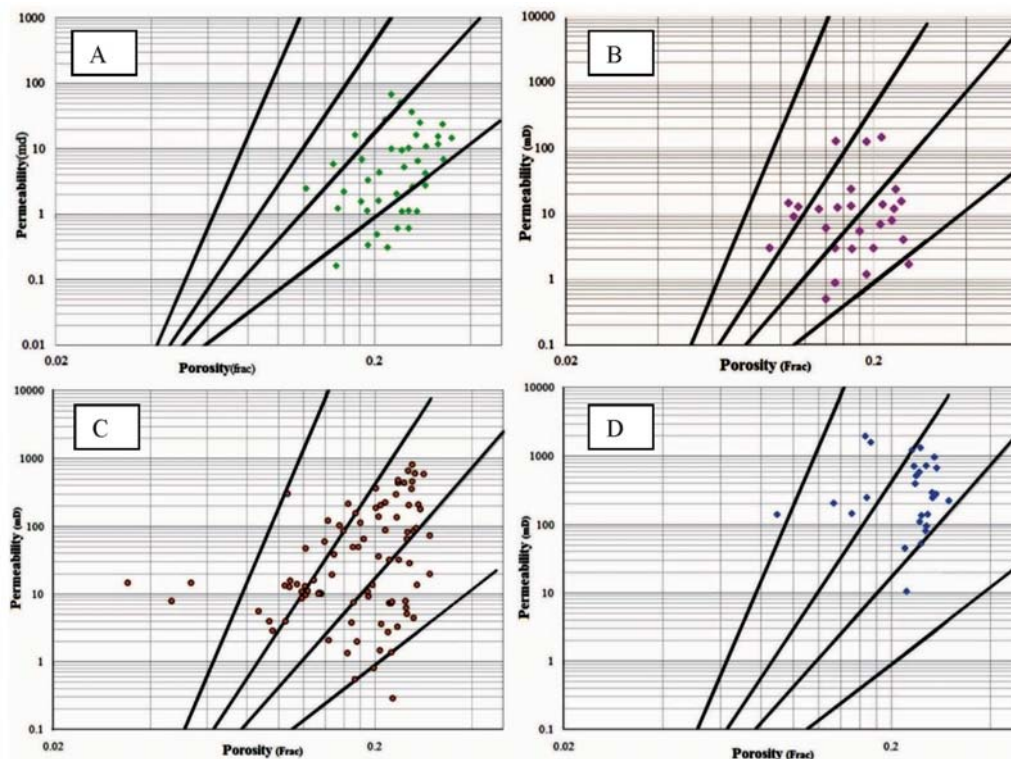
خصوصیات مخزنی این میکروفاسیس همانند میکروفاسیس قبلی (MF6) است (اشکال ۱۰-C و ۱۱-C) و گسترش آن در بخش D سازند عرب بسیار شبیه به این میکروفاسیس (MF6) بوده اما در بازه عمیق‌تر قرار دارد.

پکستون تا گرینستون بایوکلاستی (MF8)

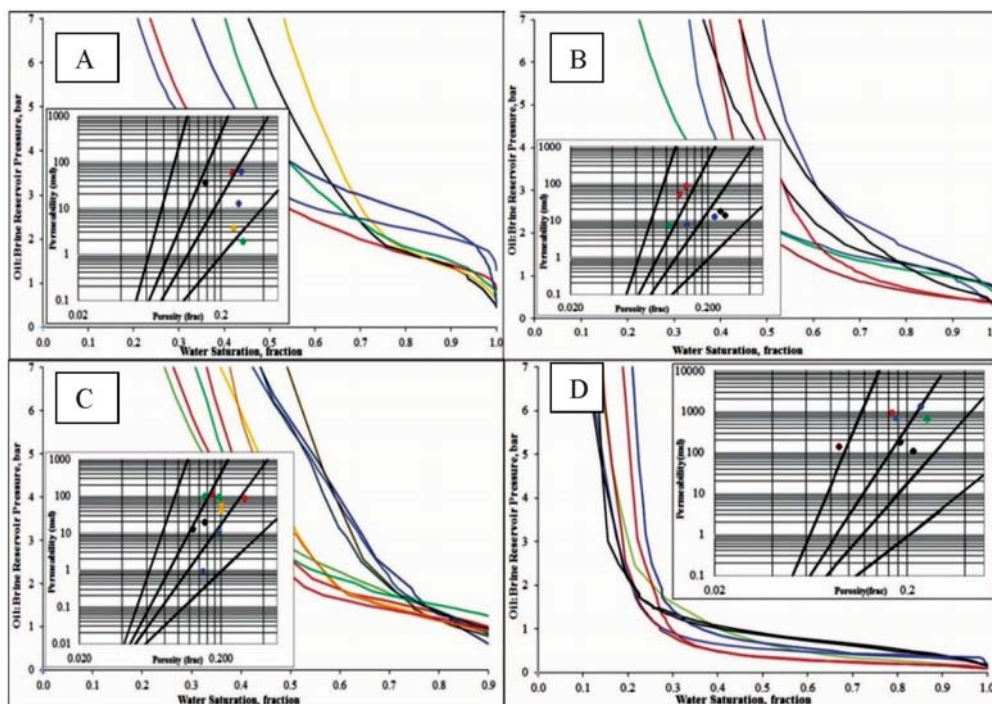
میزان تخلخل در این میکروفاسیس از ۱۳/۲۲ تا ۲۹/۸۷ درصد (میانگین ۲۳/۱۹ درصد) و تراوایی از ۴/۷۷ تا ۱۳۴۲ میلی دارسی (میانگین ۲۹۳/۱۶ میلی دارسی) می‌باشد. نمونه‌های این میکروفاسیس در محدوده رده ۲ گروه پتروفیزیکی لوسیا قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰-D). نمودار فشار موئینه در برابر آب اشباع‌شدگی بیانگر توزیع نسبتاً همگن گلوگاه‌های منفذی هستند (شکل ۱۱-D). انواع اصلی تخلخل در این میکروفاسیس شامل تخلخل بین ذره‌ای،

ابراهیم سفیداری و همکاران

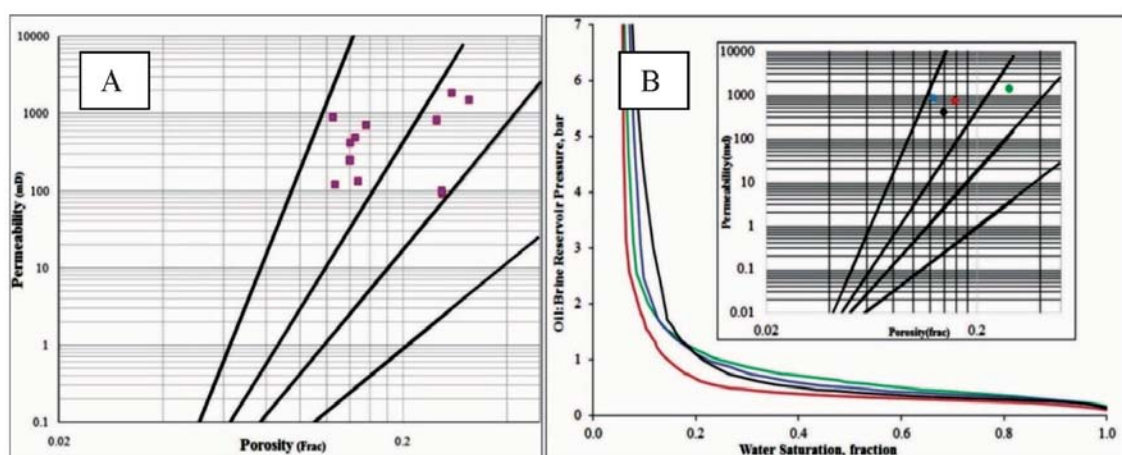
رده ۲ گروه پتروفیزیکی لوسیا هستند (شکل ۱۲). همانند دیگر میکروفاسیس‌های محیط عمیق MF6، MF7 و MF8، این میکروفاسیس فقط در بخش D سازند عرب مشاهده شده است.



شکل ۱۰. نمودارهای تخلخل-تراوایی در میکروفاسیس‌های (A) MF5، (B) MF6، (C) MF7، (D) MF8



شکل ۱۱. نمودارهای فشار موینه در برابر آب اشباع‌شدگی در میکروفاسیس‌های (A) 5FM، (B) 6FM، (C) 7FM، (D) 8FM



شکل ۱۱. نمودارهای فشار موئینه در برابر آب اشباع‌شدگی (B) و تخلخل-تراوایی (A) در میکروفاسیس MF9

نتیجه‌گیری

این کمربندهای رخساره‌ای به مقدار کمتر در بخش بالایی سازند عرب نیز مشاهده شده‌اند. به دلیل فراوانی بیشتر میکروفاسیس‌های شول، شول پشتی و لاگون، بخش پایینی در مقایسه با بخش بالایی از کیفیت مخزنی بهتری برخوردار است.

منابع

- Al Silwadi, M.S., Kirkham, A., Simmons, M.D., Twombly, B.N., 1996. New insights into regional correlation and sedimentology, Arab Formation (Upper Jurassic), offshore Abu Dhabi. *GeoArabia*, 1 (1), 6-27.
- 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, 1099-1119.
- Al-Husseini, M. I., 1997. Jurassic sequence stratigraphy of the western and southern Arabian Gulf. *GeoArabia* 2 (4), 361-382.
- Al-Husseini, M.I. 2000. Origin of the Arabian Plate Structures: Amar Collision and Najd Rift. *GeoArabia*, 5(4), 527-542
- Al-Saad, H. and Sadooni, F. N., 2001. A new depositional model and sequence stratigraph-

بر اساس مطالعات پتروگرافی حاصل از مقاطع نازک نه میکروفاسیس برای توالی عرب در میدان سلمان معرفی شد که در محدوده محیطی رمپ داخلی یک رمپ کربناته کم شیب از سوپرتایدال تا شول گسترش دارند. فرایندهای دیاژنزی نقش دوگانه‌ای بر کیفیت مخزنی توالی مورد مطالعه دارند. انیدریتی شدن، فشردگی، دولومیتی شدن بیش از اندازه تاثیر مخرب بر کیفیت مخزنی شده‌اند حال آنکه سیمانی شدن اولیه، انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی نقش مثبتی بر روی کیفیت مخزنی داشته‌اند.

به‌طور کلی، تلفیق نتایج نشان می‌دهد که شرایط رسوب‌گذاری و تغییرات نسبی سطح آب دریا، کیفیت مخزنی و دولومیتی شدن در بخش‌های پایینی و بالایی سازند عرب را کنترل کرده است. بر اساس نتایج حاصل از پتروگرافی و فراوانی میکروفاسیس‌های موجود، محیط رسوب‌گذاری بخش پایینی سازند عرب، عمیق‌تر از بخش بالایی بوده است. تجزیه و تحلیل کیفیت مخزنی میکروفاسیس‌ها نشان می‌دهد که میکروفاسیس‌های زیرمحیط شول (MF9)، شول پشتی (MF8)، سابخا (MF2) و بعضی از میکروفاسیس‌های لاگون (MF6 و MF7) به ترتیب بهترین کیفیت مخزنی را دارند.

میکروفاسیس‌های بخش پایینی سازند عرب در میدان مورد مطالعه شامل کمربندهای شول تا سوپرتایدال هستند.

- ic interpretation for the upper Jurassic Arab "D" reservoir in Qatar. *Journal of Petroleum Geology* 24(3), 243-264.
- Alsharhan, A. S., and Whittle, G. L., 1995. Carbonate-evaporate sequences of the late Jurassic, southern and southern western Arabian Gulf. *AAPG Bulletin*, 79, (11), 1608-1630.
 - Alsharhan, A.S. and Kendall, C.G., 1986. Precambrian to Jurassic rocks of Arabian Gulf and adjacent areas: their facies, depositional setting, and hydrocarbon habitat. *AAPG Bulletin*, 70, 977-1002
 - Azer, S. and Peebles, R.G., 1998. Sequence stratigraphy of the Arab A and C members and Hith Formation, offshore Abu Dhabi. *GeoArabia*, 3 (2), 251-268.
 - Brett, C. E., McLaughlin, P. I., and Cornell, R., 2004. High-resolution sequence stratigraphy of a mixed carbonate-siliciclastic, cratonic ramp (Upper Ordovician; Kentucky-Ohio, USA): insight into the relative influence of eustacy and tectonics through analysis of facies gradients, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 210, 267-294.
 - Burchette, T. P. and Wright, V. P., 1992. Carbonate ramp depositional systems: *Sedimentary Geology*, 79(1-4) , 3-57.
 - Buxton M. W. N. and Pedley H. M., 1989. Short paper. a standardized model for Tethyan tertiary carbonate ramps. *Journal of Geological Society of London* 146(5), 746-748.
 - 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. *GeoArabia* 6, 45-60.
 - Daraei, M., Rahimpour-Bonab, H. and Fathi, N., 2014. Factors shaping reservoir architecture in the Jurassic Arab carbonates: A case from the Persian Gulf. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 122, 187-207.
 - Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E., ed., *Classification of Carbonate Rocks: AAPG-Publ-Memoris 1*, Tulsa, Oklahoma, 108-121.
 - Flugel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer, Berlin, 996.
 - Handford, C.R., Cantrell, D.L. and Keith, T.H., 2002. Regional facies relationships and sequence stratigraphy of as uper-giant reservoir (Arab-D Member), Saudi Arabia. In: *Proc. 22 Annual Gulf Coast Section SEPM Foundation, Bob F. Perkins Research Conference*, 539-563.
 - Hughes, G. W., 1996. A new bioevent stratigraphy of late Jurassic Arab-D carbonates of Saudi Arabia. *GeoArabia*, 1 (3), 417-434.
 - Le Nindre, Y. M., Manivit, J., Manivit, H., Vaslet, D., 1990. Stratigraphie séquentielle du Jurassique et du Crétacé en Arabie Saoudite. *Bulletin Society Géology France* 6 (6), 1025-1034.
 - Lucia, F. J., 1999. *Carbonate Reservoir Characterization*. Springer, Berlin; New York (p. xii, 226 pp.).
 - Lucia, F. J., Jennings, J. W., Rahnis, M. and Meyer, F. O., 2001. Permeability and rock fabric from wire line logs, Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia. *GeoArabia*, 6 (4), 619-646.
 - Lucia, F.J., 1983. Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate porepace. *Journal of Petroleum Technology*, 35 (3), 626-637.
 - Lucia, F.J., 2007. *Carbonate Reservoir*

- Characterization: an Integrated Approach. Springer, Berlin; New York (p. xii, 336 pp.).
- Meyer, F.O., Price, R.C., Al-Ghamdi, I.A., Al-Goba, I.M., Al-Raimi, S.M. and Cole, J.C., 1996. Sequential stratigraphy of outcropping strata equivalent to Arab-D reservoir, Wadi Nisah, Saudi Arabia. *GeoArabia*, 1(3), 435-456.
 - Meyer, F., Price, R., and Al-Raimi, S.M., 2000. Stratigraphic and petrophysical characteristics of cored Arab-D super-k intervals, Hawiyah Area, Ghawar Field, Saudi Arabia. *GeoArabia*, 5, 355-384.
 - Morad, S., AL-Aasm, I. S., Nader, F. H., Ceriani, A., Gasparini, 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, *GeoArabia*, 17 (3), 17-56.
 - Murriss, R. J., 1980. Middle East: stratigraphic evolution and oil habitat. *AAPG Bulletin*, 64, 597-618.
 - Powers, R.W., Ramirez, L. F., Redmond, C.D. and Elberg, E.L., 1966. Geology of the Arabian peninsula. Geological Survey Professional Paper, 560, 1-147.
 - Saller, A.H., Henderson, N., 1998. Distribution of porosity and permeability in platform dolomites—insight from the Permian of west Texas. *American Association Petroleum Geologist Bulletin*, 82(8), 1528-1550.
 - Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D. and Simmons, M.D., 2001. Arabian Plate Sequence Stratigraphy. *GeoArabia, Special Publication 2*. Gulf Petro Link. ISBN 9901-03-08-9.
 - Wilson, J. L., 1975. Carbonate Facies in Geological History: New York, Springer, 471.
 - Wood, G.V. and Wolfe, M.J., 1969. Sabkha cycles in the Arab/Darb Formation of the Trucial Coast of Arabia. *Sedimentology*, 12, 165-191.