

## ریزرخساره‌ها، فرآیندهای دیاژنزی و تاثیر آن‌ها بر کیفیت مخزنی سازند فهلیان در میدان نفتی اروند

فروتن هاشمی قندعلی<sup>۱</sup>، محسن آل‌علی<sup>۲\*</sup>، ولی‌احمد سجادیان<sup>۳</sup> و داوود جهانی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم‌زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استادیار گروه علوم‌زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خارک، بوشهر، ایران

۴- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

نویسنده مسئول: aleali.mohsen@gmail.com

دریافت: ۹۹/۴/۱۶ پذیرش: ۹۹/۸/۲۶

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

سازند فهلیان در میدان نفتی اروند از تنوع سنگ‌شناسی کمی برخوردار است و در بخش‌های پایینی از سنگ‌آهک و در بخش‌های بالایی مخزن از سنگ‌آهک دولومیتی تشکیل شده است. هدف از این پژوهش شناسایی ریزرخساره‌ها، محیط‌رسوبی، فرآیندهای دیاژنتیکی و تاثیر آن‌ها بر کیفیت مخزنی این سازند است. مطالعه میکروسکوپی تعداد ۴۷۸ برش‌نازک تهیه شده از مغزه منجر به شناسایی ۱۹ ریزرخساره شد که در ۴ کمربند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی، لاگون، سد و دریای باز برجای گذاشته شده‌اند. هم‌چنین فرآیندهای دیاژنزی میکریتی شدن، آشفستگی زیستی، نوشکلی، تراکم، انحلال، سیمانی‌شدن و جان‌نشینی در این سازند مشهود است. پس از بررسی ریزرخساره‌ها و عوارض دیاژنزی حاکم بر آن‌ها، هشت گونه سنگی (Rock Type) پتروفیزیکی بر اساس کلاس‌های پتروفیزیکی لوسیا معرفی شد. ریزرخساره‌های گرینستون و رودستون به دلیل تأثیر فرآیندهای انحلالی دارای بالاترین کیفیت مخزنی، ریزرخساره پکستون از کیفیت مخزنی خوب و ریزرخساره وکستون از کیفیت مخزنی پایین‌تری برخوردار است.

واژگان کلیدی: میدان نفتی اروند، محیط‌رسوبی، دیاژنزی، کیفیت مخزنی

### پیشگفتار

محیط‌رسوبی قدیمی آن‌ها است (راکی و یزدانی، ۱۳۸۶؛ کرامتی، ۱۳۹۳؛ مطیعی، ۱۳۷۴). از طرفی فرایندهای دیاژنزی در سنگ‌های مستعد مخزن، نقش مهمی در کنترل کیفیت مخزنی دارد. بنابراین شناخت آن‌ها بخش مهمی از توصیف مخازن (به ویژه مخازن کربناته) و بازسازی مدل‌های مخزنی را فراهم می‌آورد (اهر، ۲۰۰۸؛ رونالد و همکاران، ۲۰۱۴). در این مطالعه به‌منظور شناخت هر چه بهتر سنگ‌های مخزنی سازند فهلیان به بررسی ویژگی‌های محیط‌رسوبی و شرایط دیاژنزی رخصاره‌های رسوبی و عوارض دیاژنزی اثر گذار پرداخته شده است. سپس فابریک‌های سنگ‌های کربناته به همراه داده‌های تخلخل- تراوایی رخصاره‌ها توسط نمودار پتروفیزیکی لوسیا ارزیابی و با توجه به عملکرد دیاژنزی، کیفیت مخزنی در رخصاره‌های سازند فهلیان مشخص شد. از آنجا که سازند فهلیان در میدان اروند به طور

در سنگ‌های کربناته فرایندهای دیاژنزی تأثیر زیادی بر شکل‌گیری، تغییر و یا تخریب فضاهای خالی دارند. بنابراین تشخیص نوع تخلخل می‌تواند به تفسیر فرایندهای دیاژنزی کمک کند و از طرف دیگر با تفسیر توالی پاراژنزی می‌توان کیفیت یک مخزن هیدروکربوری را پیش‌بینی و زون‌های متخلخل را شناسایی کرد. بخش زیادی از خواص پتروفیزیکی مخازن توسط توزیع رخصاره‌های رسوبی کنترل می‌شود (رونالد و همکاران، ۲۰۱۴). متنوع بودن شرایط محیطی در بخش‌های مختلف حوضه در طول زمان، سبب توزیع انواع رخصاره‌های رسوبی و تشکیل سنگ‌های مستعد منشا، مخزن و پوش‌سنگ خواهد شد (امینی، ۱۳۸۷). بنابراین یکی از مهم‌ترین اهداف مطالعات رسوب‌شناسی سیستم‌های هیدروکربوری، تعیین رخصاره‌ها و تفسیر

رستمی و همکاران (۲۰۱۹) بیواستراتیگرافی سازند فهلیان در میدان نفتی درود را مطالعه کرده‌اند. هم‌چنین محیط‌رسوبی و چینه‌نگاری سازند فهلیان در برش‌های مختلف مطالعه شده است (خسروی و همکاران، ۲۰۰۹؛ عابدپور و همکاران، ۲۰۱۶). میدان اروند (شکل ۱) در ۵۰ کیلومتری جنوب آبادان در دهانه رود اروند قرار دارد. ساختمان این میدان بر روی مخزن فهلیان به شکل تاقدیسی کشیده و نامتقارن با طول محوری ۶۳ کیلومتر در جهت شمال‌باختر- جنوب‌خاور است. مخزن فهلیان در این میدان در قسمت‌های زیرین از سنگ‌آهک و در بخش‌های میانی و بالایی از سنگ‌آهک دولومیتی تشکیل شده است (شکل ۲).

### مواد و روش‌ها

در این بررسی تعداد ۱۷۸ برش‌نازک تهیه شده از مغزه‌های متعلق به چاه اروند ۲ در میدان اروند مورد مطالعه قرار گرفت. برای نام‌گذاری ریزرخساره‌های کربناته از طبقه‌بندی‌های دانهام (۱۹۶۲) و امبری و کلوان (۱۹۷۱) و برای نام‌گذاری دولومیت‌ها از روش سیبلی و گرگ (۱۹۸۷) استفاده شد. هم‌چنین از روش لوسیا (۱۹۸۳) برای تعیین انواع فابریک سنگ‌های کربناته و نقش رخساره و عملکرد عوارض دیاژنزی بر چگونگی توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی استفاده شده است. تعداد ۷۰ برش با استفاده از نرم‌افزار *J.Microvizion* برای محاسبه درصد تخلخل استفاده شد.

### بحث

مطالعات میکروسکوپی در سازند فهلیان منجر به شناسایی ۱۹ ریزرخساره شد که در ۴ کمر بند رخساره‌ای پهنه جزرومدی، لاگون، سد و دریای باز برجای گذاشته شده‌اند. ریزرخساره‌های مذکور در ادامه به تفصیل شرح داده شده‌اند.

### کمر بند رخساره‌ای جزرومد

**A1 لیتوفاسیس شیل:** زمینه اصلی این ریزرخساره میکرایتی است که دارای مقدار زیادی رس است که جهت‌یافتگی رس‌ها، سیمای لایه‌لایه به این ریزرخساره داده است. دانه‌های کوارتز زاویه‌دار در حد و اندازه سیلت

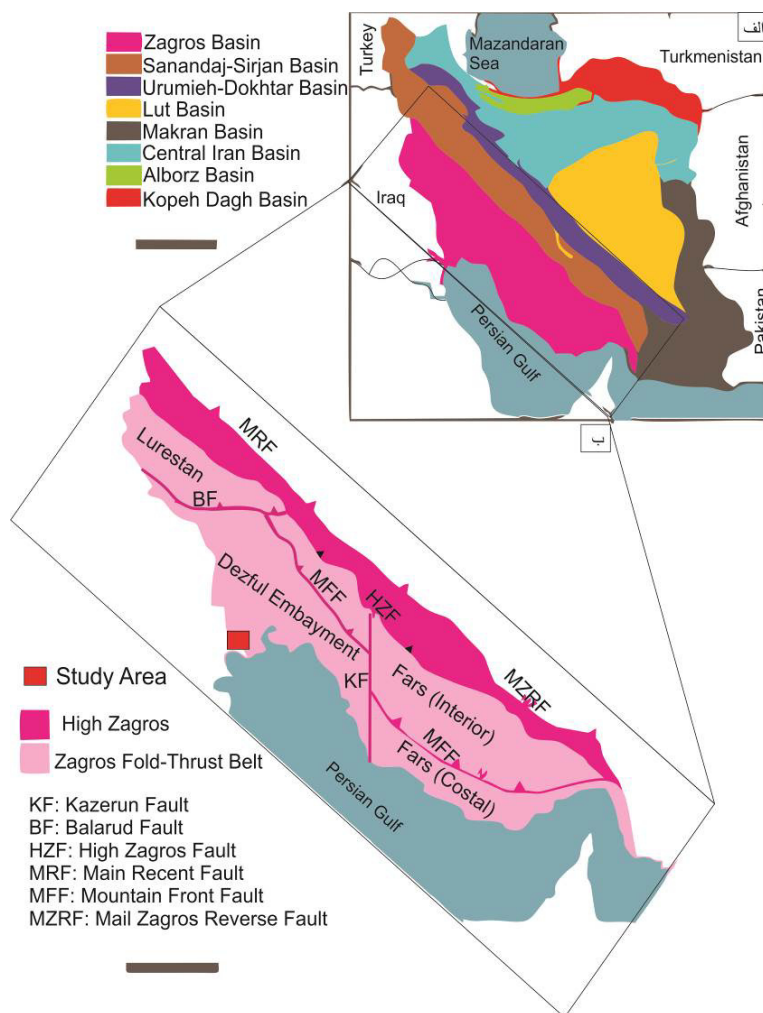
تفصیلی مورد مطالعه قرار نگرفته است و سازند فهلیان یکی از مخازن مهم می‌باشد، لذا بررسی این سازند در میدان اروند ضروری به نظر می‌رسد تا بتواند در شناخت و بهره‌برداری از این سازند در میدان مورد مطالعه موثر باشد.

کمر بند چین‌خورده- رورانده زاگرس بخشی از رشته کوه آلپ- هیمالیا بوده که با وسعتی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر روندی شمال باختری- جنوب‌خاوری داشته و از شرق گسل آناتولی (واقع در خاور ترکیه) تا گسل مان در بخش جنوبی ایران گسترش پیدا کرده است (علوی، ۲۰۰۷). این کمر بند محصول پیچیده‌ای از جدایش ایران از سرزمین گندوانا است که به دنبال آن فرورانش پوسته اقیانوسی تازه ایجاد شده نئوتتیس با شییبی به سمت شمال‌خاوری به زیر خرده بلوک ایران رفته است که در نتیجه برخورد بین صفحات عربستان و ایران است. طی دوره کرتاسه، در پهنه زاگرس چین‌خورده و فروافتادگی دزفول مخازن نفتی متعدد و مهمی از جمله سازند فهلیان نهشته شده است (زیگلر، ۲۰۰۱؛ رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۲). سازند فهلیان یکی از مهم‌ترین سنگ‌های مخزن در حوضه زاگرس و میدان نفتی اروند است که از سنگ‌آهک، سنگ‌آهک دولومیتی، مارن و شیل تشکیل شده است. سازند فهلیان به علت داشتن درز و شکاف و تخلخل فراوان، یکی از مخازن مهم پهنه زاگرس شناخته می‌شود (مطیعی، ۱۳۷۴). آدابی و همکاران (۲۰۱۰) و جمالیان و آدابی (۲۰۱۴) ژئوشیمی سازند فهلیان را در برش نمونه و کوه‌سیاه به ترتیب مطالعه کرده‌اند. نوری و رحیم‌پوربناب (۱۹۳۴) محیط‌رسوبی و دیاژنز سازند فهلیان در تاقدیس لار را مطالعه کرده‌اند. شهرکی و همکاران (۱۳۹۶) محیط رسوبی سازند فهلیان را در میدان کیلورکریم مطالعه کرده‌اند. ده‌کار و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند فهلیان در میدان نفتی اروند را مطالعه کرده‌اند. صحرایان و همکاران (۲۰۱۳) به محیط‌رسوبی و دیاژنز سازند فهلیان در تاقدیس گدون پرداخته‌اند. جمالیان و همکاران (۲۰۱۱) محیط‌رسوبی سازند فهلیان در برش کوه‌سیاه را مطالعه کرده‌اند.

جورشدگی ضعیف و گردشگی ضعیف تا متوسط (زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار) در زمینه‌های میکرایتی پراکنده‌اند (شکل ۳ ج). این ریزرخساره بدون سنگواره است که احتمالاً بخاطر ورود رسوبات آواری به محیط و گردش اندک آب می‌باشد.

و ماسه خیلی ریز از اجزای فرعی این ریزرخساره هستند (شکل ۳ الف، ب).

**A2 ریزرخساره مادستون کوارتزار:** این ریزرخساره از سنگ‌آهک ریزبلور تشکیل شده است که در آن دانه‌های کوارتز با فراوانی ۲۰-۵ درصد در اندازه ماسه با



شکل ۱. الف) نقشه کلی ایران که زون‌های ساختمانی مختلف بر روی آن نشان داده شده است (اقتباس با تغییراتی از مبشر و بابایی، ۲۰۰۸) و ب) بخش‌های مختلف حوضه زاگرس که موقعیت میدان اروند با مربع قرمز رنگ مشخص شده است (اقتباس با تغییراتی از مطیعی، ۱۳۷۴).

مبهم در آن دیده می‌شود (شکل ۳ و). در برخی از برش‌های نازک این ریزرخساره آشفستگی زیستی مشاهده گردیده است.

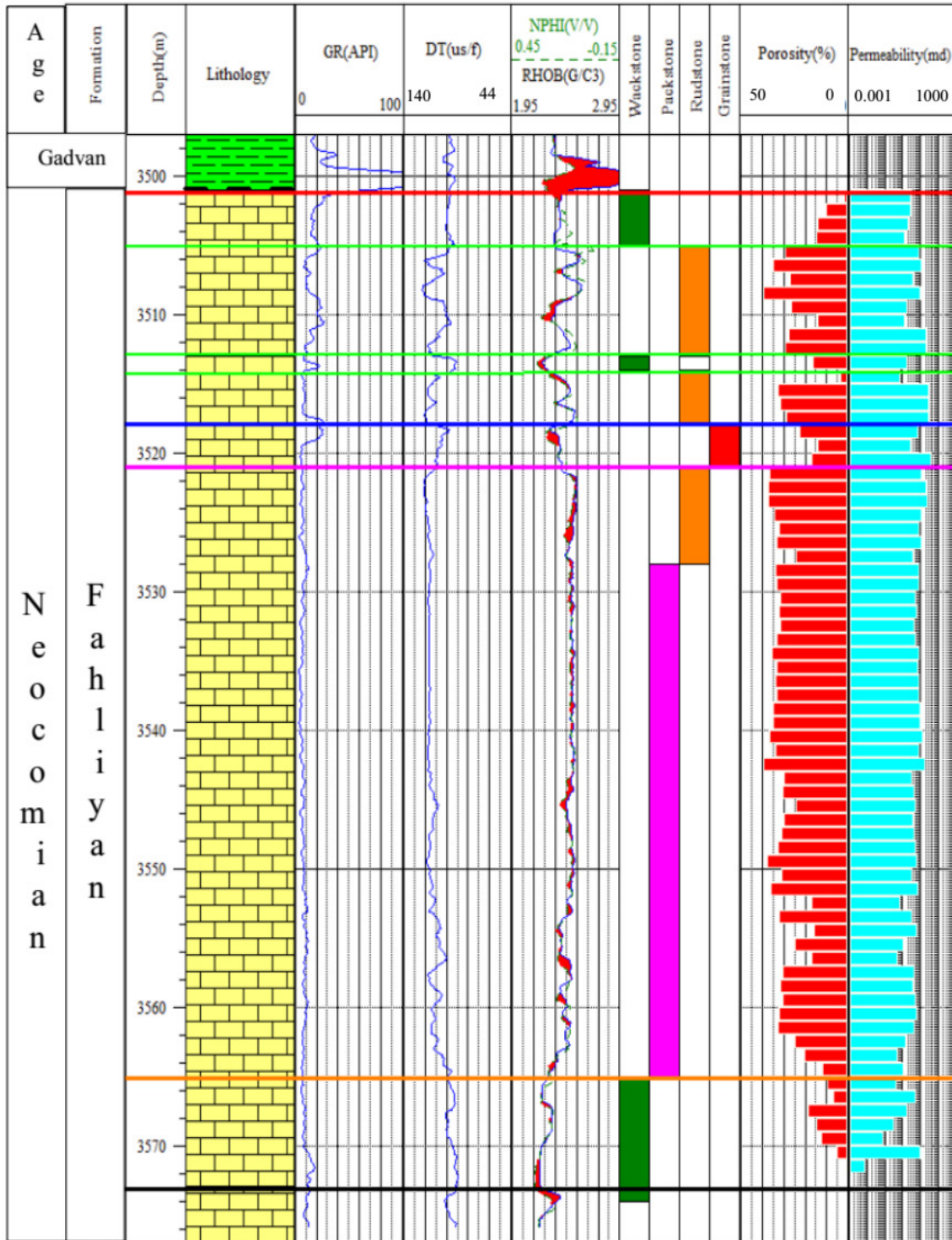
**A5 ریزرخساره پکستون-گرینستون اینتراکلتی دارای پلوئید:** این ریزرخساره دارای اجزای غیراسکتی مانند اینتراکلت و پلوئید است (شکل ۳ ه). وجود اینتراکلت‌های گلی در اندازه گوناگون نشان‌دهنده

**A3 ریزرخساره مادستون دولومیتی:** زمینه این ریزرخساره میکرایت است و بلورهای دولومیت شکل‌دار در آن دیده می‌شود. این ریزرخساره نبود سنگواره است (شکل ۳ د).

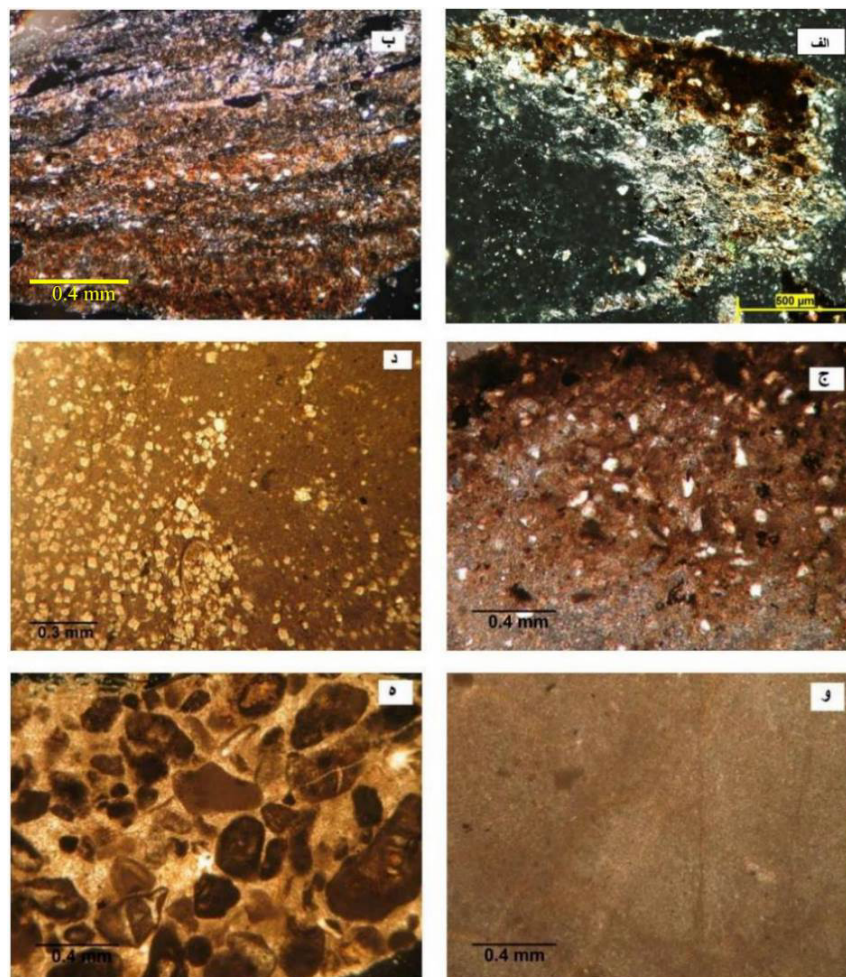
**A4 ریزرخساره مادستون آهکی بدون سنگواره:** این ریزرخساره از مادستون آهکی متراکم با زمینه میکرایتی تشکیل شده است. در برخی برش‌های نازک لامیناسیون

همچنین دانه‌بندی تدریجی در این ریزرخساره دیده می‌شود.

رسوب‌گذاری در پهنه‌های جزرومدی و دگرش ناگهانی در انرژی محیط در پی عواملی همچون توفان است. گسترش زیاد دولومیتی شدن، گردشگری ذرات و



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی سازند فهلisan در میدان ارونند به همراه نمودارهای تخلخل و تراوایی و نمودارهای چاه‌پیمایی (گاما، سونیک، نوترون و چگالی) که تا حد زیادی با ریزرخساره‌ها قابل انطباق است.



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی از ریزرخساره‌های محیط پهنه جزرومدی سازند فهلیان در میدان ارونند. الف، ب: رخساره شیل (ژرفای ۳۹۹۸ متر) (XPL). ج: مادستون کوارتزی (ژرفای ۴۰۲۶ متر) (XPL). د: مادستون دولومیتی (ژرفای ۴۰۲۸ متر) و مادستون آهکی بدون سنگواره (ژرفای ۴۳۶۴ متر) (XPL). ه. پکستون-گرینستون اینتراکستی دارای پلویید (ژرفای ۴۰۰۴ متر) (XPL).

اندازه سیلت و ماسه ریز، داشتن ارتباط عمودی با رخساره‌های لاگونی و نبود شواهد خروج از آب، رسوب‌گذاری در بخش‌های پایین زون بین جزرومدی و یا بخش‌های ابتدایی بسیار کم‌عمق لاگون زیر جزرومدی را نشان می‌دهد (باد و همکاران، ۲۰۱۳). اصولاً مادستون دولومیتی هم‌زمان با رسوب‌گذاری یا در گام‌های نخستین دیاژنز در ناحیه بالای جزرومدی تا بخش‌های بالای میان جزرومد در شرایط آب و هوایی خشک تشکیل گردیده است. وجود پلویید احتمالاً نشان‌دهنده سرعت رسوب‌گذاری پایین (گات و گلوپاس، ۲۰۱۲؛ گیل، ۲۰۰۰) و یا انقطاع در رسوب‌گذاری است که در بخش‌های کم‌عمق و نزدیک به ساحل محیط لاگونی اتفاق افتاده است.

### تفسیر

به طور کلی نبودن سنگواره در این مجموعه رخساره‌ای نشانه چرخش محدود آب و نبود شرایط مناسب برای زیست جانداران دریایی است (آدابی و همکاران، ۲۰۱۰؛ ۲۰۱۶). آمیزه‌ای از سنگ‌های آواری و سنگ‌های کربناته در پی آمیختگی جانبی ریزرخساره‌ها، نوسان سطح آب دریا و یا تغییر در نرخ تامین رسوب پدید می‌آید که پیامد آن گوناگونی لایه‌ها در راستای ستونی توالی چینه‌شناسی است (آورجانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ بربر و همکاران، ۲۰۱۲؛ جمالیان و همکاران، ۲۰۱۱؛ براندانو و همکاران، ۲۰۰۹). ریزرخساره‌های مادستون و مادستون دولومیتی در زون‌های بین و بالای جزرومدی تشکیل می‌شوند (براندانو و لوچه، ۲۰۱۴). با توجه به نبود موجودات جانوری، حضور پراکنده دانه‌های کوارتز در

## کمبرند رخساره‌های لاگون

**B1 ریزرخساره پکستون دارای فرامینیفر کفزی و**

**جلبک سبز:** این ریزرخساره شامل جلبک‌های آهکی سبز مانند داسیکلادآسه، کودیاسه از جنس هالیمدا، فرامینیفرهای کفزی از جنس میلیولید، تروکولینا، تکستولاریا، خرده‌های خارپوست، پوسته گاستروپود به همراه اجزای غیراسکلتی مانند پلویید می‌باشد. زمینه این ریزرخساره را میکرایت تشکیل داده است (شکل ۴ الف).

**B2 ریزرخساره پکستون پلوییدی دارای**

**اکتینوپورلا:** این ریزرخساره دارای اکتینوپورلا، جلبک قرمز، خرده‌های دوکفه‌ای، استراکد، پوسته براکیوپود، گاستروپود، فرامینیفرهایی چون تکستولاریا به همراه اجزای غیراسکلتی مانند پلویید می‌باشد. زمینه این ریزرخساره را میکرایت تشکیل داده است (شکل ۴ ب).

**B3 ریزرخساره وکستون دارای سرپولید:**

ریزرخساره دارای سرپولید، جلبک قرمز، خرده‌های خارپوست، دوکفه‌ای، استراکد، خرده براکیوپود، گاستروپود و پاره‌ای از فرامینیفرها می‌باشد و زمینه این ریزرخساره را میکرایت تشکیل داده است (شکل ۴ ج).

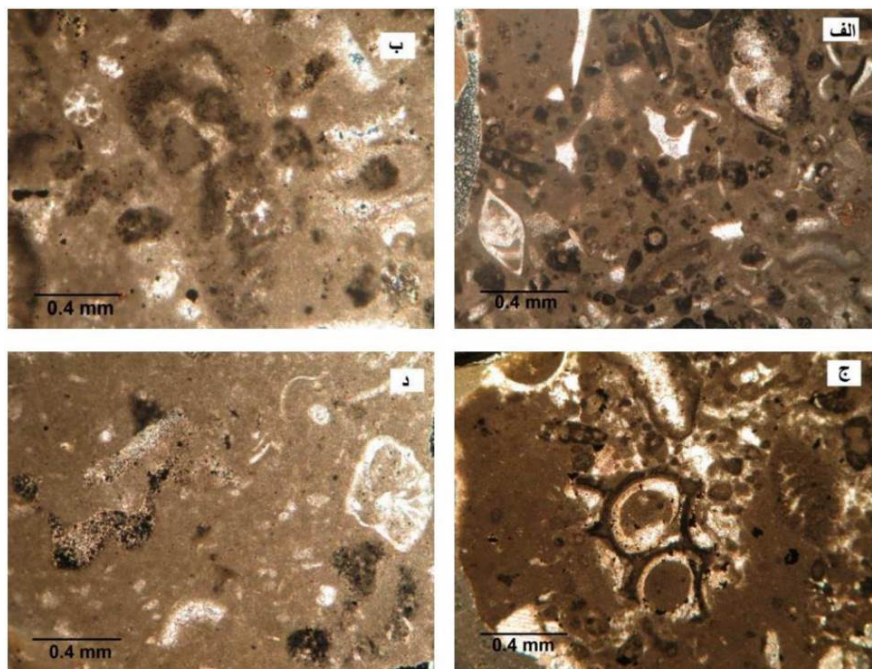
سرپولیدهای مشاهده شده در سازند فهلیان در میدان مورد بررسی در مقایسه با سرپولیدهای عهد حاضر و قدیمی‌تر از کرتاسه زیرین ریف‌ساز نیستند.

**B4 ریزرخساره وکستون بایوکلاستی دارای پلویید:**

این ریزرخساره شامل جلبک‌سبز داسی کلاداسه، استراکد، گاستروپود، خرده‌های خارپوست، دوکفه‌ای و به میزان بسیار کم فرامینیفر تکستولاریا به همراه اجزای غیراسکلتی مانند پلویید می‌باشد. زمینه این ریزرخساره را میکرایت تشکیل داده است (شکل ۴ د). وجود پلویید، نبود آثار جریان، لامیناسیون و دانه‌بندی تدریجی و نیز وجود جلبک‌های سبز نشانگر محیطی آرام (مانند تالاب) برای پدید آمدن این ریزرخساره می‌باشد.

**B5 ریزرخساره باندستون جلبکی:**

این ریزرخساره دارای جلبک‌سبز است. اجزای دیگر همراه با این ریزرخساره خرده‌های گاستروپود، میلیولید، تکستولاریا و اکتینودرم می‌باشد و در زمینه مقداری پلویید نیز مشاهده می‌شود (شکل ۵ الف). فضای خالی درون حجرات این ریزرخساره را گل کربناته و سیمان کلسیتی پر کرده است.



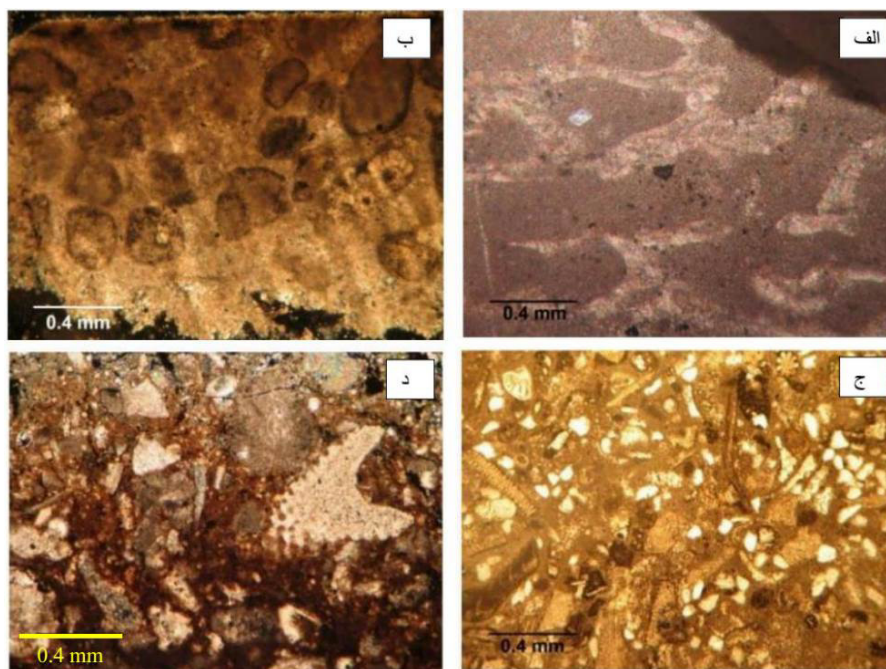
شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از ریزرخساره‌های محیط لاگون سازند فهلیان در میدان اروند، الف: پکستون دارای فرامینیفر کفزی و جلبک‌سبز (ژرفای 4242 متر) (XPL)، ب: پکستون پلوییدی دارای اکتینوپورلا (ژرفای 4224 متر) (XPL)، ج: وکستون دارای سرپولید (ژرفای 3945 متر) (XPL)، د: وکستون بایوکلاستی دارای پلویید (ژرفای 4312 متر) (XPL).

**B6 ریزرخساره وکستون تا پکستون پلوییدی:**

اجزای اصلی این ریزرخساره پلوییدها هستند که در زمینه گلی پراکنده شده است. اجزای فرعی این ریزرخساره اینتراکست است که به طور پراکنده در زمینه وجود دارد. در این ریزرخساره سنگواره بسیار نادر است (شکل ۵ ب). فراوانی پلوییدها، نبود اثر جریان، لامیناسیون و دانه‌بندی تدریجی نشانگر محیطی آرام مانند پلاتفرم درونی دربردارنده دریای کم‌عمق با گردش آب متوسط یا رمپ درونی (مانند تالاب) برای تشکیل این ریزرخساره می‌باشد.

**B7 ریزرخساره پکستون بایوکلستی:**

از خرده‌های کربناته، بایوکلست و دانه‌های کوارتز در زمینه‌ای از میکرایت تشکیل شده است. خرده‌های کربناته گردشده تا نیمه‌زاویه‌دار و دانه‌های کوارتز زاویه دارند (شکل ۵ ج، د). خرده‌های بایوکلستی در بردارنده خرده‌های خارپوست، فرامینیفر، دوکفه‌ای و جلبک‌های آهکی است. این ریزرخساره از خرده‌ها و دانه‌هایی با خاستگاه گوناگون تشکیل شده است.



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از ریزرخساره‌های محیط لاگون سازند فهلبان در میدان ارونند الف، باندستون جلبکی (ژرفای ۴۲۷۸ متر) (XPL)، ب: وکستون تا پکستون پلوییدی (ژرفای ۴۱۳۲ متر) (XPL)، ج، د: ریزرخساره پکستون بایوکلستی (ژرفای ۴۲۱۴ متر، و ج ژرفای ۴۲۵۳ متر) (XPL)

**تفسیر**

میلیولیدها در زون نوری بالا در محیط کم‌عمق لاگون محصور شده و فوق‌العاده شور (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳) در آب‌هایی با آشفتگی کم و سنگ بسترهای نرم (ویلسون، ۱۹۷۵) فراوان هستند. بنابراین وجود میلیولید و ظهور زیاد فرامینفرهای بی‌منفذ پورسلانوز با تنوع کم، شرایط لاگون محصور شده را نشان می‌دهد (لوسیاء، ۱۹۸۳). با توجه به رخداد همزمان جانوران دریایی عادی مثل فرامینفرهای هیالین، جلبک قرمز و سایر فونای دریایی باز (اکینودرم و براکیپود) با فونای لاگونی از رمپ

داخلی مثل میلیولید در یک بافت پکستون تا گرینستونی، به تشکیل این مجموعه رخساره‌ای در یک محیط لاگون نیمه‌محصور شده به سمت دریای باز که سدهای موثری برای جداسازی محیط نرمال دریایی از لاگون نبوده است، اشاره دارد (هیپس و هس، ۲۰۰۹؛ هانتز و همکاران، ۲۰۱۱؛ صحراپیان و همکاران، ۲۰۱۳؛ جمالیان و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر این حضور جلبک‌های قرمز، میلیولیدها (محیط‌شور تا فوق‌شور) و مرجان (شوری نرمال) درکنار یکدیگر و نیز موقعیت چینه‌نگاری این ریزرخساره در توالی، شرایط تنه‌نشست در

ریزرخساره به همراه اینتراکست‌های میکرایتی به صورت حمل شده و بدون زاویه به همراه زمینه دارای سیمان کربناته نشان از شرایط رسوب‌گذاری در محیط سدی و پراثری دارد.

**C4 ریزرخساره گرینستون پلوییدار:** این ریزرخساره شامل پلویید، اینتراکست میکرایتی و اجزای اسکلتی مانند فرامینیفراهای کفزی از جنس میلیولید می‌باشد. در این ریزرخساره سیمان‌های بلوکی و دروزی مشاهده می‌شود که نزدیک به ۴۰ درصد سنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۶، د، و). آلوکم اصلی این ریزرخساره پلویید می‌باشد که دارای جورشدهگی خوبی است. به همراه پلوییدها مقدار کمی از خرده‌های اسکلتی خرد شده نیز مشاهده می‌شود که حاکی از شرایط پراثری است.

#### تفسیر

سیمان اسپاری نشان‌دهنده اثری بالای محیط در زیر محیط سدی است که باعث شسته‌شدن میکرایت از زمینه این مجموعه رخساره‌ای و تشکیل سیمان اسپاری در میان آلوکم‌های کربناته می‌باشد. وجود مقداری اندکی میکرایت در محیط سدی می‌تواند بر اثر کم‌شدن اثری در محیط یا له و خرد شدن پلت‌های میکرایتی در نتیجه تاثیر عوامل گوناگون دیاژنزی مانند فشردگی باشد (رحیم‌پوریناب، ۲۰۱۲؛ رونالد و همکاران، ۲۰۱۴). وجود خرده‌های اسکلتی حمل‌شده از محیط لاگون و نزدیکی محیط زیاد نشان از جابجایی از محیط لاگون و نزدیکی محیط رسوب‌گذاری این نهشته‌ها به محیط لاگونی و شرایط نسبتاً کم ژرف و تاثیر امواج دریا دارد. همچنین وجود مقدار بالای پلوییدهای گرد شده با آثار حمل‌شدگی که محل نخست تشکیل آن‌ها در زیر محیط لاگون بوده نیز نشانگر شرایط رسوب‌گذاری این ریزرخساره در محیط سدی و تحت تاثیر اثری زیاد امواج است (فلوگل، ۲۰۱۰؛ صحراپیان و همکاران، ۲۰۱۳؛ جمالپان و همکاران، ۲۰۱۱). لیتوکودپوم‌ها به صورت ریف‌های کومه‌ای بیش‌تر در حاشیه درونی سدها وجود دارند (فلوگل، ۲۰۱۰).

محیط لاگون باز و بخش بالایی زون یوفوتیک را نشان می‌دهد. جلبک سبز از جنس‌های داسی‌کلادآسه و هالیمدا به همراه فرامینیفراهای کفزی مانند میلیولید و تکستولاریا از ویژگی‌های آشکار محیط لاگون می‌باشد. سرپولیدها جاندارانی یوری‌هالین هستند که می‌توانند در آب‌های لب‌شور و از پهنه‌های کشندی تا ژرفای بیش از ۹۵۰ متر در دریا زندگی کنند، اما بیشتر ساکن آب‌های کم ژرفا با ژرفای ۳-۵۶ متر هستند. وجود پلویید همراه با زمینه میکرایتی و سنگواره‌های شاخص محیط تالاب از جمله جلبک‌سبز و فرامینیفراهای کفزی نشان از شرایط رسوب‌گذاری مناطق کم‌انرژی و ژرفای زیاد و منطقه با گردش محدود آب در لاگون دارد. با توجه به همراهی سنگواره‌های شاخص محیط تالاب و گسترش اندک ریزرخساره باندستون جلبکی می‌توان نتیجه گرفت که این ریزرخساره پدید آورنده ریف‌های کومه‌ای داخل تالاب پشت سد است. محیط رشد ریف‌های کومه‌ای عموماً پشت سدها و در داخل تالاب می‌باشد (مخلوفی و همکاران، ۲۰۱۳؛ پومار، ۲۰۰۱).

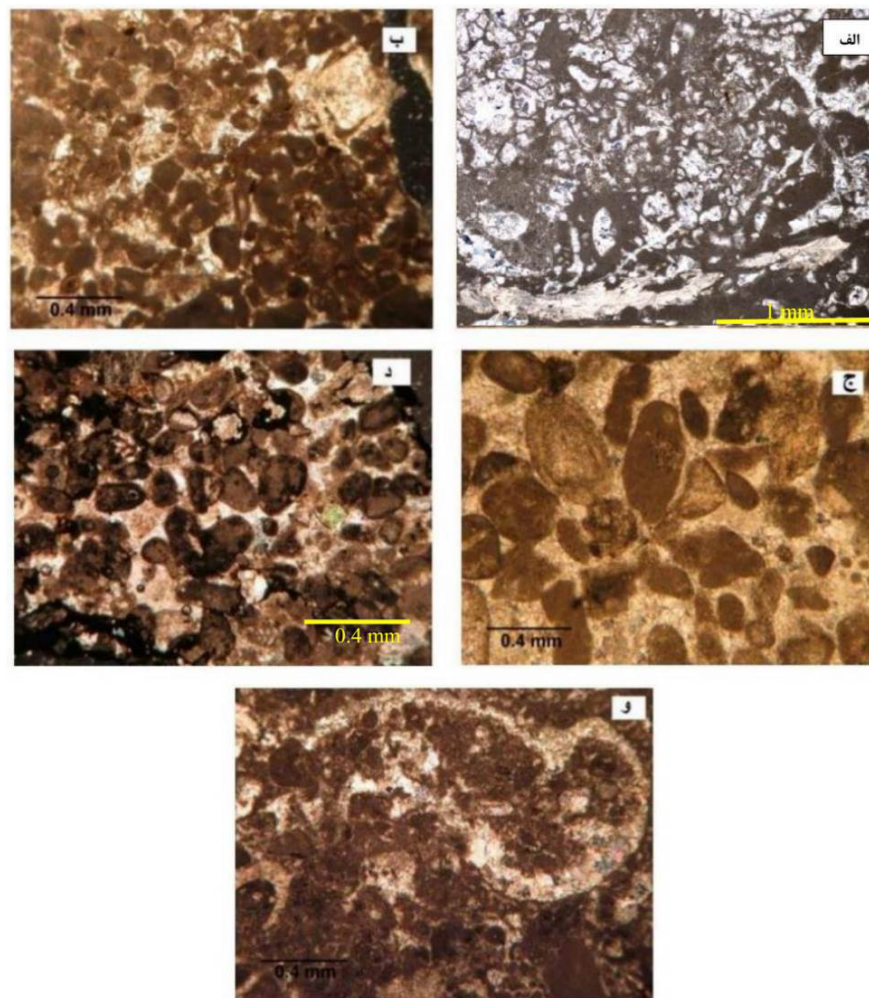
#### کمریند رخساره‌ای سد (پشته زیرآبی)

**C1 ریزرخساره باندستون:** جلبک قرمز لیتوکودپوم مهم‌ترین اجزا این ریزرخساره است. اجزای دیگر همراه با این ریزرخساره خرده‌های رودیست و اکینودرم می‌باشد و در زمینه مقداری پلویید نیز مشاهده می‌شود. فضای خالی درون حجرات این ریزرخساره را گل کربناته و سیمان کلسیتی پر کرده است (شکل ۶ الف).

**C2 ریزرخساره پکستون-گرینستون اینتراکستی دارای پلویید:** اجزای غیراسکلتی این ریزرخساره شامل اینتراکست و پلویید می‌باشد. در این ریزرخساره مقدار اندکی خرده‌های اسکلتی مانند جلبک قرمز، خرده‌های اکینویید، لنتیکولینا و تکستولاریا مشاهده می‌شود. این ریزرخساره دارای سیمان اسپاری و مقدار اندکی پیریت می‌باشد (شکل ۶ ب).

**C3 ریزرخساره گرینستون اینتراکستی دارای ائید:** این ریزرخساره شامل اینتراکست از جنس میکرایت، ائید و پلویید می‌باشد. زمینه این ریزرخساره از سیمان‌های بلوکی و دروزی تشکیل شده است (شکل ۶ ج). وجود ائید در آلوکم‌های اصلی تشکیل‌دهنده این





شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی از ریزرخساره‌های محیط سد سازند فهلیان در میدان اروند: الف: ریزرخساره باندستون (ژرفای 4314 متر) (XPL)، ب: پکستون - گرینستون اینتراکلاستی دارای پلویید (ژرفای 4178 متر (XPL))، ج: گرینستون اینتراکلاستی دارای ائبید (ژرفای 4112 متر) (XPL)، د، و: گرینستون پلوییددار بترتیب (ژرفای 4088 متر (XPL)).

(شکل ۷ ب). قالب‌های سوزن‌های اسفنج به طور عمده توسط کلسیت اسپاری پرشده‌اند که وجود سیمان اسپارایتی در این قالب‌ها بیانگر سیلیسی بودن ساختار اولیه آن‌ها است (فلوگل، ۲۰۱۰).

**D3 ریزرخساره مادستون دارای کالپیونلا:** این ریزرخساره دارای سنگواره کالپیونلا در زمینه میکرایتی است (شکل ۷ ج، د). این جاندار یک ریزپلانکتون دریایی است که در رسوبات کربناته میکرایتی وجود دارد و شناسایی آن بر پایه شکل سیلندری و کوزه‌ای آن است.

#### تفسیر

بر اساس مطالعه انجام شده بررسی ریزرخساره‌ها با توجه به حضور پیریت و لامیناسیون آهک- رس و نیز رنگ

#### کمربند رخساره‌های دریای باز

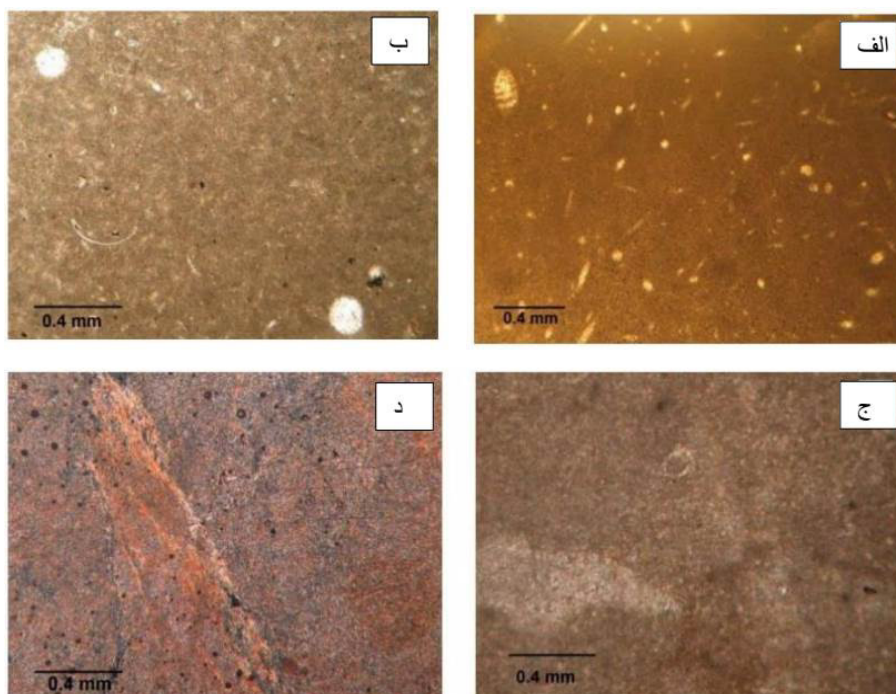
**D1 ریزرخساره وکستون پکستون بایوکلاستی:** این ریزرخساره عمدتاً شامل سوزن اسفنج و فرامینیفر تروکولینا و به مقدار کمتری خرده‌های پوسته خارپوست، پوسته دوکفه‌ای در زمینه‌ای متشکل از میکرایت می‌باشد (شکل ۷ الف). فونای اصلی این ریزرخساره شامل فرامینیفرهای مانند تروکولینا همراه با سوزن اسفنج است و بافت رسوبی آن از وکستون بایوکلاستی تا پکستون متغیر می‌باشد.

#### **D2 مادستون وکستون بایوکلاستی دارای سوزن**

**اسفنج:** اجزاء تشکیل‌دهنده این ریزرخساره شامل ۵ تا ۱۰ درصد سوزن اسفنج، کلسی‌اسفر، مقدار کمی گاستروپود با پوسته نازک و خرده‌های اکینودرم است

پهنه‌های کشنیدی تا آب‌های ژرف رخداد دارند (فلوگل، ۲۰۱۰). تروکولینا عمدتاً در لبه پلاتفرم زندگی می‌کند (فلوگل، ۲۰۱۰). گل‌های پلاژیک عمدتاً در آب‌های با ژرفای چند صد متر و بیش‌تر تنه‌شین می‌شوند و دارای ریزپلانکتون‌های مانند کالپیونلا هستند و بافت رسوبی آن‌ها میکرایتی است (فلوگل، ۲۰۱۰). بودن فرامینیفرهای پلانکتون و نبود گونه‌های بزرگ هم زیست نشانه نهشته شدن رسوبات در محیطی پایین‌تر از منطقه‌ی نوری دریای باز است.

قهوه‌ای متمایل به قرمز زمینه، نشانه رسوب‌گذاری در محیطی آرام و نسبتاً عمیق است و بدلیل عدم فعالیت موجودات، زیست‌آشفستگی در رسوبات روی نداده است. عدم مشاهده آثار مربوط به اکتینودرم‌ها و جلبک‌های سبز داسیکلاد و فرامینیفرا نشان می‌دهد که در رمپ بیرونی (زیر سطح تأثیر امواج در شرایط توفانی) نهشته شده است (رونالد و همکاران، ۲۰۱۴؛ شب‌افروز و همکاران، ۲۰۱۵؛ صحراییان و همکاران، ۲۰۱۳؛ جمالیان و همکاران، ۲۰۱۱). ریزرخساره‌های اسفنج‌دار در تمام فانروزویک و تقریباً در همه محیط‌های رسوبی از



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی از ریزرخساره‌های دریای باز سازند فهلیان در میدان اروند، الف: ریزرخساره و کستون پکستون بایوکستی دارای سوزن اسفنج و سنگواره تروکولینا (ژرفای ۴۲۱۲ متر) (XPL)، ب: ریزرخساره مادستون و کستون بایوکلاستی دارای سوزن اسفنج (ژرفای ۴۳۶۶ متر) (XPL)، ج، د: ریزرخساره مادستون کالپیونلادار (ژرفای ۴۳۵۶ متر) (XPL).

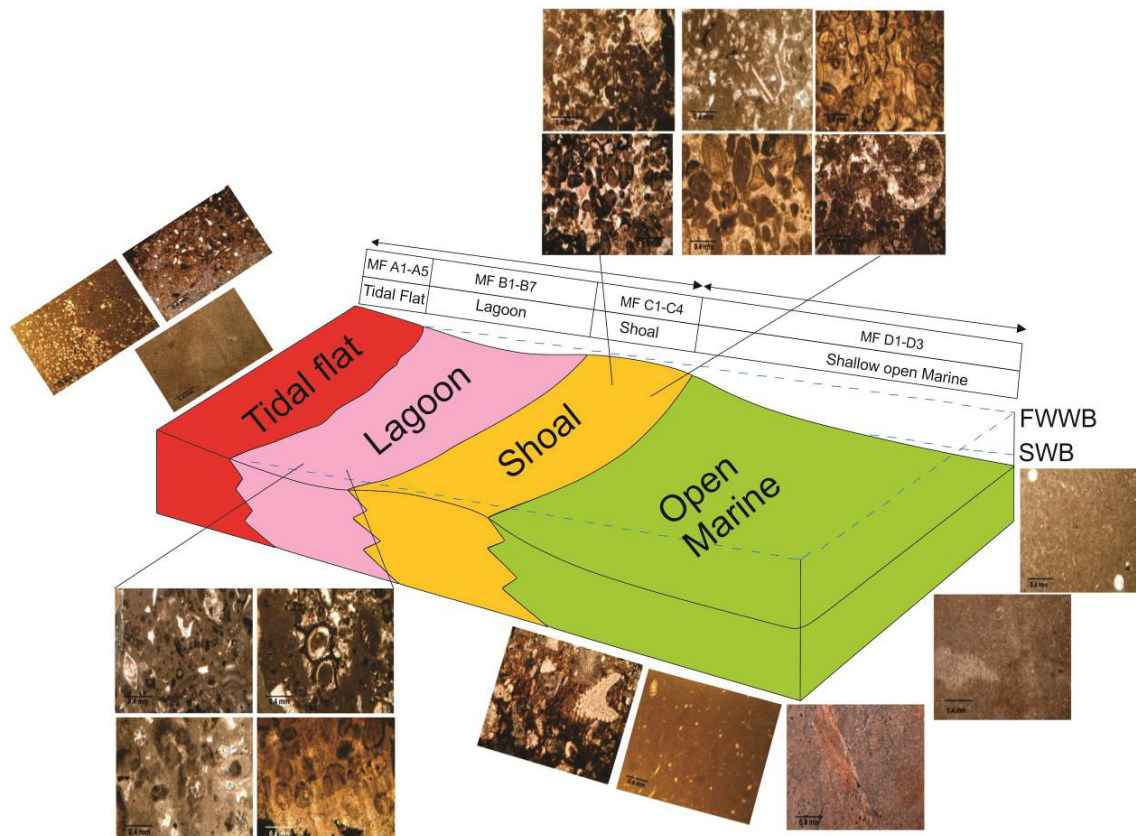
#### مدل رسوبی

در این تحقیق با توجه به تنوع میکروفاسیس‌ها، دسته‌بندی و بررسی جانبی و عمودی آن‌ها و با توجه به مدل‌های ارایه شده توسط فلوگل و ویلسون (۱۹۷۵) و ۲۰۱۰ می‌توان محیط رسوب‌گذاری سازند فهلیان را در ناحیه مورد مطالعه بصورت یک پلت‌فرم از نوع رمپ با شیب ملایم در نظر گرفت (شکل ۸). هم‌چنین جمالیان و همکاران (۲۰۱۱) محیط‌رسوبی سازند فهلیان در منطقه کوه‌سیاه را رمپ معرفی کرده‌اند.

آدابی و همکاران (۲۰۱۰) محیط‌رسوبی سازند فهلیان را در میدان گچساران و برش نمونه مطالعه کرده‌اند که با توجه به وجود ریزرخساره‌های کلسی‌توربیدیتی محیط رسوبی منطقه را شلف لبه‌دار معرفی کرده‌اند. صحراییان و همکاران (۲۰۱۳) محیط‌رسوبی سازند فهلیان در طاق‌دیس‌گدون را رمپ معرفی کرده‌اند. در این پژوهش با توجه به مطالعات رسوب‌شناسی، تغییرات درصد فسیل‌ها در کمرندهای رخساره‌ای و در نتیجه تبدیل تدریجی ریزرخساره‌ها به یکدیگر (وارن، ۲۰۰۶)، عدم وجود

و نبود ریزرخساره‌های کربناته دوباره نهشته شده<sup>۱</sup> گسترش ریزرخساره‌های پهنه‌های جزرومدی تأیید کننده ته‌نشست سازند فهلیان بر روی یک پلت‌فرم کربناته از نوع رمپ می‌باشند.

ریزرخساره‌های چارچوب‌ساز، گسترش ریزرخساره‌های آلییدی و پلوییدی فراوان، نحوه توزیع و ارتباط عمودی ریزرخساره‌ها، نبود وجود ریزرخساره‌های لغزشی-ریزشی (نشان‌دهنده شیب زیاد محیط رسوب‌گذاری)



شکل ۸. مدل رسوبی فرضی رمپ کربناته و توزیع ریزرخساره‌ها، اجزای اسکلتی و غیراسکلتی در کمربندهای رخساره‌ای در چاه شماره ۲ سازند فهلیان در میدان نفتی اروند

تنها به شکل یک پوشش میکریتی با ضخامت متغییر در اطراف آلوکم‌ها رخ داده است و باعث حفظ فابریک اولیه سنگ شده است (شکل ۹، الف).

**سیمانی شدن:** مطالعه سیمان در نمونه‌های متعلق به مخزن فهلیان میدان نفتی اروند منجر به شناسایی ۲ نوع سیمان کلسیتی (با فابریک‌های دروزی، هم‌بعد، بلوکی و سیمان کلسیت فراگیرنده) و دولومیتی گردید. سیمان‌های کلسیتی دروزی (شکل ۹، ب)، هم‌بعد (شکل ۹، ج، د)، بلوکی (شکل ۹، د) عمدتاً پرکننده حفرات (بین‌دانه‌ای، درون‌اسکلتی، شکستگی و انحلالی) (شکل ۹، ک) در ریزرخساره‌های وکستون/پکستون گل‌غالب تا دانه‌غالب هستند. سیمان‌های دولومیتی در قیاس با

## دیاژنز

مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی با توجه به گسترش آن‌ها در محیط‌رسوبی و فابریک‌های سنگ کربناته لوسیا (۱۹۸۳؛ ۲۰۰۷) در مخزن فهلیان به شرح زیر است.

**فرآیندهای زیستی:** فرآیندهای بیولوژیکی به شکل میکریتی شدن توسط موجودات میکروبی<sup>۲</sup> شناسایی شد. تشدید فرآیند میکریتی شدن در رخساره‌های لاگون و سد و ایجاد دانه‌های پلویید احتمالاً در نتیجه نرخ رسوب‌گذاری پایین، مدت زمان طولانی و یا عدم جابه‌جایی آلوکم‌ها است. همچنین این فرآیند در ریزرخساره‌های دولوکستون و دولوپکستون گل‌غالب

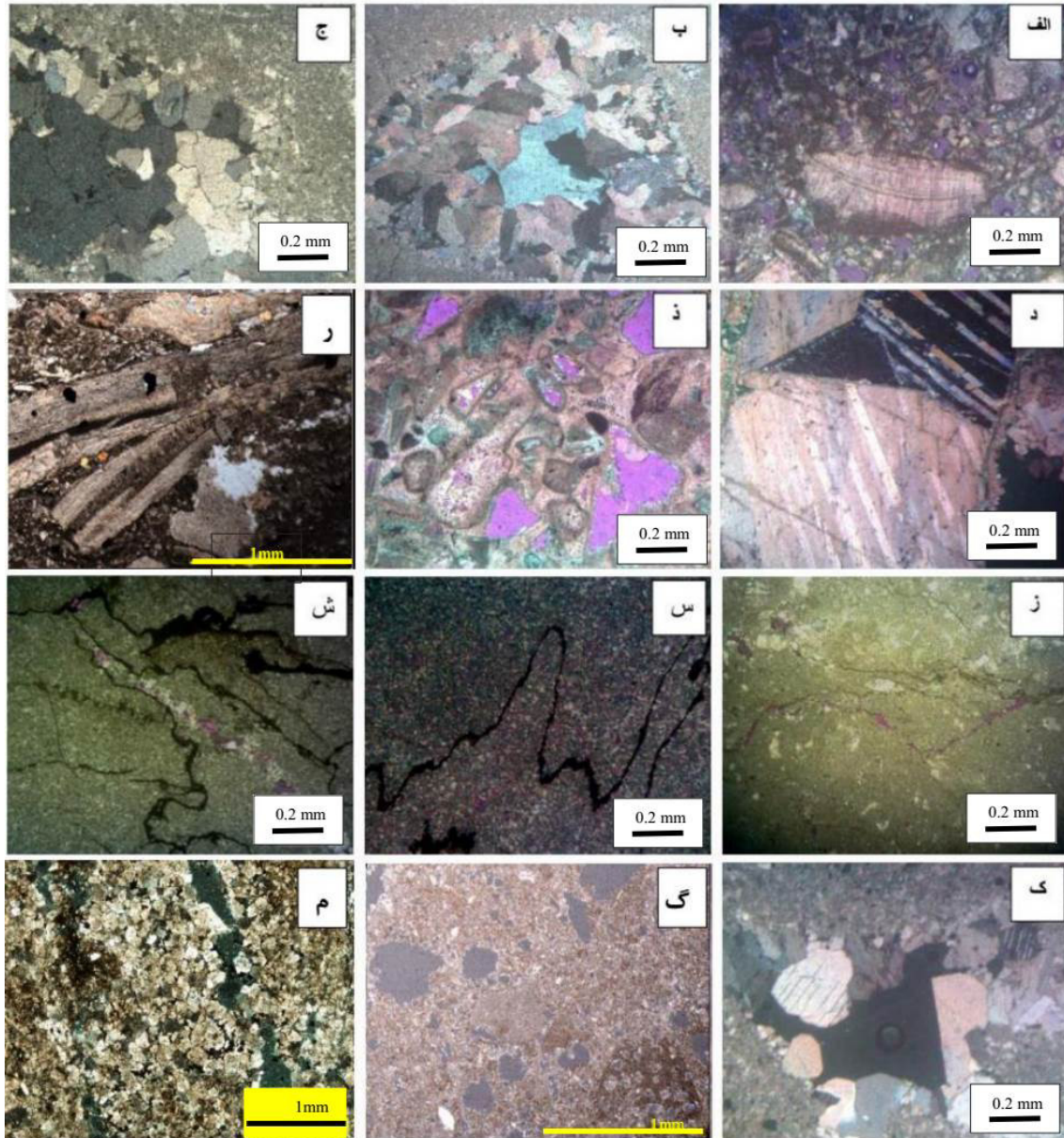
<sup>۱</sup> Calciturbidite

<sup>۲</sup> microbial Micritization

عوارض فشردگی در ریزرخساره‌های مادستون/دولومادستون عمدتاً به شکل تماس دانه‌ها (شکل ۹، ر)، رگچه‌های انحلالی (شکل ۹، ز) و استیلولیت (شکل ۹، س، ش) است.

سیمان‌های کلسیتی از فراوانی بسیار پایین تری برخوردار است و تنها در ریزرخساره‌های دولومیتی (دولووکستون و دولوپکستون‌های گل‌غالب) دیده شده‌اند.

فشردگی: در نمونه‌های مورد مطالعه تمامی عوارض فشردگی مکانیکی و شیمیایی قابل تشخیص است.

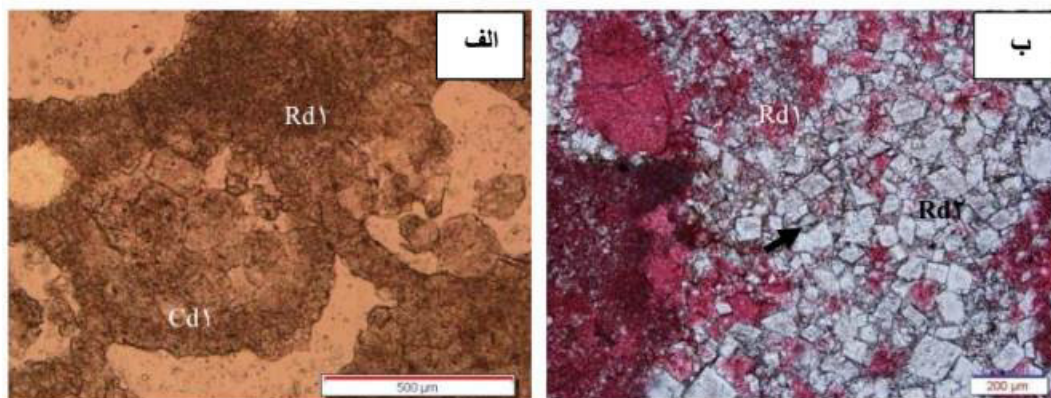


شکل ۹. الف) میکربیتی شدن ناقص در اطراف خرده‌های دوکف‌های، XPL به همراه تیغه ژیبس، ب) سیمان‌دروزی موزاییک، XPL. ج) سیمان کلسیت‌اسپاری بلوکی درشت‌بلور، XPL، د) سیمان کلسیت‌اسپاری بلوکی درشت‌بلور، XPL، ذ) سیمان‌های کلسیت اسپاری هم بعد ریز بلور، XPL به همراه تیغه ژیبس، ر) فرآیند فشردگی، XPL، ز) دسته‌های نامنظم و شاخه شاخه استیلولیت‌ها، XPL همراه با تیغه ژیبس، س) سطح استیلولیتی ایجاد شده بر اثر فشار، XPL همراه با تیغه ژیبس، ش) استیلولیت نامنظم پرشده با مواد آلی، XPL همراه با تیغه ژیبس، ک) پرشدن ناقص تخلخل انحلالی به وسیله سیمان کلسیتی درشت بلور، XPL، گ) حفره‌های ایجاد شده بر اثر انحلال، XPL، م) تصویر میکروسکوپی از بلورهای دولومیت در امتداد استیلولیت، قسمت‌های سیاه‌رنگ به وسیله رس و مواد آلی پر شده است، PPL.

(سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷). دولواسپارها (عمدتا در بخش‌های میانی و پایینی سازند فهلیان) بلورهای متوسط تا درشت با اندازه بلورهای بیش‌تر از ۶۴ میکرون، نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با توزیع اندازه بلوری غیریکنواخت بوده و فراوانی ناچیزی در مخزن دارند. اثر فرآیند دولومیتی شدن جانیشینی بر روی فابریک اولیه سنگ‌آهک به دو حالت حفظ فابریک اولیه و تخریب فابریک اولیه است. حالت حفظ فابریک اولیه در ریزرخساره‌های وکستون/پکستون که تنها ماتریکس دولومیتی شده است (شکل ۱۰، ب) و نیز در ریزرخساره‌های دولووکستون، دولوپکستون‌های گل‌غالب و دولوگرینستون‌ها که ماتریکس و آلومک دولومیتی شده است و حالت تخریب فابریک اولیه (شکل ۱۰، الف) را می‌توان در بسیاری از ریزرخساره‌های گل‌غالب و دانه‌غالب مخزن مورد مطالعه مشاهده کرد.

**انحلال:** انحلال یکی از مهم‌ترین فرآیندهای افزایش تخلخل و تراوایی است و شدت آن رابطه‌ای مستقیم با واکنش میان آب و سنگ در یک محیط دیاژنزی دارد (لوسیا، ۲۰۰۷). مطالعه برش‌نازک مخزن فهلیان نشان می‌دهد که دولومیت‌های جانیشینی ماتریکس و پرکننده حفره‌ها و تمامی اجزا سنگ اعم از آلومک، ماتریکس و سیمان در برخی از ریزرخساره‌های پکستون دانه غالب (شکل ۹، ک، گ) دستخوش پدیده انحلال قرار گرفته و نقش مهمی در کیفیت مخزنی داشته است.

**جانیشینی:** این فرآیند در مخزن مورد مطالعه به صورت دولومیتی شدن است. دولومیتی شدن به ۲ صورت دولومیکرواسپار (Rd1) و دولواسپار (Rd2) قابل شناسایی است. دولومیکرواسپارها بلورهای ۱۵ تا ۶۴ میکرون، شکل‌دار با توزیع اندازه بلوری یکنواخت، شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با توزیع بلوری غیریکنواخت، فراوان‌ترین شکل دولومیتی شدن است



شکل ۱۰. انواع دولومیت در سازند فهلیان، الف: دولومیت Rd1. این نوع دولومیت در زمینه و آلومک یک گرینستون دیده می‌شود. ب: سیمان دولومیت در زمینه ریزرخساره. همانطور که دیده می‌شود Rd1 (دولومیت جانیشینی نوع ۱) در حال تبدیل به Rd2 (دولومیت جانیشینی نوع ۲) است. Rd2 در شکل B دارای هسته کلسیتی می‌باشد (فلش سیاه‌رنگ).

قطع استیلولیت توسط حفرات انحلالی نشان‌دهنده آن است که این فرآیند عمدتاً در شرایط تدفینی انجام شده است.

#### کیفیت مخزنی

با تطبیق انواع ریزرخساره‌ها با گونه‌های پتروفیزیکی (لوسیا، ۱۹۸۳؛ ۲۰۰۷)، گونه‌های سنگی مختلف در ارتباط با مخزن شناسایی شدند. بر این اساس مخزن فهلیان در میدان اروند به ۷ گونه سنگی پتروفیزیکی تقسیم‌بندی شده است. این گونه‌های سنگی بر اساس نوع

#### توالی پارازنتیکی

مطالعه توالی فرایندهای دیاژنزی مخزن فهلیان در میدان اروند (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که این فرایندها عمدتاً در محیط اتوژنتیک دریایی و مزوژنتیک تدفینی رخ داده‌اند. فشردگی تنها فرآیند موثر در طول تمامی مراحل دیاژنزی است. سیمان‌های کلسیتی با توجه عوارض فشردگی (نزدیکی آلومک‌ها و شکستگی پوشش‌های میکریتی) غالباً در شرایط تدفین نهشته شده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). بطور کلی در بسیاری از نمونه‌ها شواهدی از انحلال بعد از فشردگی، انحلال در امتداد استیلولیت‌ها و

ریزرخساره‌ها، تحت کنترل دیاژنز بوده است. در زیر به بررسی انواع گونه‌های سنگی دارای کیفیت مخزنی و بدون کیفیت مخزنی در مخزن مورد مطالعه پرداخته شده است.

ریزرخساره، نوع تخلخل و کیفیت مخزنی از یکدیگر متمایز شده‌اند. اما معیار اصلی در تمایز آن‌ها کیفیت مخزنی است که در ارتباط با نوع تخلخل آن‌ها است. چنانچه یک ریزرخساره ممکن است شامل چند گونه سنگی متفاوت باشد. کیفیت مخزنی در بیشتر

زمان	انوژنز	مزوژنز	تلوژنز
میکریتی شدن	متداول		
سیمان کلسیتی (هم بعد، بلوکی، دروزی) فشرده‌گی فیزیکی		کتر متداول	
فشرده‌گی شیمیایی (استیلولیتی شدن)		کتر متداول	
شکستگی و پرشدگی		کتر متداول	متداول
انحلال			کتر متداول
بیریتی شدن		کتر متداول	
دولومیتی شدن		کتر متداول	
نئومورفیسم	متداول	کتر متداول	

شکل ۱۱. توالی پاراژنتیکی سازند فهلبان در منطقه مورد مطالعه

۹۲۵ میلی‌داری) در این ریزرخساره شده است. بر اساس نوع تخلخل، گرینستون‌ها به دو گونه سنگی تفکیک شده‌اند. پکستون‌های این مخزن گسترش وسیعی در نمودار لوسیا (لوسیا، ۱۹۸۳؛ ۲۰۰۷) دارند و بر اساس کیفیت مخزنی و جورشدگی ذرات به سه گونه سنگی تقسیم شده‌اند. وکستون‌ها دارای تخلخل کمتری نسبت به سایر ریزرخساره‌ها هستند و بر اساس نوع تخلخل به دو گونه سنگی تقسیم شده‌اند.

**گونه سنگی ۱: گرینستون با تخلخل بین‌دانه‌ای (RT1):** در این گونه سنگی تخلخل غالب از نوع بین‌دانه‌ای است که اکثراً بر اثر انحلال بزرگ‌تر شده‌اند و باعث افزایش تراوایی می‌شوند، تخلخل قالبی نیز به طور جزئی دیده می‌شود. ترکیب تخلخل‌های مجزا و بین‌دانه‌ای منجر به تراوایی بالا می‌شود (راف و ایگنر، ۲۰۰۴) و سبب قرارگیری این ریزرخساره در گونه پتروفیزیکی ۱ لوسیا (لوسیا، ۱۹۸۳؛ ۲۰۰۷) شده است (شکل ۱۲).

### گونه‌های سنگی دارای کیفیت مخزنی

گونه سنگی ۱ (RT1) گرینستون با تخلخل بین‌دانه‌ای  
 گونه سنگی ۲ (RT2) گرینستون با تخلخل قالبی  
 گونه سنگی ۳ (RT3) رودستون  
 گونه سنگی ۴ (RT4) پکستون دانه‌غالب  
 گونه سنگی ۵ (RT5) پکستون گل‌غالب  
 گونه سنگی ۶ (RT6) وکستون با تخلخل حفره‌ای و شکستگی

### گونه‌های سنگی بدون کیفیت مخزنی

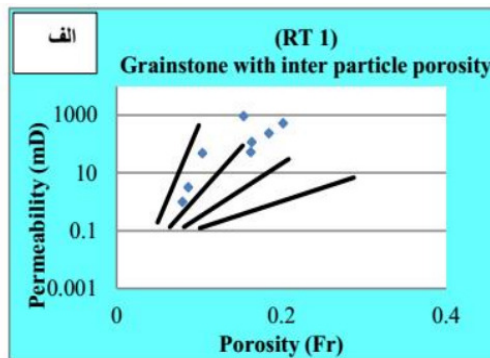
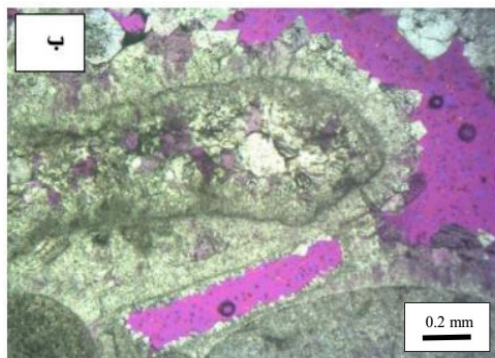
گونه سنگی ۷ (RT7) پکستون با تخلخل و تراوایی پایین  
 گونه سنگی ۸ (RT8) وکستون با تخلخل حفره‌ای مجزا  
 گرینستون‌ها دارای بالاترین کیفیت مخزنی هستند. این امر در ارتباط با رخنمون و ایجاد فرسایش جوی است که منجر به گسترش تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای و بین‌دانه‌ای شده است. ایجاد تخلخل‌های بین‌دانه‌ای ثانویه و بزرگ شدن آن‌ها بر اثر انحلال، باعث افزایش تراوایی (تا

کرده است که این امر به حضور مقداری از تخلخل بین‌دانه‌ای اولیه در آن نسبت داده می‌شود.

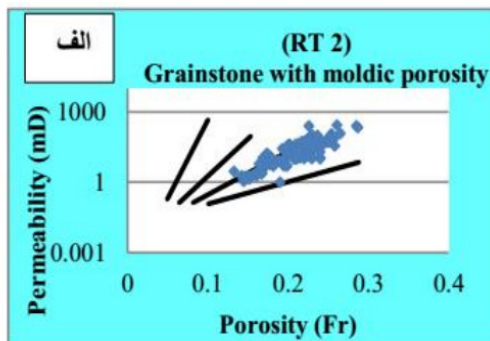
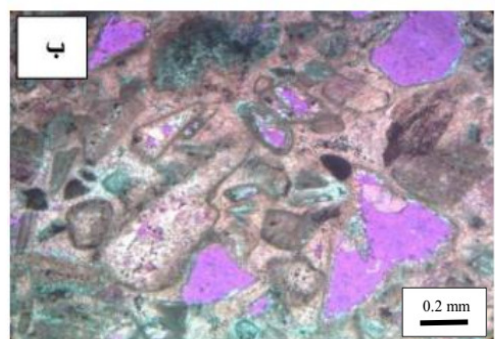
**گونه سنگی ۳: رودستون‌ها (RT 3):** این ریزرخساره در گونه پتروفیزیکی ۲ و ۳ لوسیا واقع شده است (شکل ۱۴). ایجاد تخلخل حفره‌ای و تخلخل شکستگی منجر به تراوایی نسبتاً بالا در این گونه سنگی شده است. این ریزرخساره نیز دارای کیفیت مخزنی بالایی است.

**گونه سنگی ۲: گرینستون با تخلخل قالبی (RT2):**

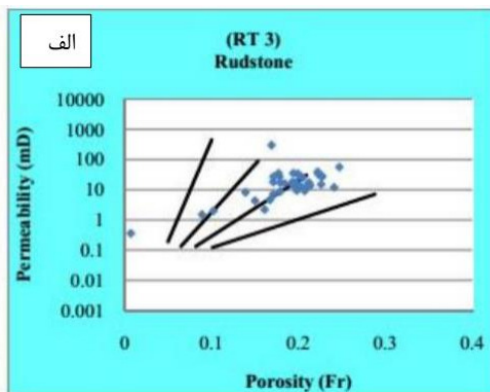
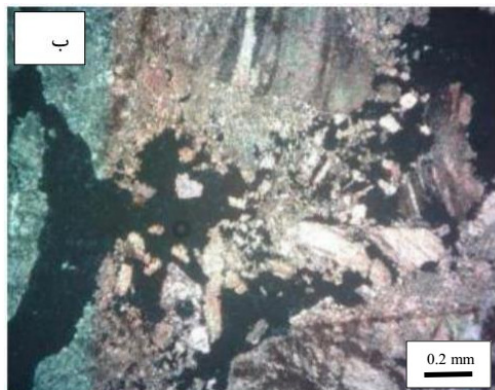
در این گونه سنگی، تخلخل عمدتاً از نوع قالبی مجزا به همراه مقداری از تخلخل بین‌دانه‌ای اولیه است و بخشی از تخلخل‌ها با سیمان دولومیتی از بین رفته است. این ریزرخساره بر اساس تخلخل‌های قالبی مجزا باید در گونه پتروفیزیکی ۳ لوسیا (لوسیا، ۱۹۸۳؛ ۲۰۰۷) واقع شود اما همانطور که از نمودار مربوط به شکل ۱۳ مشخص است مقداری به سمت گونه پتروفیزیکی ۲ لوسیا شیفت پیدا



شکل ۱۲. الف) گرینستون‌های با تخلخل بین‌دانه‌ای و بزرگ شده بر اثر انحلال، در ارتباط با نمودار پتروفیزیکی لوسیا (۱۹۸۳) و ب) تصویر میکروسکوپی مربوط به گونه سنگی ۱



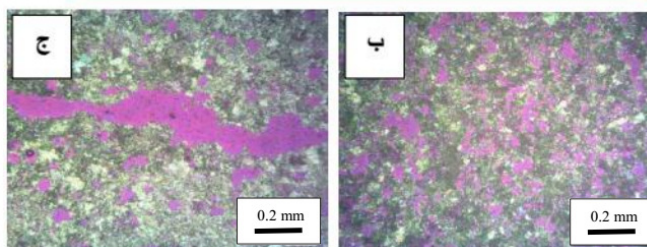
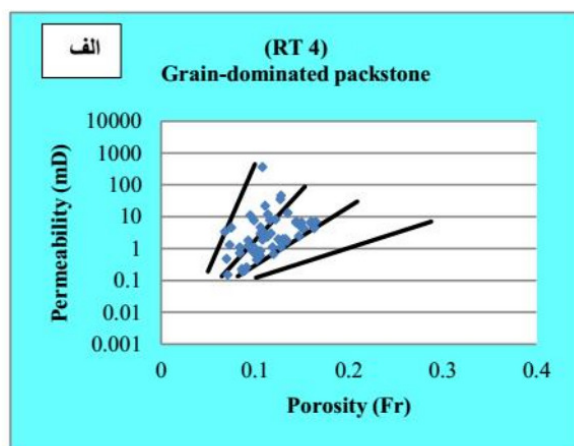
شکل ۱۳. الف) گرینستون‌های با تخلخل قالبی در ارتباط با نمودار پتروفیزیکی لوسیا (۱۹۸۳) و ب) تصویر میکروسکوپی مربوط به گونه سنگی ۲



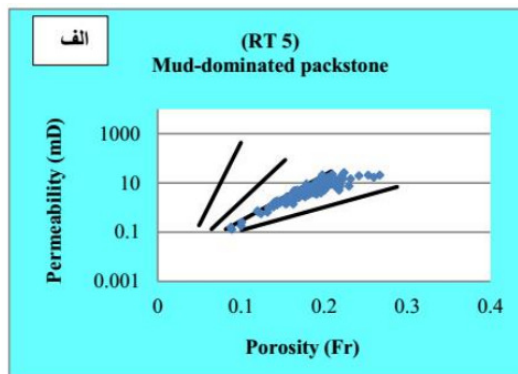
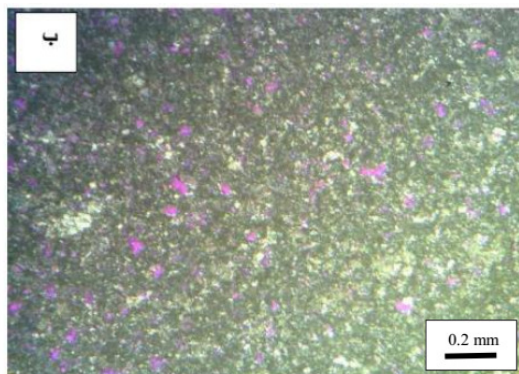
شکل ۱۴. الف) رودستون‌ها در ارتباط با نمودار پتروفیزیکی لوسیا (لوسیا، ۱۹۸۳). اکثر نمونه‌ها در گونه ۲ و ۳ واقع شده‌اند. ب) تصویر میکروسکوپی مربوط به گونه سنگی ۳

که باعث افزایش تراوایی شده است. کیفیت مخزنی این گونه، همانند ریزرخساره گرینستون و رودستون بالا است. **گونه سنگی ۵: پکستون گل‌غالب (RT5):** گروه دیگری از پکستون‌ها که به صورت گل‌غالب حاوی خرده‌های ریز بیوکلاستی و پلویید هستند و تا حدودی تحت تاثیر فرآیند انحلالی قرار گرفته‌اند و در گونه پتروفیزیکی ۳ لوسیا (۱۹۸۳) واقع شده‌اند (شکل ۱۶).

**گونه سنگی ۴: پکستون دانه‌غالب (RT4):** گروهی از پکستون‌ها، با فابریک دانه‌غالب هستند. کیفیت مخزنی این گونه سنگی هم تحت تاثیر دیاژنز و هم تحت تاثیر ریزرخساره است و در گونه پتروفیزیکی ۱ و ۲ لوسیا (لوسیا، ۱۹۸۳) واقع می‌شوند (شکل ۱۵، الف). در این گونه تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط به هم بسیار گسترش یافته است (شکل ۱۵، ب) و در مواردی علاوه بر تخلخل حفره‌ای، تخلخل شکستگی نیز وجود دارد (شکل ۱۵، ج)



شکل ۱۵. الف) پکستون‌های دانه‌غالب در ارتباط با نمودار پتروفیزیکی لوسیا (۱۹۸۳). همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌ها در گونه ۲ و ۳ لوسیا (۱۹۸۳) واقع شده‌اند. تصاویر میکروسکوپی مربوط به گونه سنگی ۴، ب) تخلخل حفره‌ای مرتبط به هم، ج) گسترش تخلخل حفره‌ای همراه با تخلخل شکستگی

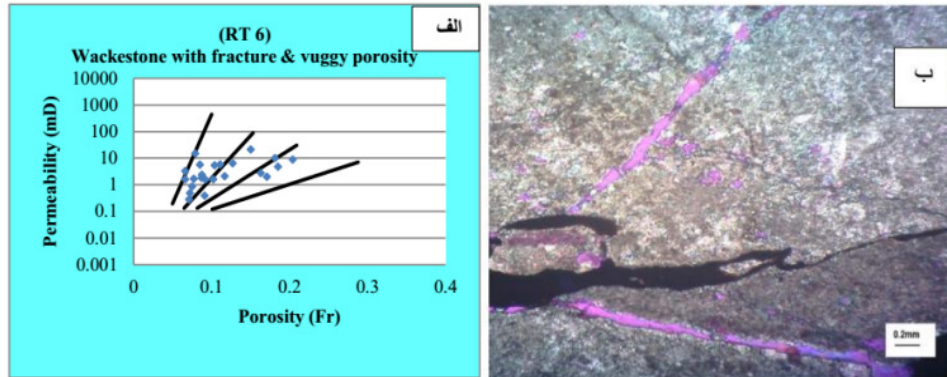


شکل ۱۶. الف) پکستون‌های گل‌غالب در ارتباط با نمودار پتروفیزیکی لوسیا (۱۹۸۳). همانطور که مشاهده می‌شود غالب نمونه‌ها در گونه ۳ لوسیا (۱۹۸۳) واقع شده‌اند و ب) تصویر میکروسکوپی مربوط به گونه سنگی ۵

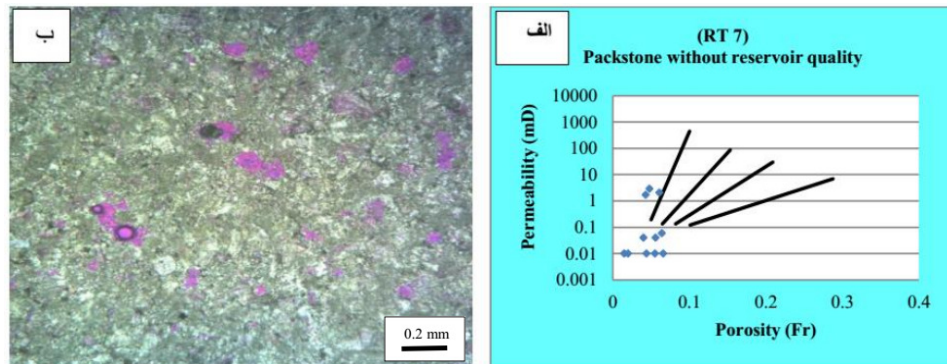


گونه سنگی ۷: پکستون‌های با تخلخل و تراوایی پایین (RT7): این گروه از پکستون‌ها، در نزدیکی مبدأ مختصات در نمودار تخلخل و تراوایی واقع شده و کیفیت مخزنی پایینی دارند. علت این امر، وجود تخلخل‌های بسیار پایین و از نوع حفره‌ای غیرمرتبط است (شکل ۱۸).

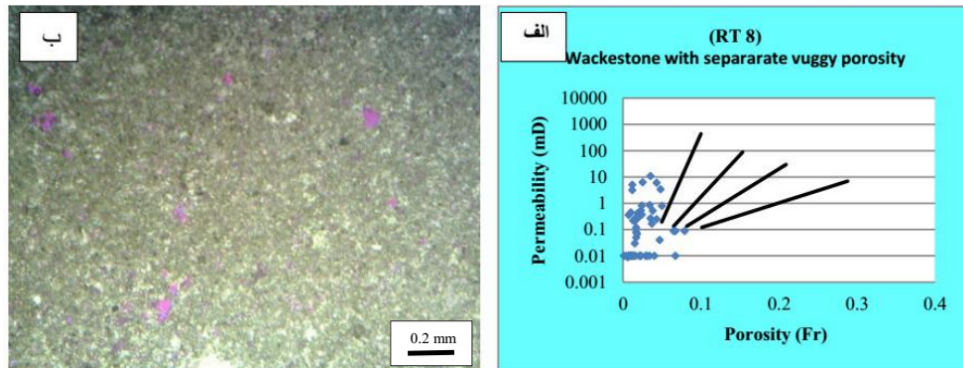
گونه سنگی ۶: وکستون‌ها با تخلخل حفره‌ای و شکستگی (RT6): وکستون‌ها به طور معمول در گروه ۳ لوسیا (۱۹۸۳) واقع می‌شوند، اما در این مخزن به علت تاثیر فرایندهای دیاژنزی (انحلال و شکستگی)، کیفیت مخزنی بهبود یافته است و بیش‌تر در گونه ۱ لوسیا (۱۹۸۳) قرار گرفته‌اند (شکل ۱۷، الف، ب).



شکل ۱۷. الف) وکستون‌های با تخلخل حفره‌ای و شکستگی در ارتباط با نمودار پتروفیزیکی لوسیا (۱۹۸۳) و ب) تصویر میکروسکوپی مربوط به گونه سنگی ۶



شکل ۱۸. الف) پکستون‌های با کیفیت مخزنی پایین در ارتباط با نمودار پتروفیزیکی لوسیا (۱۹۸۳)، همانطور که مشاهده می‌شود غالب نمونه‌ها تراوایی کمتر از ۰/۱ میلی‌داری دارند و ب) تصویر میکروسکوپی مربوط به گونه سنگی ۷



شکل ۱۹. الف) موقعیت وکستون‌ها در ارتباط با نمودار پتروفیزیکی لوسیا (۱۹۸۳) که به دلیل شرایط رسوب‌گذاری، کیفیت مخزنی خوبی ندارند. ب) تصویر میکروسکوپی مربوط به گونه سنگی ۸

تراوایی و ریزرخساره‌های میکروسکوپی به طور خلاصه نشان داده شده است. هیستوگرام انواع گونه‌های سنگی در ارتباط با تخلخل و تراوایی آن‌ها در شکل ۲۰ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، گونه‌های سنگی ۱ تا ۶ از کیفیت مخزنی خوبی برخوردار هستند؛ اما دو گونه سنگی ۷ و ۸ به علت داشتن متوسط تخلخل کمتر از ۰.۵٪ و تراوایی پایین، از کیفیت مخزنی پایینی برخوردار هستند.

**گونه سنگی ۸: وکستون با تخلخل حفره‌ای مجزا (RT 8):** دسته‌ای از وکستون‌ها به علت تخلخل بسیار پایین و آن هم از نوع حفره‌ای غیرمرتبط دارای کیفیت مخزنی پایینی هستند. این وکستون‌ها، در نزدیکی مبدأ مختصات در نمودار تخلخل و تراوایی واقع شده و کیفیت مخزنی پایینی دارند (شکل ۱۹). در جدول ۱ مشخصات پتروفیزیکی انواع گونه‌های سنگی شناسایی شده در این مخزن در ارتباط با تخلخل و

جدول ۱. انواع گونه‌های سنگی پتروفیزیکی مختلف در ارتباط با تخلخل و تراوایی در مخزن فهلیان

گروه سنگی (RT)	رخساره میکروسکوپی	تخلخل (%)			تراوایی (mD)		
		حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر
۱	گرینستون با تخلخل بین دانه‌ای	۸	۱۴/۲۳۷	۲۰/۲	۱	۲۳۸/۷۷۵	۹۲۵
۲	گرینستون با تخلخل قالبی	۱۳/۳	۲۰/۸۴۸	۲۸/۷	۱	۳۳/۵۷۳	۲۷۰
۳	رودستون	۸/۹	۱۹/۰۵۷	۲۴/۷	۱/۵	۲۶/۴۴۸	۳۰۱
۴	پکستون دانه غالب با تخلخل شکستگی	۶/۸	۱۱/۴۳۵	۱۶/۵	۰/۱۵	۱۱/۳۵۳	۳۶۶
۵	پکستون گل غالب	۸/۸	۱۸/۲۶۰	۲۶/۷	۰/۱۳	۶/۵۲۷	۲۷
۶	وکستون با تخلخل شکستگی و حفره‌ای	۶/۶	۱۱/۱۴۴	۲۰/۴	۰/۲۸	۴/۶۱۶	۲۱
۷	پکستون با تخلخل و تراوایی پایین	۱/۵	۴/۹۴۲	۸/۱	۰/۰۱	۰/۵۷۵	۲/۹
	وکستون با تخلخل حفره‌ای مجزا	۰/۱	۲/۳۰۵	۷/۹	۰/۰۰۹	۰/۷۱۶	۱۱

### فرآیند دولومیتی شدن

مهم‌ترین جنبه دولومیتی شدن درباره‌ی تاثیرگذاری بر تخلخل، افزایش اندازه فضاهاى خالی و در نتیجه افزایش اندازه ذرات از ریزبلور به متوسط تا درشت‌بلور در فابریک‌های گل‌افزون است (چوکت و پری، ۱۹۷۰). در اکثر بخش‌های مورد مطالعه دولومیتی شدن باعث ایجاد تخلخل بین‌بلوری شده است (شکل ۲۱، الف، ب، ج). باید توجه داشت دولومیتی شدن علاوه بر افزایش، تخلخل‌های

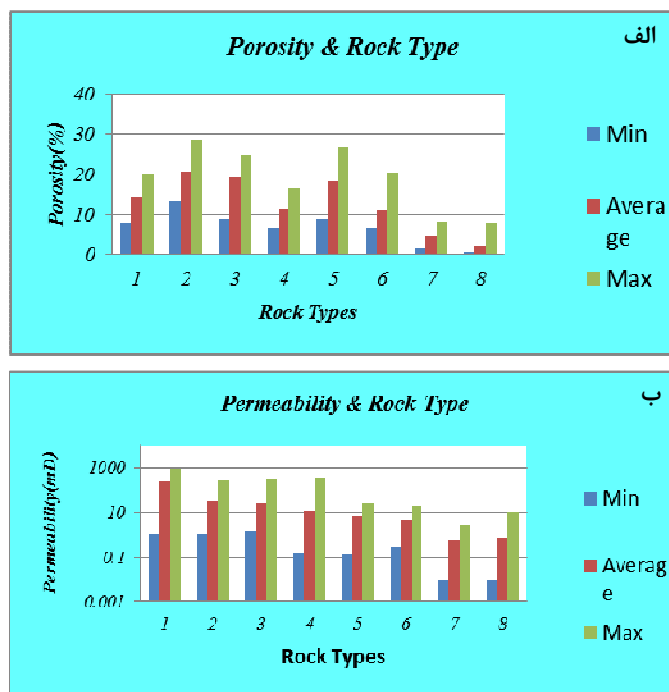
### نقش رخدادهای دیاژنزی بر تخلخل و کیفیت

#### مخزنی سازند مورد مطالعه

بیش‌ترین رخدادهای دیاژنتیکی موثر بر افزایش تخلخل در سازند فهلیان شامل دولومیتی شدن، شکستگی و انحلال است. در حالی‌که رخدادهای فشردگی و سیمانی شدن باعث کاهش تخلخل در سازند مورد مطالعه شده است و رخدادهای نفومورفیسیم، میکریتی شدن تاثیر چندانی بر تخلخل ندارند.

تخلخل بین‌بلوری باشد در افزایش تخلخل نقش به‌سزایی خواهد داشت. در سازند فهلیان در اثر دولومیتی شدن تخلخل بین‌بلوری نسبتاً فراوانی تشکیل شده است و باعث افزایش تخلخل گردیده است (شکل ۲۱، الف، ب، ج).

موجود را به یکدیگر مرتبط کرده و تراوایی را افزایش می‌دهد (شکل ۲۱، الف، ب، ج). دولومیتی شدن در مواردی که به صورت سیمان و یا به شکل دولومیتی شدن بیش از اندازه باشد باعث کاهش کیفیت مخزنی خواهد شد در حالی‌که اگر این فرایند همراه با ایجاد



شکل ۲۰. هیستوگرام انواع گونه‌های سنگی در ارتباط با الف) تخلخل و ب) تراوایی آن‌ها، مخزن فهلیان

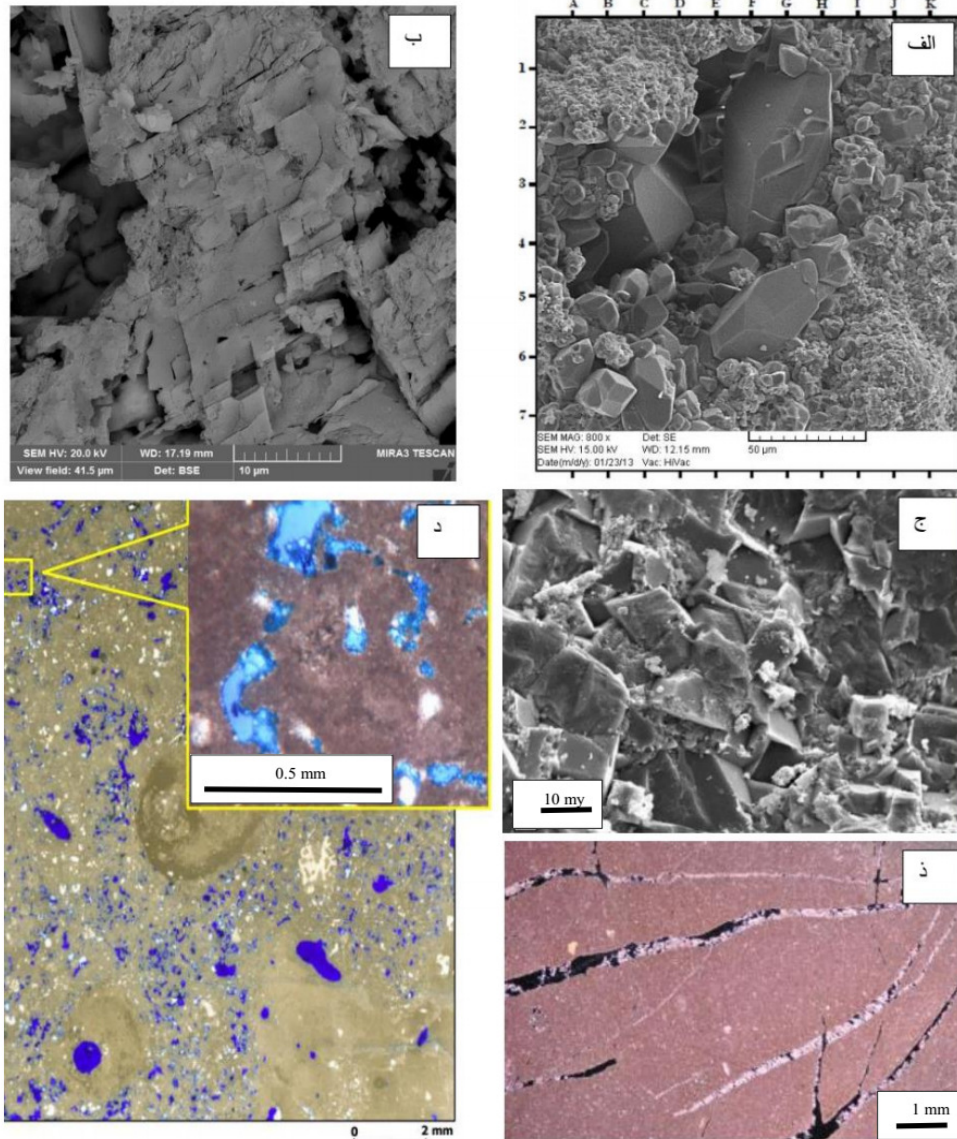
توسط مواد آلی نقش موثری در کیفیت مخزنی سازند فهلیان دارند (شکل ۲۱، د).

### فرایند انحلال

انحلال سنگ در آب تحت‌اشباع باعث تشکیل تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای و بین‌دانه‌ای افزایش یافته در سازند فهلیان شده است (شکل ۲۱، د). این نوع تخلخل‌ها منشا مشترک دارند و تفاوت آن‌ها در مقدار یا تاثیر انحلال است. جایگاه‌های زمین‌شناسی که فرایند انحلال در آن‌ها معمول است بر اساس مطالعات اهر (۲۰۰۸) عبارتند از: بالای ناحیه فریاتیک جوی، منطقه اختلاط و بخشی از ناحیه وادوز، انحلال به شکل خورده‌ای و افزایش در محیط تدفینی عمیق نیز هم رخ می‌دهد. که این نوع انحلال اصطلاحاً انحلال مزوزنتیکی نامیده می‌شود (چوکت و پری، ۱۹۷۰).

### فرآیند شکستگی

شکستگی در بهبود کیفیت مخزنی سازند مورد مطالعه تاثیر مثبت دارد. شکستگی‌های ایجاد شده در سازند فهلیان باعث افزایش میزان تخلخل شده‌اند. با توجه به اینکه در مواردی فضاهای خالی حاصل از شکستگی توسط کلسیت‌اسپاری پر نشده است، در نتیجه این فضاها به صورت مجرای برای عبور مواد هیدروکربنی عمل می‌کنند و باعث افزایش کیفیت مخزنی می‌شوند (شکل ۲۱، د). این نوع تخلخل در اثر شکستگی بویژه در مناطق تکتونیکی فعال بوجود می‌آید (چوکت و پری، ۱۹۷۰). تخلخل حاصل از شکستگی در صورت پرنشدن به لحاظ ایجاد معبر جهت حرکت مواد هیدروکربوری و سیال از اهمیت خاصی برخوردار است. این نوع تخلخل از نوع تخلخل‌های ثانویه بحساب می‌آید، که از فابریک سنگ تبعیت نمی‌کند (چوکت و پری، ۱۹۷۰). در سازند فهلیان عمده شواهد تخلخل حاصل از شکستگی و پرشدگی آن



شکل ۲۱. الف، ب و ج) تخلخل بین‌بلوری ایجاد شده که باعث افزایش تخلخل شده است. د) فرایند انحلال که باعث ایجاد تخلخل حفره‌ای و قالبی شده است که بوسیله سیمان پر نشده‌اند و نقش موثری در کیفیت مخزنی سازند فلهلیان دارند. ب) تخلخل ایجاد شده بر اثر شکستگی که بوسیله مواد آلی پر شده است و نقش موثری در کیفیت مخزنی سازند فلهلیان دارند.

### نتیجه‌گیری

با بررسی‌های پتروگرافی، محیط‌رسوبی توالی کربناته سازند فلهلیان یک رمپ کربناته هموکلینال و شامل ۱۹ ریزرخساره متعلق به بخش‌های پهنه جزرومدی، لاگون، سد و دریای باز است. فرایندهای فشردگی، دولومیتی شدن، سیمانی شدن و انحلال به ترتیب مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیکی تاثیرگذار بر کیفیت مخزنی سازند فلهلیان هستند. با توجه به نقش بافت رسوبی و عملکرد دیاژنز در چگونگی توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی،

بررسی‌ها نشان داد که عملکرد دیاژنز نقش موثرتری در این توزیع و نهایتاً کیفیت مخزنی داشته است. به نظر می‌رسد کیفیت مخزنی مناسب در مخزن مورد مطالعه متعلق به گرینستون‌ها و رودستون‌ها است.

### تشکر و قدردانی

از داوران محترم این نشریه که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- Alavi, M (2007) Structures of the Zagros Fold - Thrust belt in Iran, *American Journal of Sciences*, 307: 1064-1095.
- Avarjani, S., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Amiri-Bakhtiari, H., Brenner, R. L (2015) Facies, depositional sequences, and biostratigraphy of the Oligo-Miocene Asmari Formation in Marun oilfield, North Dezful Embayment, Zagros Basin, SW Iran. *Palaeoworld*, 24: 336-358.
- Berbier, M., Hamon, Y., Callot, J. P., Floquet, M., Daniel, J. M (2012) Sedimentary and diagenetic controls on the multiscale fracturing pattern of carbonate reservoir: The Madison Formation (Sheep Mountain, Wyoming, USA). *Marine and Petroleum Geology*, 29: 50-67.
- Brandano, M., Frezza, V., Tomassetti, L., Cuffaro, M (2009) Heterozoan carbonates in oligotrophic tropical waters: the Attard Member of the Lower Coralline Limestone Formation (Upper Oligocene, Malta). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 274: 54-63.
- Brandano, M., Loche, M (2014) The Coniacian-Campanian Latium-Abruzzi carbonate platform, an example of a facies mosaic, *Facies*, 60: 489-500.
- Budd, D. A., Frost, E. L., Huntington, K. W., Allwardt, P. F (2013) Syndepositional deformation features in high-relief carbonate platforms: long-lived conduits for diagenetic fluids, *Journal of Sedimentary Research*, 83: 12-36.
- Choquette, P. W., Pray, L. C (1970) Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association Petroleum Geology Bulletin*, 54: 207-250.
- Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E., (Eds.) *Classification of carbonate rocks, American association of petroleum geologists members*, 1: 108-121.
- Embry, A. F., Kloven, J. E (1971) A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories, *Bulletin Canadian Petroleum Geology*, 19: 730-781.
- Flügel, E (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*, Springer-Verlag, Berlin, 984 p.
- Gatt, P. A., Gluyas, J. G (2012) Climatic controls on facies in Palaeogene Mediterranean subtropical carbonate platforms, *Petroleum Geoscience*, 18: 355-367.
- Geel, T (2000) Recognition of stratigraphic sequences in carbonate platform and slope deposits, Empirical model based on microfacies analysis of Paleogene deposits in southeastern Spain, *Palaeogeography, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 161: 1-15.
- آزادشهرکی، ل. رحیم‌پوربناب، ح. رنجبران، م (۱۳۹۶) محیط رسوبی، دیاژنز و چین‌نگاری سازند فهلیان در چاه B میدان نفتی کیلورکریم. *نشریه رسوب‌شناسی کاربردی*، دوره ۵، شماره ۱۰، ص ۸۰-۶۴.
- امینی، ع (۱۳۸۷) مطالعه محیط‌های رسوبی دیرینه: ارایه مدل رسوبی در برابر بازسازی شرایط محیطی، با مثالی از سازند آسماری، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۸ ص.
- ده‌کار، ع، سجادیان، و. الف.، نورا، م. ر.، شعبانی‌گورچی، ک.، امرایی، ع (۱۳۹۹) تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند فهلیان در میدان نفتی اروند. *نشریه رسوب‌شناسی کاربردی*، دوره ۸، شماره ۱۵، ص ۲۰۷-۲۲۷.
- راکی، ع.، یزدانی، م (۱۳۸۶) مجموعه اطلاعات مغزه‌ها، گزارش شماره پ-۵۹۶۵، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.
- کرامتی، م (۱۳۹۳) مبانی مطالعات، توسعه و مدیریت یکپارچه مخازن هیدروکربنی، پژوهشگاه صنعت نفت، ۴۳۲ ص.
- مطیعی، ه (۱۳۷۴) زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس جلد ۱، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۸۹ ص.
- نوری، ح. رحیم‌پوربناب، ح (۱۳۹۴) محیط‌رسوبی و تاریخچه دیاژنز سازند فهلیان در تاق‌دیس لار، جنوب زون ایذه. میدان نفتی کیلورکریم. *نشریه رسوب‌شناسی کاربردی*، دوره ۳، شماره ۶، ص ۲۵-۱.
- Abedpour, M., Afghah, M., Ahmadi, V., Dehghanian, M (2016) Biostratigraphic and Lithostratigraphic Study of Fahliyan Formation in Kuh-E-Siah (Arsenjan Area, North-East of Fars Province). *Open Journal of Geology*, 6: 1605-1618.
- Adabi, M. H., Kakemem, U., Sadeghi, A (2016) Sedimentary facies, depositional environment, and sequence stratigraphy of Oligocene-Miocene shallow water carbonate from the Rig Mountain, Zagros basin (SW Iran), *Carbonates Evaporites*, 31: 69-85.
- Adabi, M. H., Salehi, M. A., Ghabeishavi, A (2010) Depositional environment, sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), south-west Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 39: 148-160.
- Ahr, W. M (2008) *Geology of carbonate reservoirs: The identification, description, and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks*, John Wiley & Sons, Inc., 277 p.

- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Enayati-Bidgoli, A.H., Omidvar, M (2012) Coupled imprints of tropical climate and recurring emersions on reservoir evolution of a mid-Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, SW Iran, *Cretaceous Research*, 37: 15-34.
- Rostami, L., Vaziri, S. H., Jahani, D., Solgi, A., Taherpour Khalil Abad, M., Carević, I., Yahyaei, A (2019) Neocomian Fahliyan formation carbonates in the oil well X2 (Dorood oil field, Persian Gulf): Biostratigraphic data from benthic foraminifera and algae. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 11(3): 173-182.
- Rowlands, G., Purkis, S., Bruckner, A (2014) Diversity in the geomorphology of shallow-water carbonate depositional systems in the Saudi Arabian Red Sea, *Geomorphology*, 222: 3-13.
- Sahraeyan, M., Bahrami, M., Hooshmand, M., Ghazi, S. H., Al-Juboury, A. I (2013) Sedimentary facies and diagenetic features of the Early Cretaceous Fahliyan Formation in the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 87: 59-70.
- Shabafrooz, R., Mahboubi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Moussavi-Harami, R., Ghabeishavi, A., Al-Aasm, I. S (2015) Facies analysis and carbonate ramp evolution of Oligo-Miocene Asmari Formation in the Gachsaran and Bibi-Hakimeh oilfields and the nearby Mish Anticline, Zagros Basin, Iran, *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 276: 121-146.
- Sibley, D. F., Gregg, J. M (1987) Classification of dolomite rock textures, *Journal of Sedimentary Petrology*, 57: 967-975.
- Warren, J. K (2006) *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*, Springer, Berlin, 1036 p.
- Wilson, J. L (1975) *Carbonate facies in geologic history*, New York (Springer), 411 p.
- Zhang, H., Peng, J., Lin, X., Li, B., Xia, Q (2018) Diagenesis and its controlling factors of Lower Donghetang Formation tight sandstone reservoir in Bachu area, Tarim Basin, China. *Geosciences Journal*, 22 (2): 327- 336.
- Zhang, O., Willems, H., Ding, L (2013) Evolution of the Paleocene-Early Eocene larger benthic foraminifera in the Tethyan Himalaya of Tibet, China, *International Journal of Earth Sciences*, 102: 1427-1445.
- Ziegler, M. A (2001) Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*, 3: 445-504.
- Palaeoclimatology, *Palaeoecology*, 155: 211-238.
- Hips, K., Haas, J (2009) Facies and diagenetic evaluation of the Permian-Triassic boundary interval and basal Triassic carbonates: shallow and deep ramp sections, Hungary, *Facies*, 55: 421-442.
- Hontzsch, S., Scheibner, C., Kuss, J., Marzouk, A., Rasser, M (2011) Tectonically driven carbonate ramp evolution at the southern Tethyan shelf: the Lower Eocene succession of the Galala Mountains, Egypt, *Facies*, 57: 51-72.
- Jamalian, M., Adabi, M. H., Moussavi, M. R., Sadeghi, A., Baghbani, D., Ariyafar, B (2011) Facies characteristic and paleoenvironmental reconstruction of the Fahliyan Formation, Lower Cretaceous, in the Kuh-e Siah area, Zagros Basin, southern Iran. *Facies*, 57: 101-122. Doi: 10.1007/s10347-010-0231-3.
- Jamalian, M., Adabi, M. H (2014) Geochemistry, microfacies and diagenetic evidences for original aragonite mineralogy and open diagenetic system of Lower Cretaceous carbonates Fahliyan Formation (Kuh-e Siah area, Zagros Basin, South Iran). *Carbonates Evaporites*, DOI 10.1007/s13146-014-0211-8
- Khosravi, M., Lasemi, Y., and Feizi, M (2009) Platform to basin facies transition in the Lower Cretaceous Fahliyan Formation: evidence for the formation of garu intra. *Proceedings of the 1st International Petroleum Conference and Exhibition*. European Association of Geoscientists and Engineers, EAGE, Shiraz, Iran.
- Lucia, F. J (1983) Petrophysical parameters estimated from visual descriptions of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space, *Journal of Petroleum Technology*, 35: 629-637.
- Lucia, F. J (2007) *Carbonate reservoir characterization*, Second edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 236 p.
- Makhloufi, Y., Collin, P. Y., Bergerat, F., Casteleyn, L., Claes, S., David, C., Menendez, B., Monna, F., Robion, P., Sizun, J. P., Swennen, R., Rigollet, C (2013) Impact of sedimentology and diagenesis on the petrophysical properties of a tight oolitic carbonate reservoir. The case of the Oolithe Blanche Formation (Bathonian, Paris Basin, France), *Marine and Petroleum Geology*, 48: 323-340.
- Mobasher, K., Babaie, H. A (2008) Kinematic significance of fold- and fault-related fracture systems in the Zagros Mountains, southern Iran. *Tectonophysics*, 451: 156-169.
- Pomar, L (2001) Types of carbonate platforms: a genetic approach, *Basin Research*, 13: 313-334.