

## تحلیل رخساره‌ای، ویژگی‌های دیاژنتیکی و شرایط محیطی سازند زاکین در بخش مرکزی خلیج فارس

جواد امرائی<sup>۱</sup>، پیمان رضائی\*<sup>۲</sup>، عبدالحسین امینی<sup>۳</sup>، سید محمد زمانزاده<sup>۴</sup> و وحید توکلی<sup>۵</sup>

۱ و ۲ - گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۳ و ۵ - دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

۴ - گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

نویسنده مسئول: P.rezaee@hormozgan.ac.ir

دریافت: ۹۷/۱۱/۲۷ پذیرش: ۹۸/۳/۱۱

### چکیده

نهشته‌های آواری پالئوزوئیک به ویژه سازندهای زاکین و فراقان در برخی موقعیت‌های ورقه عربی، ایجاد مخازن هیدروکربوری نموده است ولی استعداد مخزنی این سازندها در بخش مرکزی خلیج فارس و شمال این صفحه تاکنون مطالعه نشده است. در این تحقیق نهشته‌های سازند زاکین با سن دونین (ژیوسین تا فامنین) برای اولین بار در بخش مرکزی خلیج فارس به طور کامل در یک چاه اکتشافی مورد بررسی قرار گرفت. این برش بر روی صفحه عربی قرار دارد و دارای بیشترین ضخامت گزارش شده از سازند زاکین است. مطالعه این سازند با استفاده از مقاطع نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری صورت گرفته است و بر اساس مشخصات سنگ‌شناسی بخش‌های آواری (پتروفاسیس‌ها) و بخش کربناته (ریزرخساره‌ها) و پدیده‌های دیاژنتی، شرایط محیط رسوبی آن‌ها بازسازی شده است. بررسی‌های سنگ‌شناسی موید حضور پتروفاسیس‌های کوارتزآرنایت، ساب‌آرکوز، آرکوز، سیلتستون، رس‌سنگ و گل‌سنگ و ریزرخساره گل‌سنگ آهکی است. بر اساس مشخصات رسوب‌شناسی و روند نگار گاما، سازند زاکین در یک محیط دریایی کم عمق آواری شامل سه زیرمحیط دشت ساحلی، ساحلی و تبدیل تدریجی دور از ساحل نهشته شده است. مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنتیکی در این سازند شامل فشرده‌گی، سیمانی‌شدن، سریسیتی‌شدن، جان‌شینی، نوشکلی و دگرسانی فلدسپارها می‌باشد. تنوع سنگ‌شناسی و تغییرات محیطی این سازند، شرایط مناسبی جهت مطالعات امکان‌سنجی مخازن هیدروکربوری را ایجاد نموده است.

**واژه‌های کلیدی:** سازند زاکین، پالئوزوئیک، تحلیل رخساره‌ای، شرایط محیطی، خلیج فارس

### مقدمه

دونین بالایی (فامنین) است. این سازند در بخش‌های مختلفی از ایران نظیر اشرانکوه، کبیرکوه، زردکوه، چالیشه، کوه دینار، کوه گر، کوه لاجین، کوه سبزو، کوه سورمه، کوه فراقان و کوه گهکم دارای رخنمون است. علاوه بر این، سازند زاکین در حفاری‌های صورت گرفته در چاه‌های فینو-۱، نمک-۱، دالان ۱ و ۲، کبیرکوه-۱، کوه‌سیاه-۱، زیره -۱، هلیلان-۱، سمند-۱، زیره-۱، نور-۱ و دارنگ-۱ در جنوب و جنوب‌غرب ایران، شناسایی شده است (قویدل سیوکی، ۱۹۹۷b؛ زاو و خردپیر، ۱۹۷۸). از لحاظ شرایط ته‌نشینی، رسوبات آواری هم‌ارز این سازند در شرق ایران (سازند بهرام با سن دونین میانی-پسین) شرایط مشابه نیمه حاره‌ای فعلی را نشان می‌دهند (حسین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به استخراج گاز و نفت سبک در سازندهای معادل زاکین در کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس از جمله عربستان

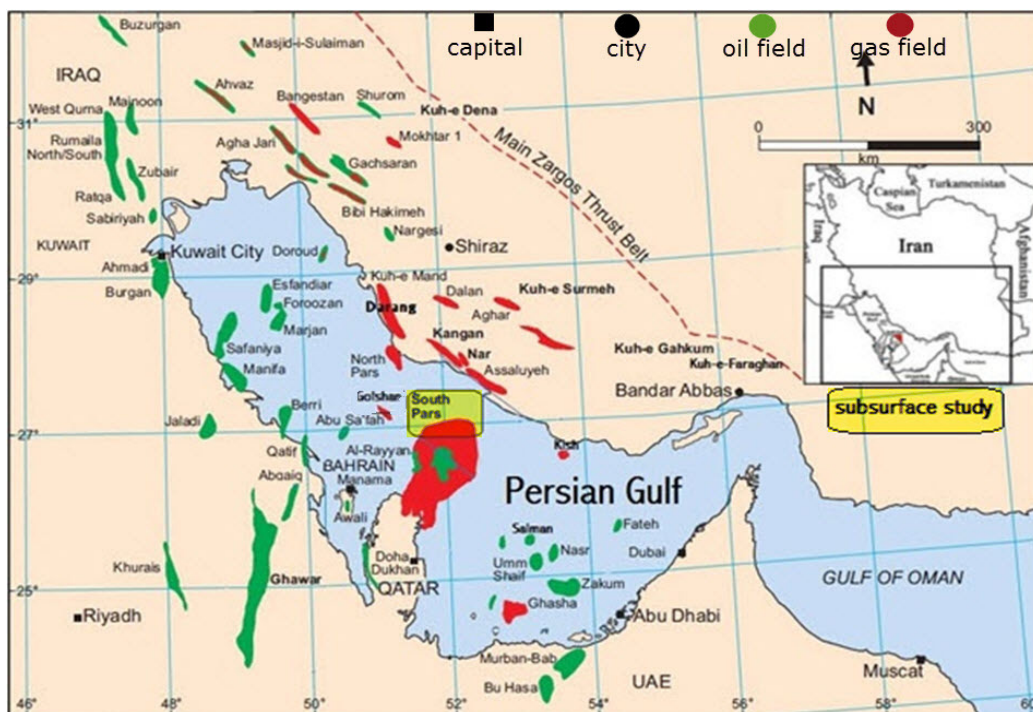
نهشته‌های آواری پالئوزوئیک زاگرس نخستین بار در کوه فراقان (ملازال، ۱۹۶۵؛ زاو، ۱۹۷۷) و کوه گهکم (زاو، ۱۹۷۷) مورد بررسی قرار گرفتند. این نهشته‌های آواری در ناحیه زاگرس که در برگیرنده یک ناپیوستگی حدود ۶۰ تا ۷۰ میلیون سال است و طبق بررسی‌های پالینولوژی، رسوبات بخش زیرین این ناپیوستگی که سن دونین (لوخووین تا فراسنین)<sup>۱</sup> را دارد به نام سازند زاکین و رسوبات بالای آن را به نام سازند فراقان (ساکمارین) معرفی شده‌اند (قویدل، ۱۳۷۷) ولی طبق مطالعات پالینولوژی (گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۶) در بخش مرکزی خلیج فارس نهشته‌های سازند زاکین بیانگر زمان انتهای دونین میانی (ژیوسین) تا

<sup>1</sup> Lochkovian-Frasnian

نظیر ترکیه، عمان، سوریه و عراق نهشته شده‌اند (کنت و همکاران، ۲۰۰۱). در این تحقیق، داده‌های مربوط به سازند زاکین، برای اولین بار در بخش مرکزی خلیج فارس (شکل ۱) مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه حاضر مشخصات سنگ‌شناسی، نوع رخساره‌ها، دیاژنز و شرایط محیطی این سازند را به عنوان پایه‌ای برای مطالعه کیفیت مخزنی بررسی کرده است.

هدف اصلی این مطالعه معرفی رخساره‌ها، بازسازی شرایط محیطی و بررسی عوامل دیاژنزی موثر بر این سازند در بخش مرکزی خلیج فارس است تا بتوان با مقایسه با رخنمون‌های این سازند (زمانزاده، ۱۳۸۷) در مورد گسترش جانبی آن در منطقه اظهار نظر نمود. از طرفی، با توجه به جایگاه چینه‌شناسی سازند زاکین (شکل ۲) در زیر سازندهای کنگان و دالان، به عنوان سنگ مخزن بزرگ‌ترین ذخیره گازی خاورمیانه و در بالای سازندهای شیلی سیاهو و سرچاهان به عنوان سنگ منشا هیدروکربورهای مخازن کنگان و دالان (کمالی و رضایی، ۲۰۰۳)، اهمیت انجام این بررسی دوچندان می‌گردد.

(نائیجی، ۱۳۸۵) و اثبات وجود شرایط مخزنی (گزارش داخلی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶)، مطالعه و شناسایی این سازند در خلیج فارس دارای اهمیت فراوانی است. از آنجایی که نوع رخساره‌های رسوبی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل کننده تولید هیدروکربن در بسیاری از مخازن است (تقوی و همکاران، ۲۰۰۶؛ لوسیا، ۲۰۰۷؛ آهر، ۲۰۰۸؛ مور و همکاران، ۲۰۱۳) و کیفیت مخزنی محصول واکنش بین ویژگی‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنتیکی است (رونچی، ۲۰۱۰). این مطالعه به معرفی نوع رخساره‌ها و تاثیر فرآیندهای دیاژنزی پرداخته است. علیرغم مطالعات متعدد بر روی رخنمون‌های سازند زاکین (زمانزاده، ۱۳۸۷؛ زلیخایی، ۱۳۹۳؛ قویدل سیوکی، ۱۹۸۸، ۱۹۹۷a، ۱۹۹۷b، ۱۹۹۹، ۲۰۰۳)، مطالعات اندکی بر روی مشخصات سنگ‌شناسی و بازسازی شرایط تهنشینی آن در برش‌های زیرسطحی در خلیج فارس صورت گرفته است (برای مثال گزارش داخلی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶). در مقایسه با کشورهای مجاور، بخش بالایی سازند تاویل<sup>۱</sup> و سازندهای جوف<sup>۲</sup> و جبه<sup>۳</sup> در عربستان معادل سازند زاکین در ایران هستند هم‌چنین، معادل‌های این سازند در سایر کشورهای

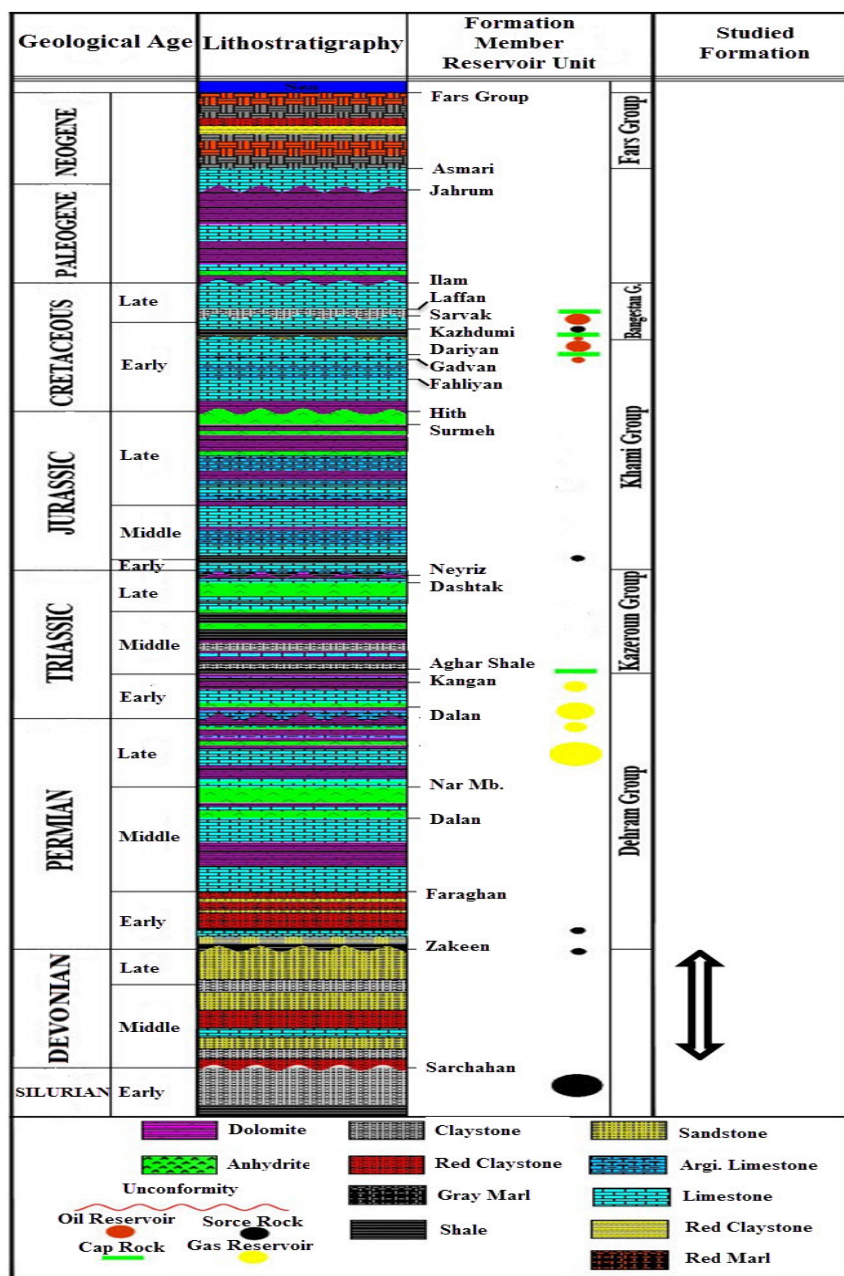


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (بخش زرد رنگ، با تغییراتی از اینسالاکو و همکاران، ۲۰۰۶)

<sup>1</sup> Tawil

<sup>2</sup> Jauf

<sup>3</sup> Jubah



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی بخش مرکزی خلیج فارس، طبق مطالعات پالینولوژی، دونین در خلیج فارس شامل بخش‌های میانی و بالایی است (گزارش داخلی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶).

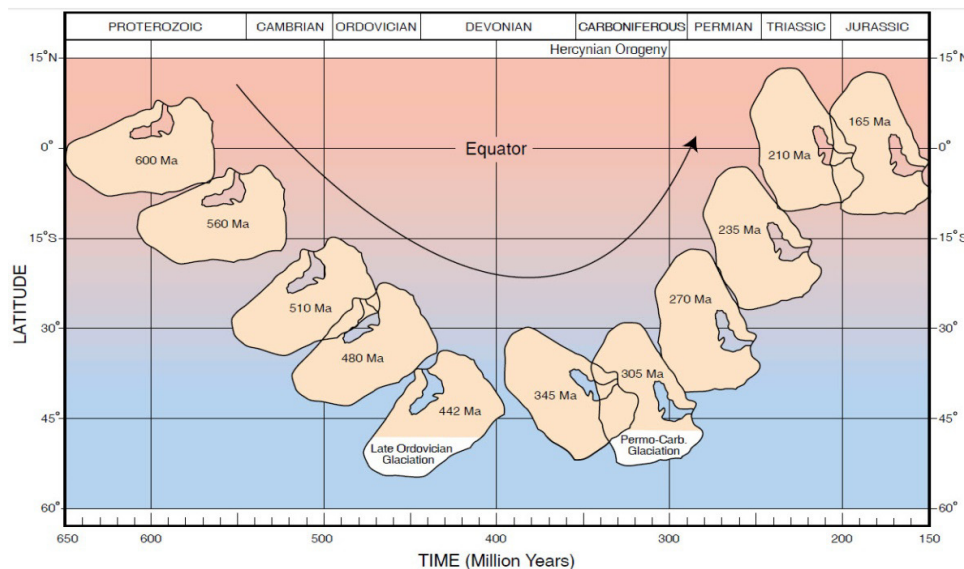
### موقعیت زمین‌شناسی

شده است (مک کلار، ۱۹۷۸؛ وسلت، ۱۹۹۰). در زمان سیلورین، دونین و کربنیفر، این صفحه حدود ۱۰۰ درجه در جهت گردش ساعت چرخش داشت. در زمان پرمین بازشدگی نئوتتیس به طور بخشی، همزمان با یک حرکت راستگرد لورازیا نسبت به گندوانا صورت گرفته است (موتونی و همکاران، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۹b). در کربنیفر پسین و پرمین پیشین، با آرام گرفتن رخداد زمین‌ساختی هرسی‌نین و حرکت‌های رو به پایین زمین،

حوضه رسوبی خلیج فارس به عنوان بخشی از صفحه عربی، در زمان پرکامبرین، نزدیک خط استوا قرار داشت (شکل ۳). ایران و خلیج فارس در شمال این صفحه واقع بود که در حرکات بعدی این صفحه در زمان‌های مختلف پالتوزوئیک در موقعیت‌های مختلفی قرار گرفت. در اردویسین پایانی این تغییر مکان به جنوبی‌ترین وضعیت خود منجر شد که رسوبات دوره یخبندان در آن گزارش

نهبشته‌ها معرف دونین (لوخوین-فرانسین) هستند (قویدل‌سیوکی، ۱۹۸۸). ترکیب سنگ‌شناسی سازند زاکین در برش مورد مطالعه بیش‌تر شامل ماسه‌سنگ، سیلتستون و رس‌سنگ است (شکل ۴) که در بالا و پایین مقداری کربنات نیز دارد. این سازند با یک ناپیوستگی فرسایشی بر روی نهبشته‌های به سن سیلورین (سازند سرچاهان) قرار دارد و مرز بالایی سازند زاکین با نهبشته‌های آواری سازند فراقان نیز به صورت ناپیوستگی فرسایشی است (قویدل‌سیوکی، ۱۳۶۹).

شرایط لازم برای پیشروی گسترده دریا فراهم شده به گونه‌ای که بسیاری از فراپوم‌های قدیمی از جمله زاگرس با دریای کم‌زرفا و پیشرونده پرمین پوشیده شدند با پیشروی دریا بر روی صفحه عربی، ابتدا سازند کم‌عمق و آواری فراقان با یک ناپیوستگی بر روی آواری‌های دونین ته‌نشین شده و با ادامه پیشروی و افزایش عمق آب، رمپ کربناته بر روی صفحه عربی تشکیل و سازندهای کربناته و تیخیری دالان و کنگان نهبشته شده‌اند (آقناباتی، ۱۳۸۷). در گذشته این سازند را به پرموکربونیفر یا دونین نسبت می‌دادند اما مطالعه گرده‌ریخت‌ها<sup>۱</sup> نشان داد این



شکل ۳. نقشه وضعیت صفحه عربی و خلیج فارس در طول پالئوزوئیک (کنرت و همکاران، ۲۰۰۱)

دانه و ریزدانه) و کربناته تهیه گردید که با استفاده از میکروسکپ پلاریزان استاندارد (مدل Nikon Eclipse LV100POL) مورد مطالعه قرار گرفتند. جهت تعیین درصد فراوانی اجزای تشکیل‌دهنده سنگ، از جداول مقایسه‌ای استاندارد یاسلی و بوسلینی (۱۹۶۵) و برای نام‌گذاری پتروفاسیس‌های آواری از طبقه‌بندی پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۵) و بلت و همکاران (۱۹۸۰) و برای نام‌گذاری ریزرخساره کربناته از روش دانهام (۱۹۶۲) استفاده شده است. برای بررسی ترکیب کانی‌شناختی رخساره‌های دانه‌ریز و نوع کانی‌های رسی موجود در آن‌ها تعداد ۲۵ نمونه از این رخساره‌ها مورد آنالیز پراش پرتو ایکس<sup>۲</sup> با دستگاه فیلیپس<sup>۳</sup> مدل (PW1800) در

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش، سازند زاکین با ضخامت ۵۳۰ متر در یکی از میداین هیدروکربوری واقع در بخش مرکزی خلیج فارس با استفاده از خرده حفاری از عمیق‌ترین چاه اکتشافی این ناحیه مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین صورت که در ابتدا خرده‌های حفاری بطور کامل شستشو و بخش‌های غیرسازندی نظیر خرده‌های فلزات و ذرات گل‌حفاری جدا گردید (مطیعی، ۱۳۹۲). سپس مشخصات ماکروسکوپی نمونه‌ها مانند سنگ‌شناسی، عوارض سطحی و رنگ توسط میکروسکپ دوچشمی مدل MEIJI-EMZ مورد مطالعه قرار گرفته و ستون سنگ‌شناسی آن براساس خرده‌های حفاری ترسیم گردیده است (شکل ۴). بر اساس تغییرات سنگ‌شناسی قابل تشخیص در نمونه دستی تعداد ۴۱۸ مقطع نازک از افق‌های آواری (متوسط

<sup>۱</sup> Palynomorphs

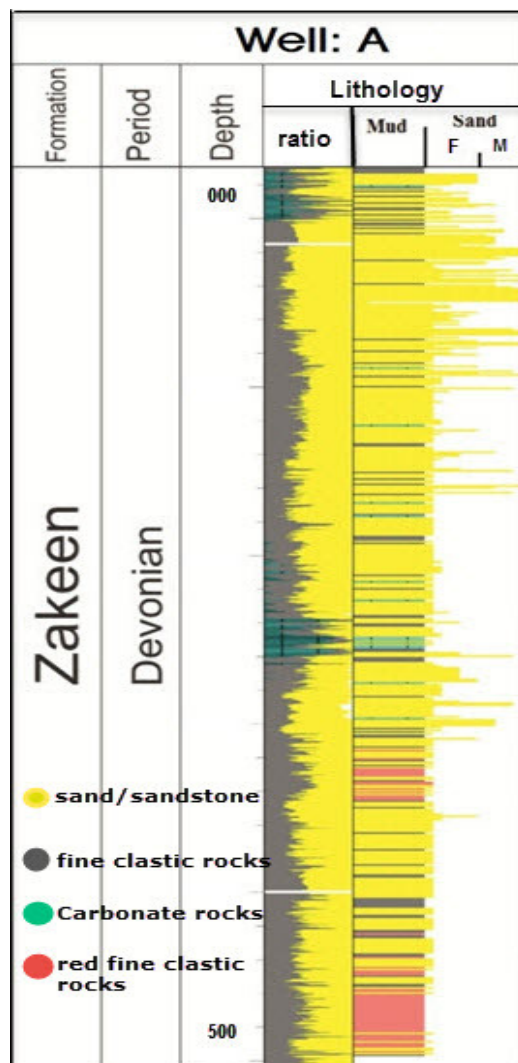
<sup>۲</sup> X-Ray DIFFRACTION (XRD)

<sup>۳</sup> Philips



الکترونی روبشی (مدل VEGA\TESCAN-LMU) در همین آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفتند. بازسازی شرایط محیطی رخساره‌ها با تکیه بر مشخصات سنگ‌شناسی و مطالعات ذکرشده و تلفیق با نتایج مطالعات گرده‌رخساره، انجام شده است.

آزمایشگاه متالورژی رازی قرار گرفته است. نمودارهای حاصل از آنالیزهای اخیر توسط نرم‌افزار Expert تفسیر شده‌اند. برای مطالعه مشخصات بافتی، ریخت‌شناسی و روابط فضایی بین بلورهای کربنات و شناسایی کانی رسی، تعداد ۱۸ نمونه از رخساره‌های موجود با میکروسکوپ



شکل ۴. ستون سنگ‌شناسی سازند زاکین در چاه A که بر اساس خرده‌های حفاری تهیه شده است (با عمق فرضی).

دلیل وضعیت خاص و استحکام ضعیف این ذرات، تهیه مقاطع و مطالعه آن‌ها دارای شرایط خاصی است. تهیه مقاطع نازک از این ماسه‌ها با روش اشباع‌سازی صورت گرفته است (لوئیس و مک‌کونچی، ۱۹۹۴). به همین دلیل، مطالعه سیمان‌ها تنها در تعدادی از مقاطع میسر شده است. نمونه‌های مورد مطالعه در سه بخش آواری‌های دانه‌متوسط، آواری‌های دانه‌ریز و کربنات مورد بررسی قرار گرفته است.

### نتایج و بحث

بخشی از ماسه‌سنگ‌های توالی مورد مطالعه به دلیل سیمان کم یا نداشتن سیمان، دارای چارچوب نسبتاً سستی بوده‌اند. در این اعماق، پس از توصیف سنگ‌شناسی، با استفاده از نگار گاما تطابق نیز صورت گرفته است و میزان تاثیر اختلاط دانه‌های ناپیوسته به حداقل رسیده است. این حالت بدین معناست که اتصال و پیوستگی بین ذرات چارچوب وجود داشته است ولی به

بررسی‌های پتروگرافی منجر به شناسایی شش پتروفاسیس (Z1 تا Z6) و یک ریزرخساره آهکی (Z7) گردید (جدول ۱) که توصیف آن‌ها در زیر ارائه شده است.

### الف. تحلیل رخساره‌های

با توجه به ماهیت داده در دسترس (خرده حفاری) معرفی رخساره‌ها عمدتاً بر اساس ترکیب کانی‌شناسی و مشخصات سنگ‌شناسی آن‌ها بوده و امکان استفاده از عوارض ساختاری و هندسی وجود نداشته است. نتایج

جدول ۱. رخساره‌های میکروسکوپی سازند زاگین و خلاصه ویژگی‌های آن‌ها در چاه A

کد	رخساره میکروسکوپی	خصوصیات رخساره
Z1	کوارتز آرنایت	کوارتز ذره اصلی است، فلدسپار کمتر از ۵ درصد، ماسه ریز تا درشت، ذرات فرعی چرت و کانیهای سنگین، جورشدگی بد تا خیلی خوب، نیمه گرد شده تا گرد شده، ذرات سست با سیمان کم (سیلیسی، پیریتی و اکسید آهن)، فشردگی، سریسیتی شدن فلدسپارها و ایجاد رس ایلیت در عمق
Z2	ساب آرکوز	کوارتز ذره اصلی است، فلدسپار ۵ تا ۱۰ درصد، کانیهای فرعی چرت، سنگین و مسکوویت، جورشدگی بد تا خوب، نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده، سیمان‌شدگی کم، فشردگی، دگرسانی فلدسپار و ایجاد رسها (ایلیت و کمی مسکوویت)
Z3	آرکوز	کوارتز ذره اصلی است، فلدسپار ۲۵ تا ۳۰ درصد، کانیهای سنگین و مسکوویت، جورشدگی بد تا خوب، نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده، سیمان‌شدگی کم سیلیسی و کربنات، فشردگی، دگرسانی فلدسپار و ایجاد رسها (ایلیت و کمی مسکوویت)
Z4	سیلتستون	کوارتز ذره اصلی است، مقداری فلدسپار (ارتوکلاز و آلبیت) و رس دارد، مقداری ماسه دارد. کانیهای سنگین و مسکوویت، جورشدگی بد تا خوب، زاویه دار تا گرد شده، سیمان‌شدگی اکسید آهن در خمیره و ایجاد رنگ قهوه‌ای، رس ایلیت
Z5	رس سنگ	کانیهای رسی بویژه ایلیت ذره اصلی هستند، ذرات سیلت کوارتزی تا ۱۵ درصد دارد. سریسیتی شدن ذرات فلدسپارها و ایجاد رس‌ها، اکسیدی شدن و ایجاد رنگ قهوه‌ای
Z6	گلسنگ آواری	رس و سیلت ذرات اصلی هستند، اندکی ذرات ماسه کوارتزی دارد، اکسیدی شدن و ایجاد رنگ قهوه‌ای، ایلیت کانی اصلی رسی است.
Z7	مادستون کربناته	گل دولومیتی و کلسیتی، دارای تبلور مجدد و نوشکلی، اندکی ذرات ماسه کوارتزی دارد.

### پتروفاسیس (Z1)، کوارتز آرنایت

کوارتز در این پتروفاسیس، ذرات اصلی تشکیل‌دهنده هستند که فراوانی آن‌ها بیش‌تر از ۹۵ درصد است. اندازه ذرات در این پتروفاسیس، از ماسه‌ریز تا درشت تغییر می‌کند، همراه کوارتزها، ذراتی نظیر چرت و کانی‌های سنگین نیز مشاهده می‌شوند. بیش‌تر کوارتزها تک‌بلور بوده و گردشدگی آن‌ها با اندازه رابطه مستقیم دارد (شکل ۵-A)، در مواردی کمتر، چندبلوری (شکل ۵-B و C)، خاموشی موجی (شکل ۵-D) و ادخال زیرکن (شکل ۵-E) مشاهده می‌شود. جورشدگی در این رخساره از بد تا خیلی خوب تغییر می‌کند و از نظر گردشدگی نیز دانه‌ها عموماً نیمه‌گرد تا گرد شده هستند (شکل ۵-A و B). اختلاف گردشدگی و جورشدگی ذرات می‌تواند ناشی از اختلاط ذرات جور شده و گرد شده ساحلی با رودخانه و حمل شده از خشکی باشد که دارای جورشدگی و گردشدگی خوبی نیستند. ذرات عوارض دیاژنتیکی قابل بررسی در این پتروفاسیس شامل فشردگی، سیمانی‌شدن و سریسیتی‌شدن ذرات فلدسپار است. دانه‌های کوارتز در این رخساره در نمونه‌هایی که دارای سیمان هستند و امکان مطالعه سیمان‌ها وجود دارد، بیش‌تر نمونه‌ها

آرایی کاملاً بسته داشته و به نظر می‌رسد قبل از سیمانی‌شدن تحت تأثیر فشار بار فوقانی متراکم شده‌اند (شکل ۶-A و B). به گونه‌ای که غالباً مرز دانه‌ها در هم رفته و از نوع محدب-مقعر و مضرس می‌باشد. البته موارد اندکی نیز مشاهده شده‌اند که به نظر می‌رسد سیمانی‌شدن قبل از فشردگی دانه‌ها صورت گرفته است (شکل ۶-C). سیمان‌ها در این رخساره غالباً از نوع سیلیسی و کربناته (دولومیتی) هستند (شکل ۶-D) و در موارد اندکی سیمان پیریتی و اکسید آهن نیز مشاهده می‌شود. این رخساره در بیش‌تر بخش‌های توالی مورد مطالعه حضور دارد. مطالعات پرتو ایکس نشان می‌دهد که در این پتروفاسیس، کوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) جز اصلی تشکیل دهنده سنگ می‌باشد (شکل ۷).

### پتروفاسیس (Z2)، ساب آرکوز

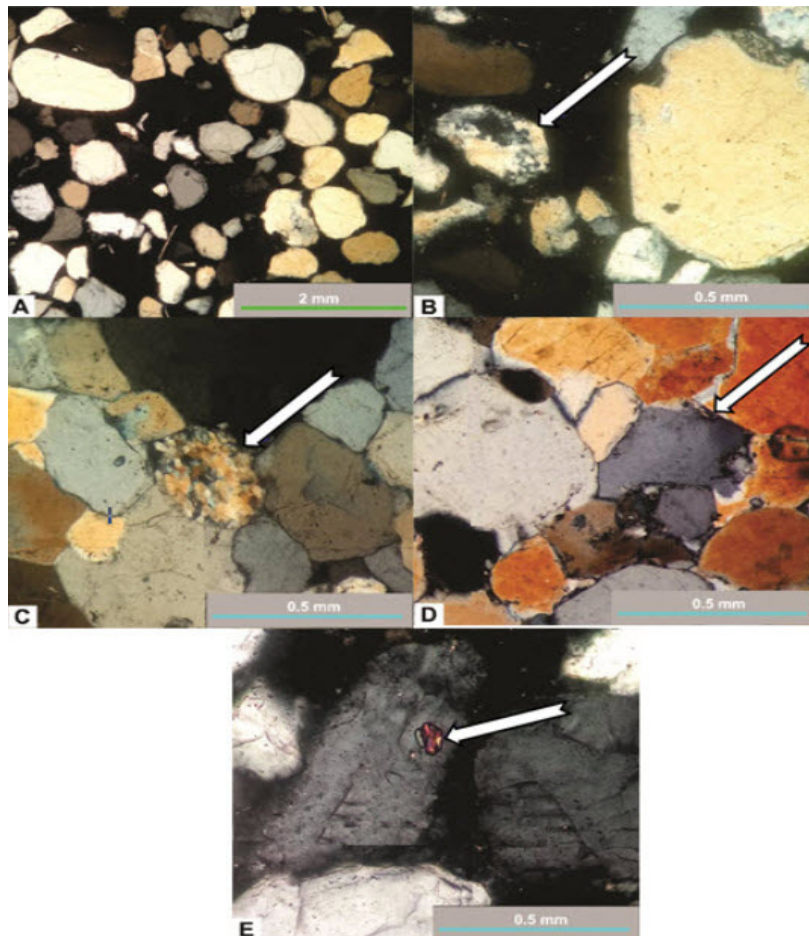
این پتروفاسیس بیش‌تر شامل دانه‌های کوارتز است که ۵ تا ۱۰ درصد دانه‌های فلدسپار از هر دو نوع پتاسیم‌دار و پلاژیوکلاز با فراوانی تقریباً مشابه حضور دارند. انواع پتاسیم‌دار مانند اورتوز و میکروکلین (برای مثال بالا چپ در شکل ۸-A) گاه اثرات دگرسانی ابتدایی را نشان

است در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد می‌باشد. اجزاء فرعی شامل زیرکن و تورمالین و در مواردی ذرات مسکوویت هستند. مسکوویت نسبت به ساب‌آرکوزها، در این رخساره فراوانی بیش‌تری دارد. جورشدگی دانه‌ها مانند ساب‌آرکوزها از بد تا خوب متغیر است و از نظر گردشدگی از نیمه زاویه‌دار تا نیمه‌گرد در تغییر هستند. آرایش ذرات در پتروفاسیس آرکوز نیز فشرده بوده و دانه‌ها غالباً در هم رفته‌اند (شکل ۱۰- A)، این فشردگی با خمیدگی در مسکوویت‌های موجود به سادگی قابل مشاهده است (شکل ۱۰- B). سیمان‌ها شامل انواع سیلیسی و کربناته (دولومیت) است. نتایج حاصل از پراش اشعه‌ایکس و آنالیز نقطه‌ای نشان‌دهنده غالب بودن کوارتز نسبت به دیگر اجزا می‌باشد و در کنار آن کانی‌های فلدسپار ارتوکلاز نیز مشخص شده است (شکل ۱۱).

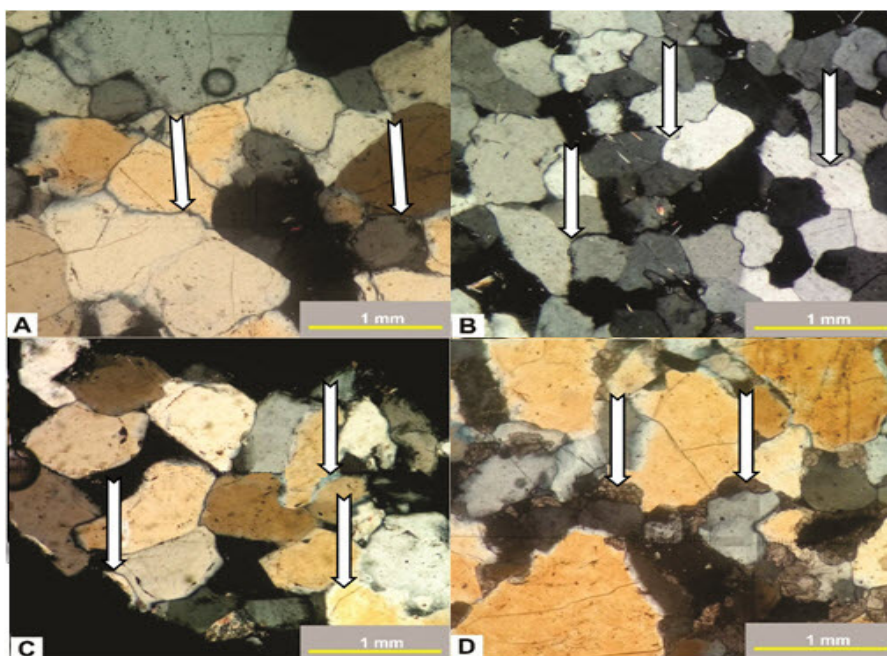
می‌دهند. اما این دگرسانی در حدی نبوده که شناسایی دانه‌ها را با مشکل مواجه کند (شکل ۸- A و B). در کنار ذرات اصلی یعنی کوارتز و فلدسپار، اجزاء فرعی مانند کانی‌های سنگین (زیرکن و تورمالین)، چرت و مسکوویت (شکل ۸- B) نیز مشاهده شد. این پتروفاسیس همانند کوارتزآرنایت‌ها جورشدگی بدی دارند. گردشدگی ذرات نیز از نیمه زاویه‌دار تا نیمه‌گرد متغیر است. به طور کلی، از لحاظ آرایش، ذرات در ساب‌آرکوزها نیز مانند کوارتز آرنایت‌ها درهم رفته و فضای کمی برای سیمانی‌شدن باقی مانده است (شکل ۸- A). کانی‌های کوارتز، فلدسپار (شکل ۹) و مسکویت (شکل ۸- B) در این رخساره حضور دارد

### پتروفاسیس (Z3)، آرکوز

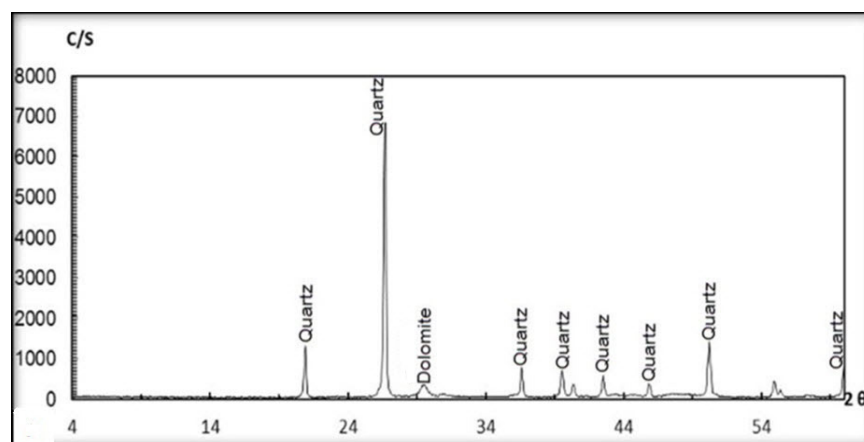
بیش‌تر ذرات در این پتروفاسیس کوارتز است و میزان ذرات فلدسپار آن که شامل انواع پتاسیم‌دار و پلاژیوکلاز



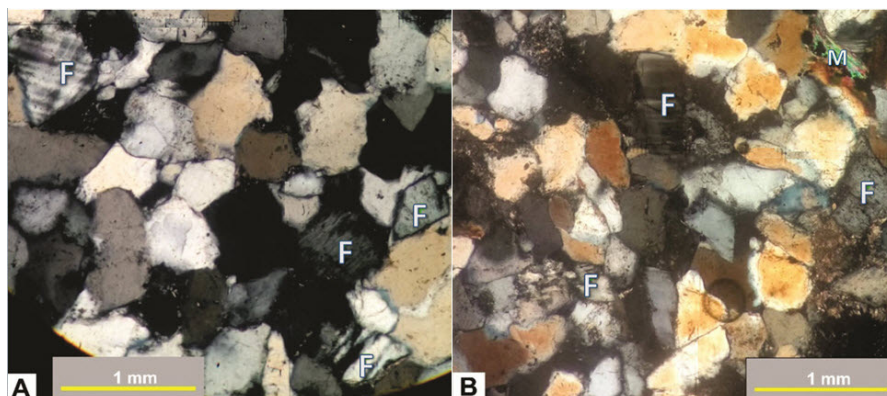
شکل ۵. دانه‌های کوارتز سازنده چارچوب پتروفاسیس Z1. فراوانی کوارتز تک‌بلور در این رخساره با گردشدگی بهتر ذرات درشت‌تر (A)، حضور کوارتز چندبلوری با فراوانی اندک (B و C)، و خاموشی موجی نادر (D) و ادخال زیرکن در برخی ذرات (E) (XPL)



شکل ۶. دانه‌های بسیار فشرده و درهم رفته کوارتز (A و B)، تشکیل سیمان سیلیسی قبل از فشردگی (C) و سیمان کربناته بعد از سیمان سیلیسی در فضاهای باقی مانده (D) در پتروفاسیس Z1 (XPL)

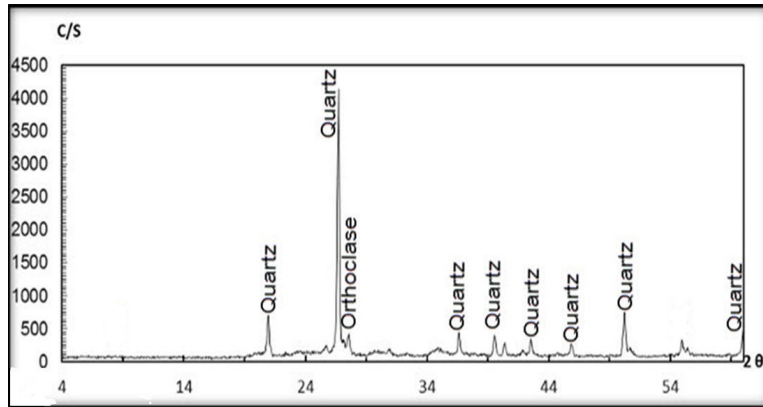


شکل ۷. آنالیز پراش پرتو ایکس پتروفاسیس Z1 که بیانگر فراوانی کوارتز و حضور دولومیت است.

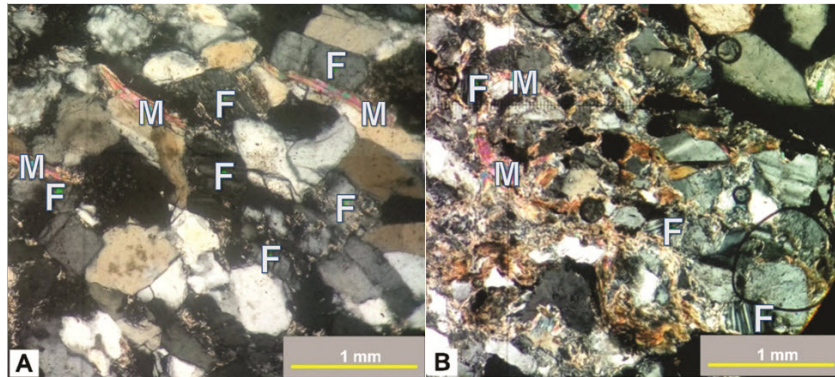


شکل ۸. دانه‌های درهم رفته که فضای کمی برای تشکیل سیمان دارد (A) و دارای سیمان کربناته (B) در پتروفاسیس Z2 (M) مسکویت، F انواع فلدسپار (XPL)

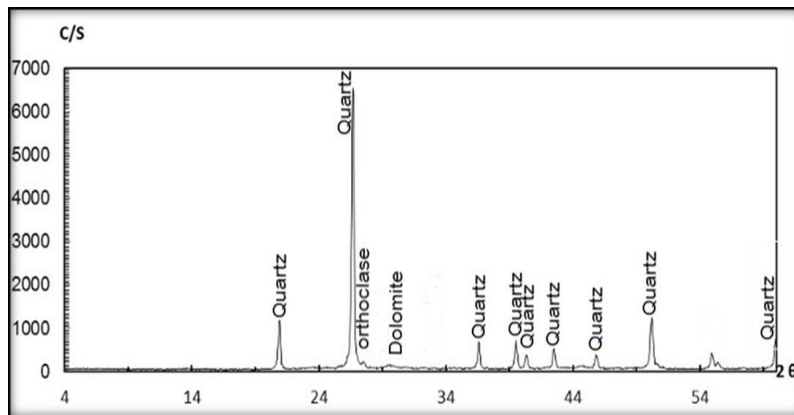




شکل ۹. آنالیز پراش پرتو ایکس که بیانگر فراوانی کوارتز و حضور فلدسپار (ارتوکلاز) در پتروفاسیس Z2 است.



شکل ۱۰. کوارتزهای فشرده (A) و خمیدگی صفحات مسکویت در بین ذرات کوارتز در پتروفاسیس Z3 (M: مسکویت، F: فلدسپار) (تصاویر XPL)



شکل ۱۱. آنالیز پراش پرتو ایکس از پتروفاسیس Z3، که بیانگر فراوانی کوارتز و مقدار کم فلدسپار (ارتوکلاز) است.

### پتروفاسیس (Z4)، سیلتستون

همانند چهار پتروفاسیس قبلی، کوارتز جز اصلی سیلتستون‌ها است که مقداری فلدسپارها نظیر ارتوکلاز و آلبیت حضور دارند. علاوه بر این، رس نیز بخش مهمی از این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد و با تغییر در فراوانی گاه طیفی از سیلتستون تا سیلتستون رسی را می‌سازد. کوارتزها و فلدسپارها زاویه‌دار هستند و در موارد اندکی

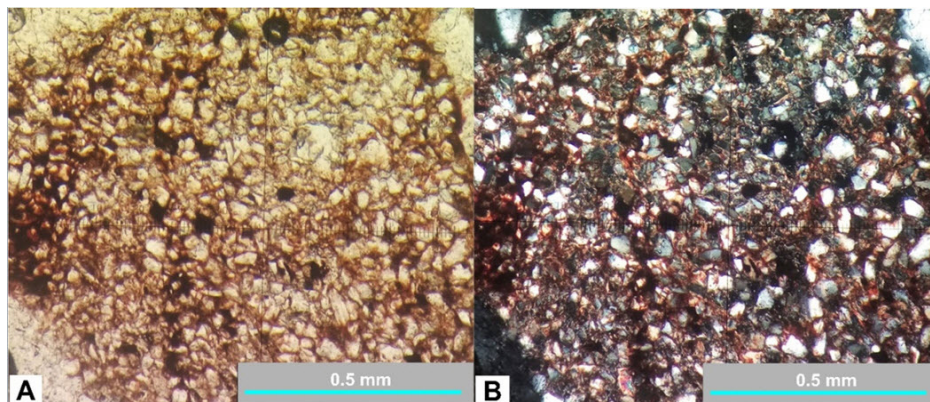
ذرات ماسه خیلی‌ریز تا ریز مشاهده شده‌اند که گردش‌دگی متنوعی از زاویه‌دار تا گرد شده را نشان می‌دهند. در مواردی سیمان اکسید آهن در بین خمیره رسی نفوذ کرده و ظاهری با رنگ قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره به سنگ داده است (شکل ۱۲-A و B). داده‌های آنالیز پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد که کوارتز کانی اصلی این رخساره بوده و کانی‌های رسی بیش‌تر از نوع ایلیت و

سنگ شناسی کوارتز نیز حضور دارند که فراوانی آن‌ها تا ۱۵ درصد نیز می‌رسد. رس‌ها در بیش‌تر موارد طی دیاژنز متحمل تغییر و تبدیل شده‌اند به طوری که گاه سریسیتی شدن ذرات فلدسپاری و یا حالت تجمع سیلیسی در آن قابل مشاهده است (شکل ۱۴-A و B).

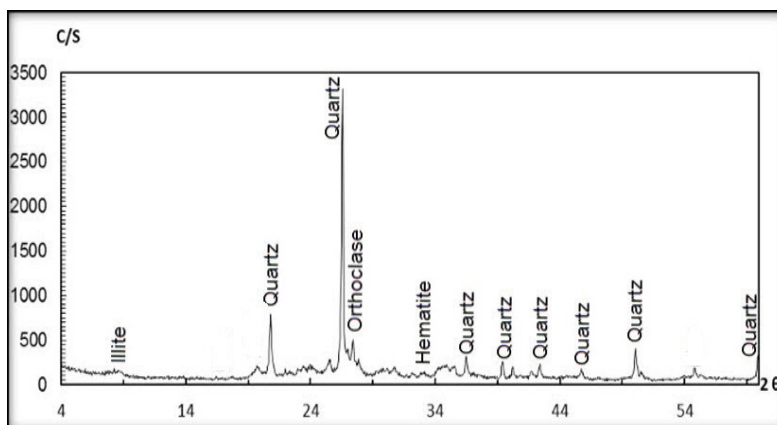
مسکوویت هستند (شکل ۱۳) که با نتایج آنالیز نقطه‌ای نیز تأیید گردید.

### پتروفاسیس (Z5)، رس سنگ

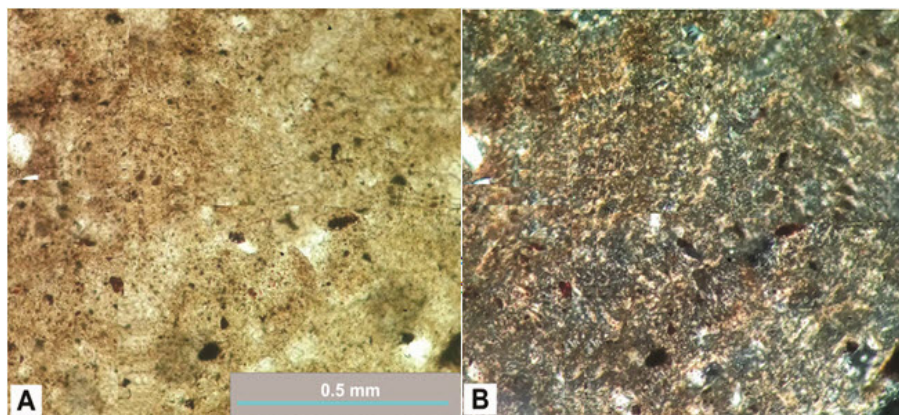
کانی‌های رسی جزء اصلی تشکیل‌دهنده این پتروفاسیس هستند. در مواردی ذرات پراکنده با اندازه سیلت و



شکل ۱۲. ذرات کوارتز زاویه‌دار (رنگ روشن) و کانی‌های رسی در پتروفاسیس Z4، که به دلیل نفوذ اکسید آهن، رنگ تیره به خود گرفته‌اند. (A: PPL و B: XPL همان)



شکل ۱۳. آنالیز پراش پرتو ایکس از پتروفاسیس Z4، که نشان دهنده حضور کانی رسی ایلیت است.

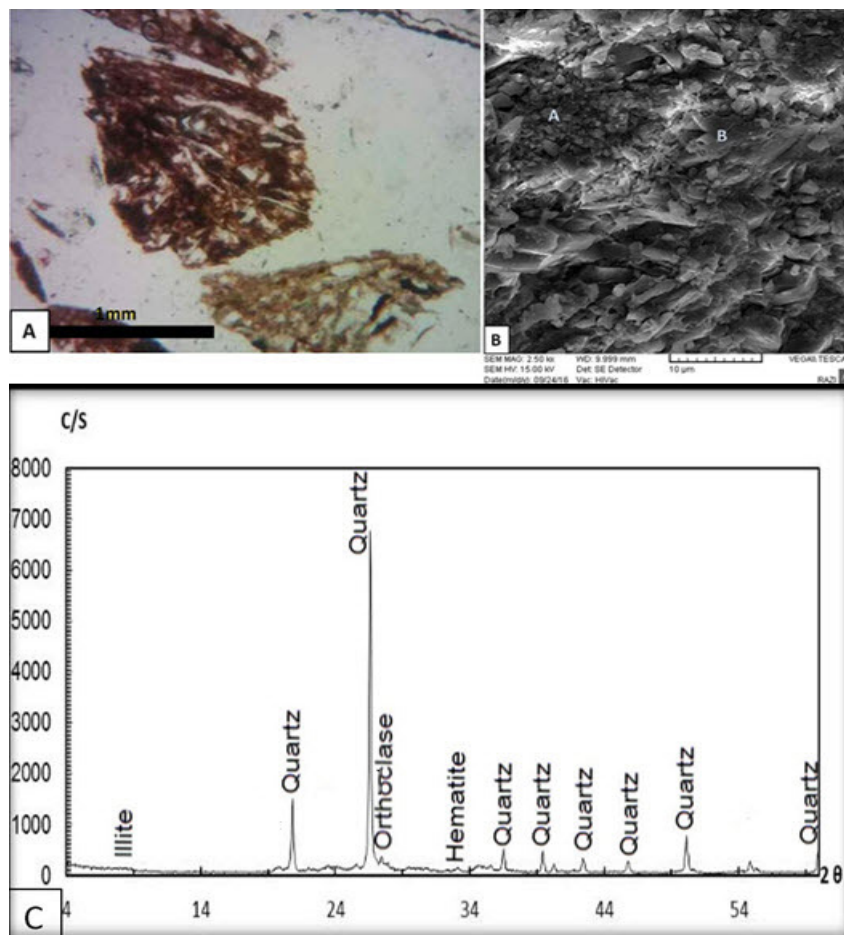


شکل ۱۴. A و B) سریسیتی شدن ذرات فلدسپاری (نواحی روشن) در رس‌ها (A: PPL، B: XPL شکل A)

مواردی اکسیدهای آهن در متن سنگ پراکنده شده و رنگ قهوه‌ای و قرمز به آن داده‌اند (شکل ۱۵-B). طبق نتایج آنالیز نقطه‌ای، کانی‌های رسی بیش‌تر از نوع ایلیت است (شکل ۱۵-C).

### پتروفاسیس (Z6)، گلسنگ

پتروفاسیس شامل مجموعه‌ای از ذرات در اندازه رس و سیلت هستند که دارای قطعات بسیار ریز و محدود ماسه کوارتزی هم هستند (شکل ۱۵-A). این پتروفاسیس بیش‌تر در بخش پایینی سازند زاکین مشاهده می‌شود. در



شکل ۱۵. (A) ذرات پتروفاسیس Z6 (سیلت کوارتزی: رنگ روشن، ذرات دارای اکسید آهن: تیره رنگ) (PPL)، (B) تصویر میکروسکپ الکترونی روبشی (ذرات کوارتزی: A، رس ایلیت: B) و (C) آنالیز پراش پرتو ایکس در این پتروفاسیس

و جای آن‌ها بلورهای جدید با همان ترکیب شیمیایی در سیستم بلوری جدید تشکیل شده‌اند (شکل ۱۶-B).

### ب. دیاژنز

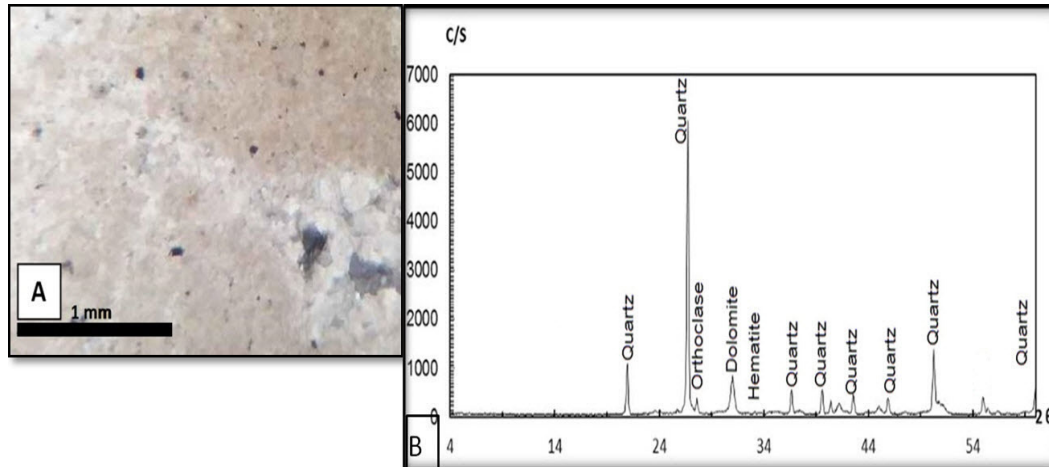
مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی سازند زاکین در برش A که در ضمن توصیف رخساره‌های میکروسکوپی آمده است شامل فشردگی، سیمانی‌شدن، سرسیستی‌شدن، جانیشینی، تبلور مجدد و دگرسانی فلدسپارها است. طبق مشاهدات و تفسیر پدیده‌های دیاژنزی می‌توان توالی پاراژنزی را در این سازند تحت عناوین فرآیندهای ائوژنزی، مزوژنزی و

### ریزرخساره (Z7)، مادستون کربناته

مادستون تنها ریزرخساره کربناته در سازند زاکین در این برش است. ترکیب این ریزرخساره گل کربناته بوده که طی دیاژنز دچار تبلور مجدد و نوشکلی شده و درشت بلورتر شده‌اند. این ریزرخساره در نمونه‌های مشاهده شده، از گل‌آهکی و دلومیتی تشکیل شده است (شکل ۱۶-A) که دارای ذرات ماسه کوارتزی است و فاقد هر نوع آلومینی می‌باشد. تبلور مجدد بیش‌تر به صورت تبدیل میکرایت به میکرواسپارایت قابل مشاهده است. نوشکلی، بیانگر آن است که بلورهای قدیمی از بین رفته



شامل عمق تدفین، دما، فشار و ترکیب آب‌های منفذی است (فلوگل، ۲۰۱۰). در مواردی قبل از فشردگی فضاها توسط سیمان پر شده و مانع تغییر آرایش ذرات می‌شود (شکل ۶-C). در نهشته‌های مورد مطالعه به دلیل اینکه سیمانی شدن اولیه غالباً رخ نداده است. دانه‌ها تا درجات بسیار بالا فشرده شده و در بیش‌تر موارد در هم فرو رفته و انحلال فشاری در مرز آن‌ها رخ داده است (شکل ۶-A و B).



شکل ۱۶. (A) ریزرخساره Z7 (XPL) و (B) آنالیز پراش پرتو ایکس این رخساره

اندکی این سیمان حجم بیش‌تر داشته و فضاهای بزرگ‌تری را در بین دانه‌ها پر کرده است (شکل ۶-D). با توجه به فراوانی انحلال فشاری در مرز دانه‌های کوارتز می‌توان از سیلیس ناشی از این فرآیند به عنوان مهم‌ترین منشاء برای سیمان سیلیسی یاد کرد (کتز و همکاران، ۲۰۰۵؛ پورسلطانی و گیبلینگ، ۲۰۱۱) دگرسانی فلدسپارها را می‌توان یکی دیگر از منابع تامین سیلیس به حساب آورد (سیبرت و همکاران، ۱۹۸۴).

سیمان دولومیتی (شکل ۱۷) بعد از سیمان سیلیسی بیش‌ترین فراوانی را در ماسه‌سنگ‌ها دارد و در پتروفاسیس‌های ماسه‌سنگی مشاهده شده است. این سیمان به صورت پرکننده فضاهای باقی‌مانده بین دانه‌های است و عموماً به صورت دولومیت درشت بلور بوده و با توجه به این ویژگی می‌توان آن را به محیط‌های دفنی عمیق ارتباط داد (متس و مونتجوی، ۱۹۸۰؛ مک‌هارگو و پرایس، ۱۹۸۲) (شکل ۱۷). کلسیم و منیزیم مورد نیاز برای این سیمان می‌تواند از میان لایه‌های کربناته یا آلتراسیون کانی‌های فرومنیزین و رس‌ها در میان لایه‌های

تلوژنزی به شرح زیر تبیین کرد. در ابتدا به منظور درک صحیح از فرآیندها و محصولات دیاژنزی نیاز است که ترتیب و عمق رخداد آن‌ها شناسایی شود.

با افزایش بار فوقانی ناشی از تجمع رسوبات، لایه‌های زیرین فشرده شده و فضای بین دانه‌ها با افزایش عمق کاهش می‌یابد. این فرآیند از زمان شروع ته‌نشینی رسوبات روی هم و در مراحل اولیه و دفنی عمیق ادامه دارد (کیم و لی، ۲۰۰۳). مهم‌ترین عوامل موثر بر تراکم

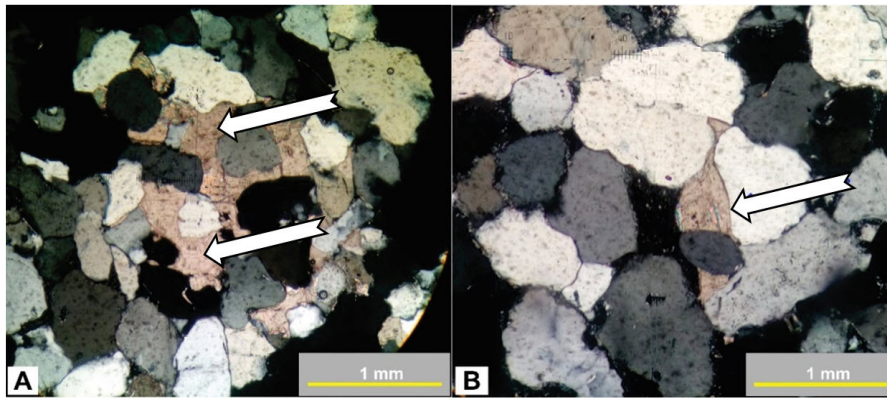
ماسه‌سنگ‌های سازند زاکین در این برش به دلیل فشردگی زیاد، بسیار کم سیمانی شده‌اند. این سیمان‌ها شامل سیمان سیلیسی، کربناته، پیریت و اکسید آهن می‌باشند. سیمان سیلیسی در پتروفاسیس‌های شناسایی شده در ماسه‌سنگ‌ها تشکیل شده است. این سیمان به دو صورت بین‌دانه‌ای و رورشدی<sup>۱</sup> مشاهده شده و در موارد یک لایه نازک از رس‌های حاشیه‌ای مرز سیمان و دانه را مشخص می‌کند. سیمان سیلیسی بیش‌تر در دمای بالاتر از ۹۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود و نوع رورشدی سیمان کوارتز در دمای ۹۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و احتمالاً در مرحله دیاژنزی دفنی رخ داده است (کیم و لی، ۲۰۰۳؛ لندر و همکاران، ۲۰۰۸). به استثناء مواردی اندک از سیمان پیریتی، سیمان سیلیسی اغلب اولین سیمانی بوده که بر روی دانه‌ها ته‌نشین شده است (شکل ۶-C). سیمان سیلیسی عموماً بعد از فشردگی رسوبات و در فضاهای بین‌دانه‌ای تشکیل شده و به همین دلیل بخش کوچکی از سنگ را تشکیل می‌دهد. در موارد

<sup>1</sup> Overgrowth

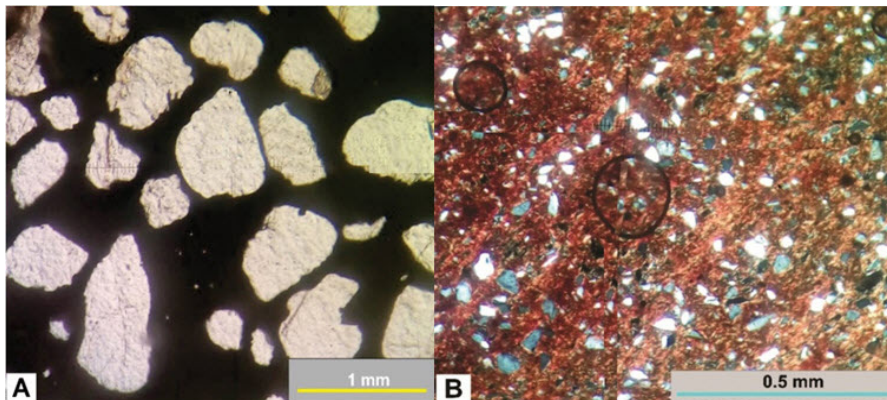


اینکه دانه‌های کوارتز در این سیمان آرایشی باز داشته و فشردگی متحمل نشده‌اند، می‌توان گفت که این سیمان در عمق کم و در شرایط احیایی ته‌نشین شده است. این شرایط با در نظر گرفتن میزان اندک این نوع سیمان می‌تواند بیانگر شرایط محیطی احیایی در نواحی نادر و ته‌نشینی این نوع سیمان باشد (شکل ۱۸- A) هرچند سیمان پیریتی بیشتر در عمق زیاد نهشته می‌شود می‌توان گفت این سیمان در شرایط سطحی شروع و تا مرحله مزوژنز ادامه یافته است.

شیلی نشأت گرفته باشد (مراد و الدهام، ۱۹۸۶؛ یوسال و همکاران، ۲۰۰۰). سیمان پیریتی در موارد معدودی در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه مشاهده شده است. این سیمان در نمونه‌های دستی به رنگ زرد دیده می‌شود و تنها در پتروفاسیس کوارتزآرنایت مشاهده گردید که به صورت فراگیر، دانه‌ها را دربر می‌گیرد. برای تشکیل پیریت نیاز به محیط احیایی است و این شرایط یا در محیط‌های عمیق دفنی یا در محیط‌های سطحی با میزان مواد آلی بالا ایجاد می‌شود (برنز، ۱۹۸۴). با توجه به



شکل ۱۷. A) سیمان کربناته (دولومیتی) و B) نوع تکه‌ای و دیررس آن در ماسه‌سنگ‌ها (XPL)



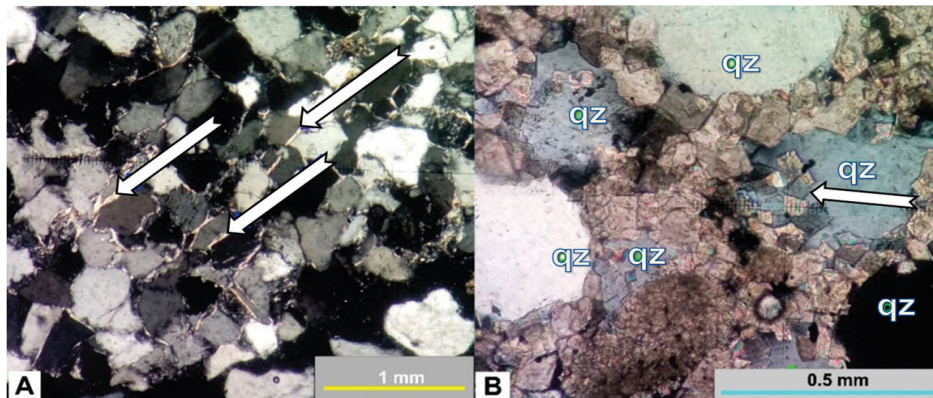
شکل ۱۸. A) سیمان پیریتی ته‌نشین شده (تیره رنگ) در بین ذرات کوارتز در سازند زاگین، این سیمان با توجه به آرایش باز دانه‌ها به نظر می‌رسد در عمق کم و قبل از فشردگی ته‌نشین شده است. B) سیمان اکسید آهن تزریق شده در زمینه رسی (A) : PPL. B : XPL

سنگ‌ها گسترده‌گی فراگیر و یکنواخت داشته و در ارتباط با فضاهای خالی و شکستگی‌ها نمی‌باشد. این ویژگی می‌تواند دلیل بر این باشد که آهن ( $Fe^{2+}$  یا  $Fe^{3+}$ ) از ابتدا در مواد تشکیل‌دهنده سنگ حضور داشته است. با توجه به اینکه در پتروفاسیس‌های ریزدانه‌ای که سیمان اکسید آهن حضور دارد پیریت به صورت سیمان و بلورهای خودشکل مشاهده نشده است، می‌توان گفت که شرایط

سیمان اکسید آهن نوع دیگر سیمان است که بیش‌تر در پتروفاسیس‌های ریزدانه سیلتستون و رس‌سنگ‌ها مشاهده شده است. ته‌نشینی در محیط اکسیدان می‌تواند عاملی جهت تامین سیمان اکسید آهن به حساب آید (راس و همکاران، ۱۹۹۷). در این سنگ‌ها، اکسیدهای آهن به صورت تزریق شده در رس‌های زمینه باعث رنگ قرمز سنگ شده است (شکل ۱۸-B). این سیمان در

است (تاکر، ۲۰۰۱ و بوگز، ۲۰۰۹). این فرآیند در توالی‌های مورد مطالعه بیش‌تر در کربنات‌ها رخ داده است. در این سنگ‌ها که گل کربناته در ابتدا به عنوان خمیره سنگ ته‌نشین شده است طی تدفین در اعماق بالا ناپایدار شده و به بلورهای درشت‌تر تبلور می‌یابد. در مواردی طی این فرآیند شرایط محیط قلیایی شده و بلورهای جدید کربنات (دولومیت) در حاشیه، جانشین ذرات کوارتز شده‌اند (شکل ۱۹-B). دانه‌های فلدسپار پتاسیم‌دار به دلیل پایداری کم در محیط دیازنی تحت تأثیر دمای بالا و سیالات درون منفذی تجزیه شده و محصولات ثانویه همچون کانی‌های رسی و سریسیت حاصل می‌شود. در سنگ‌های مورد مطالعه میزان این دگرسانی پیشرفت چندانی نداشته و بیش‌تر در امتداد رخ برخی دانه‌ها، لایه‌های نازک رسی مشاهده می‌شود. شکل ۲۰ توالی پاراژنی این سازند را نشان می‌دهد.

محیط اکسیدان بوده (واناس، ۲۰۰۸) و آهن نیز به صورت سه ظرفیتی ( $Fe^{3+}$ ) ته‌نشین شده و از همان ابتدا اکسید آهن شکل گرفته است. پس این سیمان مربوط به ائوژنز می‌باشد. با توجه به حضور مقادیر بسیار کم فلدسپارها و رس‌ها در پتروفاسیس کوارتزآرنایت به صورت لایه پوششی دانه‌های کوارتز که سیمان سیلیسی و دانه را از هم جدا می‌کند و حضور مقادیر بسیار بالای آن‌ها در رس‌سنگ‌ها، پدیده سریسیتی شدن در همه پتروفاسیس‌های سازند زاکین به صورت کم و بیش رخ داده است. این کانی‌های رسی با افزایش عمق تدفین در مقابل دما و فشار ناپایدار شده و به کانی‌هایی پایدارتر مانند سریسیت تبدیل می‌شوند. که در بسیاری از موارد به دلیل فشردگی خیلی زیاد رسوبات، سریسیت در کنار دانه‌های چارچوب تنها اجزاء سنگ هستند و هیچ نوع سیمانی حضور ندارد (شکل ۱۹-A). فرآیند تبلور مجدد به عنوان تغییر در اندازه بلورها بدون تغییر در ترکیب تعریف می‌شود و بیش‌تر از نوع افزایشی



شکل ۱۹. A) سریسیتی شدن ذرات فلدسپار در کانی‌های رسی (پیکان‌ها) در مرز بین دانه‌های کوارتز در سازند زاکین و B) گل کربناته طی تدفین عمیق به بلورهای درشت‌تر دولومیت تبلور یافته (لوزی شکل) و این بلورها به دلیل قلیایی بودن محیط باعث خوردگی و سپس جانشین شدن دانه‌های کوارتز (qz) شده‌اند. (XPL)

تلوژنز	مزوژنز	ائوژنز	محصولات دیازنز
			فشردگی
			دگرسانی فلدسپارها
			سریسیتی شدن
			سیمان اکسید آهن
			سیمان پیریتی
			سیمان سیلیسی
			سیمان کربنات (دولومیتی)
			نوشکلی در کربناتها
			دولومیتی شدن

شکل ۲۰. توالی پاراژنی در نهشته‌های سازند زاکین در چاه A در بخش مرکزی خلیج فارس

به صورت درشت شونده به بالا و هم به صورت ریز شونده در توالی ظاهر می‌شود. این مجموعه رخساره‌ای می‌تواند شامل نگار گاما در مقابل مجموعه رخساره‌های ۲، ۴ و ۶ سازند زاکین باشد (شکل ۲۲) که دارای میزان گاما پایین و نسبتاً ثابت<sup>۵</sup> است. در قسمت زیرین بخش ۶ به دلیل حضور میان لایه‌های رس و ذرات فلدسپار پتاسیم‌دار، میزان گاما بیشتر شده است. ولی حالت یک شکل بودن<sup>۶</sup> نگار گاما حفظ شده است. محیط رسوبی این رخساره به زیر محیط ساحل نسبت داده می‌شود.

#### مجموعه رخساره‌ای (FA3) مربوط به زیر محیط دور از ساحل<sup>۷</sup>

این مجموعه رخساره‌ای از رخساره‌های آهک‌ماسه‌ای (Zn4)، شیل (Zn2) و مقداری ماسه‌سنگ (Zn1) تشکیل گردیده است. رخساره‌های آهکی نشان از شرایط رسوب‌گذاری دور از ساحل دارند. بنابراین، با توجه به تغییرات رخساره‌ها در این سازند از رخساره آهکی به دیگر رخساره می‌توان اشاره کرد که نوسانات آب در این محیط رسوبی رخ داده است. این مجموعه رخساره‌ای در (شکل ۲۱) می‌تواند شامل نگار گاما در مقابل مجموعه رخساره‌های ۱ و ۳ سازند زاکین باشد که به دلیل عدم تشخیص شول در این زیر محیط روند کاهشی و افزایشی<sup>۸</sup> ندارد. این زیر محیط به تدریج عمیق‌تر شده و میزان گامای آن روند افزایشی را نشان می‌دهد. این مجموعه رخساره‌ای به زیر محیط گذر به محیط‌های دور از ساحل که دارای نهشته‌های کربناته نیز می‌باشد نسبت داده می‌شود.

#### د) مدل رسوب‌گذاری سازند زاکین در برش A

بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های رسوب‌شناسی که پیش‌تر آمده است به همراه نتایج مطالعات پالینوفاسیس این سازند در همین برش از میدان پارس جنوبی (مطالعه داخلی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶) که محیط ساحلی کم عمق با اکسیژن کم تا متوسط، را پیشنهاد کرده است، محیط رسوبی سازند زاکین در برش مورد مطالعه، از نوع محیط‌های دریایی کم‌عمق آواری شامل یک محیط

#### ج) مجموعه‌های رخساره‌ای و محیط رسوبی

با توجه به اینکه در این مطالعه از خرده‌های حفاری و مقاطع‌نازک تهیه شده از آن‌ها استفاده شده است محدودیت‌هایی جهت تعیین محیط رسوبی مانند عدم دسترسی به مغزه یا بیرونزدگی و عدم مشاهده ساخت‌های رسوبی وجود دارد (برای مثال تعیین محیط رسوبی با استفاده از بررسی خرده‌های حفاری می‌توان به مطالعات زمانزاده (۱۳۸۷) و گزارش داخلی شرکت نفت و گاز پارس (۱۳۹۶) اشاره کرد). با این حال، جهت تعیین محیط رسوبی علاوه بر سنگ‌شناسی از اطلاعات نگارگاما (کانت، ۱۹۹۲؛ ریدر، ۱۹۹۳) نیز استفاده شده است (شکل ۲۲).

#### مجموعه رخساره‌ای (FA1) مربوط به زیر محیط دشت ساحلی<sup>۱</sup>

این مجموعه رخساره‌ای بیش‌تر از گلسنگ قرمز (Zn3) و مقداری ماسه‌سنگ (Zn1) تشکیل شده است. ماسه‌سنگ‌های گردشده نشان‌دهنده محیط پراثرژی و گلسنگ‌ها نشان‌دهنده محیط کم انرژی و شرایط اکسیدان هستند. رنگ قرمز این گلسنگ‌ها نشان از شرایط خشکی و در معرض هوا بودن رسوبات دارد (تا کر، ۲۰۰۱). این مجموعه رخساره‌ای می‌تواند شامل نگار گاما متناظر با مجموعه رخساره‌های ۵ و ۷ سازند زاکین (شکل ۲۲) باشد که میزان گاما دارای تغییرات نامنظم<sup>۲</sup> و شکل بین لایه‌ای و تداخلی<sup>۳</sup> شدید دارد. بنابراین این مجموعه رخساره‌ای که با برتری گلسنگ قرمز نیز مشخص هستند، نشان‌دهنده زیر محیط دشت ساحلی می‌باشد که بیش‌تر در نیمه زیرین سازند زاکین دیده می‌شود.

#### مجموعه رخساره‌ای (FA2) مربوط به زیر محیط ساحلی<sup>۴</sup>

این مجموعه رخساره‌ای شامل رخساره‌های ماسه‌سنگی (Zn1) و میزان کمی شیل ماسه‌ای (Zn2) می‌باشد. میزان رسوبات درشت‌دانه که معرف انرژی بالاتر محیط هستند در آن بالا است. این مجموعه با توجه به اندازه ذرات هم

<sup>5</sup> Relatively consisting

<sup>6</sup> Uniform

<sup>7</sup> Offshore

<sup>1</sup> Increasing and decreasing

<sup>1</sup> Beach plain

<sup>2</sup> No systematic changes

<sup>3</sup> Intercalation

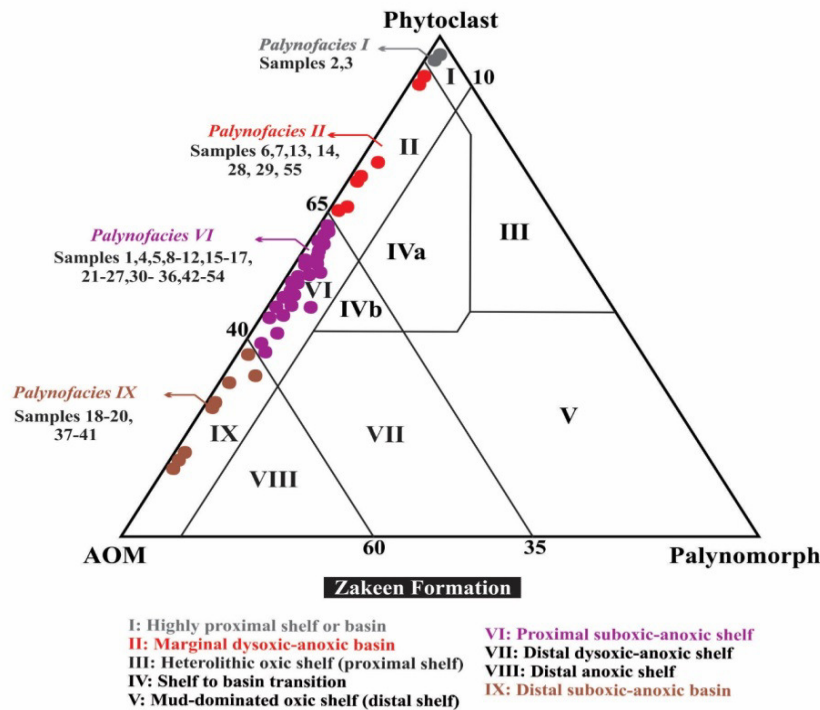
<sup>4</sup> Shoreface

محیط‌های دور از ساحل، میزان انرژی و ورود رسوبات از خشکی پایین آمده و سبب نهشته شدن گل‌آهکی شده است.

برای دقت بیش‌تر در تعیین محیط ته‌نشینی این سازند از روند گاما (کانت، ۱۹۹۲؛ ریدر، ۱۹۹۳) نیز استفاده شده است (شکل ۲۱). بر این مبنا، محیط‌رسوبی سازند زاکین در این برش، شامل سه محیط دشت ساحلی، ساحلی و انتقالی و محیط دور از ساحل می‌شود. بر طبق نتایج این مطالعات سازند زاکین در این برش، در محیط فلات قاره بسیار نزدیک به ساحل تشکیل شده است. سپس محیط تشکیل رسوبات این واحد سنگی عمیق‌تر گردید و به محیط بسیار نزدیک به ساحل و ساحلی کم‌عمق<sup>۲</sup> با اکسیژن کم تا متوسط تبدیل شده است. هم‌چنین قسمت فوقانی این سازند در محیط دور از ساحل با اکسیژن کم - نیمه اکسیژن‌دار می‌باشد که نزدیک مرز سازندهای زاکین و فراقان به شلف نزدیک به منشأ تبدیل گردیده است.

ساحلی آواری ساده تفسیر می‌شود (شکل ۲۲). این محیط تشکیل توالی‌های پسونده و درشت شونده به سمت بالا را نشان می‌دهند. نهشته‌های دشت ساحلی این سازند اغلب ریز دانه هستند. در زیر محیط دشت ساحلی تناوب ماسه‌سنگ و گل‌سنگ‌های قرمز یا قهوه‌ای رنگ که حاصل تاثیر شرایط تحت جوی می‌باشند وجود دارد. این مجموعه متناوب بیانگر روند پیشروی و پسروی آب دریا می‌باشد. تناوب ماسه‌سنگ و شیل با غلبه ماسه‌سنگ‌ها نشان از زیرمحیط ساحلی دارد. (برای مثال (زمانزاده، ۱۳۸۷) و مطالعه داخلی شرکت نفت و گاز پارس، ۱۳۹۶) محیط مشابهی را برای این سازند معرفی کرده است) این ماسه‌سنگ‌ها دارای شرایط ریز شونده و درشت شونده به سمت بالا می‌باشند. هم‌چنین تغییر در ضخامت نهشته‌های ماسه‌ای و شیلی معمولاً در محیط‌های آواری وجود دارد.

این محیط‌رسوبی به صورتی است که در قسمت‌های رو به دریا یعنی در قسمت زیر محیط گذر تدریجی<sup>۱</sup> به

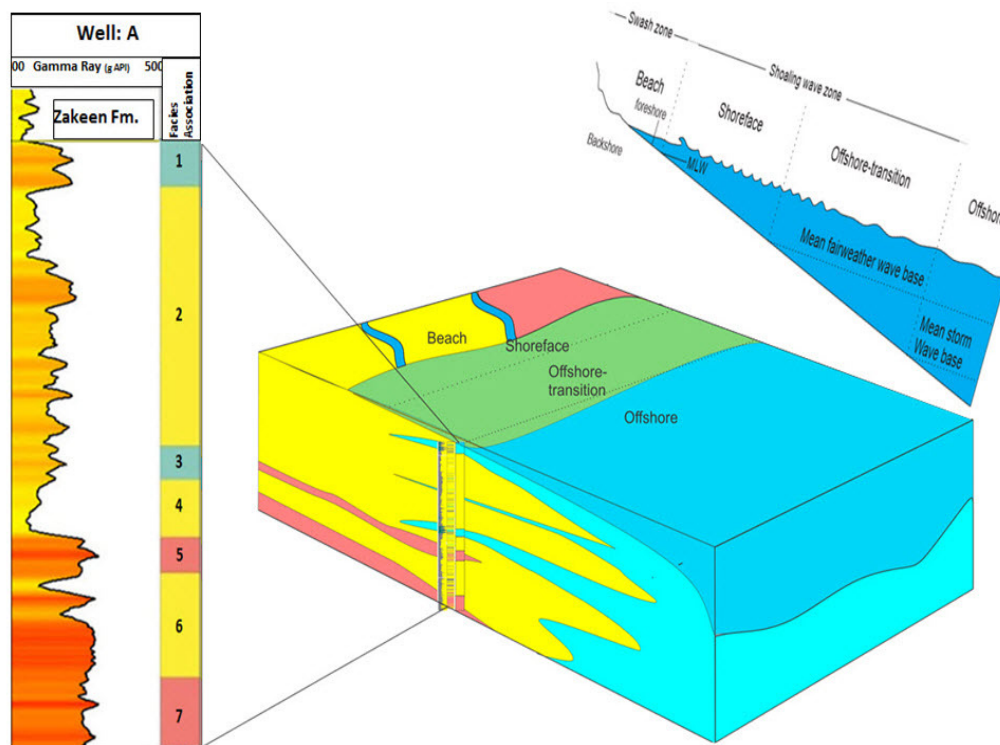


شکل ۲۱. پالینوفاسیس‌های سازند زاکین در چاه A بر روی نمودار تاپسون (۱۹۹۳) که بیانگر محیط ساحلی کم عمق با اکسیژن کم تا متوسط شامل محیط ساحلی، نزدیک ساحل و دور از ساحل است. (گزارش داخلی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶)

<sup>1</sup> Transition

<sup>2</sup> Marginal





شکل ۲۲. مدل رسوبی سازند زاکین و زیرمحیط‌های آن به همراه دسته رخساره‌ها که براساس مطالعات سنگ‌شناسی تهیه شده است. از نگار گامای آن‌ها به عنوان ابزار کمکی استفاده شده است. زیر محیط‌های رسوبی ساحل (زرد رنگ)، پیش ساحل (قرمز رنگ) و دور از ساحل (آبی رنگ) (مدل رسوبی با تغییراتی از ریدینگ، ۱۹۹۶).

### نتیجه‌گیری

سازند زاکین در این برش با بیش از ۵۳۰ متر ضخامت دارای بیش‌ترین ضخامت در همه برش‌های شناخته شده است.

پتروفاسیس‌های سازند زاکین شامل کوارتزآرنایت، ساب‌آرکوز، آرکوز، سیلتستون، رس‌سنگ و گلسنگ و ریزرخساره مادستون کربناته است که برای اولین بار در بخش مرکزی خلیج فارس، به طور کامل حفاری و مطالعه گردیده است.

فرآیندهای دیاژنزی بیانگر حضور سازند زاکین در دو مرحله ائوژنز و مزوژنز می‌باشد ولی علائمی از مرحله تلوزنز مشاهده نگردید. در پتروفاسیس‌ها آثاری از فشردگی، سیمانی‌شدن سیلیسی، کربناته، پیریتی و اکسید آهن، دگرسانی فلدسپارها و سریسیتی‌شدن قابل مشاهده است ولی در ریزرخساره مادستونی فرآیندهای دیاژنزی شامل نوشکلی و دولومیتی‌شدن می‌باشد. با توجه به تشکیل سیمان‌های رسی (سریسیتی) می‌توان بیش‌ترین تدفین این سنگ‌ها را تا عمق‌های بیش‌تر از سه کیلومتر تخمین زد.

مجموع شواهد بیانگر تهنشینی این سازند در محیط ساحل خطی با زیرمحیط‌های دشت ساحلی، کم‌عمق ساحلی و عمیق‌تر دور از ساحل می‌باشد. زیرمحیط کم عمق ساحلی استعداد تشکیل مخازن هیدروکربوری را در سازند زاکین دارد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از واحد پژوهش و توسعه شرکت‌های تابعه ملی نفت به خاطر فراهم آوردن امکانات این مطالعه، کمال قدردانی را دارند. همچنین از داوران محترم بابت حسن توجه و نظرات ارزنده‌شان که باعث ارتقای علمی این مقاله شده است تشکر می‌نمایند.

### منابع

- آقاباتی، س. ع. (۱۳۸۷) فرهنگ چینه‌شناسی ایران، جلد دوم (دونین - پرمین)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۲۹۷-۶۶۰.
- حسین‌آبادی، م.، میراب شبستری، غ.، ر.، محبوبی، ا.، معتمد، ا. (۱۳۹۵) ژئوشیمی عنصری و ایزوتوپی سازند بهرام (دونین

- Walker R.G. and N.P. James (Editors), Geological Association of Canada, Basin Research, 12: 195-218.
- Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rock according to depositional texture, AAPG, 1: 108-121.
- Flugel, E (2010) *Microfacies Analysis of Limestones, Analysis Interpretation and Application*. Springer-Verlag, 976.
- Ghavidel Syooki, M (1988) Palynological study and age determination of Faraghan Formation in Kuh-e-Gahkum region at southeast of Iran. *Journal of Science, Iran*, 15(1&2): 11-28.
- Ghavidel Syooki, M (1999) Investigation on the Upper Paleozoic Strata in Tang-e- Zakeen and Introducing Zakeen Formation, Kuh-e-Faraghan Zagros Basin, Southern Iran. *Geological. Survey of Iran, Geoscience Quarterly Journal*, 29-30: 54-73.
- Ghavidel Syooki, M (2003) Palynostratigraphy of Devonian sediments in the Zagros Basin, southern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 127: 241-268.
- Ghavidel-Syooki, M (1997b) Acritarch biostratigraphy of the Paleozoic rock units in the Zagros Basin, southern Iran". *Acta Univ. Carolinae Geol*, 4: 385-411.
- Ghavidel-Syooki, M (1997a) Palynostratigraphy of the Early Permian Strata in the Zagros Basin, Southeast-Southwest Iran. *Journal of Science, Iran*, 18: 243-261.
- Insalaco, E., E Virgone, B Courme, J Gaillot, M Kamali, A Moallemi, M Lotfpour and S Monibi (2006) Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountain and offshore Fars, Iran. *Depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. GeoArabia*, 11 ( 2): 75-176.
- Kamali, M. R. and Rezaee, M. R (2003) Burial history reconstruction and thermal modeling at Kuh-e Mond, SW Iran, 26 (4): 415-46.
- Ketzer, J. M., L. F. De Ross, and D. Norberto (2005) Kaolinitic meniscus bridges as an indicator of early diagenesis in Nubian sandstone, Sinai, Egypt – discussion: *Sedimentology*, 52: 3213-217.
- Kim, Y., and Y. I. Lee (2003) Diagenesis of shallow marine sandstones, the Lower Ordovician Dongjeom Formation, Korea: response to relative sea-level changes, *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 235-245.
- Konert, G. and Afifi, A. and Al-Hajri, S. and Droste, H (2001) Paleozoic Stratigraphy and Hydrocarbon Habitat of the Arabian Plate. *GeoArabia*. 6 (3): 407-442.
- Lander, R. H., R. E. Larese, and L. M. Bonell (2008) Toward more accurate quartz cement models, the importance of euhedral versus
- میانی- بالایی) در شرق ایران، مجله رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۷، ۳۲-۴۸.
- زلیخایی، ی (۱۳۹۳) مقایسه خاستگاه سازندهای زاکین و فراقان در پسرکرانه بندرعباس به منظور استفاده از نتایج در تجزیه و تحلیل شرایط محیطی آن‌ها، دانشگاه تهران، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد.
- زمان‌زاده، س. م (۱۳۸۷) مشخصات سنگ‌شناسی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازندهای زاکین و فراقان در مقطع تیپ، شمال بندرعباس، دانشگاه تهران، رساله دکتر.
- زمان‌زاده، س. م (۱۳۹۶) مطالعه جامع حوضه رسوبی (پتروگرافی، ژئوشیمی، پالینولوژی) و چینه‌نگاری سکانسی سازندهای فراقان، زاکین و سرچاهان- سیاهو در میدان پارس جنوبی و انطباق نتایج با میداین مجاور، پروژه پژوهشی بین جهاد دانشگاهی شهید بهشتی و شرکت نفت و گاز پارس (گزارش داخلی شرکت ملی نفت، منتشر نشده).
- قویدل‌سیوکی، م (۱۳۶۹) مطالعه اکریتارک‌ها و کیتونوزوآهای سازندهای میلا، ایلبک، زردکوه و فراقان در ناحیه زردکوه و انطباق آن‌ها با سکانس پالتوزوئیک ناحیه چالیشه و دارنگ، مجموعه مقالات سمپوزیوم دی‌پایپرسم با نگرشی ویژه به ایران (جلد اول)، ۲۱۸-۱۴۱.
- قویدل‌سیوکی، م (۱۳۷۷) بررسی رسوب‌های پالتوزوئیک بالایی در حوضه زاگرس و معرفی سازند زاکین در کوه فراقون، فصلنامه علمی علوم‌زمین، سال ۷، ۷۳-۵۴.
- مطیعی، ه (۱۳۹۲) زمین‌شناسی درون چاهی، جلد اول، انتشارات آراین زمین، ۶۴۲-۱.
- نائیجی، م. ر (۱۳۸۵) کاوش درباره بوم نهشته‌گذاری سازند زاکین در شمال بندرعباس و همبستگی آن با کشورهای مجاور، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۳۵، ۱۱-۸.
- Ahr, W. M (2008) *Geology of carbonate reservoir*, John Wiley and Sons, Chichester, 296.
- Baccelle, L. and Bosellini, A (1965) Diagrammi per la stima visiva della composizione percentuale nelle rocce sedimentary, *Annali dell'Universita di Ferrara Wuova serial, Sezione IX, Scienze geologiche e paleontologiche*, 4: 117-53.
- Berner, R. A (1984) *Sedimentary pyrite formation": An update. Geochemica et Cosmochemica Acta* 48: 605-615.
- Blatt, H., Middleton, G. V., and Murry, R (1980) *Origin of sedimentsry rocks: 2<sup>nd</sup> ed*, Prentic Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 782.
- Boggs, s (2009) *Petrography of sedimentary rocks, 2<sup>nd</sup> Ed.*, Cambridge University, 295.
- Cant, D. J (1992) *Subsurface facies analysis. In Facies Models: Response to Sea level Change.*

- Rider, M. H (1993) Gamma ray shape used as a facies indicator, critical analysis of an oversimplified methodology. In: Hurst A., Lovell M.A. and Morton A.C. (eds). "Geological application of wireline logs. Geological Society, London, Special Publications, 48: 27-37.
- Ronchi, P., Ortenzi, A., Borromeo, O., Claps, M., Zempolich, W. G (2010) Depositional setting and diagenetic processes and their impact on the reservoir quality in the late Viséan-Bashkirian Kashagan carbonate platform (Pre-Caspian Basin, Kazakhstan). AAPG, 94 (9): 1313-1348.
- Ros, L. F. De., S. Morad and I.S. Al-Aasm (1997) Diagenesis of siliciclastic and volcanoclastic sediments in the Cretaceous and Miocene sequences of the NW African margin (DSDP Leg 47A, Site 397): Sedimentary Geology, 112: 137-156.
- Siebert, R. M., G. K. Moncure, and R. W. Lanham (1984) A theory of framework grain dissolution in sandstones, In: (Eds.), D. A. McDonald and R. C. Surdan, Clastic Diagenesis Tulsa. Oklahoma. U.S.A.: AAPG, Memoir, 37: 163-176.
- Szabo, F (1977) Permian Triassic stratigraphy. Zagros Basin, southwest Iran, Report. 1261.
- Szabo, F. and Kheradpir A (1978) Permian and Triassic Stratigraphy, Zagros Basin, Southwest Iran. Journal Petroleum Geology 1, 57-82.
- Taghavi, A. A., Mark, A. and Emadi, M. A (2006) Sequence Stratigraphically controlled diagenesis govern reservoir quality in the carbonate Dehloran Field, Southwest, Iran. Petroleum Geoscience, 12: 115-126.
- Tucker, M. E (2001) Sedimentary petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. Blackwell Scientific Publications, 260.
- Tyson, R. V (1993) Palynofacies analysis. In: Jenkins D. G. (ed.), Applied Micropaleontology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 153-172.
- Uysal, I. T., S. D. Golding, and M. Glikson (2000) Petrographic and isotope constraints on the origin of authigenic carbonate minerals and the associated fluid evolution in Late Permian coal measures, Bowen Basin (Queensland), Australia, Sedimentary Geology, 136: 189-206.
- Vaslet, D (1990) Upper Ordovician glacial deposits in Saudi Arabia, Episodes. 13 (3): 147-161.
- Wanas, H. A (2008) Calcite-cemented concretions in shallow marine and fluvial sandstones of the Birket Qarun Formation (Late Eocene), El-Faiyum depression, Egypt, Field, petrographic and geochemical studies, Implications for formation conditions, Sedimentary Geology, 212: 40-48.
- noneuhedral growth rates, AAPG Bulletin, 92: 1537-1563.
- Lewis, D. W. and McConchie (1994) Practical Sedimentology. 2<sup>nd</sup> Edition. IX, 123.
- Lucia, F. J (2007) Carbonate reservoir characterization, Second edition", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 236 p.
- Mattes, B. W. and Montjoy, E. W (1980) Burial Dolomitization of Upper Devonian Miette buildup, Jasper National Park, Alberta", in: Zenger, D.H., Dunham, J.B. and. Ethington, R.L eds., "Concepts and Models of Dolomitization". SEPM Special. Publication, 28: 250-297.
- McClure, H. A (1978) Ar Rub Al Khali. In: Al-Sayari, S. S. and Faure, J. G. (Edit), Quaternary Period in Saudi Arabia. Springer-Verlog, Vien, 252-263.
- McHargue, T. R. and Price, R. C (1982) Dolomite from Clay in Argillaceous or Shale Associated Marine Carbonates, Journal of Sedimentary Petrology, 52: 873-880.
- Mollazal, Y (1965) The geology of the Kuh-e Neyse and adjoining area. Report. 1098.
- Moore, C. H. and Wade, W. J (2013) Carbonate reservoir: porosity, evolution and diagenesis in a sequences stratigraphic framework": Second edition, Elsevier 369. 444.
- Morad, S., and A. A. Aldaham (1986) Diagenetic alteration of detrital biotite in Proterozoic sedimentary rocks from Sweden: Sedimentary Geology, 47: 95-107.
- Muttoni, G., Gaetani, M., Kent, D. V., Sciunnach, D., Angiolini, L., Berra, F., Garzanti, e., Mattei, M. and Zanchi, A., (2009b) Opening of the Neo-Tethys Ocean and Pangea B to Pangea A transformation during the Permian. GeoArabia, 14 (4): 17-48.
- Muttoni, G., Kent, D. V., Garzanti, E., Brack, P., Abrahamsen, N., and Gaetani, M (2003) Early Permian Pangea 'B' to Late Permian Pangea 'A'. Earth and Planetary Science Letters, 215: 379-394.
- Muttoni, G., Kent, D. V., Garzanti, E., Brack, P., Abrahamsen, N., and Gaetani, M (2004) Erratum to Early Permian Pangea 'B' to Late Permian Pangea 'A'. Earth and Planetary Science Letters, 218: 539-540.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., and Siever, R. (1973) Sand and Sandstone. Springer Verlag-New York: 617.
- Poursoltani, M. R., and M. R. Gibling (2011) Composition, porosity and reservoir potential of the Middle Jurassic Kashafud Formation, northeast Iran: Marine and Petroleum Geology, 28: 1094-1110.
- Reading, H. G. and Collinson J. D (1996) Clastic coasts. Sedimentary environments. processes, facies and stratigraphy. 154-231.