

## تحلیل رخساره‌ای، ویژگی‌های دیاژنزی و شرایط محیطی سازند زاگین در بخش میانی 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 دیرینه زیستی، به ویژه سازندهای زاگین و فراقان، در برخی جایگاه‌های ورقه عربی، مخازن هیدروکربنی ساخته است، اما توان مخزنی این سازندها در بخش میانی خلیج فارس و شمال این صفحه تاکنون بررسی نشده است. در این پژوهش نهشته‌های سازند زاگین با سن دونین (ژیوسین تا فامنین) برای نخستین بار در بخش میانی خلیج فارس به طور کامل در یک چاه اکتشافی مورد بررسی قرار گرفت. این برش بر روی صفحه عربی قرار دارد و دارای بیشترین ستبرای گزارش شده از سازند زاگین است. بررسی این سازند با بهره‌گیری از برش‌های نازک خرده‌های حفاری انجام گرفته است. بر پایه ویژگی‌های سنگ‌شناسی بخش‌های آواری (پتروفاسیس‌ها) و بخش کربناته (ریزرخساره‌ها) و پدیده‌های دیاژنزی، شرایط محیط رسوبی آن‌ها بازسازی شده است. بررسی‌های سنگ‌شناسی نشانگر پتروفاسیس‌های کوارتزآرنایت، ساب‌آرکوز، آرکوز، سیلتستون، رس‌سنگ و گلسنگ و ریزرخساره گلسنگ آهکی است. بر پایه ویژگی‌های رسوب‌شناسی و روند نگار گاما، سازند زاگین در یک محیط دریایی کم ژرفای آواری شامل سه زیرمحیط دشت ساحلی، ساحلی و تبدیل تدریجی فراکرانه‌ای نهشته شده است. مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنزی در این سازند شامل فشردگی، سیمانی‌شدن، سرسیتی‌شدن، جانیشینی، نورختی و دگرسانی فلدسپارها می‌باشد. گوناگونی سنگ‌شناسی و تغییرات محیطی این سازند، شرایط مناسبی برای بررسی امکان‌سنجی مخازن هیدروکربنی را ایجاد نموده است.

واژه‌های کلیدی: سازند زاگین، نوزیستی، تحلیل رخساره‌ای، شرایط محیطی، خلیج فارس

## پیشگفتار

مختلفی از ایران مانند اشترانکوه، کبیرکوه، زردکوه، چالیشه، کوه دینار، کوه گر، کوه لاجین، کوه سبز، کوه سورمه، کوه فراقان و کوه گهکیم دارای رخنمون است. افزون بر این، سازند زاگین در حفاری‌های انجام گرفته در چاه‌های فینو-۱، نمک-۱، دالان ۱ و ۲، کبیرکوه-۱، کوه-سیاه-۱، زیره-۱، هلیلان-۱، سمند-۱، زیره-۱، نورا-۱ و دارنگ-۱ در جنوب و جنوب‌باختر ایران، شناسایی شده است (قویدل سیوکی، ۱۹۹۷b؛ زاو و خردپیر، ۱۹۷۸). از لحاظ شرایط تهنشینی، رسوبات آواری هم‌ارز این سازند در خاور ایران (سازند بهرام با سن دونین میانی-پسین) شرایط همانند نیمه گرمسیری کنونی را نشان می‌دهند (حسین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به بهره‌برداری از گاز و نفت سبک در سازندهای هم‌ارز زاگین در کشورهای کرانه جنوبی خلیج فارس از جمله عربستان

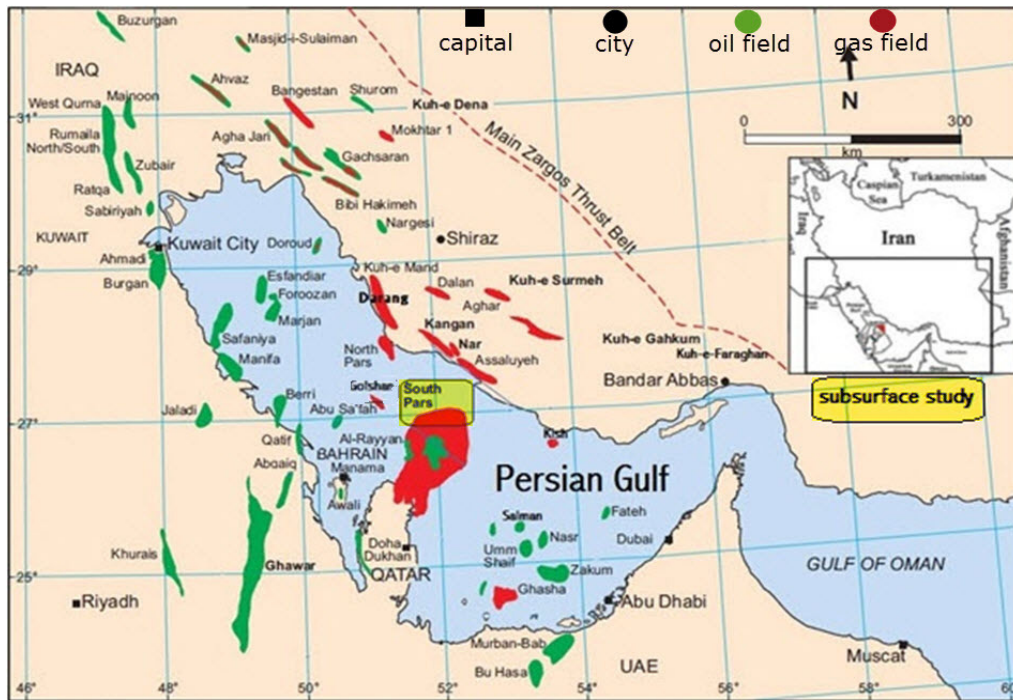
نهشته‌های آواری دیرینه زیستی زاگرس نخستین بار در کوه فراقان (ملازال، ۱۹۶۵؛ زاو، ۱۹۷۷) و کوه گهکیم (زاو، ۱۹۷۷) مورد بررسی قرار گرفتند. این نهشته‌های آواری در ناحیه زاگرس که در برگیرنده یک ناپیوستگی نزدیک ۶۰ تا ۷۰ میلیون سال است و طبق بررسی‌های گرده‌شناسی، رسوبات بخش زیرین این ناپیوستگی که سن دونین (لوخووین تا فراسنین)<sup>۱</sup> را دارد به نام سازند زاگین و رسوبات بالای آن را به نام سازند فراقان (ساکمارین) معرفی شده‌اند (قویدل، ۱۳۷۷) اما بر پایه بررسی‌های گرده‌شناسی (گزارش درونی شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۶) در بخش میانی خلیج فارس نهشته‌های سازند زاگین نشانگر زمان انتهای دونین میانی (ژیوسین) تا دونین بالایی (فامنین) است. این سازند در بخش‌های

<sup>1</sup> Lochkovian-Frasnian

کشورهای مانند ترکیه، عمان، سوریه و عراق نهشته شده‌اند (کنت و همکاران، ۲۰۰۱). در این پژوهش، داده‌های مربوط به سازند زاکین، برای نخستین بار در بخش میانی خلیج فارس (شکل ۱) مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش کنونی ویژگی‌های سنگ‌شناسی، نوع رخساره‌ها، دیاژنز و شرایط محیطی این سازند را به عنوان پایه‌ای برای بررسی کیفیت مخزنی بررسی کرد.

هدف اصلی این پژوهش معرفی رخساره‌ها، بازسازی شرایط محیطی و بررسی عوامل دیاژنزی موثر بر این سازند در بخش میانی خلیج فارس است تا بتوان با مقایسه با رخنمون‌های این سازند (زمانزاده، ۱۳۸۷) در مورد گسترش جانبی آن شناخت داشت. از سوی دیگر، 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 هیدروکربن‌های مخزن‌های کنگان و دالان (کمالی و رضایی، ۲۰۰۳)، اهمیت انجام این بررسی دوچندان می‌شود.

(نائیجی، ۱۳۸۵) و اثبات وجود شرایط مخزنی (گزارش درونی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶)، بررسی 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 دیاژنزی است (رونچی، ۲۰۱۰). این پژوهش به معرفی نوع رخساره‌ها و تاثیر فرآیندهای دیاژنزی پرداخته است. با این که پژوهش‌هایی چند بر روی رخنمون‌های سازند زاکین (زمانزاده، ۱۳۸۷؛ زلیخایی، ۱۳۹۳؛ قویدل سیوکی، ۱۹۸۸، ۱۹۹۷a، ۱۹۹۷b، ۱۹۹۹، ۲۰۰۳)، انجام گرفته است، اما بر روی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و بازسازی شرایط ته‌نشینی آن در برش‌های زیرسطحی در خلیج فارس کمتر کار شده است (برای نمونه گزارش درونی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶). در مقایسه با کشورهای همسایه، بخش بالایی سازند تاویل<sup>۱</sup> و سازندهای جوف<sup>۲</sup> و جبه<sup>۳</sup> در عربستان هم‌ارز سازند زاکین در ایران هستند همچنین، هم‌ارزهای این سازند در سایر

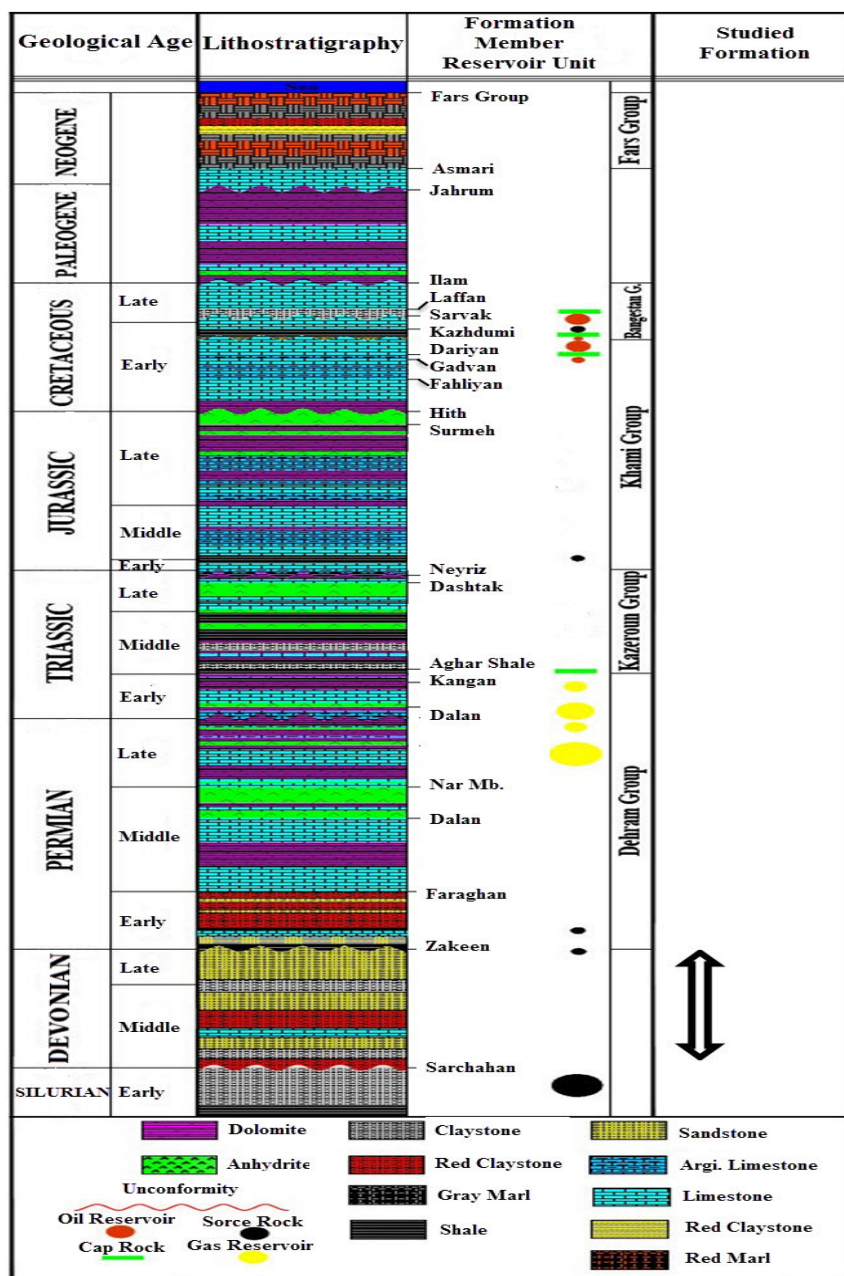


شکل ۱. جایگاه جغرافیایی منطقه مورد بررسی (بخش زرد رنگ، با تغییراتی از اینسالاکو و همکاران، ۲۰۰۶)

<sup>1</sup> Tawil

<sup>2</sup> Jauf

<sup>3</sup> Jubah



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی بخش میانی خلیج فارس، بر پایه بررسی‌های گرده‌شناسی، دونین در خلیج فارس شامل بخش‌های میانی و بالایی است (گزارش درونی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶).

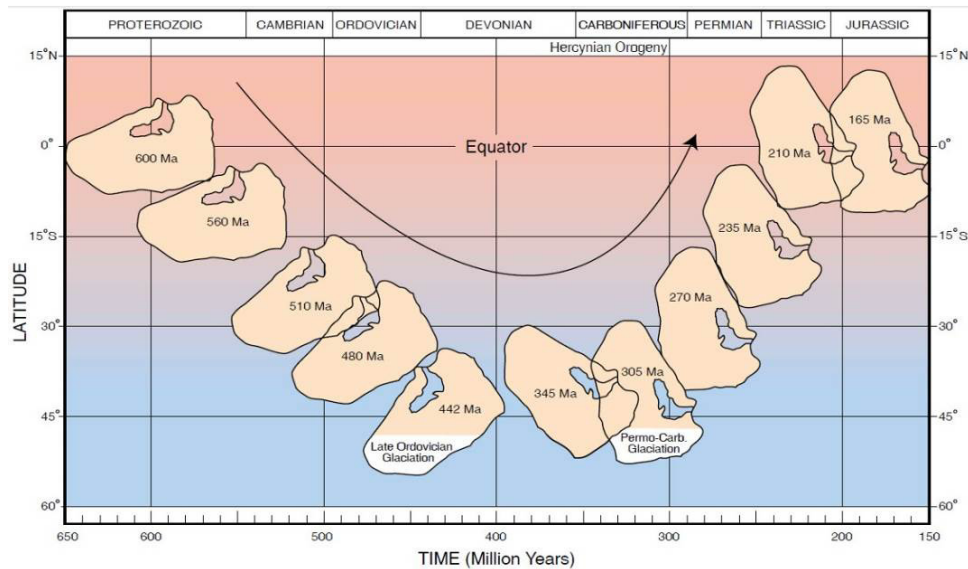
### جایگاه زمین‌شناسی

شده است (مک کلار، ۱۹۷۸؛ وسلت، ۱۹۹۰). در زمان سیلورین، دونین و کربنیفر، این صفحه حدود ۱۰۰ درجه چرخش ساعت‌گرد داشت. در زمان پرمین بازشدگی نئوتتیس به طور بخشی، همزمان با یک حرکت راستگرد لورازیا نسبت به گندوانا انجام 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 دیرینه‌زیستی در جایگاه‌های مختلفی قرار گرفت. در اردویسین پایانی این تغییر مکان به جنوبی‌ترین وضعیت خود منجر شد که رسوبات دوره یخبندان در آن گزارش

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

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



شکل ۳. نقشه جایگاه صفحه عربی و خلیج فارس در بازه دیرینه زیستی (کنرت و همکاران، ۲۰۰۱)

کربناته تهیه شد که با بهره‌گیری از میکروسکپ پلاریزان استاندارد (مدل *Nikon Eclipse LV100POL*) مورد بررسی قرار گرفتند. برای شناخت درصد فراوانی اجزای سازنده سنگ، از جدول‌های مقایسه‌ای استاندارد یاسلی و بوسلینی (۱۹۶۵) و برای نام‌گذاری پتروفاسیس‌های آواری از رده‌بندی پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۵) و بلت و همکاران (۱۹۸۰) و برای نام‌گذاری ریزرخساره کربناته از روش دانهام (۱۹۶۲) بهره‌گیری شد. برای بررسی ترکیب کانی‌شناختی رخساره‌های دانه‌ریز و نوع کانی‌های رسی موجود در آن‌ها، شمار ۲۵ نمونه از این رخساره‌ها مورد واکاوی پراش پرتو ایکس<sup>۲</sup> با دستگاه فیلیپس<sup>۳</sup> مدل (*PW1800*) در آزمایشگاه متالورژی رازی

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش، سازند زاکین با ستبرای ۵۳۰ متر در یکی از میدان‌های هیدروکربنی واقع در بخش میانی خلیج فارس با بهره‌گیری از خرده‌حفاری از ژرف‌ترین چاه اکتشافی این ناحیه مورد بررسی قرار گرفت. در آغاز خرده‌های حفاری بطور کامل شستشو و بخش‌های غیرسازندی مانند خرده‌های فلزات و دانه‌های گل‌حفاری جدا شد (مطبعی، ۱۳۹۲). سپس ویژگی‌های ماکروسکوپی نمونه‌ها مانند سنگ‌شناسی، عوارض سطحی و رنگ توسط میکروسکپ دوچشمی مدل *MEIJI-EMZ* مورد بررسی قرار گرفته و ستون سنگ‌شناسی آن بر پایه خرده‌های حفاری ترسیم شد (شکل ۴). بر پایه تغییرات سنگ‌شناسی قابل شناسایی در نمونه دستی شمار ۴۱۸ بُرش‌نازک از افق‌های آواری (متوسط دانه و ریزدانه) و

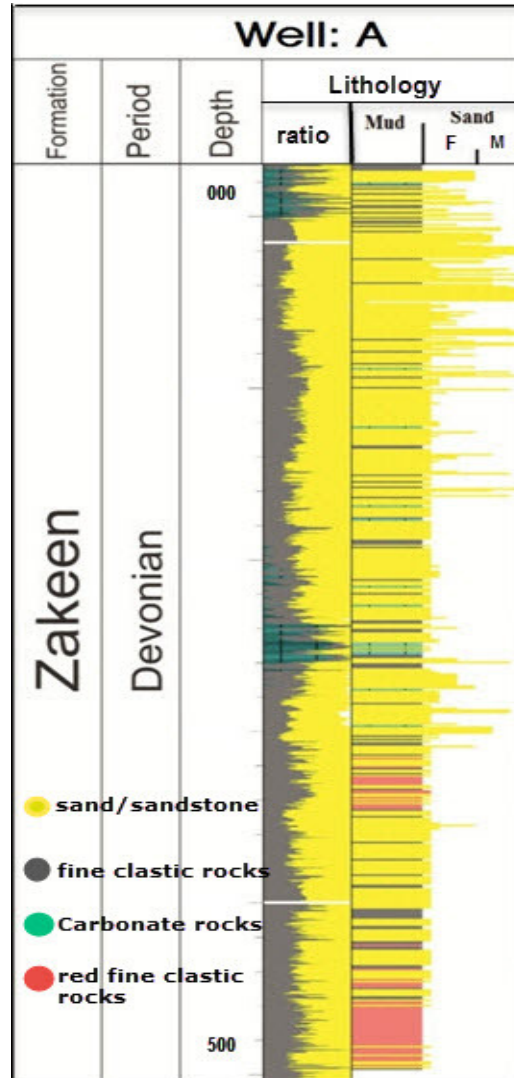
<sup>1</sup> Palynomorphs

<sup>1</sup> X-Ray DIFFRACTION (XRD)

<sup>2</sup> Philips

(مدل *VEGAN\TESCAN-LMU*) در همین آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفتند. بازسازی شرایط محیطی رخساره‌ها با تکیه بر ویژگی‌های سنگ‌شناسی و تلفیق با یافته‌های بررسی‌های گرده‌رخساره، انجام شد.

قرار گرفت. نمودارهای به دست آمده از واکاوی توسط نرم‌افزار *Expert* تفسیر شدند. برای بررسی ویژگی‌های بافتی، ریخت‌شناسی و روابط فضایی میان بلورهای کربنات و شناسایی کانی رسی، شمار ۱۸ نمونه از رخساره‌های موجود با میکروسکوپ الکترونی روبشی



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

استحکام ضعیف این دانه‌ها، تهیه بُرش‌ها و بررسی آن‌ها دارای شرایط ویژه‌ای است. تهیه بُرش‌های نازک از این ماسه‌ها با روش اشباع‌سازی انجام گرفت (لوئیس و مک‌کونچی، ۱۹۹۴). به همین دلیل، بررسی سیمان‌ها تنها در شماری از بُرش‌های میسر شد. نمونه‌های مورد بررسی در سه بخش آواری‌های دانه‌متوسط، آواری‌های دانه‌ریز و کربنات مورد بررسی قرار گرفت.

#### نتایج و بحث

بخشی از ماسه‌سنگ‌های توالی مورد بررسی به دلیل سیمان کم یا نداشتن سیمان، دارای چارچوب نسبتاً سستی بودند. در این ژرفا، پس از توصیف سنگ‌شناسی، با بهره‌گیری از نگار گاما تطابق نیز انجام گرفت و میزان تاثیر اختلاط دانه‌های ناپیوسته به حداقل رسید. این حالت بدین معناست که اتصال و پیوستگی میان دانه‌ها چارچوب وجود داشته است ولی به دلیل وضعیت ویژه و

## الف. تحلیل رخساره‌های

ساختاری و هندسی وجود نداشت. نتایج 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.

با توجه به ماهیت داده در دسترس (خرده‌حفری) معرفی رخساره‌ها عمدتاً بر پایه ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های سنگ‌شناسی آن‌ها بوده و امکان بهره‌گیری از عوارض

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

ویژگی‌های رخساره	کد	رخساره میکروسکوپی
کوارتز دانه اصلی است، فلدسپار کمتر از ۵ درصد، ماسه‌ریز تا درشت، دانه‌های فرعی چرت و کانی‌های سنگین، جورشدگی بد تا بسیار خوب، نیمه‌گرد شده تا گرد شده، دانه‌ها سست با سیمان کم (سیلیسی، پیریت و اکسید آهن)، فشردگی، سریستی شدن فلدسپارها و ایجاد رس ایلیت در ژرفا	Z1	کوارتز آرنایت
کوارتز دانه اصلی است، فلدسپار ۵ تا ۱۰ درصد، کانی‌های فرعی چرت، سنگین و مسکوویت، جورشدگی بد تا خوب، نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده، سیمان‌شدگی کم، فشردگی، دگرسانی فلدسپار و ایجاد رس‌ها (ایلیت و کمی مسکوویت)	Z2	ساب آرکوز
کوارتز دانه اصلی است، فلدسپار ۲۵ تا ۳۰ درصد، کانی‌های سنگین و مسکوویت، جورشدگی بد تا خوب، نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده، سیمان‌شدگی کم سیلیسی و کربنات، فشردگی، دگرسانی فلدسپار و ایجاد رس‌ها (ایلیت و کمی مسکوویت)	Z3	آرکوز
کوارتز دانه اصلی است، مقداری فلدسپار (ارتوکلاز و آلبیت) و رس دارد، مقداری ماسه دارد. کانی‌های سنگین و مسکوویت، جورشدگی بد تا خوب، زاویه‌دار تا گرد شده، سیمان‌شدگی اکسید آهن در خمیره و ایجاد رنگ قهوه‌ای، رس ایلیت	Z4	سیلستون
کانی‌های رسی بویژه ایلیت دانه اصلی هستند، دانه‌ها سیلت کوارتزی تا ۱۵ درصد دارد. سریستی شدن دانه‌ها فلدسپارها و ایجاد رس‌ها، اکسیدی شدن و ایجاد رنگ قهوه‌ای	Z5	رس سنگ
رس و سیلت دانه‌ها اصلی هستند، اندکی دانه‌ها ماسه کوارتزی دارد، اکسیدی شدن و ایجاد رنگ قهوه‌ای، ایلیت کانی اصلی رسی است.	Z6	گل‌سنگ آواری
گل دولومیتی و کلسیتی، دارای تبلور دوباره و نوریختی، اندکی دانه‌ها ماسه کوارتزی دارد.	Z7	مادستون کربناته

## پتروفاسیس (Z1)، کوارتز آرنایت

آرایشی کاملاً بسته داشته و به نظر می‌رسد پیش از سیمانی‌شدن زیر تأثیر فشار بار بالایی فشرده شده‌اند (شکل ۶- A و B). به گونه‌ای که بیش‌تر مرز دانه‌ها در هم رفته و از نوع کاو- کوژ و مضرس می‌باشد. البته موارد اندکی نیز دیده شده‌اند که به نظر می‌رسد سیمانی‌شدن پیش از فشردگی دانه‌ها انجام گرفته است (شکل ۶- C). سیمان‌ها در این رخساره بیش‌تر از نوع سیلیسی و کربناته (دولومیتی) هستند (شکل ۶- D) و در موارد اندکی سیمان پیریتی و اکسید آهن نیز دیده می‌شود. این رخساره در بیش‌تر بخش‌های توالی مورد بررسی حضور دارد. بررسی پرتو ایکس نشان می‌دهد که در این پتروفاسیس، کوارتز ( $SiO_2$ ) جز اصلی سازنده 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 نمونه بالا چپ در شکل ۸- A) گاه اثرات دگرسانی ابتدایی را نشان

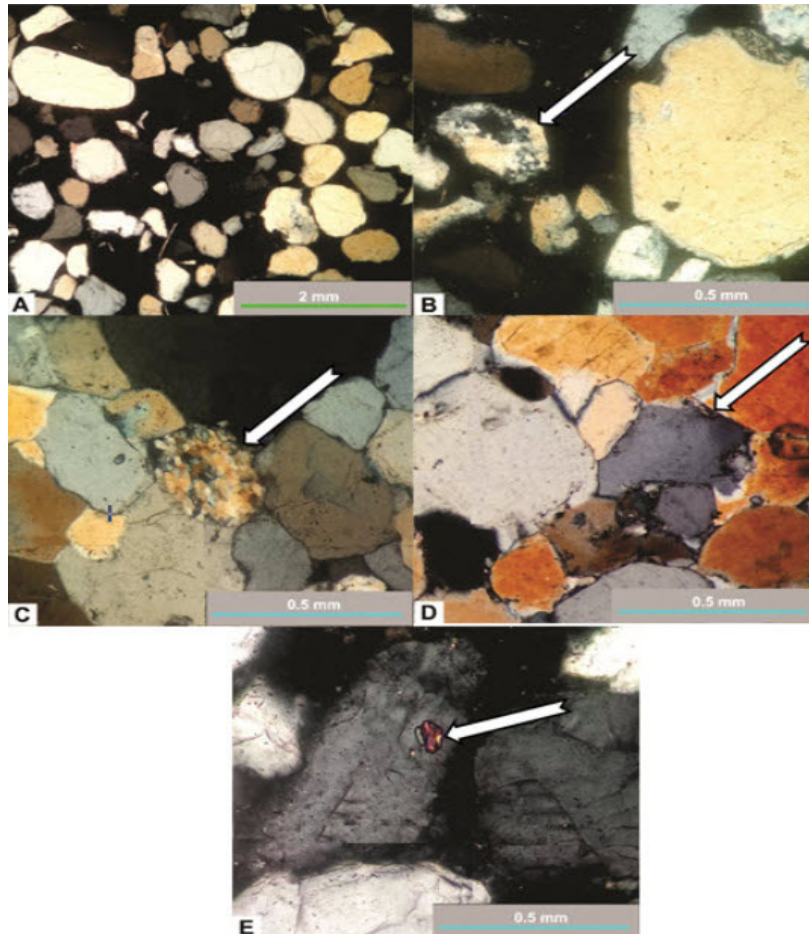
کوارتز در این پتروفاسیس، دانه‌ها اصلی سازنده هستند که فراوانی آن‌ها بیش‌تر از ۹۵ درصد است. اندازه دانه‌ها در این پتروفاسیس، از ماسه‌ریز تا درشت تغییر می‌کند، همراه کوارتزها، دانه‌های مانند چرت و کانی‌های سنگین نیز دیده می‌شوند. بیش‌تر کوارتزها تک‌بلور بوده و گردشگی آن‌ها با اندازه رابطه مستقیم دارد (شکل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

است نزدیک ۲۵ تا ۳۰ درصد می‌باشد. اجزاء فرعی شامل زیرکن و تورمالین و در مواردی دانه‌ها 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 نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گرد در تغییر هستند. آرایش دانه‌ها در پتروفاسیس آرکوز نیز فشرده بوده و دانه‌ها بیش‌تر در هم رفته‌اند (شکل ۱۰- A)، این فشرده‌گی با خمیدگی در مسکوویت‌های موجود به سادگی دیده می‌شود (شکل ۱۰- B). سیمان‌ها شامل انواع سیلیسی و کربناته (دولومیت) است. یافته‌های پراش اشعه‌ایکس و واکاوی نقطه‌ای نشان‌دهنده چیره بودن کوارتز نسبت به دیگر اجزا می‌باشد و در کنار آن کانی‌های فلدسپار ارتوکلاز نیز مشخص شده است (شکل ۱۱).

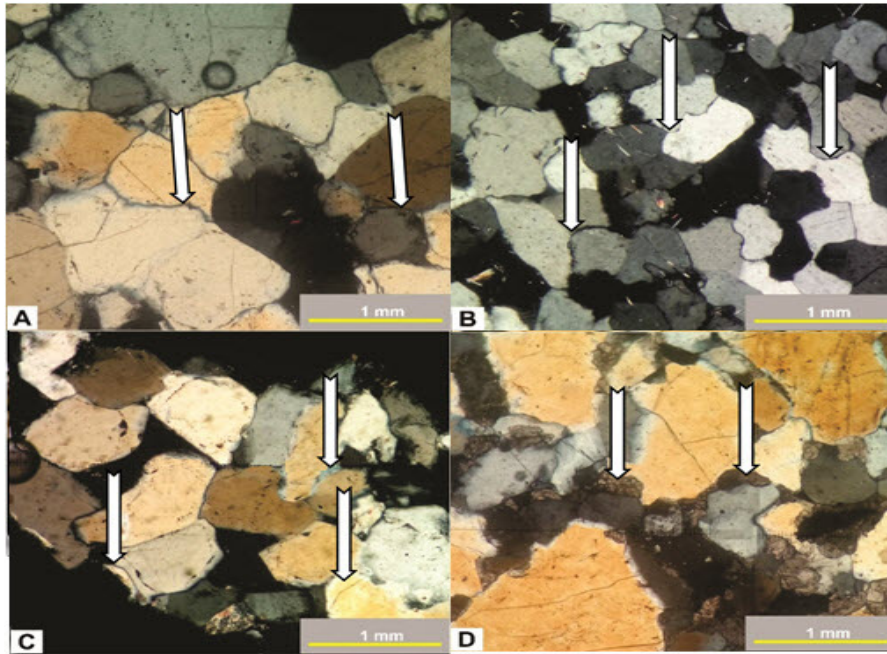
می‌دهند. اما این دگرسانی در حدی نبوده که شناسایی دانه‌ها را با مشکل مواجه کند (شکل ۸- A و B). در کنار دانه‌ها اصلی یعنی کوارتز و فلدسپار، اجزاء فرعی مانند کانی‌های سنگین (زیرکن و تورمالین)، چرت و مسکوویت (شکل ۸- B) نیز دیده شد. این پتروفاسیس همانند کوارتزآرنایت‌ها جورشدگی بدی دارند. گردشدگی دانه‌ها نیز از نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گرد متغیر است. به طور کلی، از لحاظ آرایش، دانه‌ها 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 مسکوویت (شکل ۸- B) در این رخساره حضور دارد

### پتروفاسیس (Z3)، آرکوز

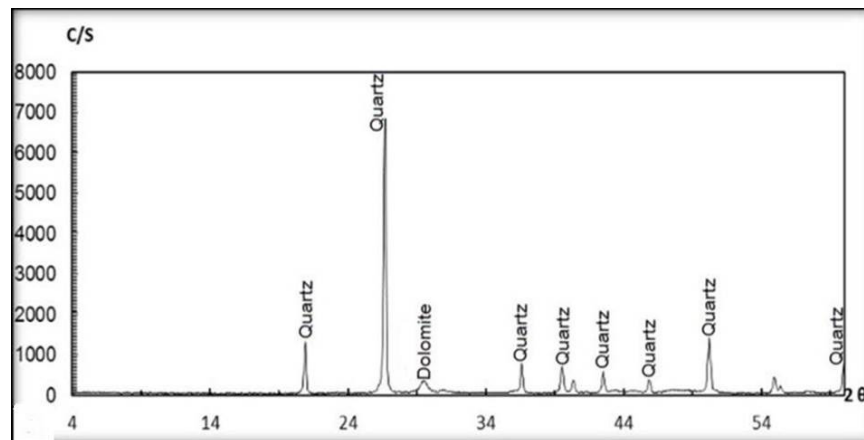
بیش‌تر دانه‌ها در این پتروفاسیس کوارتز است و میزان دانه‌ها فلدسپار آن که شامل انواع پتاسیم‌دار و پلاژیوکلاز



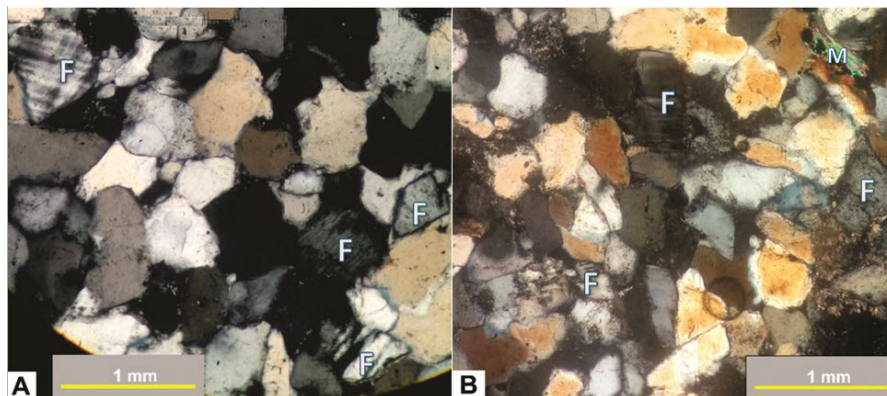
شکل ۵. دانه‌های کوارتز سازندهٔ چارچوب پتروفاسیس Z1 فراوانی کوارتز تک‌بلور در این رخساره با گردشدگی بهتر دانه‌ها درشت‌تر (A)، حضور کوارتز چندبلوری با فراوانی اندک (B و C)، و خاموشی موجی نادر (D) و ادخال زیرکن در برخی دانه‌ها (E) (XPL)



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

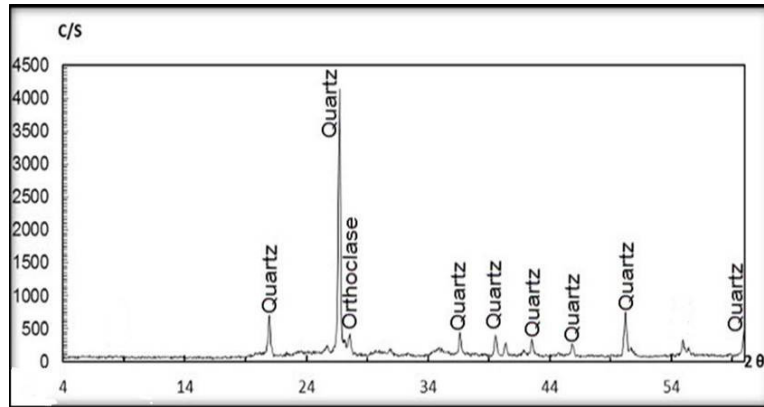


شکل ۷. واکاوای پراش پرتو ایکس پتروفاسیس ZI که نشانگر فراوانی کوارتز و حضور دولومیت است.

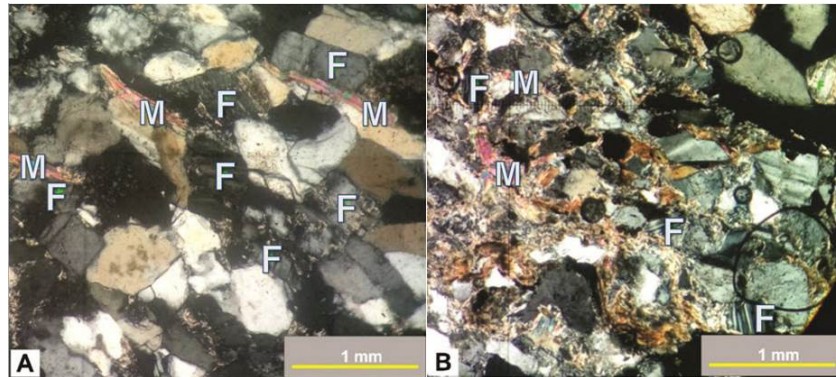


شکل ۸. دانه‌های درهم رفته که فضای کمی برای تشکیل سیمان دارد (A) و دارای سیمان کربناته (B) در پتروفاسیس Z2 (M) مسکویت، انواع فلدسپار (XPL) (F)

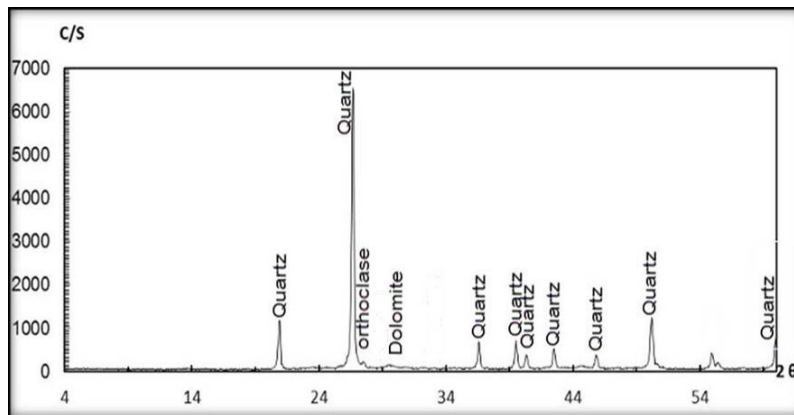




شکل ۹. واکاوی پراش پرتو ایکس که نشانگر فراوانی کوارتز و حضور فلدسپار (ارتوکلاز) در پتروفاسیس Z2 است.



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



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

### پتروفاسیس (Z4)، سیلتستون

همانند چهار پتروفاسیس پیشی، کوارتز جز اصلی سیلتستون‌ها است که مقداری فلدسپارها مانند ارتوکلاز و آلپیت 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

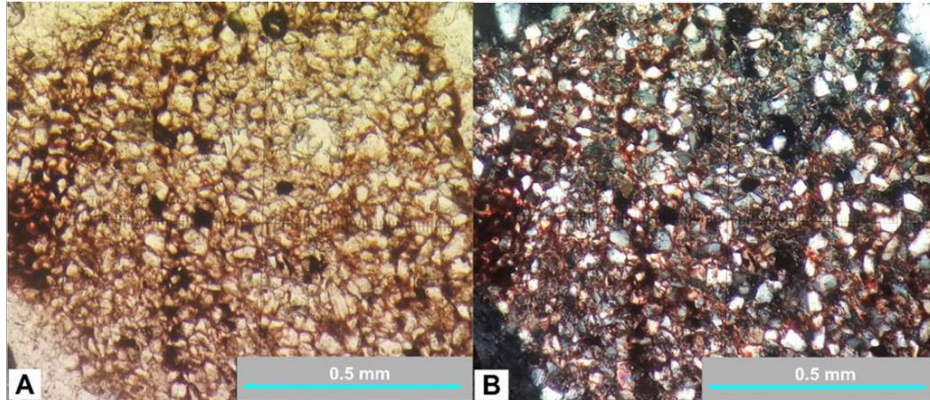
دانه‌ها ماسه خیلی‌ریز تا ریز دیده شده‌اند که گردشگری متنوعی از زاویه‌دار تا گرد شده را نشان می‌دهند. در مواردی سیمان اکسید آهن در بین خمیره رسی نفوذ کرده و ظاهری با رنگ قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره به سنگ داده است (شکل ۱۲-A و B). داده‌های واکاوی پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد که کوارتز کانی اصلی این رخساره بوده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

سنگ‌شناسی 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 دانه‌ها فلدسپاری و یا حالت تجمع سیلیسی در آن دیده می‌شود (شکل ۱۴-A و B).

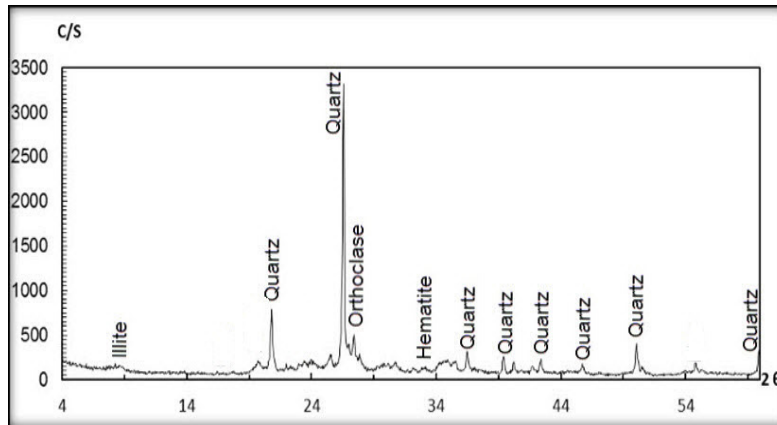
هستند (شکل ۱۳) که با نتایج واکاوی نقطه‌ای نیز تأیید گردید.

### پتروفاسیس (Z5)، رس سنگ

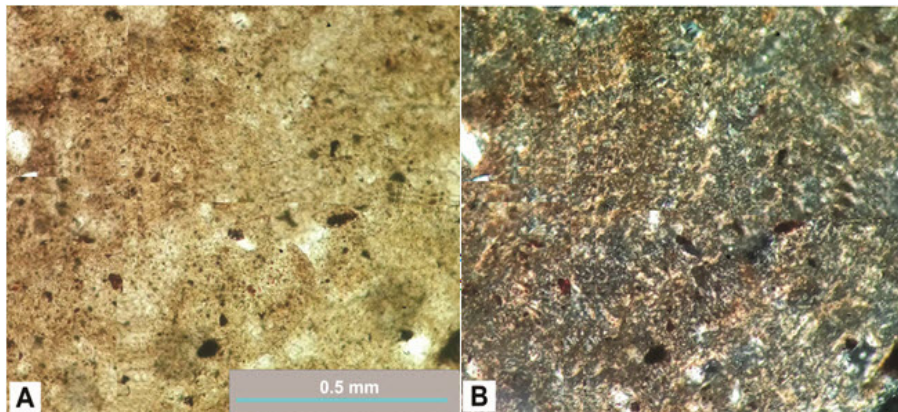
کانی‌های رسی جزء اصلی سازنده این پتروفاسیس هستند. در مواردی دانه‌ها پراکنده با اندازه سیلت و



شکل ۱۲. دانه‌ها 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. واکاوی پراش پرتو ایکس از پتروفاسیس Z4 که نشان دهنده حضور کانی رسی ایلیت است.

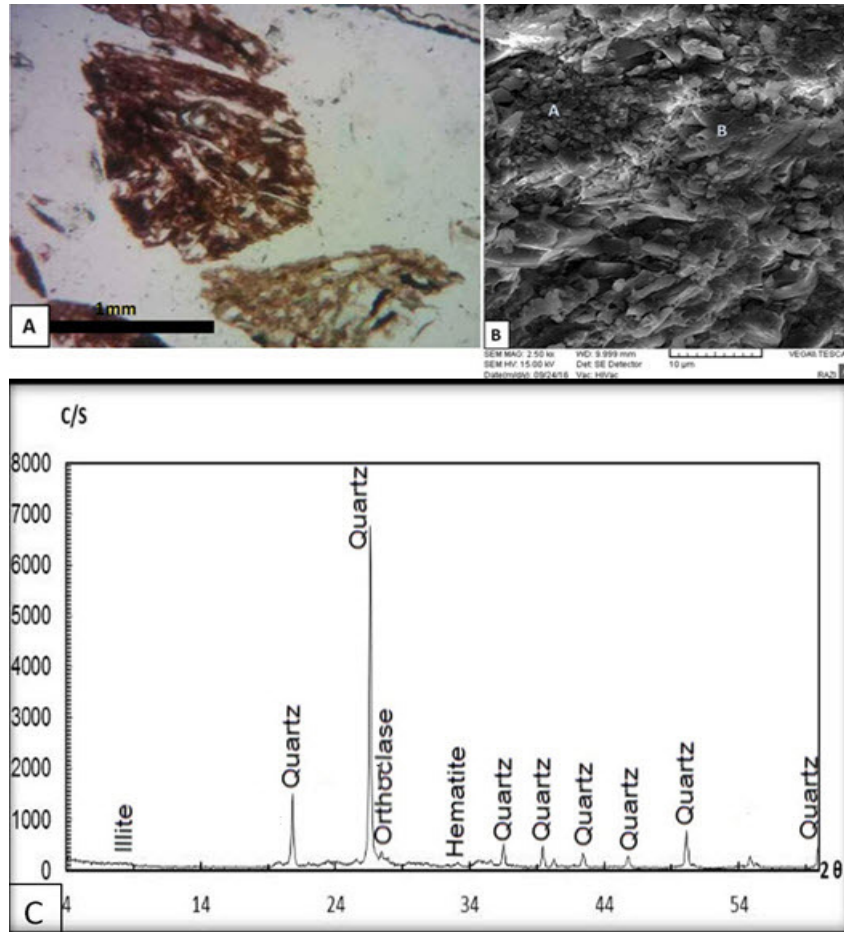


شکل ۱۴. A و B) سریسیتی شدن دانه‌ها فلدسپاری (نواحی روشن) در رس‌ها (A: PPL و B: XPL شکل A)

**پتروفاسیس (Z6)، گلسنگ**

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

پتروفاسیس شامل مجموعه‌ای از دانه‌ها 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 دیده می‌شود. در



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

جدید با همان ترکیب شیمیایی در سیستم بلوری جدید ساخته شده‌اند (شکل ۱۶-B).

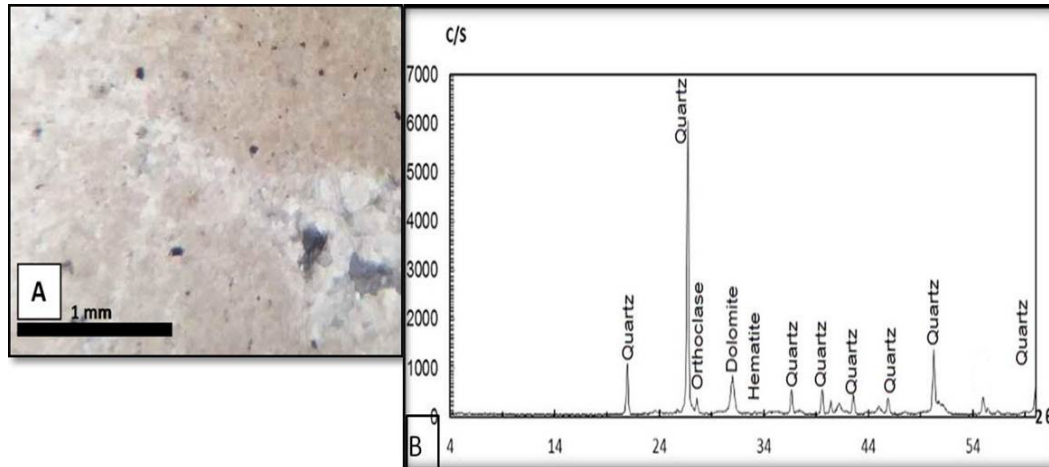
**ب. دیاژنز**

مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی سازند زاکین در برش A که در ضمن توصیف رخساره‌های میکروسکوپی آمده است شامل فشردگی، سیمانی‌شدن، سرسیستی‌شدن، جانیشینی، تبلور دوباره و دگرسانی فلدسپارها است. برپایه مشاهدات و تفسیر پدیده‌های دیاژنزی می‌توان توالی پاراژنزی را در این سازند زیر عناوین فرآیندهای ائوزنزی، مزوزنزی 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 دوباره و نوریختی شده و درشت بلورتر شده‌اند. این ریزرخساره در نمونه‌های دیده شده، از گل‌آهکی و دولومیتی تشکیل شده است (شکل ۱۶-A) که دارای دانه‌ها ماسه کوارتزی است و فاقد هر نوع آلومینی می‌باشد. تبلور دوباره بیش‌تر به صورت تبدیل میکرایت به میکرواسپاریت قابل دیده است. نوریختی، بیانگر آن است که بلورهای قدیمی از بین رفته و جای آن‌ها بلورهای

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



شکل ۱۶. A) ریزخساره Z7 (XPL) و B) واکاوی پراش پرتو ایکس این رخساره

موارد 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 دیده شده است. این سیمان به صورت پر کننده فضاهای باقی‌مانده بین‌دانه‌ای است و بیش‌تر به صورت دولومیت درشت بلور بوده و با توجه به این ویژگی می‌توان آن را به محیط‌های دفنی ژرف ارتباط داد (متس و مونتجوی، ۱۹۸۰؛ مک هارگو 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 شناسایی کرد. در ابتدا به منظور درک درست از فرآیندها و محصولات دیاژنزی نیاز است که ترتیب و ژرفا رخداد آن‌ها شناسایی شود.

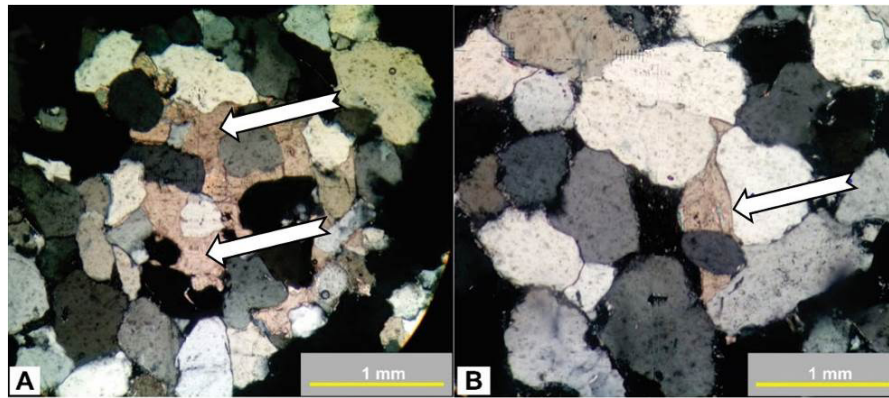
با افزایش بار بالایی ناشی از تجمع رسوبات، لایه‌های زیرین فشرده شده و فضای بین دانه‌ها با افزایش ژرفا کاهش می‌یابد. این فرآیند از زمان شروع ته‌نشینی رسوبات روی هم و در مراحل اولیه و دفنی ژرف ادامه دارد (کیم و لی، ۲۰۰۳). مهم‌ترین عوامل موثر بر فشردگی

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 ساخته شده است. این سیمان به دو صورت میان‌دانه‌ای و رورشدی<sup>۱</sup> دیده شده و در بیش‌تر 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 دیاژنز دفنی رخ داده است (کیم و لی، ۲۰۰۳؛ لندر و همکاران، ۲۰۰۸). به استثناء مواردی اندک از سیمان پیریتی، سیمان سیلیسی بیش‌تر نخستین سیمانی بوده که بر روی دانه‌ها ته‌نشین شده است (شکل ۶- C). سیمان سیلیسی بیش‌تر بعد از فشردگی رسوبات و در فضاهای بین‌دانه‌ای تشکیل شده و به همین دلیل بخش کوچکی از سنگ را می‌سازد. در

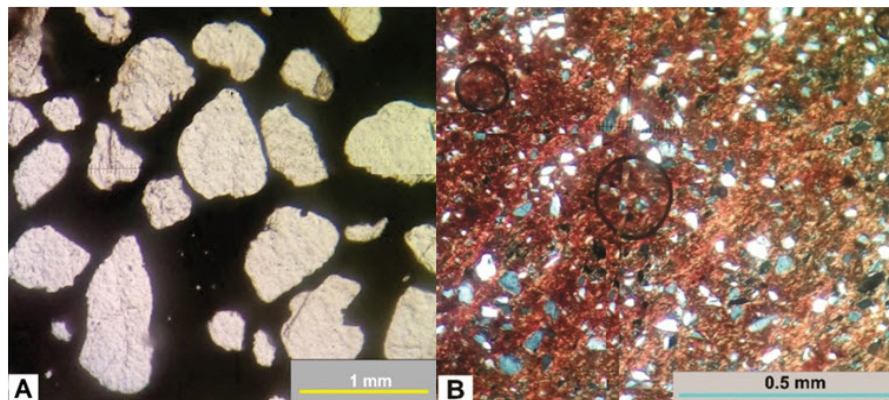
<sup>1</sup> Overgrowth

در این سیمان آرایشی باز داشته و فشردگی متحمل نشده‌اند، می‌توان گفت که این سیمان در ژرفای کم و در شرایط کاهشی (احیایی) ته‌نشین شده است. این شرایط با در نظر گرفتن میزان اندک این نوع سیمان می‌تواند نشانگر شرایط محیطی کاهشی در نواحی نادر و ته‌نشینی این نوع سیمان باشد (شکل ۱۸ - A) هرچند سیمان پیریتی بیش‌تر در ژرفا 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 بررسی دیده شد. این سیمان در نمونه‌های دستی به رنگ زرد دیده می‌شود و تنها در پتروفاسیس کوارتزآرنایت دیده شد که به صورت فراگیر، دانه‌ها را دربر می‌گیرد. برای تشکیل پیریت نیاز به محیط احیایی است و این شرایط یا در محیط‌های ژرف دفنی یا در محیط‌های سطحی با میزان مواد آلی بالا ایجاد می‌شود (برنر، ۱۹۸۴). با توجه به اینکه دانه‌های کوارتز



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



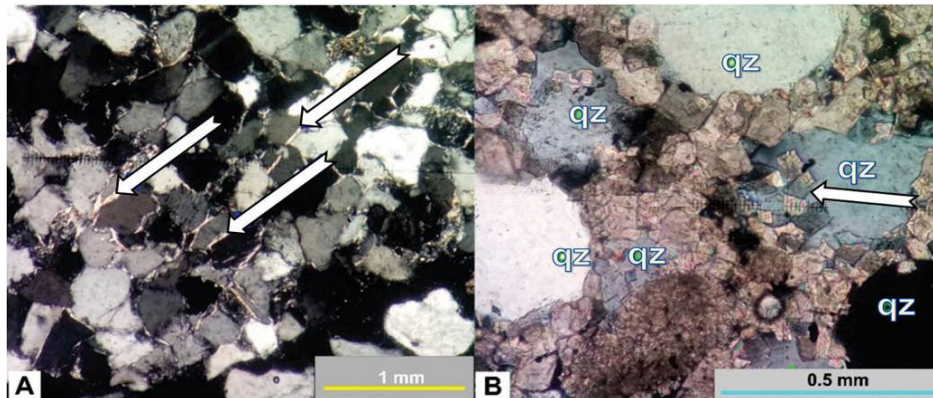
شکل ۱۸. A) سیمان پیریتی ته‌نشین شده (تیره رنگ) در بین دانه‌ها کوارتز در سازند زاکین، این سیمان با توجه به آرایش باز دانه‌ها به نظر می‌رسد در ژرفای کم و پیش از فشردگی ته‌نشین شده است. B) سیمان اکسید آهن تزریق شده در زمینه رسی A) : PPL B) : XPL

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 سازنده سنگ حضور داشته است. با توجه به اینکه در پتروفاسیس‌های ریزدانه‌ای که سیمان اکسید آهن حضور دارد پیریت به صورت سیمان و بلورهای خودشکل دیده نشده است، می‌توان گفت که شرایط محیطی اکسیدان

سیمان اکسید آهن نوع دیگر سیمان است که بیش‌تر در پتروفاسیس‌های ریزدانه سیلتستون و رس‌سنگ‌ها دیده شد. ته‌نشینی در محیط اکسیدان می‌تواند عاملی برای 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 سنگ‌ها گستردگی فراگیر

است (تاکر، ۲۰۰۱ و بوگز، ۲۰۰۹). این فرآیند در توالی‌های مورد بررسی بیشتر در کرنات‌ها رخ داده است. در این سنگ‌ها که گل کرنات‌ه 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 کرنات (دولومیت) در حاشیه، جانشین دانه‌ها کوارتز شده‌اند (شکل ۱۹-B). دانه‌های فلدسپار پتاسیم‌دار به دلیل پایداری کم در محیط دیازنزی زیر تأثیر دمای بالا و سیالات درون منفذی تجزیه شده و محصولات ثانویه همچون کانی‌های رسی و سریسیت حاصل می‌شود. در سنگ‌های مورد بررسی میزان این دگرسانی پیشرفت چندانی نداشته و بیشتر در امتداد رخ برخی دانه‌ها، لایه‌های نازک رسی دیده می‌شود. شکل ۲۰ توالی پاراژنزی این سازند را نشان می‌دهد.

بوده (واناس، ۲۰۰۸) و آهن نیز به صورت سه‌ظرفیتی ( $Fe^{3+}$ ) ته‌نشین شده و از همان ابتدا اکسید آهن شکل گرفته است. پس این سیمان مربوط به انوژنز 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 ژرفا 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 دوباره به عنوان تغییر در اندازه بلورها بدون تغییر در ترکیب تعریف می‌شود و بیش‌تر از نوع افزایشی



شکل ۱۹. A) سریسیتی شدن دانه‌ها فلدسپار در کانی‌های رسی (پیکان‌ها) در مرز بین دانه‌های کوارتز در سازند زاکین و B) گل کرنات‌ه طی تدفین ژرف 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).

تلوزنز	مزوزنز	انوژنز	محصولات دیازنزی
			فشردگی
			دگرسانی فلدسپارها
			سریسیتی شدن
			سیمان اکسید آهن
			سیمان پیریتی
			سیمان سیلیسی
			سیمان کرنات (دولومیتی)
			نوشکلی در کرنات‌ها
			دولومیتی شدن

شکل ۲۰. توالی پاراژنزی در نهشته‌های سازند زاکین در چاه A در بخش میانی خلیج فارس

در توالی نمایان می‌شود. این مجموعه رخساره‌ای می‌تواند شامل نگار گاما در مقابل مجموعه رخساره‌های ۲، ۴ و ۶ سازند زاگین باشد (شکل ۲۲) که دارای میزان گاما پایین و نسبتاً ثابت<sup>۵</sup> است. در بخش زیرین بخش ۶ به دلیل حضور میان لایه‌های رس و دانه‌ها 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 زیرمحیط فراکرانه‌ای<sup>۷</sup>

این مجموعه رخساره‌ای از رخساره‌های سنگ‌آهک ماسه‌ای (Zn4)، شیل (Zn2) و مقداری ماسه‌سنگ (Zn1) تشکیل شده است. رخساره‌های آهکی نشان از شرایط رسوب‌گذاری فراکرانه‌ای دارند. بنابراین، با توجه به تغییرات رخساره‌ها در این سازند از رخساره آهکی به دیگر رخساره می‌توان اشاره کرد که نوسان‌های 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 زاگین باشد که به دلیل عدم تشخیص شول در این زیر محیط روند کاهشی و افزایشی<sup>۸</sup> ندارد. این زیرمحیط به تدریج ژرف‌تر شده و میزان گامای آن روند افزایشی را نشان می‌دهد. این مجموعه رخساره‌ای به زیر محیط گذر به محیط‌های فراکرانه‌ای که دارای نهشته‌های کربناته نیز می‌باشد نسبت داده می‌شود.

#### (د) مدل رسوب‌گذاری سازند زاگین در برش A

بر پایه نتایج حاصل از بررسی‌های رسوب‌شناسی که پیش‌تر آمده است به همراه یافته‌های پژوهش‌های پالینوفاسیس این سازند در همین برش از میدان پارس جنوبی (گزارش داخلی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶) که محیط ساحلی کم ژرفا با اکسیژن کم تا متوسط، را پیشنهاد کرده است، محیط رسوبی سازند زاگین در برش مورد بررسی، از نوع محیط‌های دریایی کم‌ژرفا آواری شامل یک محیط ساحلی آواری ساده تفسیر می‌شود

#### (ج) مجموعه‌های رخساره‌ای و محیط رسوبی

با توجه به اینکه در این بررسی از خرده‌های حفاری و بُرش‌های نازک آن‌ها بهره‌گیری شد محدودیت‌هایی برای شناسایی محیط رسوبی مانند دسترس نبودن مغزه یا بیرون‌زدگی و دیده نشدن ساخت‌های رسوبی وجود دارد (برای نمونه شناخت محیط رسوبی با بهره‌گیری از بررسی خرده‌های حفاری می‌توان به مطالعات زمانزاده (۱۳۸۷) و گزارش درونی شرکت نفت و گاز پارس (۱۳۹۶) اشاره کرد). با این حال، برای شناخت محیط رسوبی افزون بر سنگ‌شناسی از داده‌های نگارگاما (کانت، ۱۹۹۲؛ ریدر، ۱۹۹۳) نیز بهره‌گیری شد (شکل ۲۲).

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

این مجموعه رخساره‌ای بیش‌تر از گلسنگ قرمز (Zn3) و مقداری ماسه‌سنگ (Zn1) تشکیل شده است. ماسه‌سنگ‌های گردشده نشان‌دهنده محیط پرانرژی 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 (تاگر، ۲۰۰۱). این مجموعه رخساره‌ای می‌تواند شامل نگار گاما متناظر با مجموعه رخساره‌های ۵ و ۷ سازند زاگین (شکل ۲۲) باشد که میزان گاما دارای تغییرات نامنظم<sup>۲</sup> و شکل میان 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 زاگین دیده می‌شود.

#### مجموعه رخساره‌ای (FA2) مربوط به زیرمحیط 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 دانه‌ها هم به صورت درشت شونده به بالا و هم به صورت ریزشونده

<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

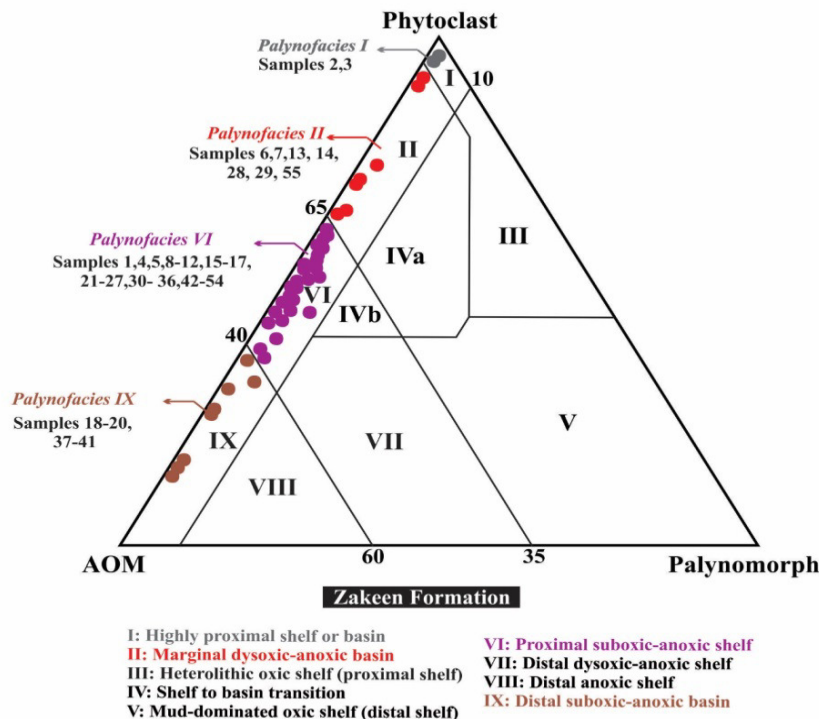
<sup>4</sup> Shoreface

خشکی پایین آمده و سبب نهشته شدن گل‌آهکی شده است.

برای دقت بیشتر در شناسایی محیط ته‌نشینی این سازند از روند گاما (کانت، ۱۹۹۲؛ ریدر، ۱۹۹۳) نیز بهره‌گیری شده است (شکل ۲۱). بر این مبناء محیط رسوبی سازند زاکین در این برش، شامل سه محیط دشت ساحلی، ساحلی و انتقالی و محیط فراکرانه‌ای می‌شود. بر پایه یافته‌های این پژوهش سازند زاکین در این برش، در محیط فلات قاره بسیار نزدیک به ساحل ساخته شده است. سپس محیط ساخت رسوبات این واحد سنگی ژرف‌تر شد و به محیط بسیار نزدیک به ساحل و ساحلی کم‌ژرفاً<sup>۲</sup> با اکسیژن کم تا متوسط تبدیل شده است. هم‌چنین بخش بالایی این سازند در محیط فراکرانه‌ای با اکسیژن کم-نیمه اکسیژن‌دار می‌باشد که نزدیک مرز سازندهای زاکین و فراقان به شلف نزدیک به منشأ تبدیل گردیده است.

(شکل ۲۲). این محیط تشکیل توالی‌های پسروده و درشت شونده به سمت بالا را نشان می‌دهند. نهشته‌های دشت ساحلی این سازند بیش‌تر ریزدانه هستند. در زیر محیط دشت ساحلی تناوب ماسه‌سنگ و گل‌سنگ‌های قرمز یا قهوه‌ای رنگ که حاصل تاثیر شرایط زیر جوی می‌باشند وجود دارد. این مجموعه تناوب نشانگر روند پیشروی و پسروی آب دریا می‌باشد. تناوب ماسه‌سنگ و شیل با چیرگی ماسه‌سنگ‌ها نشان از زیرمحیط ساحلی دارد. (برای نمونه، زمانزاده، ۱۳۸۷) و بررسی داخلی شرکت نفت و گاز پارس، ۱۳۹۶) محیط همانندی را برای این سازند معرفی کرده است) این ماسه‌سنگ‌ها دارای شرایط ریز شونده و درشت شونده به سمت بالا می‌باشند. هم‌چنین تغییر در ستبرای نهشته‌های ماسه‌ای و شیلی معمولاً در محیط‌های آواری وجود دارد.

این محیط رسوبی به صورتی است که در بخش‌های رو به دریا یعنی در بخش زیرمحیط گذر تدریجی<sup>۱</sup> به محیط‌های فراکرانه‌ای، میزان انرژی و ورود رسوبات از

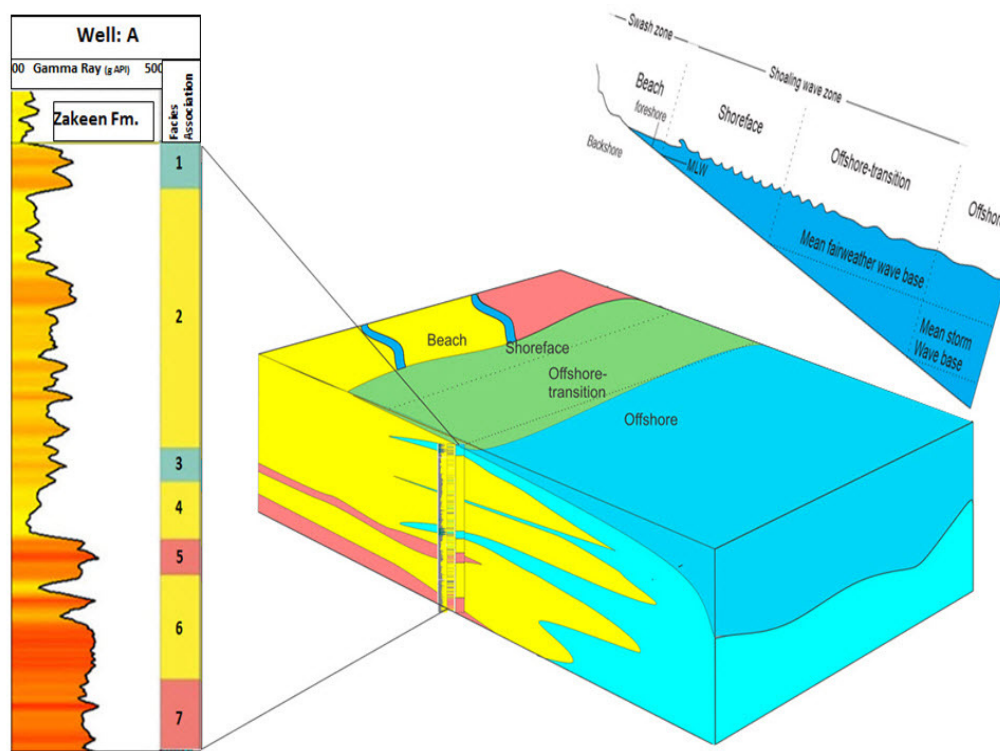


شکل ۲۱. گرده‌رخساره‌های سازند زاکین در چاه A بر روی نمودار تالیسون (۱۹۹۳) که نشانگر محیط ساحلی کم ژرفا با اکسیژن کم تا متوسط شامل محیط ساحلی، نزدیک ساحل و فراکرانه‌ای است (گزارش درونی شرکت ملی نفت، ۱۳۹۶).

<sup>1</sup> Transition

<sup>2</sup> Marginal





شکل ۲۲. مدل رسوبی سازند زاکین و زیرمحیطه‌های آن به همراه دسته رخساره‌ها که بر پایه بررسی‌های سنگ‌شناسی تهیه شده است. از نگار گامی آن‌ها به عنوان ابزار کمکی بهره‌گیری شد. زیرمحیطه‌های رسوبی ساحل (زرد رنگ)، پیش ساحل (قرمز رنگ) و فراکرانه‌ای (آبی رنگ) (مدل رسوبی با تغییراتی از ری‌دینگ، ۱۹۹۶).

### نتیجه‌گیری

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

پتروفاسیس‌های سازند زاکین شامل کوارتزآرنایت، ساب‌آرکوز، آرکوز، سیلتستون، رس‌سنگ و گلسنگ و ریزرخساره گل‌سنگ کربناته است که برای نخستین بار در بخش میانی خلیج‌فارس، به طور کامل حفاری و بررسی شد.

فرآیندهای دیاژنزی نشانگر حضور سازند زاکین در دو مرحله ائوژنز و مزوژنز می‌باشد ولی نشانه‌هایی از مرحله تلوژنز دیده نشد. در پتروفاسیس‌ها آثاری از فشردگی، سیمانی‌شدن سیلیسی، کربناته، پیریتی و اکسید آهن، دگرسانی فلدسپارها و سریسیتی‌شدن دیده شد، اما در ریزرخساره مادستونی فرآیندهای دیاژنزی شامل نورپختی و دولومیتی‌شدن می‌باشد. با توجه به ساخت سیمان‌های رسی (سریسیتی) می‌توان بیش‌ترین تدفین این سنگ‌ها را تا ژرفاهای بیش‌تر از سه کیلومتر برآورد کرد.

یافته‌ها نشانگر ته‌نشینی این سازند در محیط ساحل خطی با زیرمحیطه‌های دشت ساحلی، کم‌ژرفا ساحلی و ژرف‌تر فراکرانه‌ای است. زیرمحیط کم ژرفا ساحلی توان ساخت مخزن هیدروکربنی را در سازند زاکین دارد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از واحد پژوهش و توسعه شرکت‌های تابعه ملی نفت برای فراهم آوردن امکانات این پژوهش، بسیار سپاسگزارند. همچنین از داوران گرامی برای طرح دیدگاه‌های ارزنده‌شان که باعث افزایش بار علمی این مقاله شد سپاسگزاری می‌نمایند.

### منابع

- آقانباتی، س. ع. (۱۳۸۷) فرهنگ چینه‌شناسی ایران، جلد دوم (دوین - 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 (دوین)

- 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 Lotfipour 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، پایان نامه کارشناسی ارشد.*
- زمان‌زاده، س. م (۱۳۸۷) *مشخصات سنگ‌شناسی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازندهای زاکین و فراقان در مقطع تیپ، شمال بندرعباس، دانشگاه تهران، رساله دکترا.*
- 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 علوم زمین، 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 Nuova 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 sedimentary rocks: 2<sup>nd</sup> ed*, Prentice 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.*