

محیط رسوبی سازند قلی در حوضه البرز (ناحیه رباط قره‌بیل)، شمال خاوری ایران

رضا بهبهانی^{۱*}، محمد قویدل سیوکی^۲، سمیه برجی^۳، محمودرضا مجیدی‌فرد^۴ و مرتضی یوسفی^۵

۱- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

۲- انستیتوی مهندسی نفت، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران

۴- پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

۵- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز کردستان، سنندج

نویسنده مسئول: rezabehbahani30@yahoo.com

دریافت: ۹۷/۱۰/۳ پذیرش: ۹۸/۳/۲۲

چکیده

در این پژوهش، محیط رسوبی سازند قلی با سن اردوئین پسین در شمال خاوری حوضه البرز (ناحیه رباط قره‌بیل؛ کوه کورخود) بررسی شده است. این مطالعه بر پایه بازدیدهای میدانی، سنگ نگاری برش‌های نازک، ساخت‌های رسوبی و بررسی‌های گرده‌شناسی انجام گرفته است. بر پایه پژوهش انجام‌شده، ۴ مجموعه رخساره سنگی شناسایی شد. سازند قلی در منطقه مورد بررسی از تناوب شیل‌های سستبر تا نازک‌لایه، ماسه‌سنگ‌های متوسط تا نازک‌لایه، سنگ‌آهک‌های ماسه‌ای، لای‌سنگ‌های لامینه‌ای و سیل دیابازی ساخته شده است. این مجموعه رخساره‌های سنگی از آرکوز-ساب‌آرکوز، سنگ‌آهک آلوکم‌دار ماسه‌ای، لای‌سنگ و شیل ساخته شده است. با توجه به ویژگی رخساره‌های سنگی، ساخت‌های رسوبی و تغییرات عمودی رخساره‌های سازند قلی، محیط رسوب‌گذاری این سازند یک فلات زیر تاثیر امواج و توفان پیشنهاد می‌شود. بر این پایه، محیط رسوبی سازند قلی از پهنه ساحلی زیرین با رخساره‌های زیرین و میانی (با چین‌بندی مورب پشته‌ای، سطح فرسایشی، لامیناسیون موازی و مورب) کم به یک پهنه ساحلی بالایی با رخساره بالایی (با چین‌بندی مورب کمائی، ریب‌مارک موجی، لامیناسیون موازی، دانه‌بندی تدریجی عادی، لامیناسیون مورب تابولار و گوه‌ای) تبدیل شده است که جریان‌های ناشی از توفان و امواج نقش بسزایی در فرایندهای ترابری رسوبات و بازته‌نشینی آن‌ها ایفا نموده است. با بهره‌گیری از نمودار تاپسون، چهار رخساره گرده‌شناسی (VII و V, IVa, III) شناسایی شد. همچنین، بررسی‌های آماری بر روی پارامترهای گرده‌شناسی دارای درصدی خرد گیاهی، مواد آلی بی ریخت و پارامتر تغییرپذیری، نشان‌دهنده یک روند عمومی کم ژرفاشونده از پایین به بالای توالی است. مقایسه فراوانی نسبی ریخت گرده‌های دریایی با عناصر گرده‌شناسی خشکی نشان‌دهنده فراوانی کم‌تر آکریتراک‌ها و کیتینوزواها نسبت به کریپتوسپورها و خرده‌های گیاهی است که نشان‌گر نهشته شدن سازند قلی در محیط دریایی کم‌ژرفا است.

واژه‌های کلیدی: سازند قلی، حوضه البرز، محیط رسوبی، ساخت رسوبی، رخساره سنگی، رخساره‌های گرده‌شناسی

مقدمه

ایران که در کرانه جنوبی اوراسیا قرار گرفته است (وندت و همکاران، ۲۰۰۵). در طی این مدت، یک دریای کم‌ژرفا بخش گندوانایی ایران را پوشانیده است (وندت و همکاران، ۲۰۰۵). سرزمین ایران هم‌زمان با تکامل اقیانوس تتیس دیرینه (اردوئین-سیلورین) به تدریج از گندوانا جدا شده و در پرمین-تریاس به حاشیه جنوبی اورازیا متصل شده است (وندت و همکاران، ۲۰۰۵؛ موتونی و همکاران، ۲۰۰۹). ماگماتیسیم اردوئین-دونین در البرز و ایران مرکزی می‌تواند نشان‌دهنده آغاز کافت‌زایی اقیانوس تتیس دیرینه باشد (صالحیان،

رشته کوه البرز در شمال ایران با ۲۰۰۰ کیلومتر درازا از رشته کوه قفقاز کوچک در کشورهای ارمنستان و آذربایجان در شمال باختری تا افغانستان در خاور کشیده شده است (علوی، ۱۹۹۶). بر پایه جایگاه جغرافیایی و زمین‌شناختی، رشته‌کوه البرز به بلوک‌های باختری، میانی و خاوری (ناحیه مورد بررسی) تقسیم شده است. بر پایه نظر گولونکا و همکاران (۱۹۹۴) ایران در کرانه شمالی گندوانا در طی دیرینه زیستی قرار گرفته است (به استثنای بخش کوچکی در شمال خاوری

۱۳۹۰؛ قاسمی و کاظمی، ۱۳۹۲؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۹۴). سنگ‌های آذرین سازند قلی (اردوئین پسین) نشان‌دهنده ماگماتیسم وابسته به شکل‌گیری اقیانوس تتیس دیرینه در البرز خاوری در اردوئین است (قاسمی و درخشی، ۱۳۸۷؛ قاسمی و کاظمی، ۱۳۹۲؛ درخشی و همکاران، ۱۳۹۳).

بررسی رخساره‌های گرده شناسی نقش مهمی در تفسیر حوضه‌های رسوبی، شناخت پتانسیل هیدروکربن‌زایی و چینه‌نگاری سکاسی ایفا می‌کند (آبه-ایکینوبه و ویلیرس، ۲۰۰۳؛ ارسگوا و کاستیک، ۲۰۰۶). در بسیاری از توالی‌ها به ویژه در چینه‌های بسیار نازک لایه و ریزدانه، هر چه فواصل نمونه‌برداری کم‌تر باشد، شانس کنترل دقیق‌تر تغییرات رخساره‌های گرده‌شناسی و به پیروی از آن، شناسایی تغییرات جزئی در محیط رسوبی بیش‌تر خواهد شد (تراورس، ۲۰۰۷). شاخص‌های گرده شناسی مفید برای تفسیر دیرینه‌بوم‌شناسی و شناسایی محیط رسوبی شامل مواد آلی (کروژن) مانند خرده گیاهی‌ها^۱ (پالینوماسرال‌ها)، مواد آلی بی ریخت^۲، ریخت گرده‌های دریایی^۳ و غیره می‌باشد (تراورس، ۲۰۰۷). باتوجه به این‌که در پژوهش‌های پیشین، محیط‌های رسوبی متفاوت برای سازند قلی در نواحی مختلف شناخته شده است (جزئیات این پژوهش‌ها در بخش پژوهش‌های پیشین آورده شده است)، بر آن شدیم که با ترکیبی از بررسی‌های گرده شناسی (عناصر و رخساره‌های گرده‌شناسی)، سنگ‌شناسی و شناسایی ساخت‌های رسوبی و رخساره‌های سنگی به بررسی محیط رسوبی بخش زیرین توالی رسوبی دیرینه زیستی (اردوئین پسین) در کوه کورخود در شمال روستای رباط قره‌بیل بپردازیم.

پژوهش‌های پیشین

برخی پژوهش‌گران رخساره‌ها و محیط‌رسوبی سازند قلی را بررسی نموده‌اند. طاهری و حیدرنیا (۱۳۸۳) محیط رسوبی سازند قلی در ناحیه ده‌ملا (باختر

شاهرود) را یک محیط دریایی ژرف زیر تاثیر جریان‌های آشفته پیشنهاد کردند. قویدل سیوکی و خندابی (۱۳۹۱) بر پایه وجود گونه‌های مختلف کیتینوزوآ و آکریتارک‌ها، محیط رسوبی سازند قلی در دره سلطان-میدان (شمال شاهرود) را دریای کم‌ژرفا شناسایی کرده‌اند. قویدل سیوکی و همکاران (۲۰۱۱) با توجه به فراوانی کریپتواسپورها، کیتینوزواها، آکریتارک‌ها و اسکلوکودونت‌ها محیط رسوبی سازند قلی را در ناحیه خوش‌یلاق، دریای کم ژرفا پیشنهاد کرده‌اند.

جایگاه جغرافیایی و راه‌های دسترسی به

منطقه مورد بررسی

جایگاه جغرافیایی قاعده برش چینه‌شناسی مورد بررسی ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۲۱ دقیقه طول خاوری است. رباط قره‌بیل یکی از روستاهای استان خراسان شمالی و از توابع شهرستان گرمه است. این روستا در کنار جاده گرگان-جننورد با فاصله نزدیک ۲۰ کیلومتری در خاور جنگل گلستان و ۱۱۰ کیلومتری باختر جننورد قرار دارد. راه‌های اصلی منطقه مورد بررسی جاده آسفالت‌ه ترانزیتی گرگان-جننورد و هم‌چنین جاده آسفالت‌ه تهران-مشهد است (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش یک برش سطحی به سبب برای ۱۸۳ متر از رخنمون سازند قلی در ناحیه رباط قره‌بیل انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته شد. در این برش نمونه‌برداری (۶۲) نمونه؛ ۵۶ نمونه از سازند قلی و ۶ نمونه از سازندهای پادها و خوش‌یلاق) به طور سیستماتیک و بر پایه تغییرات سنگ‌شناسی، رنگ و لایه‌بندی انجام گرفت. در ناحیه مورد بررسی، مرز میان سازندهای قلی و باروت گسله و مرز بین سازندهای قلی و پادها از نوع ناپیوستگی هستند. برای انجام بررسی‌های سنگ‌نگاری، از نمونه‌های برداشت‌شده برش نازک تهیه شد. بررسی سنگ‌نگاری برای سنگ‌های آمیخته آواری-کربناته شامل شناسایی اجزای آلوکم (اسکلتی)، بررسی ویژگی‌های بافتی دانه‌های آواری (جورشدگی، گردشدگی و اندازه دانه‌ها)، انواع سیمان‌ها و برای سنگ‌های آواری شامل شناسایی نوع،

^۱ Phytoclasts (PH)

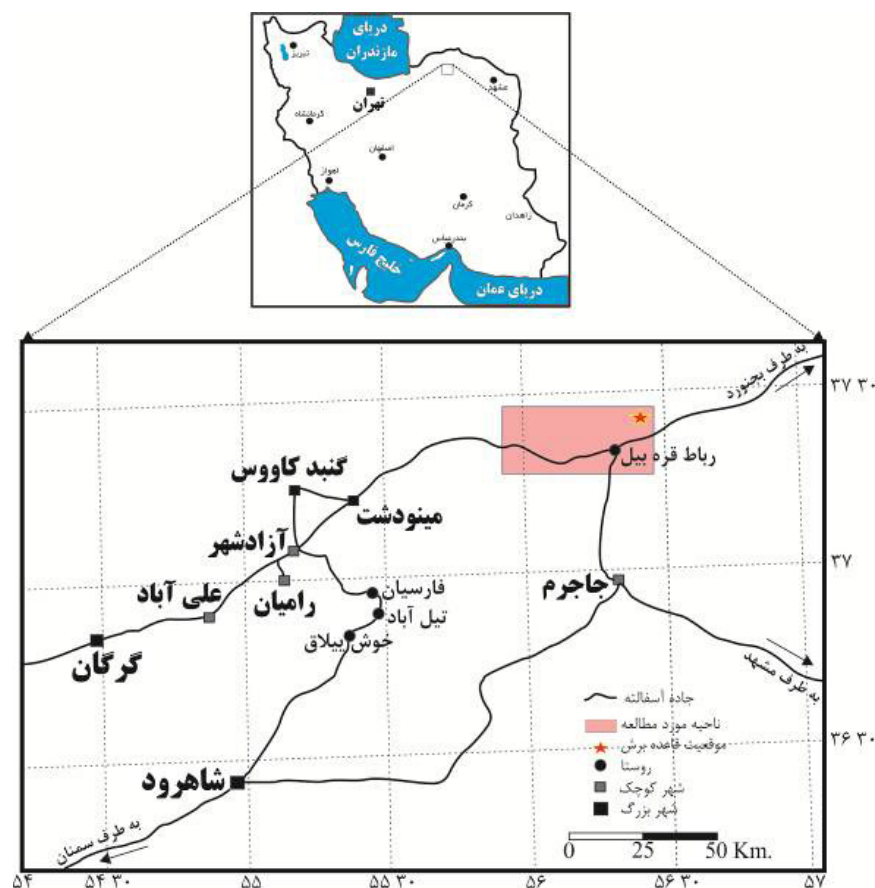
^۲ Amorphous organic matter (AOM)

^۳ Marine palynomorphs (MP)

شناسی (فیپس و پلیفورد، ۱۹۸۴؛ تراورس، ۲۰۰۷) اسلایدهای دائمی (در مجموع ۳۱۸ اسلاید) تهیه شد. برای انجام بررسی‌های آماری و شناسایی رخساره‌های گرده شناسی، در هر اسلاید عناصر موجود در ۵ میدان دید تصادفی (۱۵ میدان دید از هر نمونه) با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ برابر اندازه طبیعی شمارش شد. لازم به گفتن است که برای شناسایی عناصر و رخساره‌های گرده شناسی از رده‌بندی تایسون (۱۹۹۳ و ۱۹۹۵) بهره‌گیری شد.

فراوانی و اندازه اجزای سازنده سنگ، ویژگی‌های بافتی (جورشدگی و گردشدگی) و نوع سیمان بود. هم‌چنین ساخت‌های رسوبی در بازدهی‌های میدانی شناسایی شدند. نام‌گذاری سنگ‌های آواری بر پایه روش پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷) و نام‌گذاری سنگ‌های آمیخته آواری-کربناته از روش مونت (۱۹۸۵) انجام پذیرفت. بر پایه مجموعه رخساره‌های سنگی و ساخت‌های رسوبی شناسایی شده، مدل محیط رسوبی این سازند پیشنهاد شد.

هم‌چنین در این پژوهش ۱۰۶ نمونه مناسب شیلی انتخاب و با بهره‌گیری از روش‌های معمول در گرده

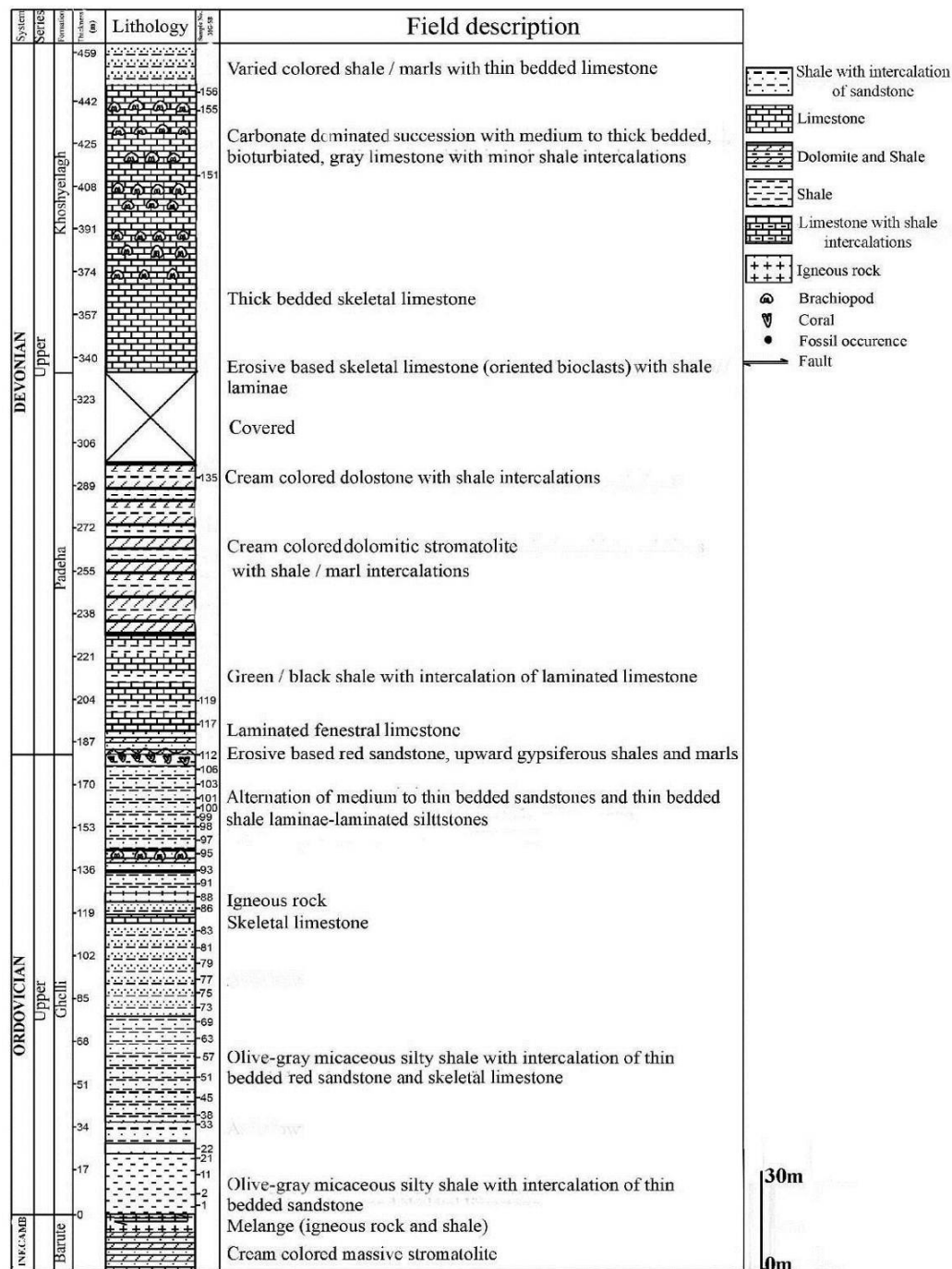


شکل ۱. نقشه راه‌های دسترسی و جایگاه جغرافیایی ناحیه مورد بررسی

توالی رسوبات پرکامبرین و پالئوزوئیک در کوه کورخود (ناحیه مورد بررسی) به ترتیب از پایین به بالا شامل سازندهای باروت (پرکامبرین پسین)، قلی (اردوئین پسین)، پادها و خوش‌بیلاق (دونین پسین) هستند (شکل ۲ و ۳ الف).

سنگ‌چینه‌نگاری دیرینه زیستی در ناحیه مورد بررسی

واحدهای سنگ‌چینه‌ای دیرینه زیستی در محدوده البرز خاوری شامل سازندهای قلی، نیور، پادها، خوش‌بیلاق و مبارک می‌باشند (سهیلی و افشارحرب، ۱۳۵۹). اما



شکل ۲. توالی سنگ‌چینه‌نگاری دیرینه زیستی در کوه کورخود در رباط قره‌دیل

شیل‌های زیتونی - خاکستری با ماسه‌سنگ نازک‌لایه سرخ رنگ، سنگ‌آهک‌های اسکلتی (فسیل‌دار)، سیل‌های نفوذی (سنگ آذرین) با سستبرای ۱ متر، لای سنگ‌های لامینه‌ای و ماسه‌سنگ‌های متوسط تا سستبرایه سازند پادها با سستبرای ۱۵۱ متر از تناوب شیل، لای سنگ (شکل ۳ ب) و ماسه‌سنگ‌های سرخ‌رنگ،

با عبور گسل آلمه از قاعده رسوبات سازند قلی در کوه کورخود (سهیلی و افشار حرب، ۱۳۵۹)، این سازند بر روی سازند باروت قرار گرفته و با ناپیوستگی (وقفه رسوب‌گذاری در بازه زمانی سیلورین (برجی، ۱۳۹۶؛ قویدل‌سیوکی و برجی، ۲۰۱۸) سازند پادها، سازند قلی را می‌پوشاند. سازند قلی با سستبرای ۱۸۳ متر از تناوب

فرسایشی دارای قطعات فسیلی جهت یافته ختم شده به لایه‌های شیل، سنگ آهک‌های اسکلتی سترلایه، سنگ آهک‌های متوسط- سترلایه خاکستری رنگ (شکل ۳ ج) دارای زیست‌آشفستگی همراه با مقادیر کمی میان‌لایه‌های شیلی و شیل- مارن‌های رنگین با سنگ آهک نازک لایه تشکیل شده است (شکل ۳).

شیل‌ها و مارن‌های ژئوسدار، سنگ آهک‌های لایه‌ای با فابریک پنجره‌ای، شیل‌های سیاه- سبز رنگ با میان لایه‌هایی از سنگ آهک‌های لایه‌ای، استروماتولیت‌های دولومیتی کرم رنگ (شکل ۳ د) با میان‌لایه‌هایی از شیل- مارن و سازند خوش‌ییلاق با سترای ۱۲۴ متر از سنگ آهک‌های اسکلتی با قاعده



الف



ب



ج



د

شکل ۳. الف) همبری سازندهای قلی، پادها و خوش‌ییلاق در رباط قره‌بیل، دید به سمت شمال. ب) تناوب شیل و لای سنگ‌های سرخ رنگ قاعده سازند پادها در ناحیه مورد بررسی. ج) سنگ آهک‌های متوسط- سترلایه خاکستری رنگ در بخش بالایی سازند خوش‌ییلاق. د) استروماتولیت‌های گنبدی شکل در بخش میانی سازند پادها در ناحیه مورد بررسی.

ب) و زیست‌آشفستگی (شکل ۴ ج) در بخش زیرین سازند پادها، سنگ دولومیتی بلورین (دولوستون) (شکل ۴ د) در بخش بالایی سازند پادها، گرینستون بیوکلاستی (دارای دوکفه‌ای) پلوییددار، وکستون- پکستون بیوکلاستی (دارای گاستروپود) (شکل ۴ و) و گرینستون بیوکلاستی (دارای براکیوپود و کرینویید) پلوییددار (شکل ۴ ز) در بخش بالایی سازند خوش‌ییلاق اشاره نمود.

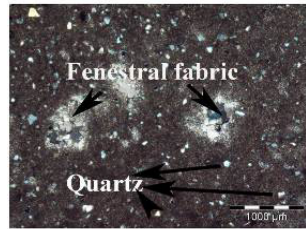
با بررسی‌های میدانی و سنگ‌نگاری برش‌های نازک تهیه شده از برخی بخش‌های سازندهای پادها و خوش‌ییلاق می‌توان به سنگ آهک‌های اسکلتی با سطح فرسایشی^۱ (شکل ۴ الف) در قاعده سازند خوش‌ییلاق، گل‌سنگ‌های آهکی^۲ با فابریک پنجره‌ای دارای دانه‌ها کوارتز در اندازه لای (سیلت) متوسط- درشت (شکل ۴

^۱ Truncation surface

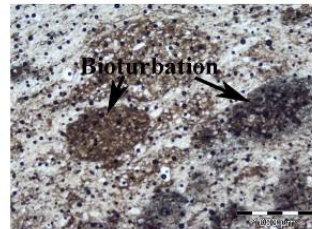
^۲ Lime mudstone



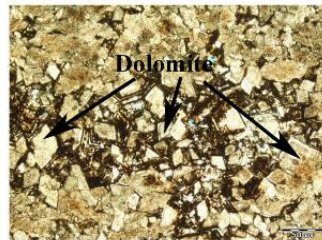
الف



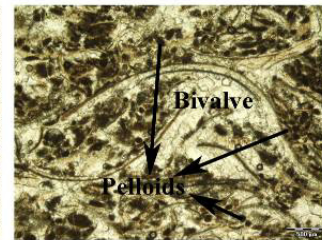
ب



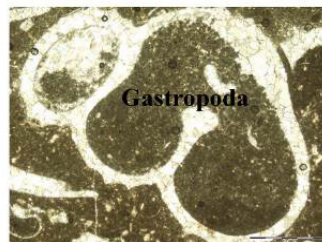
ج



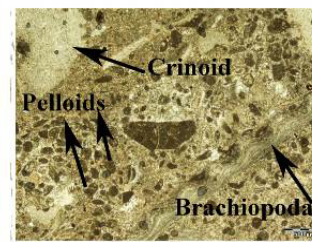
د



ه



و



ز

شکل ۴. الف) سطح فرسایشی در سنگ آهک اسکلتی در بخش زیرین سازند خوش‌بیلاق. ب و ج) گل‌سنگ‌های آهکی با فابریک پنجره‌ای دارای دانه‌ها آواری کوارتز (نمونه ۱۱۷، xpl) و دارای زیست‌آشفته‌گی (نمونه ۱۱۹، ppl) در بخش زیرین سازند پادها. د) بلورهای لوزی شکل دولومیت در دولوستون (نمونه ۱۳۵) در بخش بالایی سازند پادها، xpl. ه) گرینستون بیوکلاستی پلوییددار (نمونه ۱۵۱) در بخش بالایی سازند خوش‌بیلاق، xpl. و) وکستون بیوکلاستی (دارای گاستروپود) (نمونه ۱۵۵) در بخش بالایی سازند خوش‌بیلاق، xpl. ز) گرینستون بیوکلاستی (دارای کرینویید و براکیوپود) پلوییددار (نمونه ۱۵۶) در بخش بالایی سازند خوش‌بیلاق، ppl. جایگاه نمونه‌های برداشت‌شده در شکل ۲ آورده شده است.

شیل‌های زیتونی- خاکستری (۱۰-۱۴ متر ستبرای) سیلتی میکادار قرار گرفته‌اند (شکل ۵ الف). در این مجموعه، نسبت شیل به ماسه‌سنگ بالا است. تغییرات جانبی در این مجموعه رخساره دیده نشد. بخش ماسه سنگی این مجموعه از ماسه‌سنگ‌های (ساب آرکوز- آرکوز) ریزمتوسط‌دانه، نیمه‌زاویه‌دار- نیمه‌گردشده،

رخساره‌های سنگی سازند قلی در ناحیه مورد بررسی

مجموعه رخساره شیل سیلتی میکادار و ماسه‌سنگ نازک‌لایه (رخساره زیرین)

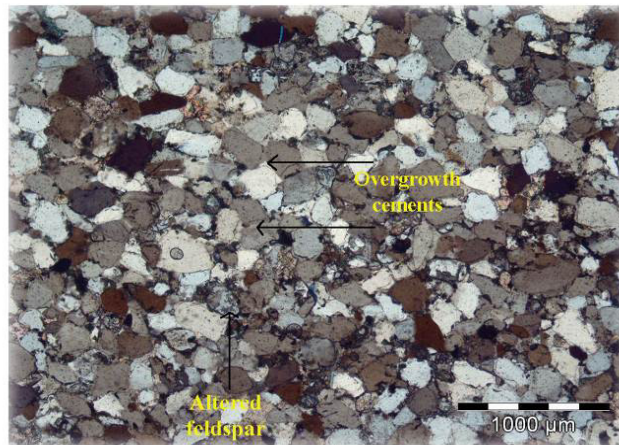
ماسه‌سنگ‌های این مجموعه رخساره قهوه‌ای- خاکستری رنگ (۱-۴ متر ستبرای) می‌باشند که در تناوب با

بین‌دانه‌ای و آهن‌دار (اکسید آهن) هستند (شکل‌های ۵ ب و ج). در بخش‌های ماسه‌سنگی و شیلی (شیل‌سیلتی میکادار) این مجموعه آثاری از زیست‌آشفستگی و ساخت‌های رسوبی (مانند لامیناسیون موازی و لایه بندی مورب) دیده نشد.

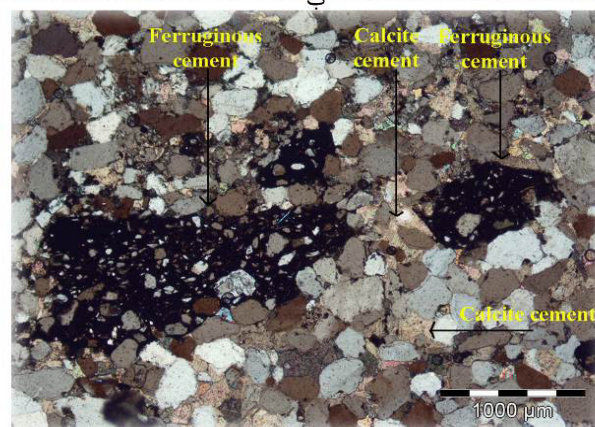
دارای جورشدگی متوسط- خوب و فلدسپارهای دگرسان شده ساخته شده است (شکل‌های ۵ ب و ج). بیش‌تر دانه‌های کوارتز، تک‌بلوری با خاموشی یکنواخت و شمار کم‌تری دانه‌های کورتز چندبلوری با تماس‌های مضرس داخلی دیده شد. این ماسه‌سنگ‌ها دارای سیمن‌های سیلیسی رورشدی هم‌محور (رشد ثانوی)، کلسیتی



الف



ب



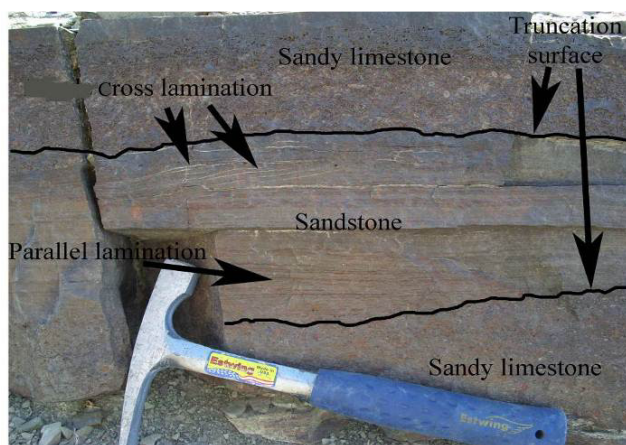
ج

شکل ۵. الف) تناوب شیل‌های ستبر لایه با ماسه‌سنگ‌های نازک لایه در مجموعه رخساره شیل میکادار و ماسه‌سنگ نازک لایه در سازند قلی، دید به سمت شمال. ب) سیمن‌های سیلیسی رورشدی هم‌محور (رشد ثانوی) (Overgrowth cements) و فلدسپار دگرسان شده (Altered feldspar) با ظاهری غبارآلود در آرکوز- ساب‌آرکوزهای مجموعه مذکور، xpl. ج) سیمن آهن‌دار (اکسید آهن) (Ferruginous cement) و کلسیتی بین‌دانه‌ای، xpl. به نیمه‌گرد بودن دانه‌ها کوارتز، دانه‌ها نیمه‌زاویه‌دار- نیمه‌گرد شده شناور در داخل سیمن‌های آهن‌دار توجه شود.

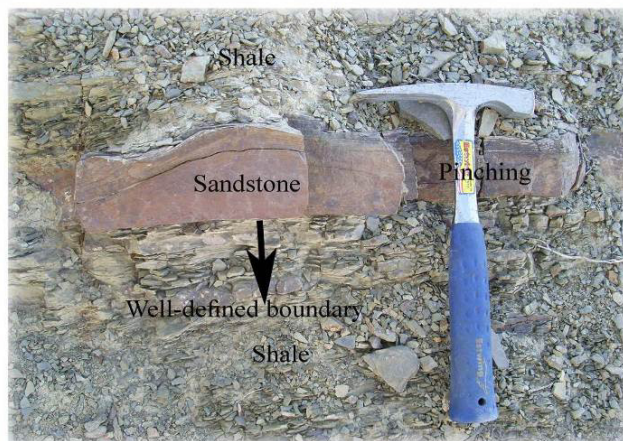
قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۶ الف و ب). در این مجموعه رخساره مانند مجموعه پیشین نسبت شیل به ماسه‌سنگ بالا است. بخش ماسه‌سنگی از آرکوز- ساب‌آرکوزهای ریزمتوسط‌دانه، نیمه‌زاویه‌دار- نیمه‌گردشده، با جورشدگی متوسط- خوب و فلدسپارهای غالباً دگرسان‌شده تشکیل شده است. این بخش دارای سیمان‌های سیلیسی رورشدی هم‌محور و اکسید آهن هستند.

مجموعه رخساره شیل‌سیلتی میکادار- ماسه‌سنگ نازک‌لایه سرخ رنگ و سنگ‌آهک ماسه‌ای (رخساره میانی)

شیل‌های زیتونی- خاکستری سیلتی (۹-۱۲ متر ستبرا)، ماسه‌سنگ‌های (آرکوز- ساب‌آرکوز) نازک‌لایه سرخ‌رنگ (۱-۱/۵ متر ستبرا) با سنگ‌آهک‌های آلوکم‌دار ماسه‌ای (۱-۱/۲ متر ستبرا) خاکستری سرخ رنگ به طور متناوب



الف



ب

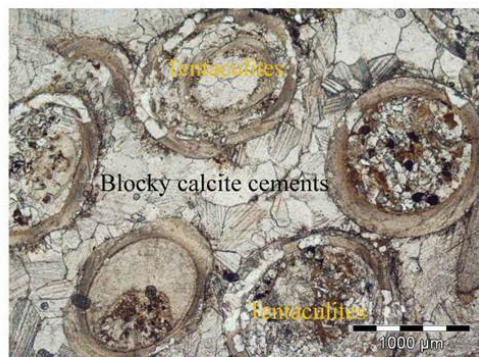
شکل ۶. الف) تناوب ماسه‌سنگ و آهک‌ماسه‌ای در رخساره میانی. به لامیناسیون مورب و لامیناسیون موازی در بخش ماسه‌سنگی و سطح زیرین فرسایشی در بخش‌های ماسه‌سنگی و سنگ‌آهک‌ماسه‌ای توجه شود. ب) تناوب ماسه‌سنگ و شیل در رخساره میانی. به چین‌بندی مورب پشته‌ای (Hummocky cross stratification) در بخش ماسه‌سنگی و نازک‌شدگی (Pinching) در آن توجه شود. بخش ماسه‌سنگی با مرز مشخص بر روی بخش شیلی قرار گرفته است.

نیمه‌گردشده- نیمه‌زاویه‌دار (عمدتاً نیمه‌گردشده) در اندازه سیلت درشت- ماسه‌ریز می‌باشد. صف‌بندی موازی^۱ قطعات بیوکلاستی (شکل ۷ الف) و فابریک ژئوپتال (در

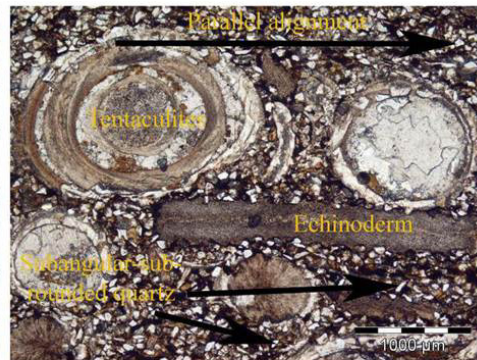
اکثر دانه‌های کوارتز مانند مجموعه پیشین، تک‌بلوری با خاموشی یکنواخت و تعداد کم‌تری کوارتز چندبلوری هستند. بخش شیلی این مجموعه مانند مجموعه رخساره پیشین است. بخش سنگ‌آهک آلوکم‌دار ماسه‌ای دارای آلوکم‌های اکی‌نودرم، تنتاکولیتس و بریوزوئرها در اندازه ماسه متوسط- گرانول و دانه‌ها آواری کوارتز و فلدسپار

¹ Parallel alignment

وجود دارد. مرز زیرین فرسایشی و مشخص^۱ (در بخش‌های ماسه‌ای و آهک ماسه‌ای)، لامیناسیون مورب^۲، چینه‌بندی مورب پشته‌ای^۳ و لامیناسیون موازی در بخش ماسه‌سنگی دیده شده است (شکل‌های ۶ الف و ب).



ب



الف



ج

شکل ۷. الف) صف‌بندی موازی قطعات بیوکلاستی (اکینودرم و تتناکولیتس) (به بخش زیرین شکل توجه شود) و دانه‌ها نیمه‌زاویه‌دار - نیمه‌گرد شده کوارتز در بخش آهک‌ماسه‌ای رخساره میانی، ppl. ب) سیمان‌های بلوکی کلسیت میان قطعات بیوکلاستی (تتناکولیتس)، ppl. ج) قطعات بیوکلاستی (اکینودرم و تتناکولیتس)، دانه‌ها کوارتز نیمه‌گرد شده و فابریک ژئوپتال (گل آهکی تبلور یافته و دانه‌ها آواری کوارتز در بخش زیرین و کلسیت بلوکی در بخش بالایی تتناکولیتس) در بخش آهک‌ماسه‌ای رخساره گفتن شده، xpl.

نوریختی^۴ را تحمل نموده‌اند (شکل ۸ الف). سیل دلریتی به موازات چینه‌بندی لایه‌های رسوبی تزریق شده است. بخش دلریتی شدیداً دگرسان شده از کانی‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و کلسیت تشکیل شده است (شکل ۸ ج). ابعاد دانه‌ها ریز تا متوسط است. پلاژیوکلازها به شدت دگرسان شده‌اند ولی بخش‌های سالمی از آن‌ها همچنان باقی مانده است. هیچ نشانه‌ای از کانی سالم کلینوپیروکسن وجود ندارد و صرفاً قالبی از آن‌ها باقی مانده است. قالب کلینوپیروکسن‌ها بطور مشخص توسط اکسیدهای آهن اشغال شده است که نشان‌دهنده این

مجموعه رخساره سنگ‌آهک ماسه‌ای همراه با توده

نفوذی آذرین و شیل‌سیلتی

این مجموعه رخساره از سنگ‌آهک‌ماسه‌ای (سنگ‌آهک آلومدار ماسه‌ای) کرم‌رنگ (۳ متر ستبر)، سیل دیابازی (دلریت) (۱ متر ستبر) و شیل‌سیلتی متوسط لایه (۳ تا ۵ متر ستبر) تشکیل شده است. بخش سنگ‌آهک آلومدار ماسه‌ای دارای آلوم‌های اکینودرم و تتناکولیتس در اندازه ماسه ریز - گرانول و دانه‌ها آواری کوارتز نیمه‌گرد شده - نیمه‌زاویه‌دار (بیش‌تر نیمه‌گرد شده) در اندازه سیلت درشت - ماسه ریز می‌باشد (شکل‌های ۸ الف و ب). این بخش از مجموعه همانندی بسیار زیادی با بخش سنگ‌آهک‌ماسه‌ای رخساره میانی دارد. ساختمان میکروسکوپی صدف برخی از تتناکولیتس‌ها فرایند

¹ Well-defined and erosional (truncation) lower boundary

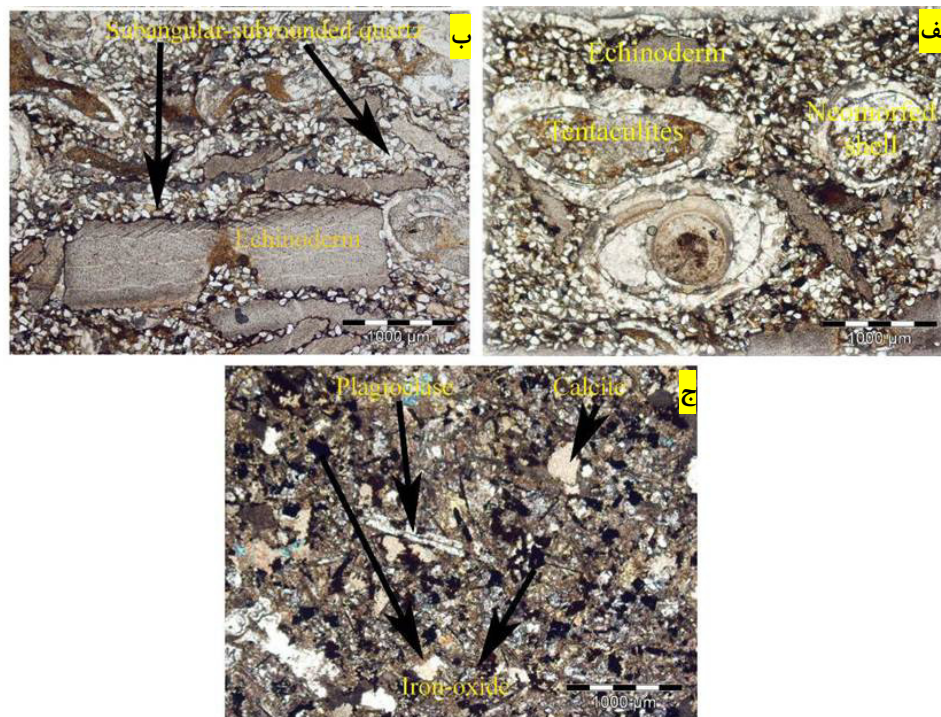
² Ripple cross lamination

³ Hummocky cross stratification

⁴ Neomorphism

دربرگیرنده آن (رسوبات بالایی و زیرین سیل) دیده نشده است. لازم به گفتن است که در این رخساره هیچ‌گونه ساخت رسوبی دیده نشده است.

موضوع است که این کانی ثانویه غالباً محصول دگرسانی کلینوپیروکسن است. هم‌چنین به علت شدت دگرسانی، بخش زیادی از کلسیت موجود حاصل جانشینی است (شکل ۸ ج). آثار پختگی یا تبلور مجدد واضح در رسوبات

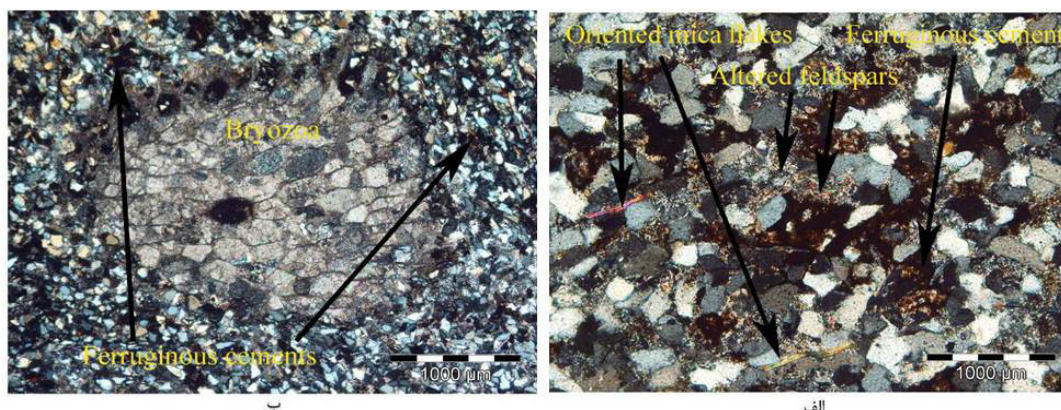


شکل ۸. الف) قطعات بیوکلاستی (اکینودرم و تتناکولیتس) در رخساره آهک ماسه‌ای، ppl. پوسته تتناکولیتس‌ها، نوربختی را تحمل نموده‌اند. ب) دانه‌ها کوارتز نیمه‌گردشده - نیمه‌زاویه‌دار و قطعات سالم و شکسته‌شده اکینودرم در سنگ آهک آلوکم‌دار ماسه‌ای، ppl. ج) دلریت (دیاباز) دگرسان شده با بافت اینترگرانولار که کانی‌های سازنده آن شامل پلاژیوکلاز، قالب کلینوپیروکسن‌های جانشین شده توسط اکسید آهن و کلسیت جانشینی (به علت دگرسانی شدید) است، ppl.

دیده شد (شکل ۹ الف). هم‌چنین در این مجموعه بر خلاف دو مجموعه رخساره زیرین و میانی، نسبت ماسه‌سنگ به شیل افزایش یافته است. بخش سنگ آهک‌ماسه‌ای از سنگ آهک آلوکم‌دار ماسه‌ای دارای آلوکم‌های بریوزوآ و مقدار بسیار کم‌تری قطعات براکیوپودا در اندازه ماسه‌بزرگ-گرانول، دانه‌ها آواری کوارتز در اندازه ماسه‌ریز با جورشدگی خوب و عمدتاً نیمه‌زاویه‌دار ساخته شده است (شکل ۹ ب). هم‌چنین بلورهای میکا و سیمان آهن‌دار در این بخش دیده شد (شکل ۹ الف). در بخش شیلی این رخساره مانند دو رخساره پیشین آثاری از زیست‌آشفستگی دیده نشد. لای‌سنگ لامینه‌ای دربرگیرنده تناوب نوارهای روشن دارای دانه‌ها در اندازه سیلت-ماسه بسیار ریز و نوارهای تیره دارای دانه‌ها در اندازه رس است.

مجموعه رخساره ماسه‌سنگ متوسط تا نازک‌لایه سنگ آهک ماسه‌ای - لای سنگ لامینه‌ای و شیل‌های نازک‌لایه (رخساره بالایی)

این مجموعه رخساره از تناوب ماسه‌سنگ متوسط تا نازک‌لایه کرم - خاکستری رنگ (۳-۸ متر ستبرا)، سنگ آهک آلوکم‌دار ماسه‌ای (۲ تا ۲/۵ متر ستبرا)، لای سنگ لامینه‌ای (۲ تا ۳ متر ستبرا) و شیل‌های نازک‌لایه (۱ تا ۱/۵ متر ستبرا) تشکیل شده است. بخش ماسه‌سنگی از آرکوزهای با فلدسپارهای غالباً دگرسان‌شده، جورشدگی متوسط - خوب، دانه‌ها نیمه زاویه‌دار - نیمه‌گردشده در اندازه ماسه‌ریز - متوسط تشکیل شده است (شکل ۹ الف). این ماسه‌سنگ‌ها دارای سیمان‌های سیلیسی رو رشدی هم‌محور و آهن‌دار هستند. آثار سوگیری در بلورهای میکای موجود در این رخساره



شکل ۹. الف) آرکوز از رخساره بالایی، xpl. به فلدسپارهای دگرسان‌شده، صفحات میکای جهت‌یافته ناشی از فشار و سیمان آهن‌دار توجه شود. ب) سنگ آهک آلوم‌دار ماسه‌ای از رخساره بالایی، xpl. به سیمان‌های آهن‌دار و پوسته بریوزوآ توجه شود.

شناسی، پارامترهای دیگری مانند تغییرپذیری^۹ (نسبت خرده گیاهی‌های قهوه‌ای به تیره)، نسبت مواد آلی بی ریخت روشن^{۱۰} به مواد آلی بی ریخت تیره^{۱۱}، نسبت ریخت گرده‌ها به مواد آلی بی‌ریخت و گردشدگی حاشیه‌های خرده گیاهی‌ها مدنظر قرار گیرد (هوک، ۱۹۹۱؛ جانسونیوس و مک‌گرگور، ۲۰۰۲). رخساره‌های گرده شناسی شناسایی‌شده در سازند قلی شامل رخساره گرده شناسی III^{۱۲} (دارای ۵۰ تا ۹۰ درصد خرده گیاهی، ۱۰ تا ۵۰ درصد ریخت گرده و صفر تا ۳۰ درصد مواد آلی بی‌ریخت با فراوانی خرده گیاهی‌های تیره)، رخساره گرده‌شناسی IVa^{۱۳} (دارای ۴۰ تا ۹۵ درصد خرده گیاهی تیره، ۶۵ تا ۹۰ درصد ریخت گرده دریایی و ۵ تا ۶۰ درصد درصد مواد آلی بی‌ریخت با فراوانی خرده گیاهی‌های تیره و افزایش خرده گیاهی‌های قهوه‌ای)، رخساره گرده شناسی V^{۱۴} (صفر تا ۵۰ درصد خرده گیاهی، صفر تا ۳۵ درصد مواد آلی بی‌ریخت و ۵۰ تا ۱۰۰ درصد ریخت گرده دریایی با افزایش ریخت گرده‌ها نسبت به خرده گیاهی‌ها) و رخساره گرده شناسی VII^{۱۵} (۴۰ تا ۶۵ درصد خرده گیاهی، ۳۵ تا ۶۰ درصد مواد آلی بی‌ریخت و ۳۰ تا ۶۵ درصد ریخت گرده دریایی با فراوانی خرده گیاهی‌های از نوع هم‌بعد و دارای حاشیه‌های گردشده و افزایش مواد آلی بی ریخت نسبت به به رخساره‌های پیشین) هستند (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

این مجموعه از دانه‌ها کوارتز نیمه‌زاویه‌دار- زاویه‌دار دارای جورشدگی خوب و صفحات میکا و سرسیت تشکیل شده است. در این لای سنگ‌ها، ساخت‌های رسوبی کوچک‌مقیاس^۱ (مانند دانه‌بندی تدریجی ریزشونده رو به بالا^۲، لامیناسیون مسطح کم تا بسیار کم شیب‌دار^۳) (شکل‌های ۱۰ الف و ب) و بزرگ‌مقیاس^۴ (لایه‌بندی مورب مسطح از نوع تابولار^۵) (شکل ۱۰ ج) دیده شد. همچنین آثار سوگیری صفحات میکا در این سنگ‌ها دیده شد (شکل ۱۰ د).

همچنین در بخش ماسه‌سنگی این مجموعه رخساره ساخت‌های رسوبی مانند چین‌بندی مورب تقعر^۶ (شکل ۱۱ الف)، ریبیل موجی^۷ (شکل‌های ۱۱ الف و ب)، لامیناسیون موازی و لامیناسیون مورب مسطح (لامیناسیون مورب تابولار و گوه‌ای شکل^۸) (شکل ۱۱ ج) دیده شده است.

رخساره‌های گرده‌شناسی

پس از شناسایی درصد عناصر گرده شناسی (مواد آلی بی ریخت، ریخت گرده‌های دریایی و خرده گیاهی‌ها) نتایج حاصل در نمودار سه‌گانه تاینسون (۱۹۹۵) ترسیم و رخساره‌های گرده شناسی شناسایی شدند. نیاز به گفتن است که برای تفسیر درست محیط‌رسوبی با بهره‌گیری از داده‌های گرده شناسی بایستی افزون بر رخساره‌های گرده

^۹ Lability

^{۱۰} Transparent AOM

^{۱۱} Opaque AOM

^{۱۲} Heterolithic oxic shelf: proximal shelf

^{۱۳} Shelf to basin transition

^{۱۴} Mud dominated oxic shelf: proximal shelf

^{۱۵} Distal dysoxic-anoxic shelf

^۱ Small-scale sedimentary structures

^۲ Fining-upward grading

^۳ Faint flat to very gently inclined lamination

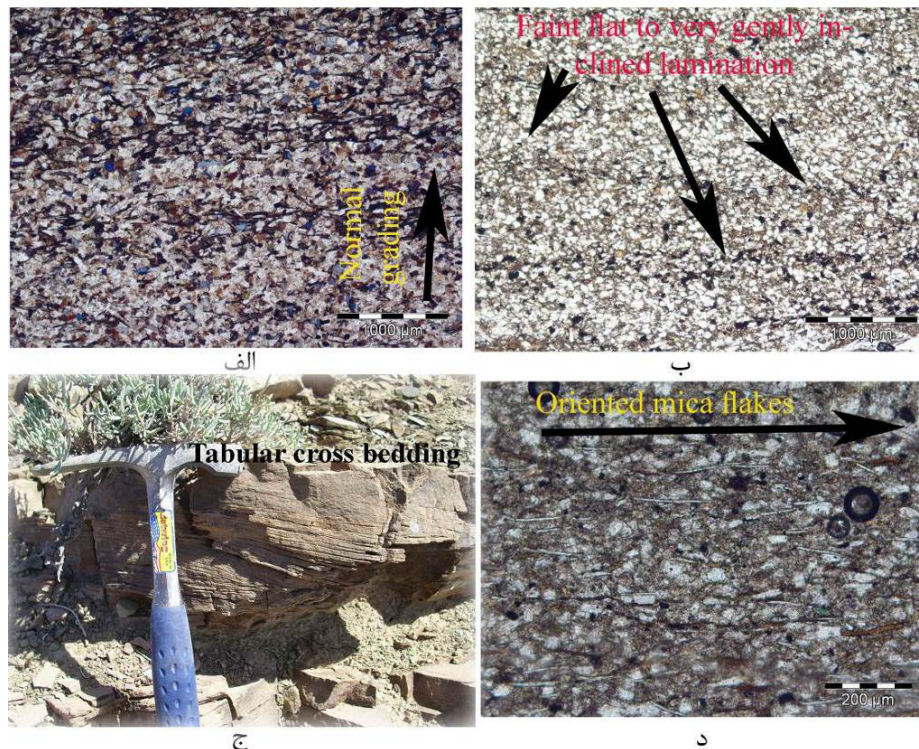
^۴ Large-scale

^۵ Tabular

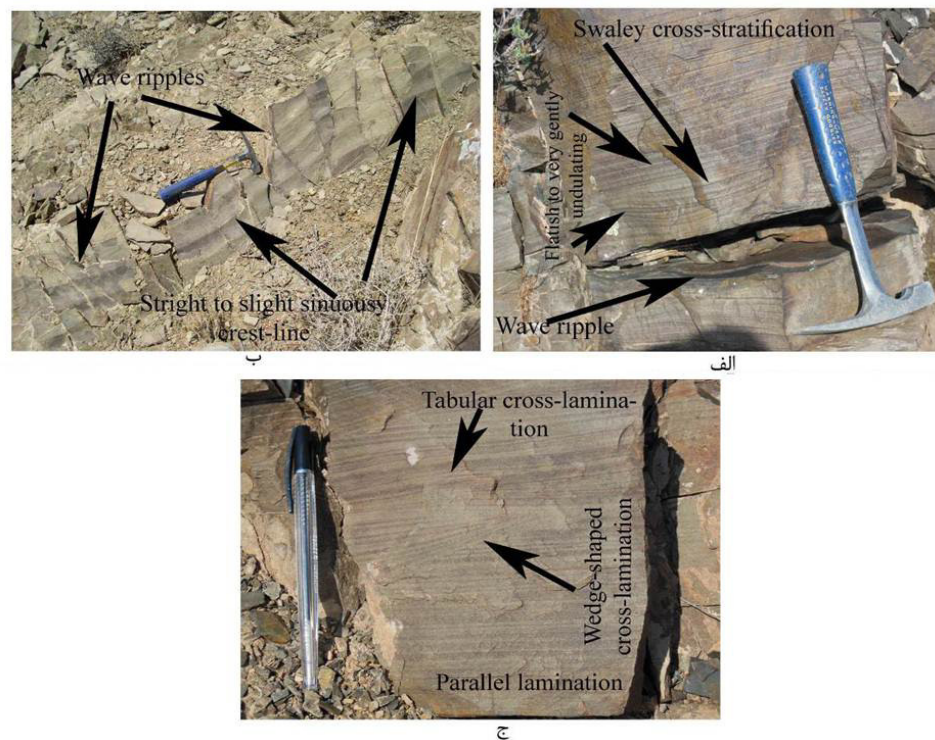
^۶ Swaley cross stratification

^۷ Wave ripple

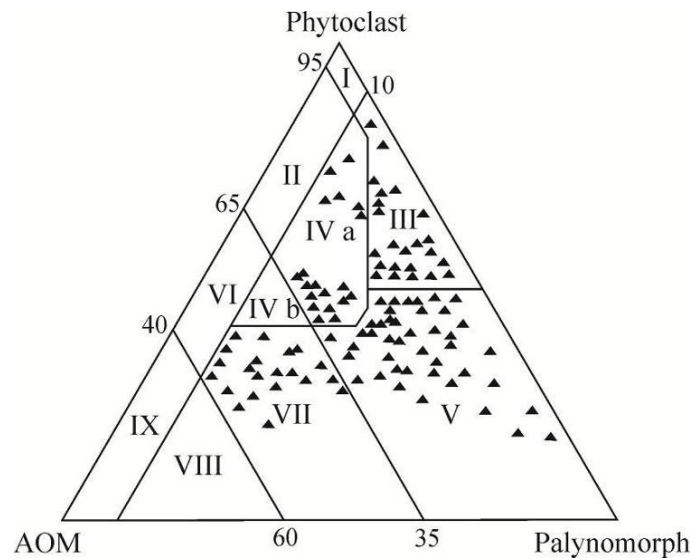
^۸ Wedge-shaped and tabular cross-lamination



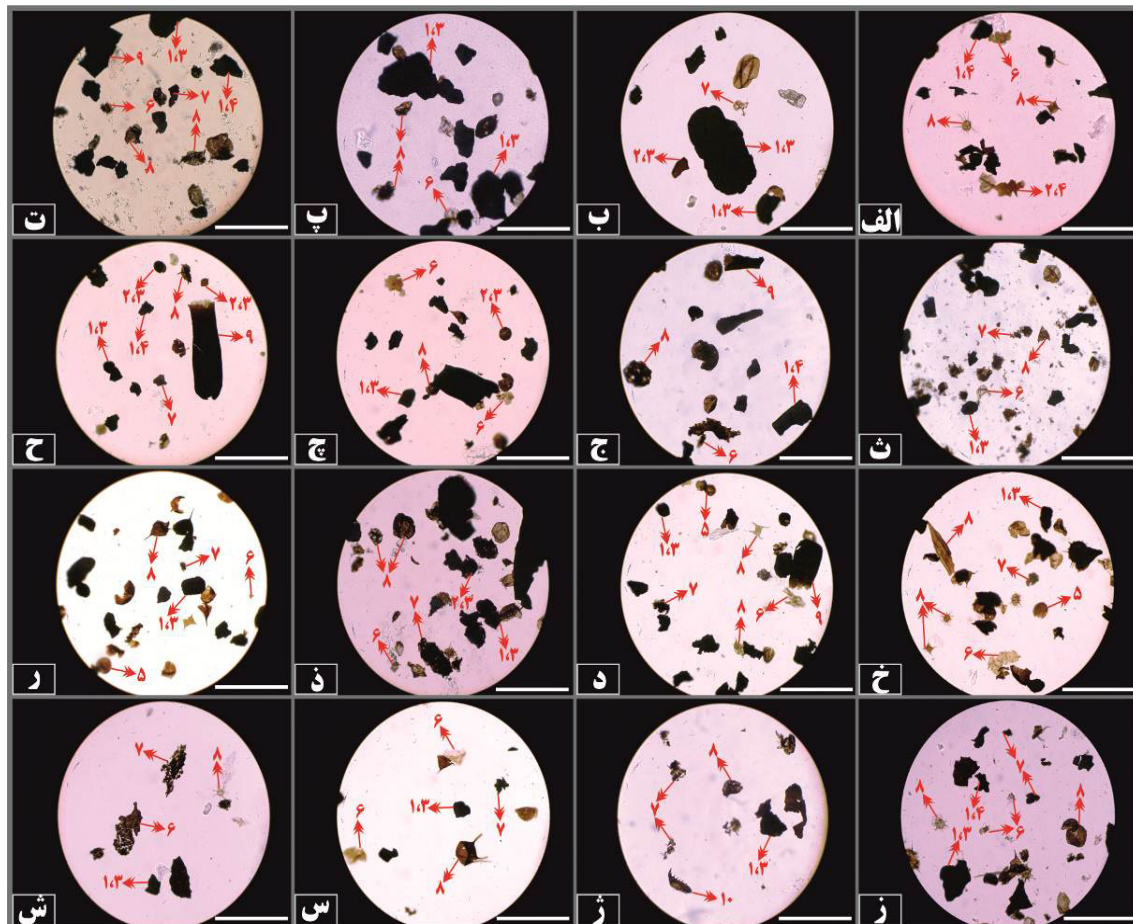
شکل ۱۰. لای سنگ‌های لامینه‌ای رخساره بالایی. الف) دانه‌بندی تدریجی عادی (ریزشونده به سمت بالا)، xpl. نوارهای روشن از دانه‌ها در اندازه ماسه ریز - سیلت و نوارهای تیره از دانه‌ها در اندازه رس ساخته شده است. ب) لامیناسیون مسطح کم تا بسیار کم شیب‌دار، ppl. ج) لایه‌بندی مورب مسطح از نوع تابولار. د) سوگیری صفحات میکا، ppl.



شکل ۱۱. ساخت‌های رسوبی موجود در بخش ماسه‌سنگی رخساره بالایی. الف) ریل موجی و چین‌بندی مورب تقعری. به لامیناسیون‌های مسطح تا کمی موج‌دار توجه شود. ب) ریل‌های موجی با خط‌الراس‌های مستقیم تا کمی سینوسی. ج) لامیناسیون موازی و لامیناسیون‌های مورب تابولار و گوه‌ای شکل در بخش بالایی این رخساره.



شکل ۱۲. نمودار تالیسون (۱۹۹۵) و محل قرارگیری نمونه‌های سازند قلی در محدوده رخساره‌های گرده شناسی (مثلث‌های مشکی)



شکل ۱۳. تصاویر رخساره‌های گرده شناسی سازند قلی در ناحیه رباط قره‌بیل، تصاویر الف تا ت: رخساره III، تصاویر ث تا ح: رخساره IVa، تصاویر خ تا ز: رخساره V و تصاویر ز تا ش: رخساره VII، شماره ۱: خرده گیاهی تیره، ۲: خرده گیاهی قهوه‌ای، ۳: خرده گیاهی هم بعد، ۴: خرده گیاهی تیغه‌ای، ۱.۳: خرده گیاهی تیره هم‌بعد، ۱.۴: خرده گیاهی تیره تیغه‌ای، ۲.۳: خرده گیاهی قهوه‌ای هم‌بعد، ۲.۴: خرده گیاهی قهوه‌ای تیغه‌ای، ۵: اسپور، ۶: مواد آلی بی‌ریخت شفاف، ۷: مواد آلی بی‌ریخت تیره، ۸: آکریتارک، ۹: کیتینوزوا و ۱۰: اسکلوکودونت. مقیاس خطی برابر با ۲۰۰ میکرون است.

پارامترهای حفاظت از مواد آلی

خرده‌های گیاهی از خشکی منشاء می‌گیرند و با دور شدن از ساحل از فراوانی کلی آن‌ها کاسته می‌شود و به دو دسته قهوه‌ای و تیره تقسیم می‌شوند. خرده گیاهی‌های با منشا خشکی بیش‌تر قهوه‌ای، زرد و به طور کلی روشن هستند اما با قرارگیری بیش‌تر در ستون آب، اکسیژن محیط و افزایش فاصله از ساحل به آرامی اکسید و سیاه می‌گردند و به خرده گیاهی‌های تیره تبدیل می‌شوند (کورتینات و همکاران، ۲۰۰۳؛ العطفی و همکاران، ۲۰۱۶). نسبت خرده گیاهی‌های قهوه‌ای به تیره را پارامتر تغییرپذیری می‌نامند. این پارامتر می‌تواند تا اندازه‌ای معرف تغییرات سطح آب باشد. بر این پایه با نزدیک شدن به ساحل بر میزان پارامتر تغییرپذیری افزوده و با فاصله گرفتن از ساحل به سمت دریا از مقدار آن کاسته می‌شود (تایسون، ۱۹۹۵). در هنگام بهره‌گیری از پارامتر تغییرپذیری بایستی نتایج حاصل از آن را با سایر متغیرهای گرده‌شناسی مقایسه نمود، زیرا ممکن است تیرگی رنگ خرده گیاهی‌ها مربوط به ژرفای تدفین زیاد و بلوغ گرمایی مواد آلی در طی زمان زمین‌شناسی باشد. همچنین این احتمال وجود دارد که خرده گیاهی‌ها در اثر ترابری دوباره از رسوبات پیرتر یا جوان‌تر به حوضه رسوبی منتقل شده باشند (کورتینات و همکاران، ۲۰۰۳؛ میشرا و سینگ، ۲۰۱۸). با توجه به شدت تغییرات در اسلایدهای گرده‌شناسی و بررسی لایه‌های بالایی و زیرین از لایه مورد نظر می‌توان تا اندازه‌ای احتمال خطا را کاهش داد. از آنجایی که پارامتر تغییرپذیری در واقع نشان‌دهنده میزان حفظ‌شدگی مواد آلی است، برای تأیید نتایج حاصل می‌توان هم‌زمان به میزان ریخت گرده‌های دریایی و مواد آلی بی ریخت توجه کرد. چنانچه افزایش پارامتر تغییرپذیری با افزایش فراوانی و تنوع ریخت‌گرده‌های دریایی و کاهش میزان مواد آلی بی‌ریخت همراه باشد، نشان‌دهنده‌ی حفظ‌شدگی بالای مواد آلی است (پاریس و همکاران، ۲۰۱۲). حفظ‌شدگی بالای مواد آلی می‌تواند به دو صورت تفسیر شود: ۱- شدت رسوب‌گذاری بالا و تاثیر کم‌تر اکسیژن بر مواد آلی و ۲- شدت رسوب‌گذاری کم‌تر در یک محیط کم اکسیژن تا احیایی (ون‌دززان، ۱۹۹۰). برای پی بردن به شدت رسوبگذاری بایستی سایر پارامترهای گرده‌شناسی مانند

نسبت ریخت‌گرده‌ها به مواد آلی بی ریخت را مدنظر قرار داد.

بحث

بر پایه برداشت‌های میدانی، سنگ‌شناسی، بررسی رخساره‌ها، ساخت‌های رسوبی (جدول ۱) و بررسی گرده‌شناسی (رخساره‌ها و عناصر گرده‌شناسی)، محیط رسوب‌گذاری و مدل رسوبی سازند قلی در رباط قره‌بیل ارائه شده است.

محیط رسوبی بر پایه شواهد سنگ‌شناسی، مجموعه

رخساره‌های سنگی و ساخت‌های رسوبی

با توجه به مجموعه رخساره‌ها و به ویژه ساخت‌های رسوبی دیده شده، سازند قلی در یک شلف زیر تاثیر توفان و امواج^۱ نهشته شده است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). ستبرای، ژئومتری، ترکیب و چینه‌بندی لایه‌های ماسه‌ای توفانی دریایی کم‌ژرفا بستگی به شرایط محلی به ویژه بزرگی و زمان تداوم توفان، نزدیکی یا دوری به ناحیه منشا رسوبات و جایگاه نسبی در امتداد مسیر انتقال توفان^۲ دارد (ریدینگ، ۱۹۹۶؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲). رخساره‌های زیرین (مجموعه رخساره شیل میکادار و ماسه‌سنگ نازک‌لایه) و میانی (مجموعه رخساره شیل میکادار- ماسه‌سنگ نازک‌لایه سرخ رنگ و سنگ‌آهک ماسه‌ای) در پهنه ساحلی زیرین^۳ در بین قاعده موج در شرایط توفانی^۴ و قاعده موج در شرایط آرام^۵ برجای گذاشته شده‌اند. در پهنه ساحلی زیرین دانه‌ها در اندازه ماسه عمدتاً توسط توفان جابجا و در شرایط آرامش نهشته می‌شوند. این موضوع توسط برخی از پژوهش‌گران در نقاط مختلف جهان (مانند جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶؛ نومدال، ۱۹۹۱؛ اینسل و سیلاخر، ۱۹۹۱؛ نیکولز، ۲۰۰۹) گزارش شده است. به طور مشخص می‌توان بیان کرد که این دو مجموعه رخساره توسط جریان‌های شدید نهشته شده است. وجود قاعده فرسایشی (شکل ۶ الف)، نسبت بالای شیل به ماسه‌سنگ (شکل ۵ الف)، ساخت‌های چینه‌بندی مورب پشته‌ای (شکل ۶ ب)، لامیناسیون مورب و لامیناسیون موازی (شکل ۶ الف)، وجود قطعات

¹ Storm and wave dominated shelf

² Storm transport path

³ Lower shoreface

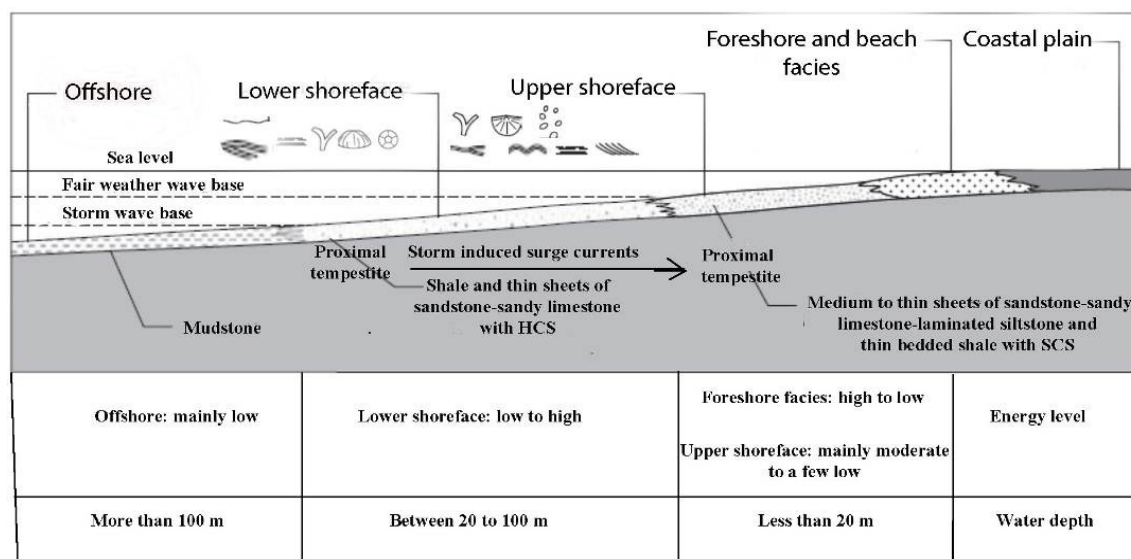
⁴ Storm wave base

⁵ Fair weather wave base

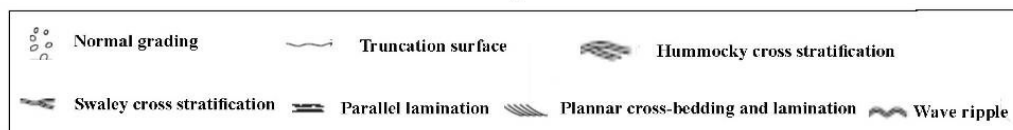
برجای‌مانده زیرین از نوع خرده‌سنگ، قطعات گلی و خرده‌های گیاهی، چینه‌بندی مورب پشته‌ای و تقعر، لامیناسون موازی، ریپل‌مارک موجی، لامیناسیون مورب و افق‌های داری لوله‌های زیستی^۲ و لایه‌های گل نشان‌دهنده رخساره‌های توفانی نزدیک به منشا هستند (اینسل و سیلاخر، ۱۹۹۱؛ والکر و پلینت؛ ۱۹۹۲؛ ریدینگ، ۱۹۹۶؛ نیکولز، ۲۰۰۹). برخی از این ویژگی‌ها مانند چینه‌بندی مورب پشته‌ای و تقعر، قاعده فرسایشی، ریپل‌مارک موجی و لامیناسیون مورب در منطقه مورد بررسی دیده شد.

سالم و شکسته‌شده فسیل‌های خاص دریای باز مانند اکینودرم، بریوزا و تتاکولیتس (شکل‌های ۷ ب و ج) و صف‌بندی موازی قطعات بیوکلاستی (شکل ۷ ب) نشان‌دهنده نابرجا بودن این مجموعه رخساره‌ها و ترابری آن توسط توفان می‌باشد. نهشته‌های توفانی^۱ با ساخت‌های رسوبی و ویژگی‌های خاص خود در سازند قلی در منطقه یافت شده‌اند. قاعده فرسایشی، چینه‌بندی مورب پشته‌ای، لامیناسیون موازی، لامیناسیون مورب و صف‌بندی قطعات بیوکلاستی از ویژگی‌های رسوبات توفانی هستند (جدول ۲). قاعده فرسایشی، رسوبات

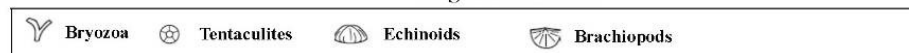
Storm and wave dominated shelf



Sedimentary structures



Biogenic contents

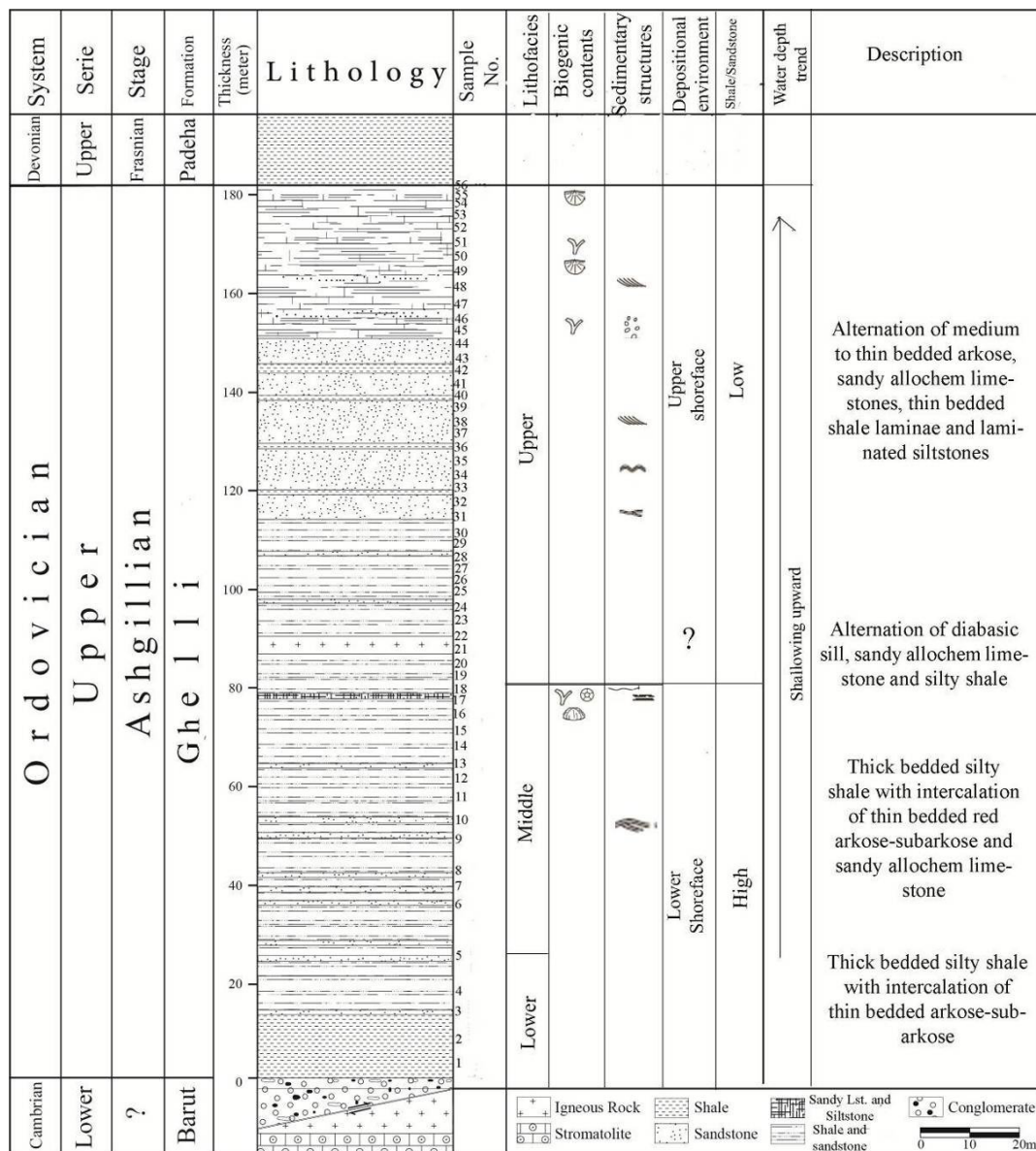


شکل ۱۴. مدل محیط رسوبی سازند قلی (شلف تحت تاثیر امواج و توفان). رسوبات سازند قلی (رسوبات توفانی نزدیک به منشا) در پهنه‌های ساحلی زیرین و بالایی نهشته شده‌اند. لازم به گفتن است که محیط‌های دور از ساحل، بخش جلویی ساحل و دشت ساحلی جهت تکامل محیط رسوبی به سوی دریا و خشکی ارائه شده است و دسترسی با محیط رسوب‌گذاری سازند مورد مطالعه ندارد. ژرفای آب بر پایه منابع گوناگون (جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶؛ نومدال، ۱۹۹۱؛ سیلاخر و ایگنر، ۱۹۹۱؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲؛ ریدینگ، ۱۹۹۶؛ نیکولز، ۲۰۰۹) برآورد شده است. سطح انرژی بر پایه سنگ‌شناسی، ساخت‌های رسوبی و برخی منابع (سیلاخر و ایگنر، ۱۹۹۱؛ نیکولز، ۲۰۰۹) محاسبه شده است.

¹ Tempestites

² Burrow

³ Proximal tempestites



شکل ۱۵. ستون چینه‌شناسی همراه با تفکیک محیط‌رسوبی سازند قلی در ناحیه رباط قره‌بیل. توالی رسوبی این سازند نشان‌دهنده یک روند کم‌زرفاشونده به سمت بالا است. لازم به گفتن است که نمادهای بکار رفته در مورد محتوی زیستی و ساخت‌های رسوبی در شکل ۱۴ تعریف شده است. مرز زیرین سازند قلی با سازند باروت در این ستون به صورت شماتیک به تصویر کشیده شده است و مرز حقیقی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه از نوع گسله است.

ایجاد نمی‌شوند و فقط در شلف‌های زیر تاثیر طوفان (پهنه ساحلی زیرین؛ زیر قاعده موج در شرایط آرام) ایجاد می‌شوند (جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶؛ نیکولز، ۲۰۰۹). به طور کلی کارکرد طوفان در سه مرحله بر ناحیه مورد اثرش انجام می‌شود (جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲): ۱- مرحله فرسایش طوفان^۳ که سبب ایجاد سطح فرسایشی زیرین^۱ (مسطح تا موج‌دار^۲،

در جدول ۲ ویژگی‌های رسوب‌شناختی نهشته‌های توفانی سازند قلی گفتن شده است. در واقع، جریان‌های قوی سبب فرسایش بخش‌های کم‌زرفای شلف می‌شوند. ساخت چینه‌بندی مورب پشته‌ای در رسوبات پهنه ساحلی بالایی^۱ (بالای قاعده موج در شرایط آرام) در نتیجه جابجایی رسوبات در اثر فرایندهای امواج عادی^۲

^۳ Storm erosion

^۱ Upper shoreface
^۲ Ordinary wave processes

می‌شود و نشان‌دهنده کارکرد جریان‌های نوسانی و رژیم جریانی پایین^۵ است. ۴- مرحله رسوب‌گذاری گل پس از توفان که منعکس‌کننده رسوب مواد معلق از رسوبات ناشی از توفان (مانند گل‌های پس از توفان) یا بازگشت به شرایط عادی رسوب‌گذاری است.

علائم سطح زیرین لایه و اینتراکلیست‌های پبلی و گل‌سنگی می‌شود. ۲- مرحله رسوب‌گذاری اصلی توفانی^۳ که شامل ایجاد چین‌بندی مورب پشته‌ای، لامیناسیون مورب و لامیناسیون موازی است. ۳- مرحله کاهش رسوب‌گذاری توفانی^۴ که سبب ایجاد لایه‌های ماسه‌ای دارای ریپل موجی و به ندرت لامیناسیون مورب جریانی

جدول ۱. ویژگی‌های سنگ‌شناسی و محیط‌رسوبی سازند قلی (رخساره‌ها به ترتیب از پایین به بالا)

ساخت‌های رسوبی	شکل هندسی	نسبت شیل / ماسه سنگ	اجزای عمده سازنده	سنگ‌شناسی	رخساره
در بخش لای سنگی دانه‌بندی تدریجی نرمال، لامیناسیون مسطح ضعیف تا بسیار کم شیب‌دار و لایه‌بندی مورب تابولار، در بخش ماسه‌سنگی چین‌بندی تقریری، ریپل موجی، لامیناسیون‌های موازی و مورب تابولار و گوه‌ای شکل (در بخش بالایی رخساره)	ماسه‌سنگ‌ها، لای سنگ‌ها و سنگ آهک‌های ماسه‌ای ورقه‌ای	کم	فلدسپارهای غالباً دگرسان شده و کوارتزهای عمدتاً تک‌بلوری در بخش ماسه سنگی، آلومک‌های بریزوا و براکیوپودا در بخش آهک ماسه‌ای، کوارتز نیمه‌زاویه‌دار- زاویه‌دار و صفحات میکا و سرسیت در بخش لای سنگی	آرکوز، شیل، سنگ آهک آلومک‌دار ماسه‌ای، لای سنگ	رخساره بالایی
بدون ساخت رسوبی	سنگ آهک‌ماسه‌ای توده‌ای، سیل دیابازی	-	آلومک‌های اکتینودرم و تنتاکولیتس و کوارتز عمدتاً نیمه‌گرد شده در بخش آهک ماسه‌ای، پلاژیوکلاز، کلسیت و قالب‌های کلینوپیروکسن پر شده از اکسیدهای آهن	سنگ آهک- ماسه‌ای آلومک- دار ماسه‌ای، دلریت (دیاباز)	سنگ آهک ماسه‌ای همراه با توده نفوذی آذرین و شیل
مرز فرسایشی در بخش‌های ماسه‌ای و آهک‌ماسه‌ای، لامیناسیون مورب، چین‌بندی مورب پشته‌ای و لامیناسیون موازی در بخش ماسه‌سنگی	ماسه‌سنگ‌ها و سنگ آهک‌های ماسه‌ای ورقه‌ای با قاعده فرسایشی و مشخص	زیاد	در بخش ماسه‌سنگی کوارتز تک بلوری-چندبلوری، فلدسپارهای غالباً دگرسان شده، در بخش آهک ماسه‌ای آلومک‌های اکتینودرم، تنتاکولیتس و بریزوا	آرکوز- ساب‌آرکوز، سنگ آهک آلومک‌دار ماسه‌ای، شیل سیلتی میکادار	رخساره میانی
بدون ساخت رسوبی	ماسه‌سنگ‌ها و سنگ آهک‌های ماسه‌ای ورقه‌ای	زیاد	فلدسپارهای غالباً دگرسان شده، کوارتزهای تک‌بلوری، چندبلوری در بخش ماسه‌سنگی	ساب‌آرکوز- آرکوز، شیل سیلتی میکادار	رخساره زیرین

سبب جابجایی مجدد رسوبات حتی گاهی در مناطق ژرف‌تر شلف (شلف خارجی)^۸ می‌گردد (نیکولز، ۲۰۰۹). اما در توالی رسوبی تحت تاثیر توفان و امواج سازند قلی، هیچ‌گونه زیست‌آشفستگی در لایه‌های شیلی دیده نشده است. احتمالاً علت این موضوع نبود موجودات زیست‌آشفته‌کننده (موجودات کفزی مانند نرم‌تنان، استراکودا و فرامینیفرهای کفزی) با توجه به سن سازند در منطقه مورد مطالعه است (به استثنای دیده اکتینودرم در بخشی از رخساره میانی سازند قلی). در واقع، نبود زیست‌آشفستگی سبب حفظ‌شدگی کامل ساخت‌های رسوبی و توالی آرمانی رسوبات توفانی در سازند قلی شده است. لازم به گفتن است که وجود زیست‌آشفستگی شدید

وجود شیل در رخساره‌های زیرین، میانی و بالایی نشان‌دهنده زمان‌های بین دو رویداد توفان و یا مرحله رسوب‌گذاری گل پس از توفان در سازند قلی می‌باشد. به طور کلی نهشته‌های توفانی بوسیله لایه‌های گلی (شیلی) از یکدیگر جدا می‌شوند (بجز در مواردی که لایه‌های گلی توسط توفان بعدی فرسوده شوند) (نیکولز، ۲۰۰۹). معمولاً لایه‌های شیلی در رسوبات توفانی دارای زیست‌آشفستگی هستند (نیکولز، ۲۰۰۹؛ ریدینگ، ۱۹۹۶). در زمان‌های بین دو رویداد توفان، موجودات کفزی^۷

^۱ Basal erosion surface

^۲ Flat to undulatory

^۳ Main storm deposition

^۴ Waning storm deposition

^۵ Lower flow regime

^۶ Storm events

^۷ Benthonic organisms

^۸ Outer shelf

آهک ماسه‌ای احتمالا نشان‌دهنده دو مرحله فرسایش و رسوب‌گذاری اصلی توفانی و رویداد توفان بعدی در این بخش از توالی است. البته لازم به گفتن است که وجود رخساره سنگ‌آهک ماسه‌ای می‌تواند در اثر کاهش ورود رسوبات آواری از بالادست همراه با تغییرات اقلیم و دمای آب و ایجاد یک محیط ریف مانند (برپوزوآ از موجودات ریف‌ساز اردوئین است) در شلف باشد. سرانجام، به علت نبود ساخت‌های رسوبی در مجموعه رخساره سنگ‌آهک ماسه‌ای همراه با توده نفوذی آذرین و شیل سیلتی شناسایی دقیق محیط رسوبی این رخساره و قرارگیری در پهنه ساحلی بالایی و یا زیرین در این پژوهش امکان‌پذیر نمی‌باشد.

سبب همگن شدن لایه‌های توفانی و از بین رفتن ساخت‌های رسوبی مرتبط با کارکرد توفان و امواج می‌شود (نیکولز، ۲۰۰۹؛ اینسل و سیلاخر، ۱۹۹۱). وجود دو سطح زیرین فرسایشی متوالی در لایه‌های ماسه‌سنگی و سنگ‌آهک ماسه‌ای رخساره میانی و نبود رسوبات شیلی (شکل ۶ الف) به احتمال نشان‌دهنده رخداد دو رویداد توفان متوالی و فرسایش لایه‌های گلی بین آن‌ها می‌باشد. البته بایستی احتمال تاثیر عدم آورد رسوب از مناطق بالادستی و یا ایست رسوب‌گذاری را در تشکیل این سطوح فرسایشی نیز در نظر گرفت. وجود سطح فرسایشی، لامیناسیون مورب و لامیناسیون موازی در بخش ماسه‌سنگی و سطح فرسایشی بعدی در بخش

جدول ۲. ساخت‌های رسوبی و ویژگی‌های عمده رسوب‌شناختی نهشته‌های توفانی و مقایسه آن با نهشته‌های توفانی سازند قلی

سازند قلی	منابع	ساخت‌ها و ویژگی‌های رسوب‌شناختی
*	لی و همکاران، ۲۰۱۷؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ مایرو، ۲۰۱۶؛ خزانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ جلیلیان، ۱۳۹۵؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۲؛ باسیلیسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ واکارلوف و همکاران، ۲۰۱۲؛ نیکولز، ۲۰۰۹؛ چادهوری، ۲۰۰۵؛ ریدینگ، ۱۹۹۶؛ سیلاخر و ایگنر، ۱۹۹۱؛ نومدال، ۱۹۹۱؛ جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶	چینه‌بندی مورب پشته‌ای
	نیکولز، ۲۰۰۹؛ ریدینگ، ۱۹۹۶؛ اینسل و سیلاخر، ۱۹۹۱	سول‌مارک ^۱ (علائم سطح زیرین لایه)
*	باسیلیسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ واکارلوف و همکاران، ۲۰۱۲؛ نیکولز، ۲۰۰۹؛ ریدینگ، ۱۹۹۶؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲؛ جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶	چینه‌بندی مورب تقعر
	ون-لون، ۲۰۰۹؛ محسنی و العاصم، ۲۰۰۴	دگرشکلی‌های رسوبات نرم ^۲
*	خزانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ سوریا و همکاران، ۲۰۱۴؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۲؛ گرین و همکاران، ۲۰۱۲؛ نیکولز، ۲۰۰۹؛ چاکرابورتی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ریدینگ، ۱۹۹۶؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲؛ سیلاخر و ایگنر، ۱۹۹۱	مرز فرسایشی
*	سوریا و همکاران، ۲۰۱۴؛ گرین و همکاران، ۲۰۱۲؛ باسیلیسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ چاکرابورتی و همکاران، ۲۰۰۹؛ نیکولز، ۲۰۰۹؛ چادهوری، ۲۰۰۵؛ ریدینگ، ۱۹۹۶؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲	جایگاه شلف
*	وانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ باسیلیسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۲؛ نیکولز، ۲۰۰۹؛ محسنی و العاصم، ۲۰۰۴؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲	دانه‌بندی تدریجی عادی
*	چادهوری، ۲۰۰۵؛ محسنی و العاصم، ۲۰۰۴	لامیناسیون مورب
	محسنی و العاصم، ۲۰۰۴	ساخت‌های فراری ^۳
*	وانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ لی و همکاران، ۲۰۱۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۲؛ نیکولز، ۲۰۰۹؛ چاکرابورتی و همکاران، ۲۰۰۹؛ چادهوری، ۲۰۰۵؛ محسنی و العاصم، ۲۰۰۴؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲؛ جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶	ریبل موجی (مقارن)
*	پوگا و آگویر، ۲۰۱۷؛ محسنی و العاصم، ۲۰۰۴؛ سیلاخر و ایگنر، ۱۹۹۱	صف‌بندی موازی قطعات بیوکلاستی
*	باسیلیسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ واکارلوف و همکاران، ۲۰۱۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۲؛ نیکولز، ۲۰۰۹؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲	لامیناسیون موازی
	نیکولز، ۲۰۰۹؛ محسنی و العاصم، ۲۰۰۴؛ ریدینگ، ۱۹۹۶	دانه‌های برجای‌مانده زیرین ^۴

¹ Sole mark

² Soft sediment deformations

³ Escape structures

⁴ Basal lags

(۱۹۹۲) و بخش رسی آن (نوارهای تیره) در اثر جریان‌های کاهشی و یا رسوب‌گذاری پلاژیک بین توفان‌ها (والکر و پلینت، ۱۹۹۲) ایجاد شده است.

همراهی لایه‌های ماسه‌سنگی و سنگ‌آهک‌ماسه‌ای (تغییر ترکیب سنگ‌شناسی) (شکل ۶ الف) در نهشته‌های توفانی می‌تواند در نتیجه تغییر میزان موجودات کفزی دارای صدف^۱ (اکینودرم، تتناکولیتس و بریوزا) در ناحیه فرسایش‌یافته توسط توفان باشد. با افزایش جانداران کف-زی دارای صدف، رسوبات توفانی می‌توانند به صورت زوج‌لایه‌های دارای یک لایه زیرین سرشار از پوسته و یک لایه بالایی ماسه‌ای با لامیناسیون‌های متغیر حفظ شوند. این موضوع در پژوهش‌های پژوهشگرانی مانند (کریسا، ۱۹۸۱؛ هابدی و مورتون، ۱۹۸۴؛ جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶) نیز گفته شده است. همچنین، ماسه‌های ورقه‌ای شکل^۲ دارای چین‌بندی مورب پشته‌ای همراه با لایه‌های شیلی (رخساره میانی سازند قلی) نشان‌دهنده یک محیط دریایی ژرف‌تر انباشته‌شده^۳ نسبت به ماسه‌های ورقه‌ای شکل دارای چین‌بندی مورب تقعری (رخساره بالایی سازند قلی) هستند که نشان‌گر پهنه ساحلی پیش‌رونده زیر تاثیر امواج^۴ می‌باشند. این نوع ماسه‌های ورقه‌ای شکل همراه با ساخت‌های رسوبی یادشده نیز توسط برخی از پژوهشگران در نهشته‌های توفانی گزارش شده‌اند (جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶؛ سویت و همکاران، ۱۹۸۷؛ والکر و پلینت، ۱۹۹۲).

محیط‌رسوبی بر پایه شواهد گرده‌شناسی (رخساره‌ها و عناصر گرده‌شناسی)

بر پایه شکل ۱۲ در سازند قلی چهار رخساره گرده‌شناسی شناسایی شده است. رخساره III نشان‌دهنده شلف نزدیک به ساحل دارای شرایط اکسیدان است. تیره بودن اغلب خرده‌گیاهی‌ها نشان‌گر بالا بودن میزان اکسیژن محیط و فراوانی نسبی خرده گیاهی‌ها و پایین بودن پارامتر تغییرپذیری نسبت به سایر رخساره‌ها نشانگر کم‌ژرفا بودن این رخساره است (شکل‌های ۱۳ الف تا ث). همچنین رخساره IVa با نسبت مواد آلی بی‌ریخت روشن به تیره حدود ۱ نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در یک

رخساره بالایی (مجموعه رخساره ماسه‌سنگ متوسط تا نازک‌لایه - سنگ‌آهک‌ماسه‌ای - لای سنگ لامینه‌ای و شیل‌های نازک‌لایه) در پهنه ساحلی بالایی (بالای قاعده موج در شرایط آرام) نهشته شده است. وجود ماسه‌سنگ‌ها، آهک‌های ماسه‌ای و لای‌سنگ‌های ورقه‌ای، نسبت شیل/ماسه‌سنگ کم، ساخت‌های چین‌بندی مورب تقعری (شکل ۱۱ الف)، ریپل‌مارک موجی (شکل‌های ۱۱ الف و ب)، لامیناسیون موازی (شکل ۱۱ ج)، لامیناسیون‌های مورب تابولار و گوه‌ای شکل (شکل ۱۱ ج) در بخش‌های بالایی ماسه‌سنگی، لامیناسیون مسطح و دانه‌بندی تدریجی عادی در بخش لای سنگی این رخساره و نبود چین‌بندی مورب پشته‌ای همگی نشان‌دهنده نهشته‌شدن این بخش از توالی در پهنه ساحلی بالایی است. وجود کم‌تر لایه‌های شیلی نشان‌دهنده محیط رسوبی دارای ژرفای کم‌تر و محیط با آشفستگی آب بیش‌تری است. این موضوع توسط دیگر پژوهش‌ها در نقاط مختلف جهان نیز پیشنهاد شده است (نومال، ۱۹۹۱؛ سیلاخر و ایگنر، ۱۹۹۱؛ جانسون و بالدوین، ۱۹۸۶). به طور کلی رخساره بالایی همانند رخساره‌های زیرین و میانی نشان‌دهنده رسوبات توفانی نزدیک به منشا هستند که ساخت‌های رسوبی چین‌بندی مورب تقعری، ریپل موجی، دانه‌بندی تدریجی عادی در بخش‌های زیرین و میانی رخساره بالایی و لامیناسیون موازی و لامیناسیون‌های مورب تابولار و گوه‌ای شکل در بخش بالایی این رخساره جایگزین ساخت‌های چین‌بندی مورب پشته‌ای و سطح فرسایشی در رخساره میانی شده‌اند. وجود ریپل‌های موجی خود نشان‌دهنده کاهش رسوب‌گذاری توفانی، کاهش ژرفای آب، و کارکرد جریان‌های نوسانی است. همچنین وجود لامیناسیون موازی و لامیناسیون‌های مورب تابولار و گوه‌ای شکل در بخش‌های ماسه‌سنگی بالایی این رخساره نشان‌دهنده کاهش ژرفای آب، کاهش تاثیر توفان و نزدیکی بیش‌تر به خشکی نسبت به بخش‌های زیرین رخساره بالایی می‌باشد. لایه‌های شیلی نازک‌تر این رخساره مانند رخساره‌های پیشین بدون زیست‌آشفستگی است و منعکس‌کننده رسوب‌گذاری گل پس از توفان است. وجود دانه‌بندی تدریجی در لای سنگ‌ها (شکل ۱۰ الف) نشان می‌دهد که بخش سیلتی (نوارهای روشن) در اثر جریان‌های کاهشی ناشی از توفان (والکر و پلینت،

¹ Shell

² Sheet-like

³ Aggrading deeper marine environment

⁴ Prograding wave-dominated shoreface

این مدل و بررسی‌های آماری بر روی ریخت‌گرده‌های سازند قلی مشخص شده است که ۵۶ درصد کل آکریتارک‌های موجود وابسته به نمونه‌های بدون تزئینات (اجتماعات نزدیک به ساحل)، ۲۴ درصد مربوط به فرم‌های با زوائد کوتاه‌تر از ۵ میکرون (اجتماعات نسبتاً دور از ساحل) و ۲۰ درصد دارای زوائد بلندتر از ۵ میکرون (اجتماعات دورتر از ساحل) بودند (شکل ۱۷). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً نهشته‌های مورد بررسی در یک محیط کم‌ژرفای دریایی ته‌نشین شده‌اند. همچنین مقایسه فراوانی نسبی ریخت‌گرده‌های دریایی به عناصر گرده‌شناسی خشکی (العطفی و همکاران، ۲۰۱۶؛ میشر و سینگ، ۲۰۱۸) در سازند مورد بررسی (فراوانی کمتر آکریتارک‌ها و کیتینوزوها نسبت به کریپتو سپورها و خرده‌های گیاهی) نشان‌گر ته‌نشینی نهشته‌های سازند قلی در محیط دریایی کم‌ژرفا می‌باشد.

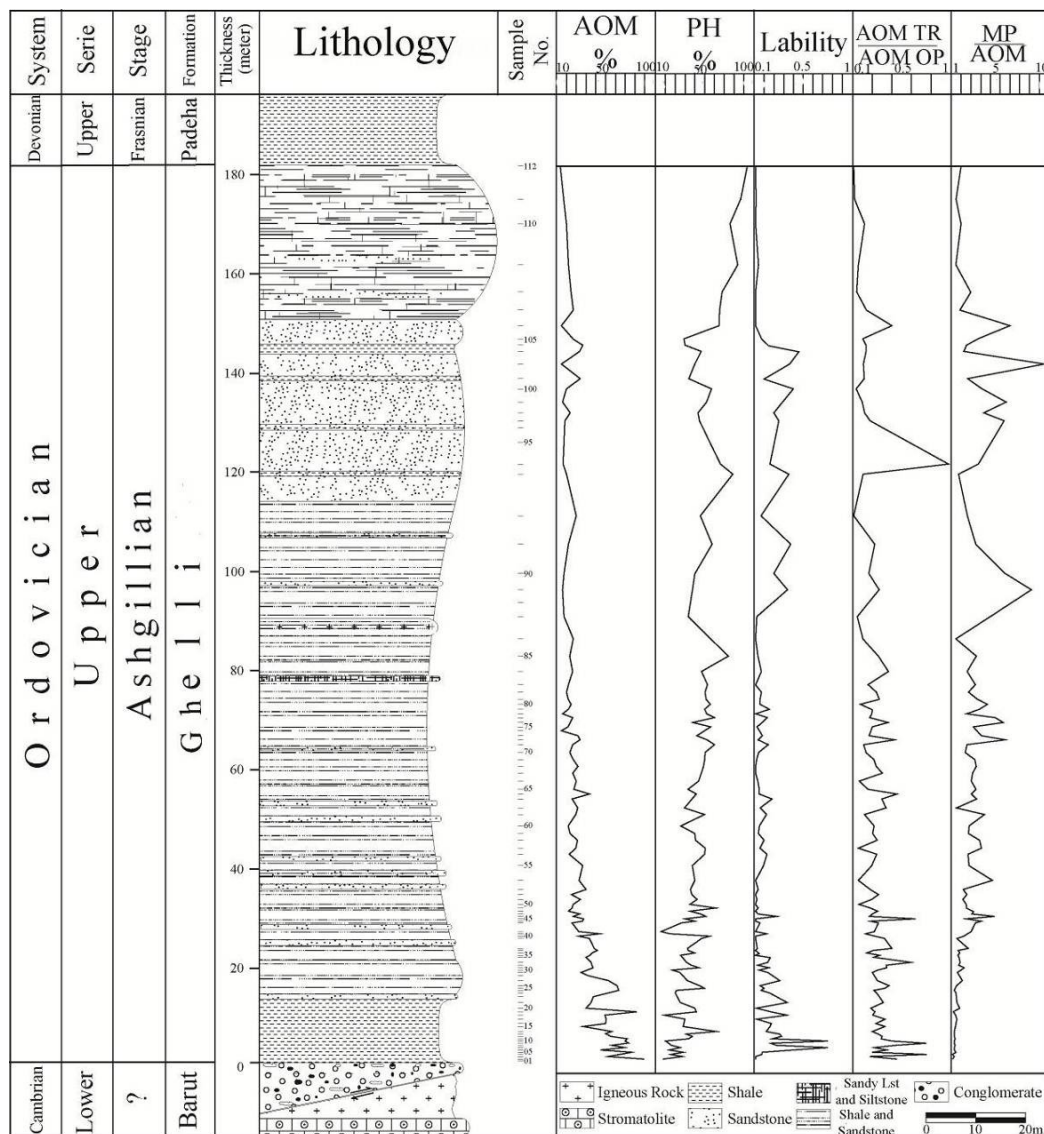
نتیجه‌گیری

توالی سنگ‌های دیرینه زیستی در شمال روستای رباط قره‌بیل از پیر به جوان شامل سازندهای قلی (اردوسین پسین)، پادها و خوش ییلاق (دونین پسین) می‌باشد. در این پژوهش با بهره‌گیری از برداشت‌های میدانی، بررسی‌های سنگ‌شناسی، ساخت‌های رسوبی و مجموعه رخساره‌ها و عناصر گرده‌شناسی، محیط رسوب‌گذاری سازند قلی شناسایی شد. بهره‌گیری هم‌زمان از داده‌های یادشده برای مشخص نمودن محیط رسوبی و فرایندهای موثر بر آن در حوضه البرز خاوری (سازند قلی) روشی نوآورانه بشمار می‌رود.

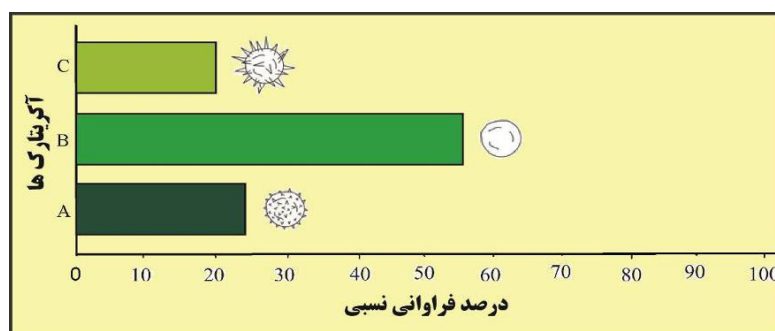
سازند قلی از چهار مجموعه رخساره سنگی ۱- رخساره شیل سیلتی میکادار و ماسه‌سنگ نازک‌لایه (رخساره زیرین)، ۲- رخساره شیل سیلتی میکادار- ماسه‌سنگ نازک‌لایه سرخ رنگ و سنگ‌آهک‌ماسه‌ای (رخساره میانی)، ۳- رخساره سنگ‌آهک‌ماسه‌ای همراه با توده نفوذی آذرین و شیل سیلتی ۴- رخساره ماسه‌سنگ متوسط تا نازک‌لایه- سنگ‌آهک‌ماسه‌ای- لای سنگ لامینه‌ای و شیل‌های نازک‌لایه (رخساره بالایی) ساخته شده است.

شلف نیمه‌اکسیدان تا نیمه‌احیایی (هوک، ۱۹۹۱) (شکل‌های ۱۳ تا ج)، رخساره ۷ با نسبت مواد آلی بی‌ریخت روشن به تیره حدود ۱ نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در یک شلف گل‌غالب دارای شرایط اکسیدان- نیمه‌اکسیدان (تایسون، ۱۹۹۳) (شکل‌های ۱۳ تا ر) و رخساره VII با نسبت مواد آلی بی‌ریخت روشن به تیره ۰/۵ و کم‌ترین پارامتر تغییرپذیری نشان‌گر رسوب‌گذاری در بخش نزدیک به ساحل یک شلف (تایسون، ۱۹۹۳) (شکل‌های ۱۳ تا ش) می‌باشد. فراوانی مواد آلی بی‌ریخت تیره نشان‌دهنده شرایط اکسیدان و مواد آلی بی‌ریخت روشن نشان‌دهنده شرایط بدون اکسیژن است (جانسونیوس و مک‌گرگور، ۲۰۰۲). نسبت مواد آلی بی‌ریخت روشن به مواد آلی بی‌ریخت تیره نشان‌گر میزان اکسیژن محیط رسوبی است (نسبت بیش از یک نشانگر شرایط احیایی و کمتر از یک نشانگر شرایط اکسیدان است) (دی‌میسون و مور، ۱۹۸۰؛ ارسگوا و کاستیک، ۲۰۰۶). همچنین با استفاده از نسبت ریخت‌گرده‌های دریایی به مواد آلی بی‌ریخت تیره و روشن در کنار دیگر پارامترها می‌توان به نرخ رسوب‌گذاری و میزان اکسیژن محیط پی برد (تایسون، ۱۹۹۵). روند افزایشی پارامتر تغییرپذیری از پایین به بالای بُرش نشان‌دهنده کم‌ژرفاتر شدن، نسبت مواد آلی بی‌ریخت روشن به تیره (در حدود یک و کمتر از یک) نشان‌دهنده محیط اکسیدان- نیمه‌اکسیدان و نسبت ریخت‌گرده‌های دریایی به مواد آلی بی‌ریخت (عمدتاً بیش از ۲/۵) نشان‌دهنده نرخ رسوب‌گذاری به نسبت بالای سازند قلی است (شکل ۱۶). نیاز به گفتن است که نرخ رسوب‌گذاری در محدوده مورد بررسی تا حدی بالا بوده که بخش عمده‌ای از ریخت‌گرده‌های دریایی (آکریتارک‌ها، کیتینوزوها و اسکلودونت‌ها) محفوظ مانده‌اند.

از میکروپلانکتون‌ها به دلیل داشتن فراوانی، تنوع، قابلیت حفظ‌شدگی زیاد (به علت دارا بودن ترکیبات آلی مقاوم در برابر تخریب) و اندازه کوچک، می‌توان در بازسازی محیط رسوبی و شناخت فاصله از خط ساحلی به کاربرد (تانکوف، ۲۰۰۳). استاپلین (۱۹۶۱) با توجه به فراوانی و ریخت‌شناسی ریخت‌گرده‌های موجود در پیرامون یک ریف دونین در آلبرتای کانادا، مدلی را برای پراکندگی آکریتارک‌ها و الگوی توزیع آن‌ها ارائه نموده است. بر پایه



شکل ۱۶. نمودار تغییرات پارامترهای گرده‌شناسی سازند قلی در طی اردوئین پسین. به روند افزایشی نسبی پارامتر تغییرپذیری از پایین به بالا، نسبت مواد آلی بی ریخت روشن به تیره (در حدود یک و کم‌تر از یک) و نسبت ریخت گرده‌های دریایی به مواد آلی بی ریخت (عمدتاً بیش از ۲/۵) توجه شود. AOM= مواد آلی بی ریخت، PH= خرده گیاهی، MP= ریخت گرده دریایی، TR= روشن، OP= تیره



شکل ۱۷. انواع تزئینات ریخت گرده‌های (آکریتارک‌ها) سازند قلی. (A) فرم‌های با زوائد نازک و بدون ارتباط با فضای درون وزیکل. (B) اشکال کروی ساده بدون تزئینات با دیواره‌ی نازک. (C) اشکال کروی و چندوجهی دارای دیواره ستر و زوائد بلند. نیاز به گفتن است که اشکال کروی ساده بدون تزئینات دارای بیش‌ترین فراوانی هستند.

گرده‌شناسی در سازند قلی نشان‌گر نتایج نسبتاً همانند در شناسایی محیط رسوبی (شلف کم‌ژرفا) می‌باشد. پیشنهاد می‌شود که با بهره‌گیری از روش‌های استفاده شده در این پژوهش به همراه بررسی آثار فسیلی (ایکونوفسیل‌ها)، در صورت وجود، محیط رسوب‌گذاری دیگر سازندهای دیرینه زیستی در حوضه البرز و سازندهای هم‌ارز سازند قلی (از نظر سنی) در حوضه ایران مرکزی به صورت دقیق‌تر شناسایی شوند.

منابع

- برجی، س (۱۳۹۶) پالینواستراتیگرافی و پالئوژئوگرافی رسوبات پالئوزویک زیرین در ناحیه رباط قره‌بیل واقع در شمال خاوری سلسله جبال البرز. پایان‌نامه دکتری رشته چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ص ۳۴۵.
- جلیلیان، ع. ح (۱۳۹۵) نهشته‌های پیراکشندی و توفانی در برش الگوی سازند خانه‌کت، تریاس زاگرس بلند، خاور شیراز. دو فصل‌نامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۷، ص. ۱۸-۳۱.
- خزائی، ا، محمودی‌قرائی، م، ح، محبوبی، ا، طاهری، ج (۱۳۹۶) رخساره‌های توفانی در بخش آغازین سازند نیور (سیلورین پایینی) در جنوب غرب کاشمر. دوفصل‌نامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۹، ص. ۷۴-۸۵.
- درخشی، م، قاسمی، ح، سهامی، ط (۱۳۹۳) زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی مجموعه بازالتی سلطان‌میدان در رخنمون‌های شمال و شمال خاور شاهرود، البرز خاوری، شمال ایران. فصل‌نامه علوم‌زمین، شماره ۹۱، ص. ۶۳-۷۶.
- سهیلی، م، افشارحرب، ع (۱۳۵۹) نقشه زمین‌شناسی کوه کورخود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- صالحیان، ش (۱۳۹۰) بررسی پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین مافیک موجود در شیست‌های گرگان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد پترولوژی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۷۵ ص.
- طاهری، ع، حیدرنیا، ح (۱۳۸۳) چینه‌نگاری و محیط‌رسوبی سازند قلی در ناحیه ده‌ملا. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۰ ص.
- قاسمی، ح، درخشی، م (۱۳۸۷) کانی‌شناسی، ژئوشیمی و نقش فرایند جدایش مکانیکی بلورهای الیوین در تشکیل سنگ‌های آذرین پالئوزویک زیرین منطقه شیرگشت؛ شمال باختر طبس، ایران مرکزی. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، ص. ۲۰۷-۲۲۴.

به ترتیب بخش‌های ماسه‌سنگی و سنگ‌آهک‌ماسه‌ای از آرکوز- ساب‌آرکوز (دارای فلدسپارهای عمدتاً دگرسان شده، کوارتزهای نیمه‌زاویه‌دار- نیمه‌گردشده و سیمان‌های سیلیسی رورشدی هم‌محور، آهن‌دار و کلسیتی) و سنگ‌آهک آلوکم‌دار ماسه‌ای (دارای آلوکم‌های براکیوپودا، بریوزوا، تتناکولیتس و اکینودرم، سیمان‌های آهن‌دار و کلسیتی بلوکی و کوارتزهای نیمه‌زاویه‌دار- نیمه‌گردشده) ساخته شده است. اگر چه که محیط‌های رسوبی سیلیسی‌آواری دریایی کم ژرفای دیرینه پیچیده هستند و ابهامات زیادی در مورد آن‌ها وجود دارد، با این وجود مجموعه رخساره‌های بررسی‌شده این سازند نشان‌دهنده یک توالی به نسبت آرمانی از شلف کم‌ژرفای زیر تاثیر امواج و توفان می‌باشد. با توجه به سنگ‌شناسی و به ویژه ساخت‌های رسوبی دیده‌شده، رخساره‌های زیرین و میانی در پهنه ساحلی زیرین (بین قاعده موج در شرایط توفانی و آرام) و رخساره بالایی در پهنه ساحلی بالایی (بالای قاعده موج در شرایط آرام) نهشته شده‌اند. سطح فرسایشی، چینه‌بندی مورب پشته‌ای، لامیناسیون مورب، لامیناسیون موازی و نسبت شیل/ماسه‌سنگ زیاد نشان‌دهنده رسوبات توفانی در پهنه ساحلی زیرین و چینه‌بندی مورب تقعر، ریپل‌موجی، دانه‌بندی تدریجی عادی، لامیناسیون موازی، لامیناسیون‌های مورب تابولار و گوه‌ای شکل و نسبت شیل/ماسه‌سنگ کم نشان‌گر رسوبات توفانی در پهنه ساحلی بالایی هستند. بر پایه اندازه‌گیری فراوانی سه گروه اصلی از عناصر گرده‌شناسی و با بهره‌گیری از نمودار تایسون، چهار رخساره گرده‌شناسی (IVa, III, V و VII) شناسایی شد. این مجموعه رخساره‌ای معرف یک محیط شلف است. هم‌چنین با توجه به فراوانی عناصر گرده‌شناسی بدون تزئینات، بررسی روند تغییرات پارامتر تغییرپذیری و مقایسه فراوانی ریخت گرده‌های دریایی و خشکی می‌توان گفت که سازند قلی در ناحیه رباط قره‌بیل در یک محیط دریایی کم ژرفا ته‌نشین شده است. بررسی پارامترهای گرده‌شناسی نشان می‌دهد که به طور کلی از پایین به بالای ستون چینه‌شناسی از فراوانی مواد آلی بی‌ریخت کاسته و به فراوانی خرده گیاهی‌ها افزوده می‌شود که بیان‌گر یک روند کم‌ژرفاشونده از پایین به بالای سازند قلی است. نیاز به گفتن است که مقایسه داده‌های سنگ‌شناسی و ساخت‌های رسوبی با داده‌های

- Ercegova, M., Kostic, A (2006) Organic facies and palynofacies: Nomenclature, classification and applicability for petroleum source rock. *International Journal of Coal Geology*, 68: 70-78.
- Ghavidel-Syooki, M., Borji, S (2018) Chronostratigraphy of acritarchs and chitinozoans from upper Ordovician strata from the Robat-e Gharabil Area, NE Alborz Mountains, Northern Khorassan Province: stratigraphic and paleogeographic implications. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 29: 35-51.
- Ghavidel-Syooki, M., Hassanzadeh, J., Vecoli, M (2011) Palynology and isotope geochronology of the Upper Ordovician-Silurian successions (Gheli and Soltan Maidan Formations) in the Khoshyeilagh Area, Eastern Alborz Range, northern Iran; stratigraphic and palaeographic implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 164: 251-271.
- Golonka, J., Ross, M. I., Scotese, C. R (1994) Phanerozoic paleogeographic and paleoclimatic modeling maps. In: Embry, A. F., Beauchamp, B., Glass, D. J. (EDS.), *Pangea: global environments and resources*. Canadian Society of Petroleum Geology, Memoir, 17: 1-47.
- Green, A. N., Ovechkina, M. N., Mostovski, M. B (2012) Late Holocene shoreface evolution of the wave dominated Durban Bight, KwaZulu-Natal, South Africa: a mixed storm and current driven system. *Continental Shelf Research*, 49: 56-64.
- Hobday, D. K., Morton, R. A (1984) Lower Cretaceous shelf storm deposits, northeast Texas. In: Tillman, R. W., Siemers, C. T. (EDS.), *Siliciclastic shelf sediments*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 34: 205-213.
- Huc, A. Y (1991) Deposition of organic facies. *AAPG studies in Geology*, no. 30, 237 p.
- Jansonius, J., McGregor, D. C (2002) Palynology: principles and applications. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 561 p.
- Johnson, H. D., Baldwin, C. T (1986) Shallow siliciclastic seas. In: Reading, H. G. (ED.), *Sedimentary environments and facies*, 2 nd edition. Black-Well, Oxford, 229-282.
- Kreisa, R. D (1981) Storm-generated sedimentary structures in subtidal marine with examples from the Middle and Upper Ordovician of southwestern Virginia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 823-848.
- Li, F., Zhang, H., Jing, Z., Cheng, X (2017) Paleoenvironmental analysis of the ichnogenus *Zoophycos* in the Lower Devonian tempestite sediments of the Longmenshan area, Sichuan, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeogeology*, 465: 156-167.
- قاسمی، ح.، کاظمی، ز (۱۳۹۲) محیط زمین‌ساختی و خصوصیات محل منشأ سنگ‌های آذرین موجود در سازند ابرسج (اردوویسین بالایی)، البرز خاوری، شمال شاهرود. *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره ۲، ص. ۳۱۹-۳۳۰.
- قاسمی، ح.، کاظمی، ز.، صالحیان، ش (۱۳۹۴) مقایسه سنگ‌های آذرین مافیک سازند قلی (اردوویسین بالایی) و شیست‌های گرگان در پهنه البرز خاوری. *فصل‌نامه علوم زمین*، شماره ۹۶، ص. ۲۶۳-۲۷۶.
- قویدل‌سیوکی، م.، خندابی، م (۱۳۹۱) پالینواستراتیگرافی و پالئوژئوگرافی سازندهای لشکرک و قلی واقع در ناحیه ابرسج، شمال باختر شاهرود. *پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی*، شماره ۴۹، ص. ۳۵-۵۸.
- Alavi, M (1996) Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *Journal of Geodynamics*, 21: 1-33.
- Basilici, G., Vieira de Luca, P. H., Poire, D. G (2012) Hummocky cross-stratification-like structures and combined-flow ripples in the Punta Negra Formation (Lower-Middle Devonian, Argentine Precordillera): A turbiditic deep-water or storm-dominated prodelta inner-shelf system? *Sedimentary Geology*, 267 (268): 73-92.
- Chakraborty, P. P., Sarkar, A., Das, K., Das, P (2009) Alluvial fan to storm-dominated shelf transition in the Mesoproterozoic Singhora Group, Chattisgarh Supergroup, Central India. *Precambrian Research*, 170: 88-106.
- Chaudhuri, A. K (2005) Climbing ripple structure and associated storm-lamination from a Proterozoic carbonate platform succession: their environmental and petrogenetic significance. *Journal of Earth System Science*, 3: 199-209.
- Courtinat, B., Piriou, S., Rio, M (2003) Phytoclasts in palynofacies definition: the example of Rhaetian sedimentary organic matter in SE France. *Revue de micropaleontology*, 46: 11-21.
- Demaison, G. J., Moore, G. T (1980) Anoxic environments and oil source bedgenesis. *The AAPG Bulletin*, 64: 1179-1209.
- Einsel, G., Seilacher, A (1991) Distinction of tempestites and turbidites. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A. (EDS.), *Cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 377-383.
- El Atfy, H., Abeed, Q., Uhl, D., Littke, R (2016) Palynology, palynofacies analysis, depositional environments and source rock potential of Lower Cretaceous successions in southern Iraq. *Marine and Petroleum Geology*, 76: 362-376.

- from sediments. Papers, Department of Geology, University of Queensland., 11: 23 p.
- Puga, A., Aguirre, B. J (2017) Contrasting storm-versus tsunami-related shell beds in shallow-water ramps. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 471: 1-14.
- Reading, H. G (1996) *Sedimentary environment: processes, facies and stratigraphy*, 3rd edition. Black-Well, Oxford, 589 p.
- Seilacher, A., Aigner, T (1991) Storm deposition at the bed, facies, and basin scale: the geologic perspective. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A. (EDS.), *cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 249-267.
- Soria, J. M., Giannetti, A., Monaco, P., Corbi, H., Garcia-Ramos, D., Viseras, C (2014) Cyclically-arranged, storm-controlled, prograding lithosomes in Messinian terrigenous shelves (Bajo Segura Basin, Western Mediterranean). *Sedimentary Geology*, 310: 1-15.
- Staplin, F. L (1961) Reef-controlled distribution of Devonian microplankton in Alberta. *Palaeontology*, 4: 392-424.
- Swift, D. J. P., Hudelson, P. M., Brenner, R. L., Thompson, P (1987) Shelf construction in a foreland basin: storm beds, shelf sandbodies, and shelf-slope depositional sequences in the Upper Cretaceous Mesaverde Group, Book Cliffs, Utah. *Sedimentology*, 34: 423-457.
- Tonkov, S (2003) Aspects of Palynology and Palaeoecology: Festschrift in Honour of Elissaveta Bozilova, 282 p.
- Traverse, A (2007) *Palaeopalynology*, 2nd edition. Springer, 814 p.
- Tyson, R. V (1995) *Sedimentary organic matter: Organic facies and palynofacies*. Springer, Netherlands, 615 p.
- Tyson, R. V (1993) Palynofacies analysis. In: Jenkins, D. J. (ED.), *Applied Micropalaeontology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 269 p.
- Vakarelov, B. K., Ainsworth, R. B., Mac Eachern, J. A (2012) Recognition of wave-dominated, tide-influenced shoreline systems in the rock record: variations from a microtidal shoreline model. *Sedimentary Geology*, 279: 23-41.
- Van der Zwan, C. J (1990) Palynostratigraphy and palynofacies reconstruction of the Upper Jurassic to lowermost Cretaceous of the Draugen Field, offshore mid Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 62: 157-186.
- Van Loon, A. J (2009) Soft-sediment deformation structures in siliciclastic sediments: an overview. *Geologos*, 15: 3-55.
- Walker, R. G., Plint, A. G (1992) Terrigenous clastic facies models. In: Walker, R. G., James, N. P., (EDS.), *Facies models: response to sea-level change*, Geological Association of Canada, 73-264.
- Liu, X., Zhong, J. H., Grapes, R., Bian, S. H., Liang, C (2012) Late Cretaceous tempestite in northern Songliao Basin, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 56: 33-41.
- Mishra, S., Singh, V (2018) Palynology, palynofacies, and taphonomical studies of Kamthi Formation, (Godavari Graben), southern India: Implications to biostratigraphy, palaeoecology, and depositional environment. *International Journal of Coal Geology*, 195: 102-124.
- Mohseni, H., Al-Aasm, I. S (2004) Tempestite deposits from a storm influenced carbonate ramp: an example from the Pabdeh Formation, Zagros Basin, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 27: 163-178.
- Mount, J (1985) Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. *Sedimentology*, 32: 435-442.
- Muttoni, G., Mattei, M., Balini, M., Zanchi, A., Gaetani, M., Berra, F (2009) The drift history of Iran from the Ordovician to the Triassic. In: Brunet, M. F., Wilmsen, M., Granath, J. W. (EDS.), *South Caspian to Central Iran basins*. Geological Society of London, Special Publication, 312: 7-29.
- Myrow, P (2016) *Sedimentary environments: storms and storm deposits*. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 580-587.
- Nichols, G (2009) *Sedimentology and stratigraphy*, 2nd edition. Wiley-Blackwell, Chichester, 419 p.
- Nummedal, D (1991) Shallow marine storm sedimentation- the oceanographic perspective. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A. (EDS.), *cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 227-248.
- Oboh-Ikuenobe, F. E., Villiers, S. E (2003) Dispersed organic matter in samples from the western continental shelf of Southern Africa: palynofacies assemblages and depositional environments of Late Cretaceous and younger sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeoecology*, 201: 67-88.
- Paris, F., Thusu, B., Rasul, S., Meinhold, G., Strogen, D., Howard, J. P., Abutarruma, Y., El gadry, M., Whittam, A. G (2012) Palynological and palynofacies analysis of early Silurian shales from borehole CDEG-2a in Dor el Gussa, eastern Murzuq Basin, Libya. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 174: 1-26.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1987) *Sand and sandstone*, 2nd edition. Springer-Verlag, New York, 553 p.
- Phipps, D., Playford, G (1984) *Laboratory techniques for extraction of palynomorphs*

- Wang, J., Xie, X., Pang, X., Liu, B (2017) Storm-reworked shallow-marine fans in the Middle Triassic Baise area, South China. *Sedimentary Geology*, 349: 33-45.
- Wendt, J., Kaufmann, B., Belka, Z., Farsan, N., Bavandpur, A (2005) Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran. Part II. North and central Iran. *Acta Geologica Polonica*, 55: 31-97.