

## تحلیل رخساره‌ها و تفسیر محیطی اثر رخساره‌های گلوسی‌فانجیتس و کروزیانا در سازند آیتامیر (ناحیه بزنگان حوضه کپه‌داغ، شمال خاوری ایران)

راهله عقیقی<sup>۱</sup>، اسداله محبوبی<sup>۲\*</sup>، سیدرضا موسوی‌حرمی<sup>۳</sup> و محمد خانه‌باد<sup>۴</sup>

۱، ۲، ۳ و ۴- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

نویسنده مسئول: mahboubi@um.ac.ir

دریافت: ۹۵/۸/۲۳ پذیرش: ۹۶/۳/۳۰

### چکیده

سازند آیتامیر (آلبین-سنومنین) از ماسه‌سنگ، شیل، سیلتستون و چندین لایه سنگ‌آهک تشکیل شده است. برش‌های آرتنج و قرقره در شرق حوضه کپه‌داغ برای تفکیک اثر رخساره‌ها بررسی شدند. در این تحقیق انواع اثر فسیل‌ها و اثر رخساره‌ها شناسایی شدند و ارتباط آن‌ها با محیط رسوبی تفسیر شده است. در برش‌های مورد مطالعه اثر فسیل‌ها شامل *Cylinderichnous Arenicolites* sp. و *Palaeophycustubularis.Palaeophycusheberti.Ophiomorpha isp.concentricus* است که در اثر رخساره‌های گلوسی‌فانجیتس و کروزیانا واقع شده‌اند. اثر رخساره گلوسی‌فانجیتس با تنوع کم اثر فسیل‌ها و جهت‌یابی مایل تا عمودی تالاسینوئیدهای Y شکل، پالئوفیکوس و آرنوکولیتس و همراهی با ساخت‌های رسوبی طبقه‌بندی مورب ترف و طبقه‌بندی مورب مسطح در مجموعه سدی با انرژی بالا تشکیل شده است. در حالی که اثر رخساره کروزیانا با تنوع بیشتر و اثر فسیل‌های عمدتاً مایل تا افقی در بستر ماسه‌ای با جورشدگی ضعیف تا متوسط در شرایط کم انرژی محیط حاشیه ساحل تشکیل گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** اثر فسیل، اثر رخساره، کروزیانا، گلوسی‌فانجیتس، آیتامیر

### مقدمه

است که ارتباط مستقیمی با تفسیر محیط‌رسوبی قدیمه دارد (بن و همکاران، ۲۰۰۴). از آنجا که رسوبات آواری-کربناته سازند آیتامیر در حوضه رسوبی کپه‌داغ دارای مجموعه گوناگونی از اثر فسیل‌ها با حفظ‌شدگی خوب است بنابراین با استفاده از شواهد ایکنولوژی موجود در رخنمون‌های سنگی این سازند به بررسی پارامترهای محیطی پرداخته شد. هدف از انجام این مطالعه، شناسایی اثر فسیل‌های سازند آیتامیر و تفسیر ارتباط اثر رخساره‌های موجود با محیط رسوبی است.

### مواد و روش‌ها

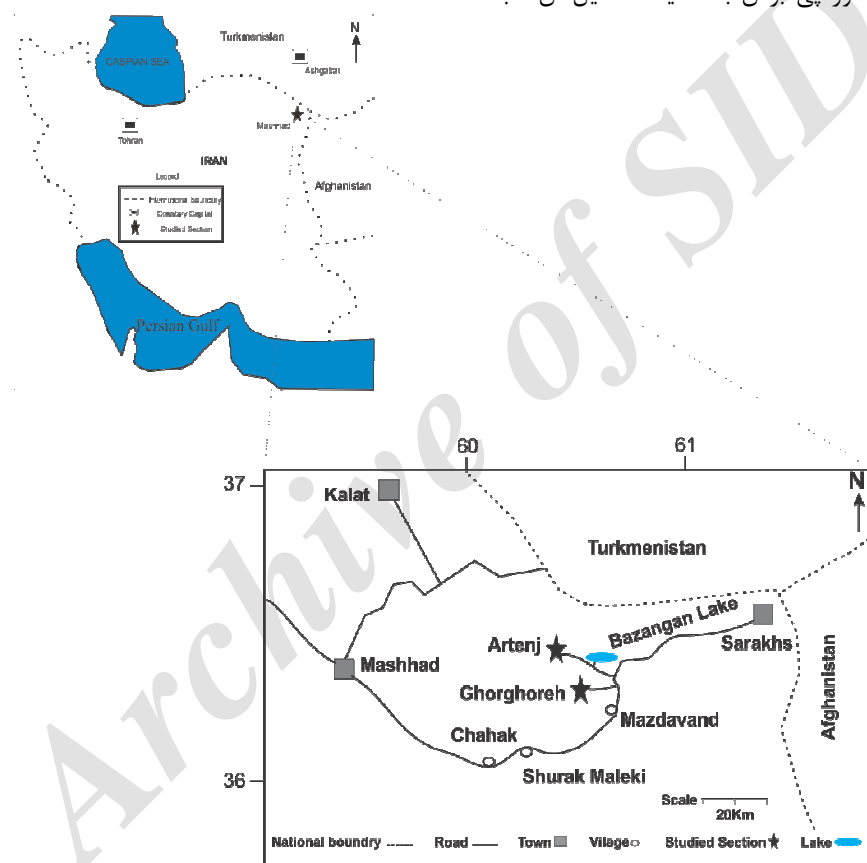
در این تحقیق دو برش از سازند آیتامیر در جنوب روستاهای آرتنج با ضخامت ۳۵۰ متر در عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 20' 12''$  شمالی و طول جغرافیایی  $47^{\circ} 22' 47''$  شرقی و قرقره با ضخامت ۱۷۴ متر در عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 31' 04''$  شمالی و طول جغرافیایی  $36^{\circ} 15' 15''$  شرقی اندازه‌گیری و نمونه‌برداری شده است (شکل ۱). اطلاعات مورد نیاز شامل داده‌های بافتی، ساخت‌های رسوبی غیرزیست‌زادی و زیستی

شناسایی رخساره‌های سنگی و تغییرات آن‌ها به صورت جانبی و عمودی، همراه با اختصاصات سنگ‌شناسی و اثر فسیل‌ها، منجر به تفسیر محیط‌رسوبی دیرینه می‌شود. اثر فسیل‌ها از شاخص‌های محیطی بسیار مهم محسوب می‌گردد و اهمیت آن‌ها در بازسازی محیط‌های رسوبی دیرینه (فری و گلدرینگ، ۱۹۹۲) و به ویژه در ارتباط با سطح انرژی آب، فرآیندهای هیدرودینامیک، پایداری بستر و توزیع مواد آلی است (ردریگوئز توار و فرنز والرا، ۲۰۰۸). مجموعه اثر فسیل‌ها را می‌توان بر اساس الگوهای مختلف محیط‌های دیرینه به تعدادی اثر رخساره تقسیم‌بندی کرد که هر یک نشان‌دهنده سازش رفتار جانداران اثرساز با عوامل محیطی است (سیلاخر، ۲۰۰۶). ترکیب اثر رخساره‌ها با توجه به تغییرات عمق محیط رسوبی و فاکتورهای محیطی (میزان رسوب‌گذاری، اندازه دانه‌های رسوب، شوری، اکسیژن، میزان مواد غذایی و نوع پراکندگی آن، دما، آشفستگی آب و شرایط تافونومی) تغییر می‌کند (اکدال و همکاران، ۱۹۸۴). مهم‌ترین فاکتور توزیع اثر فسیل‌ها و طبقه‌بندی اثر رخساره‌ها نوع بستر

استفاده از تقسیم‌بندی سیلاخر (۱۹۶۷) تعیین شد و زیست‌آشفته‌گی با استفاده از روش تیلور و گلدرینگ (۱۹۶۷) تعیین گردید.

برای تعیین رخساره‌های سنگی تعداد ۹۰ برش نازک و ۳۵ نمونه شیلی شسته شده، مطالعه شده است. سنگ‌های سیلیسی آواری به روش فولک (۱۹۸۰) و سنگ‌های کربناته به روش امبری و کلوان (۱۹۷۱) نام‌گذاری شدند. برای تعیین درصد فراوانی ذرات آواری از چارت‌های مقایسه‌ای باسل و بسلینی (۱۹۶۵) و فلوگل (۲۰۱۰) استفاده شد.

یادداشت‌برداری شدند. همچنین مطالعه ویژگی‌های سنگ‌شناسی لایه میزبان و مطالعه میکروسکوپی نمونه‌های سنگی برداشت شده از برش‌های چینه‌شناسی نیز صورت پذیرفت. اثر فسیل‌ها در صحرا به صورت سامان‌مند شناسایی گردیدند و اطلاعاتی مانند شکل، اندازه و ابعاد، نوع حفظ‌شدگی نسبت به سطوح لایه‌بندی، حضور آستر بندی یا دیوار، نوع دیواره، ساخت‌های پس ریز، وجود یا نبود انشعاب، ویژگی بافتی رسوبات پرکننده حفرات و مقایسه آن با رسوبات سنگ میزبان و سایر داده‌های مورد نیاز از روی اثر فسیل‌ها به دست آمد و اثر رخساره‌ها به منظور پی بردن به محیط تشکیل آن‌ها با



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی برش‌های مورد مطالعه سازند آیتامیر

### رخساره سنگی ماسه‌سنگ با لامیناسیون مورب سطح (Sp)

رخساره سنگی Sp در واحدی به ضخامت ۲ متر شناسایی شده که دارای گسترش جانبی بالا است و کنتاکت آن با رخساره‌های زیرین و بالایی تدریجی است. آشفته‌گی‌های زیستی شامل تالاسینوئیدس به صورت پراکنده وجود دارد و حاوی ساخت رسوبی لامیناسیون مورب سطح زاویه‌دار (شکل ۲ A) است که این رخساره سنگی همراه

### نتایج و بحث

#### رخساره‌های سنگی

رخساره‌های سنگی سازند آیتامیر به دو گروه آواری و کربناته تقسیم شده است (جدول ۱). رخساره‌های سنگی آواری شامل دو دسته ماسه‌سنگی و گل‌سنگی به شرح زیر است:

درجازا (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳) نیز موید محیط دریایی کم‌عمق پرنرزی است (چافتز و رید، ۲۰۰۰ و چانگ و همکاران، ۲۰۰۸) فراوانی کم اثرهای فسیلی هم می‌تواند ناشی از انرژی بالای محیط باشد (سلی، ۱۹۹۶). اثر فسیل عمودی تا مایل تالاسینوئیدس نیز در محیط حاشیه ساحل و ساحل تشکیل می‌شود (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶). طبقه‌بندی مورب از نوع ترف نیز می‌تواند حاکی از محیط پرنرزی باشد (العذابی و العربی، ۲۰۰۵). شواهد نشان‌دهنده محیط پرنرزی سدی یا بخش بالایی حاشیه ساحل است.

#### رخساره سنگی ماسه‌سنگ با چینه‌بندی افقی (Sh)

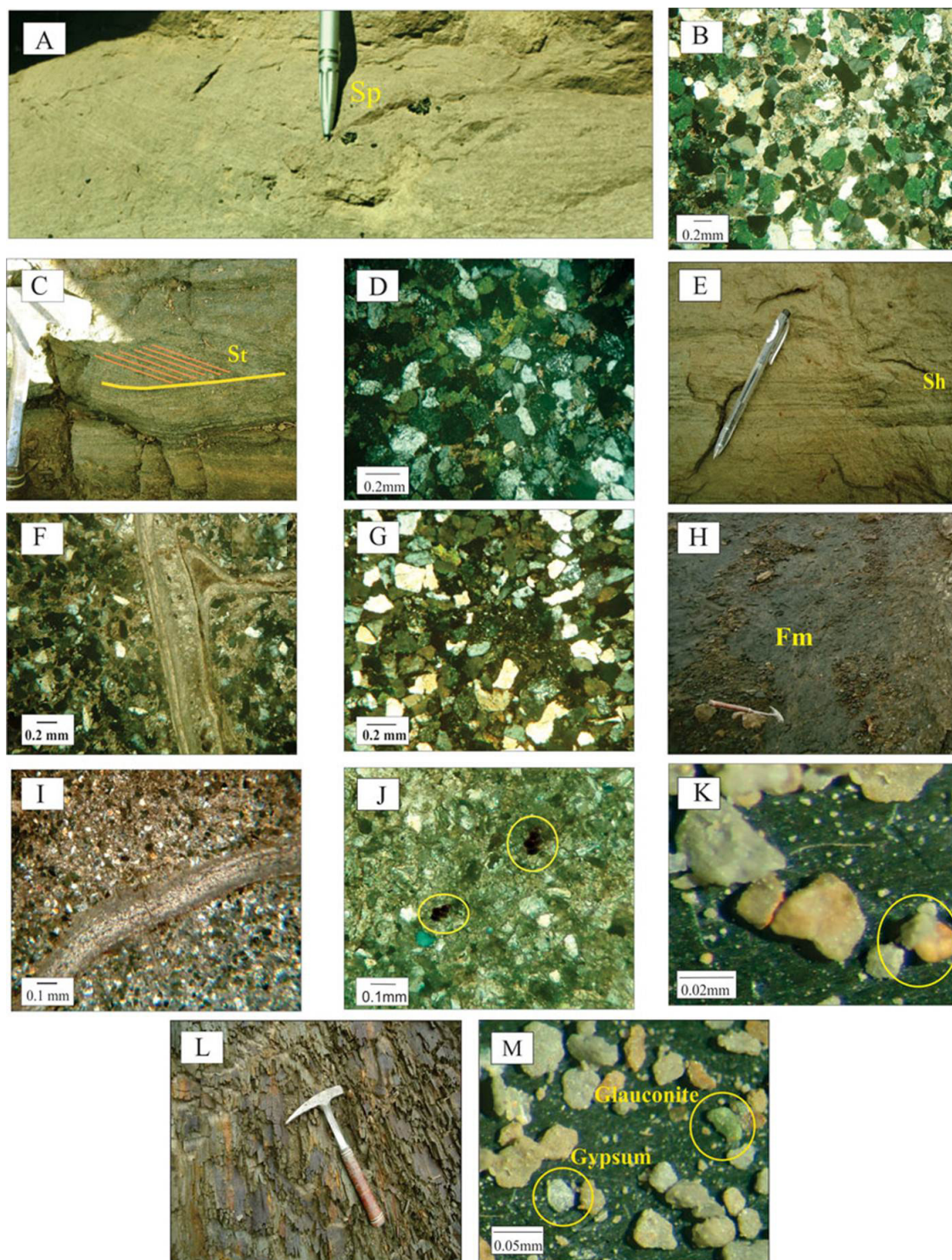
در رخساره سنگی Sh طبقات ماسه‌سنگی با ضخامت‌های مختلف و همراه لامیناسیون و لایه‌بندی افقی (شکل ۲ E) هستند که جزء فراوان‌ترین رخساره‌های موجود در نهشته‌های مورد مطالعه است که به طور پراکنده از ابتدا تا انتهای سازند وجود دارد. کنتاکت زیرین و بالایی آن در بعضی نقاط مشخص و در برخی موارد تدریجی است. این رخساره در بعضی لایه‌ها دارای اثر فسیل‌های *Cylindrichnous concentric*، *Palaeophycus tubularis*، *Thalassionoides*، *Arenicolites*، *Palaeophycus heberti* isp. و *Ophiomorpha* isp. است. این رخساره سنگی شامل پتروفاسیس  $SS_2$  است. وجود ۷-۱۰ درصد خرده اسکلتی ایستر و سایر دوکفه‌ای‌ها و جورشدگی نسبتاً ضعیف و بلوغ بافتی کمتر (ساب‌مچور) این پتروفاسیس را از پتروفاسیس  $SS_1$  جدا می‌کند (شکل ۲ F). این رخساره که از ماسه‌سنگ‌های گلاکونیتی دانه‌ریز تا متوسط حاوی خرده‌های فسیلی دوکفه‌ای تشکیل شده، دارای جورشدگی ضعیف است و در محیط دریای کم عمق نهشته شده است (آموروسی، ۱۹۹۷ و چانگ و همکاران، ۲۰۰۸). اثر فسیل‌های افقی تا مایل *Thalassionoides*، *Palaeophycus concentric*، *Cylindrichnous*، *Ophiomorpha* isp. و *Arenicolites* isp. مربوط به ایکنوفاسیس کروزیانا و موید انرژی متوسط تا پایین در حاشیه ساحل هستند (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶). این ناحیه دارای سطح انرژی پایین‌تری نسبت به محیط سدی بوده و ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات در این ناحیه دانه ریزتر هستند.

با رخساره ماسه‌سنگی St مشاهده شد. این رخساره سنگی از پتروفاسیس  $SS_1$  تشکیل شده که دارای ۴۵٪ کوارتز، ۵٪ فلدسپات و ۸٪ خرده‌سنگ چرتی است، هم‌چنین به طور متوسط شامل ۲۰-۳۰ درصد گلاکونیت و ۱٪ میکا و کانی‌های سنگین است. اجزای تشکیل دهنده توسط ۱۵-۲۰٪ سیمان کلسیتی به یکدیگر متصل شده‌اند. ماسه‌سنگ‌های گلاکونیتی پتروفاسیس  $SS_1$  از نوع ساب‌آرکوز تا ساب‌لیت‌آرنایت، دانه متوسط، فاقد رس با جورشدگی خوب و دانه‌های خوب گرد شده هستند (شکل ۲ B) که حاکی از یک دریای کم‌عمق با انرژی متوسط تا زیاد است. حضور گلاکونیت درجازا (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳) که از محیط‌های دریایی کم‌عمق پرنرزی گزارش شده‌اند نیز دلیل دیگری بر تشکیل این ماسه‌سنگ‌ها در محیط دریایی کم عمق و پرنرزی است (آموروسی، ۱۹۹۷) گلاکونیت‌های نیمه‌برجا با آثار شکستگی و خوردشدگی نیز مشاهده شده (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۲) که از جابجایی محلی و محدود در بستر حوضه تشکیل شده است (آموروسی، ۱۹۹۷) حضور اثرهای فسیلی عمودی تالاسینوئیدس نیز موید محیط حاشیه ساحل و ساحل هستند که تحت تاثیر موجودات حفار ایجاد شدند (فورزیش، ۲۰۰۶) تنوع کم اثر فسیل‌ها و هم‌چنین پراکندگی آن‌ها می‌تواند دلیل بر انرژی بالای محیط باشد (فورزیش، ۲۰۰۶) چنان‌که ذکر شد در این ماسه‌سنگ‌ها لامیناسیون مورب مسطح نیز مشاهده شد. شواهد نشان‌دهنده محیط پرنرزی سدی یا بخش بالایی حاشیه ساحل است.

#### رخساره سنگی ماسه‌سنگ با لامیناسیون مورب

##### ناودانی (St)

رخساره سنگی St دارای ساخت رسوبی لامیناسیون مورب ناودانی است و در واحدی سبز زنگ به ضخامت ۲ متر (شکل ۲ C) و همراه با آشفستگی زیستی تالاسینوئیدس و رخساره Sp مشاهده شد. این رخساره در واحد زیرین توالی قرار دارد که کنتاکت آن با رخساره‌های زیرین و بالایی تدریجی است. رخساره سنگی St نیز از پتروفاسیس  $SS_1$  تشکیل شده است که بلوغ بافتی خوب، نبود رس با جورشدگی خوب و دانه‌های خوب گرد شده (شکل ۲ D)، می‌تواند دلیلی بر تشکیل این رخساره در محیط پرنرزی در دریای کم‌عمق باشد. گلاکونیت‌های



شکل ۲. تصویرهای رخساره‌های رسوبی، A: رخساره سنگی Sp، B: تصویر میکروسکوپی رخساره Sp (XPL)، C: رخساره St، D: تصویر میکروسکوپی رخساره سنگی St (XPL)، E: رخساره Sh، F: تصویر میکروسکوپی رخساره Sh (XPL)، G: تصویر میکروسکوپی رخساره ماسه‌سنگ سیلتی رخساره Sm (XPL)، H: رخساره سنگی Fm، I: تصویر میکروسکوپی سیلتستون حاوی خرده اسکلتی دوکفه‌ای رخساره Fm (XPL)، J: تصویر میکروسکوپی خرده‌های فسیلی هتروهلپکس در سیلتستون رخساره Fm (XPL)، K: تصویر میکروسکوپی خرده فسیلی گلوبروتالیا در شیل‌های شسته شده رخساره Fm، L: رخساره سنگی Fl، M: تصویر میکروسکوپی سیلتستون شسته شده دارای ژیپس و گلاکونیت رخساره Fl

سیلستون ماسه‌ای  $Z_3$  نیز هست که دارای گلاکونیت، خرده اسکلتی دوکفه‌ای و اثر فسیل *Cylindrichnous concentricus* است. این اثر فسیل در شرایط انرژی متوسط تا پایین در محدوده بخش میانی تا پایینی حاشیه ساحل یافت می‌شود (چانگ و همکاران، ۲۰۰۸ و فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶).

#### رخساره سنگی سیلستون و گل‌سنگ لامینه (FI)

رخساره سنگی FI شامل شیل و سیلستون‌هایی است که دارای لامیناسیون هستند (شکل ۲ L) و با ضخامت‌های کم و زیاد و به رنگ‌های سبز تا خاکستری در قسمت‌های تحتانی و فوقانی سازند یافت می‌شود. در این رخساره ژپس (شکل ۲ M) و مقادیر اندکی گلاکونیت‌های نوظهور (سبز کمرنگ) (شکل ۲ H) نیز مشاهده شد. رخساره سنگی FI شامل پتروفاسیس‌های  $Sh_1$  و  $Z_1$  است. در این رخساره شیل و سیلستون‌های خاکستری همراه با مقدار زیادی ژپس و فاقد گلاکونی و خرده‌های اسکلتی یا مقادیر اندکی گلاکونیت‌های سبز کمرنگ مشاهده شد (شکل ۲ F). وجود ژپس بالا نشان‌دهنده شرایط رسوب‌گذاری کم انرژی، کم‌عمق و درجه شوری نسبتاً بالا است. شوری بالا و میزان اکسیژن متغیر منجر به کاهش میزان موجودات در محیط لاگون شده است. از طرفی فقدان فسیل در این رخساره نشان‌دهنده نبود چرخش آب و شرایط مناسب برای زیست موجودات است (وارن، ۲۰۰۰). عدم وجود گلاکونیت و مقادیر اندک آن به دلیل نبود شرایط لازم برای تشکیل گلاکونیت است. شوری عادی، چرخش کافی آب برای تامین یون‌های آهن و پتاسیم و هم‌چنین وجود بستر مناسب از رسوبات، از جمله شرایط لازم برای تشکیل گلاکونیت‌ها هستند که در محیط‌های لاگون این شرایط فراهم نمی‌شود (چانگ و همکاران، ۲۰۰۸ و دیاز و همکاران، ۲۰۰۲). با توجه به این اختصاصات رسوبات در شرایط محیطی آرام با چرخش کم آب برجای گذاشته شده‌اند (دیاز و همکاران، ۲۰۰۲).

#### رخساره‌های کربناته

این مجموعه شامل ۳ رخساره  $C_1$ ،  $C_2$  و  $C_3$  است که از سمت دریا به خشکی عبارتند از:

#### رخساره سنگی ماسه‌سنگ توده‌ای (Sm)

این رخساره به رنگ سبز و سبز-خاکستری در نهشته‌های مورد مطالعه گسترش زیادی دارد و از لحاظ ساختاری هیچ‌گونه ساختمان رسوبی غیر زیستی در آن مشاهده نمی‌شود و به صورت متراکم و توده‌ای هستند. در این رخساره اثر فسیل‌های *Paleophycus tubularis*، *Cylindrichnous concentricus* و *Thalassinoides isp.* خرده‌های فسیلی دوکفه‌ای مشاهده شد. این رخساره سنگی از پتروفاسیس  $SS_3$  تشکیل شده است که شامل ماسه‌سنگ سیلتی در اندازه ماسه ریز و سیلت هستند. این پتروفاسیس دارای جورشدگی ضعیف (شکل ۲ G) و بلوغ بافتی ساب‌مچور تا ایم‌مچور است که از نظر ترکیبی مشابه پتروفاسیس  $SS_1$  و از نوع ساب‌لیت‌آرنایت تا ساب‌آرکوز است که گاهی در این پتروفاسیس خرده‌های اسکلتی تا ۵٪ مشاهده می‌شود. ماسه‌های دانه‌ریز در بخش‌های عمیق‌تر حاشیه ساحل نهشته می‌شوند (تاکر، ۲۰۰۱) اثر فسیل *Cylindrichnous concentricus* نیز در شرایط انرژی متوسط تا پایین در محدوده بخش میانی تا پایینی حاشیه ساحل یافت می‌شود (چانگ و همکاران، ۲۰۰۶ و فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶). از طرفی اثر فسیل‌های افقی مشاهده شده مربوط به ایکنوفاسیس کروزیانا و موید انرژی نسبتاً پایین در حاشیه ساحل هستند (آکوئیر و همکاران، ۲۰۱۰) طبق شواهد زیر این رخساره سنگی در محیط حاشیه ساحل نهشته شده است.

#### رخساره سنگی سیلستون و گل‌سنگ توده‌ای (Fm)

رخساره سنگی Fm شامل شیل و سیلستون‌های سبز تا خاکستری و توده‌ای هستند (شکل ۲ H) که با ضخامت زیاد و بیش‌تر در قسمت‌های فوقانی برش‌های مورد مطالعه مشاهده شد. این رخساره سنگی شامل پتروفاسیس‌های شیلی  $Sh_2$  و سیلستون‌های  $Z_2$  هستند که دارای گلاکونیت‌های نیمه برج‌ا و دوکفه‌ای (شکل ۲ I) و خرده‌های فسیلی پلانکتون (عمدتاً هتروهلکس) (شکل ۲ J) و گلوبروتالیا (شکل ۲ K) هستند. خرده‌های فسیلی پلانکتون (عمدتاً هتروهلکس) در شیل و سیلستون‌ها موید محیط دریای باز هستند (چانگ و همکاران، ۲۰۰۸). این رخساره سنگی شامل پتروفاسیس

۱۲ درصد براکیوپود و کمتر از ۱۰ درصد سایر خرده‌های اسکلتی بریوزوئر، گاستروپود و جلبک قرمز است. اکثر دوکفه‌ای‌ها به صورت خرد شده دیده می‌شوند. گلاکونیت‌ها به دو صورت برجا و نابرجا با فراوانی ۵-۲۰ درصد و اجزای آواری در اندازه ماسه ریز تا متوسط در حدود ۱۰-۱۵ درصد مشاهده شد که در زمینه‌ای از سیمان کلسیتی و گل‌آهکی قرار دارند. این رخساره با عدم جهت‌گیری پوسته‌های فسیلی، خردشدگی و سایش نسبتاً بالا و تراکم نسبتاً بالای قالب‌های فسیلی حاکی از حمل مجدد خرده‌های اسکلتی و رسوب‌گذاری سریع به وسیله جریان‌های با انرژی متوسط تا بالا است. در این بخش فراوانی نوسانات انرژی هیدرودینامیکی داخل حوضه و تاثیر مداوم آن بر روی افق‌های زیستی موجب می‌شود زمینه دانه ریز مادستونی آن به طور غالب حمل شده و زمینه دانه درشت‌تر پکستونی-گرینستونی با آرایش چگال قالب‌های فسیلی باقی بماند. بنابراین رخساره کربناته  $C_2$  در محیط حاشیه ساحل تشکیل شده است (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳).

#### رودستون حاوی دوکفه‌ای، براکیوپود و خرده‌های اسکلتی ( $C_3$ )

رخساره  $C_3$  به صورت افق آهکی به ضخامت ۲/۵ متر با خردشدگی و سایش بالا است (شکل ۳ E) که ساخت‌های رسوبی نظیر طبقه‌بندی مورب مسطح بزرگ مقیاس و عدسی و اثر فسیل‌های *Thalassinoides* و *Paleophycus heberti* در آن مشاهده شد. این رخساره سنگی شامل میکروفاسیس رودستون حاوی دوکفه‌ای، براکیوپود و سایر خرده‌های اسکلتی است که ۳۵ تا ۴۰ درصد آن دوکفه‌ای، ۱۵ درصد براکیوپود و کمتر از ۸ درصد جلبک قرمز، اکتینودرم و بریوزوئراست که به صورت دانه‌پشتیبان در زمینه‌ای از سیمان کلسیتی قرار دارند (شکل ۳ F). مقدار گلاکونیت در این رخساره حدود ۲-۳ درصد و ذرات آواری آن حدود ۳ درصد است. ساخت‌های رسوبی طبقه‌بندی مورب مسطح (شکل ۳ G) و طبقه‌بندی مورب عدسی (شکل ۳ H) و اثر فسیل‌های عمودی تا مایل *Paleophycus* و *Thalassinoides* حاکی از رسوب‌گذاری در محیط با انرژی متوسط تا زیاد دارد (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶). عدم وجود گل بیان‌گر حمل و نقل

#### فلوتستون ماسه‌ای حاوی دوکفه‌ای و براکیوپود ( $C_1$ )

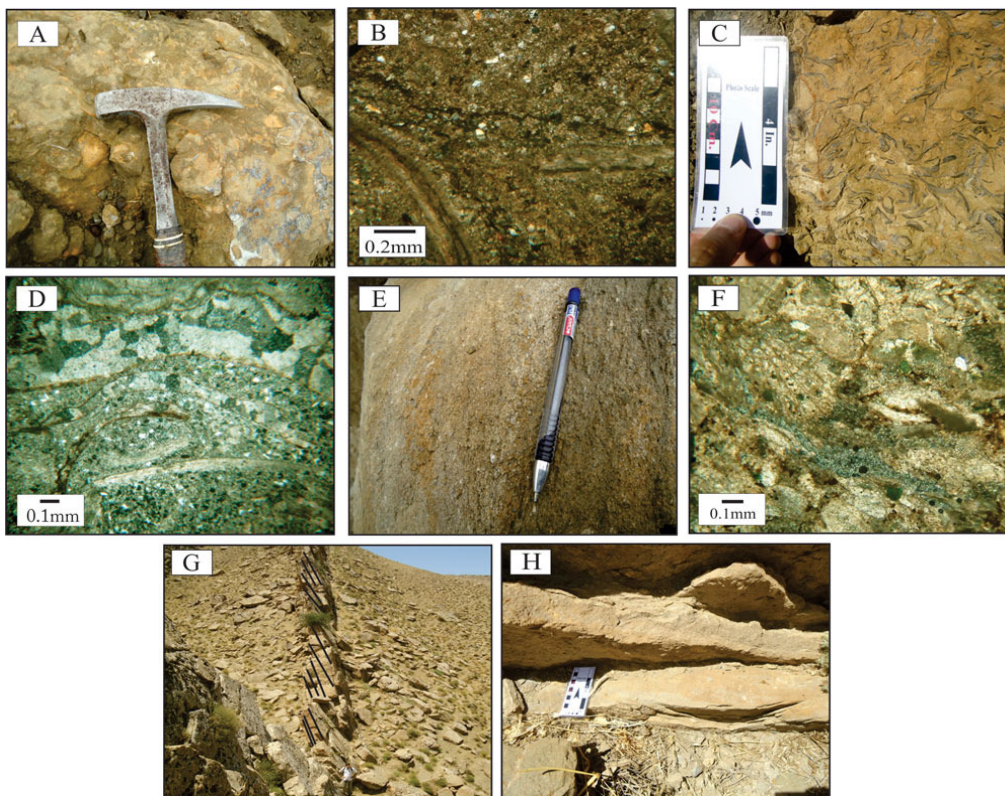
این رخساره به صورت لایه‌هایی به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر با تراکم پایین از خرده‌های اسکلتی تقریباً سالم و جهت یافته با درجه پایین از سایش و خردشدگی (شکل ۳ A) هستند. این رخساره شامل فلوتستون ماسه‌ای حاوی دوکفه‌ای و براکیوپود است که حاوی ۱۰ تا ۲۰ درصد دوکفه‌ای و ۲-۵ درصد براکیوپود است که در زمینه‌ای از گل‌آهکی و مقدار اندکی سیمان کلسیتی قرار دارند. مقدار گلاکونیت در آن حدود ۱-۲ درصد و ذرات آواری حدود ۱۲-۱۵ درصد است (شکل ۳ B) و دوکفه‌ای‌ها به صورت سالم هستند. جهت‌یابی، حفظ‌شدگی خوب، درجه پایین سایش و خردشدگی خرده‌های اسکلتی که به دلیل حمل و نقل کوتاه و باقی ماندن خرده‌های اسکلتی در نزدیکی محل زیست آن‌ها است موید محیط دریای باز می‌باشد (خلیفه و همکاران، ۲۰۰۶). هم‌چنین وجود زمینه‌ای از گل، حضور فسیل فرامینفرهای پلاژیک و فسیل‌های جانداران سازگار با شوری عادی دریا نظیر براکیوپود نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیط دریای باز است (لئونید و همکاران، ۲۰۱۲ و محبوبی و همکاران، ۲۰۱۰). کاهش در اندازه خرده‌های اسکلتی و بالا رفتن نسبت ماتریکس در این رخساره می‌تواند مرتبط با کاهش سطح انرژی در واحدهای دور از ساحل باشد. زمینه این رخساره دارای ذراتی در اندازه ماسه ریز و سیلت هستند که به احتمال زیاد از بخش‌های پراثرژی ساحلی حمل شده است. عدم وجود فرسایش زیستی و پوشش زیستی بر روی قالب‌های فسیلی حاکی از تدفین سریع و عدم باقی ماندن قالب‌های فسیل در بستر رسوبی برای زمان طولانی است. بر این اساس این رخساره در محیط دریای باز تشکیل شده است (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳).

#### رودستون ماسه‌ای حاوی دوکفه‌ای، براکیوپود، خرده‌های اسکلتی و گلاکونیت ( $C_2$ )

ضخامت این افق‌ها ۲۵-۳۰ سانتی‌متر است و خرده‌های اسکلتی دارای تراکم نسبتاً بالا، فاقد جهت‌یابی و دارای خردشدگی، سایش و جورشدگی متوسط (شکل ۳ C) هستند. این رخساره سنگی شامل رودستون ماسه‌ای حاوی دوکفه‌ای، براکیوپود، خرده‌های اسکلتی و گلاکونیت است (شکل ۳ D). اجزای اسکلتی رخساره  $C_2$  شامل حدود ۳۰ درصد ایستر و سایر دوکفه‌ای‌ها، ۱۰ تا

همراه و ویژگی‌های ذکر شده این نهشته‌ها در بالای خط اثر امواج در سدهای نزدیک به ساحل در زمان پیشروی و بالا آمدن سطح آب دریا تشکیل شده‌اند (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳).

ذرات رسوبی تحت تاثیر جریان‌های پرانرژی در محیط رسوب‌گذاری است (العذابی و العربی، ۲۰۰۵). بافت دانه پشتیبان نیز می‌تواند نشان‌دهنده انرژی متوسط تا زیاد محیط باشد (فورنیر و همکاران، ۲۰۰۴). بر اساس موقعیت این رخساره در توالی مورد مطالعه و رخساره‌های



شکل ۳. تصویرهای صحرایی رخساره‌های کربناته A: رخساره C<sub>1</sub>. B: تصویر میکروسکوپی رخساره C<sub>1</sub> (XPL)، C: رخساره C<sub>2</sub>. D: تصویر میکروسکوپی رخساره C<sub>2</sub> (XPL)، E: رخساره C<sub>3</sub>. F: تصویر میکروسکوپی رخساره C<sub>3</sub> (XPL)، G: ساخت رسوبی طبقه‌بندی مورب مسطح، H: ساخت رسوبی طبقه‌بندی مورب ترف

#### اثر فسیل‌ها

در این بخش نمونه‌های اثر فسیل‌های سازند آیتامیر توصیف می‌شوند. برای پرهیز از افزایش حجم نوشتار، تنها به شرح نمونه و در صورت نیاز به بحث کوتاه پرداخته می‌شود.

**Arenicolitesisp**: آرنیکولایتس اثر اسکان جانوران تغذیه کننده از مواد معلق در آب است (پیکریل و همکاران، ۱۹۸۴). در این مجموعه اندازه، قطر، فاصله شاخه‌های لوله و عمق حفاری در نمونه‌های مختلف متفاوت است و حفرات آرنیکولیتس قطر متغیر میان ۱۰ تا ۱۳ میلی‌متر دارند. فاصله لوله‌های عمودی از ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر متغیر است و حفاری بدون آستر و U شکل قائم در برش طولی و مدور در برش عرضی است (شکل A۴). در برش عرضی

این آثار به صورت منفذهای مزدوج با حالت فرورفته در سطح بالایی رسوب دیده می‌شوند. در بعضی موارد حفرات از ماسه‌های ریز یا گل پر شده و قابل جدایش از رسوبات دانه درشت‌تر سنگ میزبان هستند. این اثر فسیلی در برش‌های مورد مطالعه مربوط محیط‌های با انرژی بالا و کم عمق ساحلی است (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳).

*Cylindrichnus concentricus* این اثر فسیلی توسط جانوران تغذیه کننده از رسوبات تخریبی احتمالاً توسط کرم‌ها ایجاد شده است (آکوئیر و همکاران، ۲۰۱۰). در برش‌های مورد مطالعه اثر فسیل *Cylindrichnus concentricus* به صورت حفاری‌های قوسی شکل افقی و مایل به قطر ۵ تا ۸ میلی‌متر که توسط لامینه‌های گلی

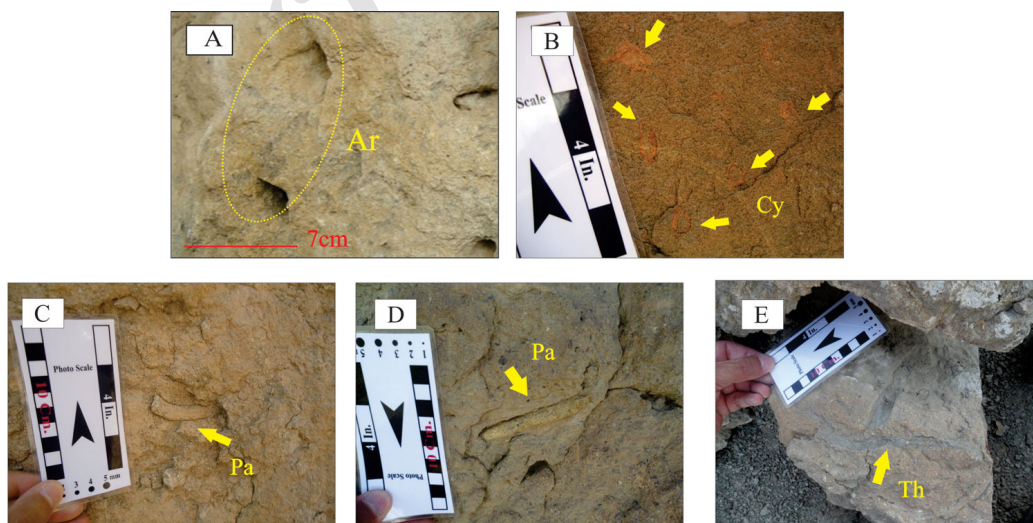
اندازه دانه درشت‌تر و جورشدگی بهتری نسبت به سنگ میزبان دارد.

*Palaeophycus tubularis* به طور کلی پالئوفیکوس به عنوان اثر حاصل از کرم‌های حلقوی تغذیه کننده از مواد معلق شناخته می‌شود (پاترا و سینق، ۲۰۱۵). *Paleophycus tubularis* به صورت حفره‌های استوانه تا نیمه استوانه، صاف و بدون تزئینات با قطر متغیر هستند (شکل D۴). این اثر فسیل به صورت موازی تا نیمه موازی نسبت به سطح طبقه‌بندی و مسیرهای مستقیم تا کمی موج و به ندرت با حالت منشعب نامنظم دیده می‌شود. سنگ‌شناسی پرشدگی حفره‌ها همسان با سنگ میزبان است و قطر این اثر گونه در نمونه‌های شناسایی شده بین ۵ تا ۱۰ میلی‌متر است. در مواردی که اختلاف سنگ‌شناسی رسوبات لایه زیرین با لایه بالایی وجود داشته باشد، پرشدگی حفره‌های پالئوفیکوس متفاوت از سنگ میزبان می‌شود (پمبرتون و فری، ۱۹۸۲). چنین حالتی را می‌توان به تغییر در شرایط محیط‌رسوبی از لایه زیرین (حالی جاندار سازنده اثر فسیل) به لایه بالایی (منشأ رسوب پرکننده حفره‌های لایه زیرین) مرتبط دانست، که موجب اختلاف در جنس رسوبات لایه‌های زیرین و بالایی و در نهایت تفاوت سنگ‌شناسی در رسوبات پرکننده حفره‌ها با سنگ میزبان می‌شود (پمبرتون و فری، ۱۹۸۲).

هم‌مرکز احاطه و در مرکز توسط ماسه پر شده‌اند دیده می‌شود (شکل B۴). این اثر فسیل در شرایط انرژی متوسط تا پایین در محدوده بخش میانی تا پایینی حاشیه ساحلی گزارش شده است (آکوئیر و همکاران، ۲۰۱۰).

*Ophiomorpha isp.*: اثر فسیل *Ophiomorpha* توسط سخت‌پوستان حفار یا تغذیه کننده ایجاد می‌شود (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶). در سازند آیتامیر این اثر فسیل به صورت لوله‌های مایل تا عمودی ساده و بدون انشعاب با قطر حدود ۱۵ میلی‌متر است (شکل ۶ D). سطح خارجی دیواره حفاری به صورت غده‌ای و ناهموار اما سطح داخلی صاف است. در برش‌های مورد مطالعه افیومورفا مربوط به نهشته‌های دریایی کم عمق و حاشیه دریایی پرنرزی نواحی ساحلی است (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳).

*Paleophycus heberti*: تزئینات خارجی در آستر *Palaeophycus heberti* باعث تفکیک آن از *Palaeophycus tubularis* می‌شود. اثر گونه *Palaeophycus heberti* به صورت حفره‌های استوانه‌ای، دارای انشعاب یا بدون آن با حالت مستقیم تا انحنادار و با دیواره صاف بدون تزئینات هستند (شکل ۴ C). قطر آستر در *Palaeophycus heberti* دارای ستبرای بیش‌تری نسبت به *Palaeophycus tubularis* است. پرشدگی حفره‌ها همسان با رسوب سنگ میزبان است. آستر در این گونه به صورت رسوبات آگلوتینه است که



شکل ۴. A: اثر فسیل ها *Arenicolites isp.*; B: اثر فسیل *Cylichnus concentricus*; C: اثر فسیل *Palaeophycus tubularis*; D: اثر فسیل *Paleophycus heberti*; E: اثر فسیل *Thalassinoides isp.*



تا ۵ همراه با اثر فسیل‌های *Cylinderichnous concentricus* و *Thalassionoidesisp*.

و *Palaeophycusheberti* وجود دارد که مربوط به اثر رخساره کروزیانا هستند. در این لایه اثر فسیل پالئوفیکوس فراوانی بالاتری داشت. در یک لایه ماسه‌سنگی دیگر به مقدار فراوان‌تر اثر فسیل *Cylinderichnous concentricus* و به مقدار کم‌تر اثر فسیل *Palaeophycus heberti* دیده شد که اندیس زیست‌آشفته‌گی این لایه ۲ تا ۳ است. در لایه ماسه‌سنگی دیگری که دارای ساخت‌های رسوبی طبقه‌بندی مورب مسطح و طبقه‌بندی مورب ناودانی است به میزان کمی و با درجه زیست‌آشفته‌گی ۱ تا ۲ اثر فسیل تالاسینوئیدس یافت شد. در قسمت‌های میانی‌تر برش مورد مطالعه در آرتنج اثر فسیل‌های *Thalassionoides isp*، *Palaeophycusheberti.isp* و *Arenicolites* در لایه کربناته دارای طبقه‌بندی مورب مسطح تا ناودانی بزرگ مقیاس هستند که اندیس زیست‌آشفته‌گی در این لایه ۴ تا ۵ می‌باشد و اثر فسیل تالاسینوئیدس از فراوانی بسیار بالایی برخوردار است. اثر فسیل‌ها فقط در بخش پایینی برش‌های مورد مطالعه مشاهده شدند، در حالی که در بقیه رخساره‌ها آشفته‌گی زیستی کم و یا اصلاً وجود ندارد. در قسمت پایین برش قرقره لایه ضخیم ماسه‌سنگی دانه‌متوسط تا دانه‌ریز با درجه زیست‌آشفته‌گی ۵ تا ۶ و همراه با اثر فسیل‌های *Cylinderichnous isp*، *Ophiomorpha.concentricus*، *Thalassionoidesisp*، *Palaeophycusheberti* و *Paleophycus tubularis* قرار دارد که اثر فسیل‌های *Cylinderichnous concentricus*، *Thalassionoidesisp* و *Paleophycus tubularis* از فراوانی بالایی برخوردار هستند. سایر رخساره‌های شیلی و آهکی در برش آرتنج و قرقره فاقد اثر فسیل بودند ولی در رخساره سیلتستون ماسه‌ای مربوط به حاشیه ساحل در برش قرقره اثر فسیل *Cylinderichnous concentricus* با درجه زیست‌آشفته‌گی ۰ تا ۱ مشاهده شد. در همه موارد ذکر شده ارتباط نزدیک بین اثر فسیل‌ها، ساخت‌های رسوبی و لیتولوژی وجود دارد. در برش آرتنج طبقات ماسه‌سنگی ضخیم‌تر و بیش‌تر و اندازه دانه‌ها نیز درشت‌تر است. در این برش تنوع و فراوانی اثر فسیل‌ها بیش‌تر است و اکثر واحدهای ماسه‌سنگی دارای زیست‌آشفته‌گی هستند و تحرک بستر بیش‌تر است.

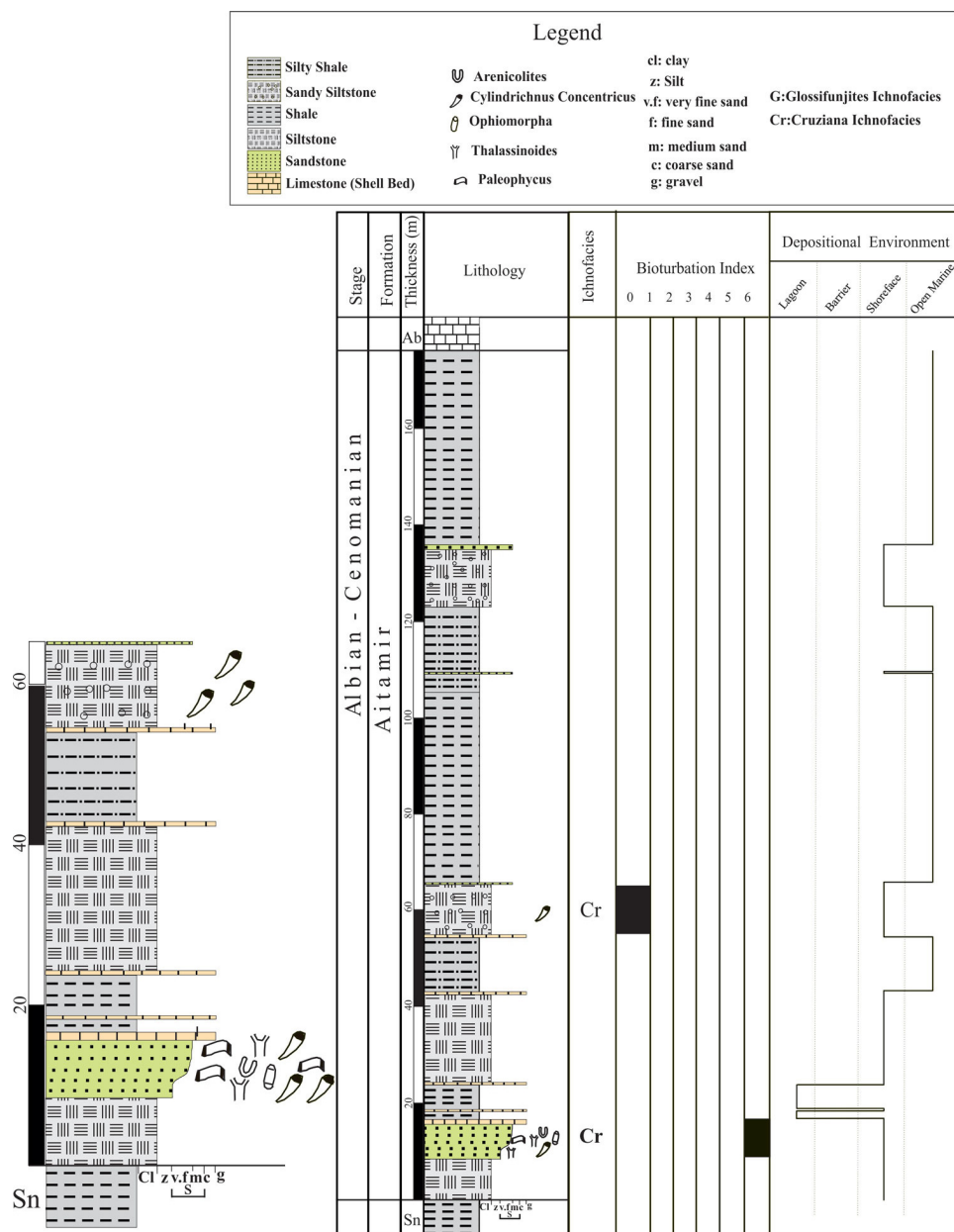
**Thalassinoidesisp**: این اثر فسیل به صورت حفاری‌های لوله‌ای شکل انشعابی است که روی سطح لایه‌بندی گسترش دارند و به صورت قالب در سطوح زیرین لایه‌بندی حفظ شده‌اند و در برخی مناطق انشعابات قائم نیز دارد. رسوبات پرکننده حفاری‌ها هم‌جنس با سنگ میزبان می‌باشند. انشعابات حفاری به صورت شاخه‌ای Y شکل و پیچیده و شاخه‌های کمی انحنادار با قطرهای متفاوت دهلیزهای ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر دیده می‌شود (شکل ۴ E). حفاری‌ها در برش عرضی دایره‌ای تا بیضی شکل هستند. سطح بیرونی برخی حفاری‌ها به صورت صاف و هموار است و برخی داری برجستگی‌ها و فرورفتگی‌هایی است که شکل نامنظمی به سطح بیرونی دهلیزها داده‌اند. شدت سیمان‌شدگی اثر فسیل بیش‌تر از سنگ میزبان است. تالاسینوئیدها هم‌چنین به صورت شبکه‌ای<sup>۱</sup> با قطرهای نامنظم و بیش از ۳۰ میلی‌متر به صورت کاملاً برجسته در سطح لایه‌های ماسه‌سنگی دیده می‌شوند (شکل C۵). برش عرضی باروها در این تالاسینوئیدها نیز به صورت دایره‌ای و بیضی هستند. در قاعده یک لایه کربناته شدیداً حفاری شده، حفظ‌شدگی خوب تالاسینوئیدهای شبکه‌ای با برجستگی مثبت و درجه زیست‌آشفته‌گی بالا و هم‌چنین در سطح طبقات با برجستگی منفی می‌تواند نشان‌دهنده دوره‌های عدم رسوب‌گذاری در طی کلونی شدن و توسعه بستر سفت<sup>۲</sup> در موقعیت حاشیه ساحل باشد (مالپاس و همکاران، ۲۰۰۵). تالاسینوئید در برش‌های مورد مطالعه مشخص کننده محیط‌های حاشیه دریایی کم عمق و پرانرژی است (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳).

#### پراکنش اثر فسیل‌ها

در برش‌های مورد مطالعه تمرکز اصلی اثر فسیل‌ها در بخش زیرین است (شکل‌های ۵ و ۶). در برش آرتنج اثر فسیل‌ها در رخساره‌های ماسه‌سنگی متوسط تا ریز دانه و رخساره کربناته مشاهده شدند. در قسمت پایین سازند اثر فسیل‌های *Cylinderichnous heberti*، *Thalassionoides.concentricus*، *Palaeophycus* و *Paleophycus tubularis* یافت شدند که در بعضی لایه‌ها همراه با خرده‌های فسیل هستند. در قاعده، لایه ماسه‌سنگی ضخیم با اندیس زیست‌آشفته‌گی ۴

<sup>1</sup> Box-work

<sup>2</sup> Firm ground



شکل ۵. ستون چینه‌شناسی سازند آیتامیر در برش قرقه به همراه تغییرات اثرهای رخساره‌ای، اثرهای فسیلی و زیست‌آشفته‌گی با استفاده از روش تیلور و گلدیرنگ (۱۹۶۷)

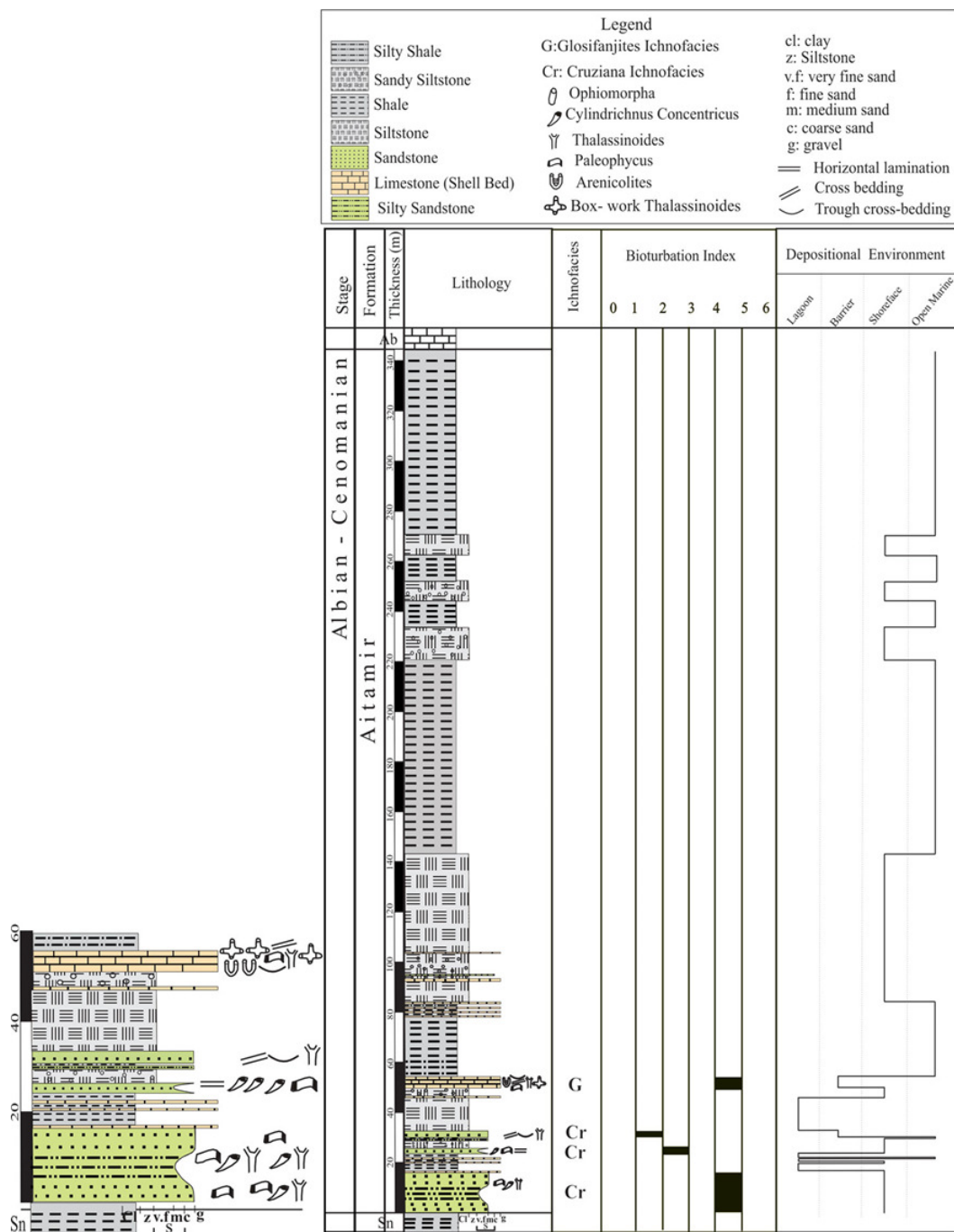
سکانسی ارائه می‌دهند (گینگراس و همکاران، ۲۰۰۱ و سیلاخر، ۲۰۰۶) ابزارهای مناسبی برای بازسازی محیط دیرینه هستند. در رسوبات سازند آیتامیر در برش‌های مورد مطالعه، تعداد پنج اثر فسیلی *Cylinderichnus concentricus*، *Arenicolites*، *Thalassinoides* isp.، *tubularisPalaeophycus* isp.، *Ophiomorpha* isp. و *Palaeophycus heberti* شناسایی شدند. اثر فسیل‌های شناسایی شده در سازند آیتامیر بیش‌تر دریایی بوده و

### اثر رخساره‌ها و اهمیت محیطی آن‌ها

تحلیل اثر فسیل‌ها ابزار خوبی برای تعیین فرآیندهای دیرینه بوم‌شناسی در طی رسوب‌گذاری حوضه است به ویژه هنگامی که ساخت‌های غیر زیستی اولیه رسوبی از بین رفته باشد (مالپاس و همکاران، ۲۰۰۵). از آنجا که اثر فسیل‌ها اطلاعات خوبی در مورد عمق‌سنجی، سطح انرژی، شرایط غذایی، میزان اکسیژن، یکنواختی بستر رسوبی، نرخ رسوب‌گذاری، فرسایش و چینه‌نگاری

آرتنج و قرقره مورد بررسی قرار گرفته است. با بررسی اثر فسیل‌های موجود در سازند آیتامیر دو اثر رخساره کروزینا و گلوسی‌فانجیتس شناسایی شدند.

محدوده خط ساحلی تا نواحی دور از ساحل را شامل می‌شود. با توجه به قابلیت اثر فسیل‌ها در تفسیر محیط رسوبی و با توجه به وجود فسیل‌های پیکری به همراه اختصاصات سنگ‌شناسی و رسوب‌شناسی، کاربرد اثر فسیل‌ها در بررسی محیط رسوبی آیتامیر در برش‌های



شکل ۶. ستون چینه‌شناسی سازند آیتامیر در برش آرتنج به همراه تغییرات اثرهای رخساره‌ای، اثرهای فسیلی و زیست‌آشفته‌گی با استفاده از روش تیلور و گلدیرینگ (۱۹۶۷)

## اثر رخساره گلوسی فانجیتس

اثر رخساره گلوسی فانجیتس در قسمت پایین برش آرتنج در بستری از سنگ‌های کربناته به ضخامت ۲/۵ متر مشاهده شد. درجه خردشدگی، سایش در این لایه کربناته متنوع و در بعضی قسمت‌ها بسیار بالا است و ساخت‌های رسوبی طبقه‌بندی مورب مسطح بزرگ مقیاس و طبقه‌بندی مورب ناودانی مشاهده شدند. سنگ‌های کربناته در این اثر رخساره دارای دانه‌های گلاکونیت درج‌ازا و سیمان کلسیتی با محتوای فونی شامل دوکفه‌ای، براکیوپود، گاستروپود، اکیانودرم، روزن‌داران و جلبک قرمز هستند (شکل C۸). اثر رخساره گلوسی فانجیتس در سازند آیتامیر شامل اثر فسیل‌های *isp.Thalassionoides* (شکل‌های AV و BV)، *Palaeophycus tubularis* (شکل CV) و *Arenicolitesisp.* (شکل DY) در سطح زیرین و بالایی لایه کربناته است که تالاسینوئیدها فراوان‌تر هستند و به شکل شبکه‌ای و Y شکل مشاهده شدند. تجمعات گلی در قسمت زیرین لایه به طور ناپیوسته به وسیله چینه‌های کربناته در بالای سطح فرسایش پوشانده شدند. اثر فسیل‌ها نیز دارای تنوع پایین و درجه زیست‌آشفستگی متوسط هستند که عمدتاً به صورت مایل و عمودی نسبت به سطح افق قرار گرفتند.

اثر رخساره گلوسی فانجیتس شاخص محیطی نمی‌باشد و از لحاظ چینه‌نگاری سکansı بسیار مهم است (مک کراکن و همکاران، ۲۰۰۷). کاربرد اثر رخساره گلوسی فانجیتس در تحلیل چینه‌نگاری سکansı اساساً مرتبط با پیشروی سریع آب دریا یا سطح TS (کریست و همکاران، ۲۰۱۲؛ اسچوارز و بواتیس، ۲۰۱۲ و یانگ و همکاران، ۲۰۰۹). انواع چندگانه ناپیوستگی‌های فرسایشی از قبیل سطوح پیشروی فرسایشی، مرزهای سکansı و سطوح فرسایشی پیشروی و هم‌چنین مرزهای سکansı مختلط و سطوح سیلابی دریایی است و به ندرت به سطوح غیرفرسایشی مربوط می‌شود (اکونی و همکاران، ۲۰۱۶). اثر رخساره گلوسی فانجیتس نشان‌دهنده تشکیل در شرایطی با بستر نیمه سفت هستند و اکثراً شامل گل بدون آب و به صورت کمیاب‌تر در ماسه‌های فشرده نشده و سنگی نشده است و هم‌چنین در بسترهای کربناته نیز تشکیل می‌شوند (مک ایکن و همکاران، ۲۰۰۷) که انعکاسی از فرآیندهای فرسایشی آلونیک می‌باشد

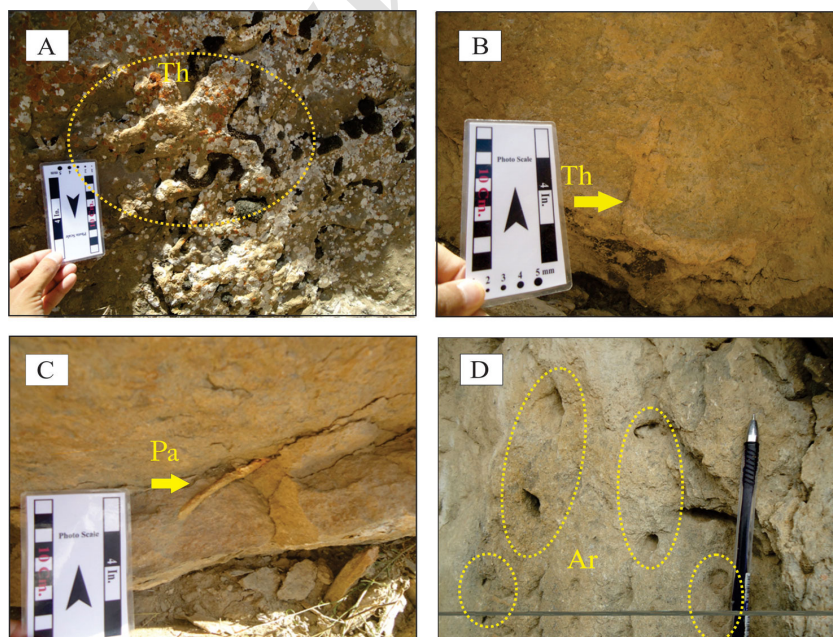
(بواتیس و مانگانو، ۲۰۰۹). این اثر رخساره‌ای در محدوده محیطی گسترده از محیط‌های حاشیه دریایی تا دریایی کم عمق تشکیل می‌شود (توار و همکاران، ۲۰۰۷). اثر رخساره گلوسی فانجیتس در طول هیاتوس که محدود بینیک رویداد فرسایشی که عامل رخنمون بستر نیمه سفت و نهشته شدن رسوبات جوان‌تر بالایی است گسترش می‌یابد (داسگوپتا و بواتیس، ۲۰۱۲).

تالاسینوئیدها با حفاری‌های شبکه‌ای و Y شکل، برجسته، مرزهای شارپ و حفظ‌شدگی خوب، مشاهده شد که منعکس کننده شرایط بستر نیمه سفت شده، سیمانی شدن اولیه، رسوب‌گذاری خیلی آرام یا نبود رسوب‌گذاری (توار و همکاران، ۲۰۰۷) و پایداری بستر (فورزیش، ۱۹۸۰) در حاشیه ساحل هستند (مالپاس و همکاران، ۲۰۰۵). تالاسینوئیدهای شبکه‌ای معمولاً یک بستر سفت، نبوده‌های رسوبی با سطوح فرسایش یافته را نشان می‌دهند (گینگراس و همکاران، ۲۰۰۱) که این مشخصات ارتباط حفاری‌ها را با اثر رخساره گلوسی فانجیتس نشان می‌دهد، برای مثال رسوبات سازند آیتامیر در غرب کپه‌داغ (شرفی و همکاران، ۲۰۱۲). اثر رخساره گلوسی فانجیتس مشاهده شده به طور کلی در مرز بین سنگ‌های گلی زیر و رسوبات دانه درشت بالا حفظ و چنین حفاری‌هایی با رسوبات دانه درشت‌تر پر شدند که به دلیل این که سرعت فشرده‌گی ذرات رس برای رسیدن به حالت تحکیم بیش‌تر از رسوبات دانه درشت است بنابراین برای رسیدن به بستر سفت رسی، فرسایش با عمق کم کافی است ولی بسترهای دانه درشت نیاز به فرسایش بیش‌تری دارند (بواتیس، ۲۰۱۲). حضور اثر رخساره گلوسی فانجیتس نتیجه نرخ رسوب‌گذاری آرام و زمان کافی برای کلونی شدن جانداران اثر ساز است. مشخصات این لایه با وجود محتوای کم گلاکونی، باروهای شبکه‌ای تالاسینوئید، محتوای خرده‌های فسیلی و سیمانی شدن شدید نشان‌دهنده نرخ رسوب‌گذاری پایین و عدم رسوب‌گذاری است. رخساره کربناته سطح پیشروی به ضخامت ۲/۵ متر است که به شدت فرسایش یافته و خرد شده و همراه با جهت‌یابی تصادفی است. این لایه کربناته گلاکونیت‌دار به عنوان لایه پر فسیل پیشرونده در قاعده سیستم تراکت پیشروی اولیه است. باروهای پرشده با برجستگی مثبت و تمرکز گلاکونی، در طول مرحله فرسایشی که نتیجه کاهش رسوبات است

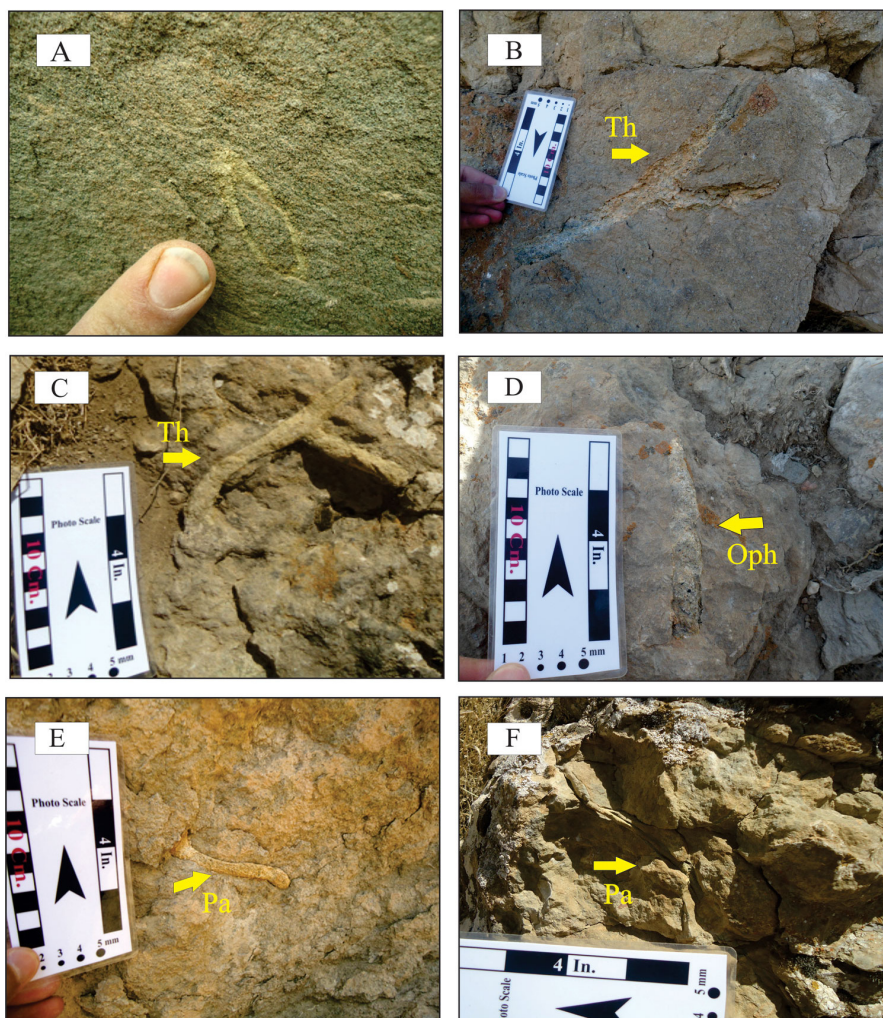
فسیل‌های معلق خوار آرنیکولایتس و پالئوفیکوس در این لایه موید انرژی بالای اثر رخساره گلوسی‌فانجیتس است. حضور دانه‌های سبز گلاکونی درجازا (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۲) نیز موید تشکیل ماسه‌سنگ‌ها در محیط دریای کم عمق و پرانرژی است (چافتز و رید، ۲۰۰۰) از طرفی نیز حضور ساخت‌های رسوبی طبقه‌بندی مورب مسطح و ترف در این افق می‌تواند نشان‌دهنده انرژی بالای محیط باشد (لئونید و همکاران، ۲۰۱۲). عدم وجود گل نیز بیان‌گر حمل و نقل ذرات رسوبی تحت تاثیر جریان‌های پرانرژی در محیط رسوب‌گذاری است (العذابی و العربی، ۲۰۰۵). بافت دانه‌پشتیبان با فراوانی روزن‌داران، جلبک قرمز، اکینودرم و دوکفه‌ای که در مقاطع میکروسکوپی مشاهده شد نیز نشان‌دهنده انرژی متوسط تا زیاد محیط است (فورنیر و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، حضور ساخت‌های رسوبی طبقه‌بندی مورب مسطح و ترف، وجود سیمان کلسیتی و گل بسیار کم در زمینه، گلاکونی‌های درجازا و با توجه به اینکه اثر فسیل‌ها عمدتاً به صورت مایل تا عمودی در سطح بالایی و زیرین لایه قرار گرفته‌اند محیط تشکیل اثر رخساره گلوسی‌فانجیتس در سدهای نزدیک به ساحل در زمان پیشروی و بالا آمدن سطح آب دریا و در شرایطی با انرژی بالا است.

تولید شده‌اند. احتمالاً تولیدکنندگان اثر فسیل تالاسینوئید در طول مرحله‌ای که نرخ رسوب‌گذاری صفر است عمل می‌کنند (قبائود و همکاران، ۱۹۹۶). در طول این مرحله باروها به عنوان حبس‌کنندگان گلاکونی عمل می‌کنند. پایین رفتن و وقفه رسوب‌گذاری به دلیل از دست دادن آب و سیمانی شدن باعث افزایش چسبندگی بستر و گسترش بستر نیمه سفت می‌شود (تاو و همکاران، ۲۰۰۶). زمانی که در آن کف دریا رخنمون می‌یابد ممکن است مهم‌ترین احتمال برای گسترش کف بستر نیمه سفت باشد. به طور خلاصه بستر نیمه سفت مرتبط با سطوح پیشرونده در سازند آیتامیر است که به وسیله دیواره‌های شارپ، برجسته، تالاسینوئیدهای شبکه‌ای که درون آن افق‌های سیمانی شده با گلاکونی بالا و خرده‌های شدیداً فرسایش و سایش یافته هستند مشخص می‌شود.

تنوع کم اثر فسیل‌ها در اثر رخساره گلوسی‌فانجیتس می‌تواند دلیلی بر انرژی بالای محیط رسوبی باشد، برای مثال (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶ و پیرسون و همکاران، ۲۰۱۲). اثر جنس‌های بسترهای نیمه سخت شده، می‌توانند توسط جانداران تغذیه کننده از مواد معلق در آب در نواحی پر انرژی محیط رسوبی ایجاد شوند (مک ایکن و همکاران، ۲۰۰۷) که فراوانی کم و حضور اثر



شکل ۷. مجموعه اثر فسیل‌ها در اثر رخساره گلوسی‌فانجیتس، A اثر فسیل شبکه‌ای *Thalassinoides isp.* در برش آرتنج، B اثر فسیل Y شکل *Thalassinoides isp.* در برش آرتنج، C اثر فسیل *Paleophycus Tubularis* در برش آرتنج، D اثر فسیل *Arenicolites isp.* در برش آرتنج



شکل ۸. مجموعه اثر فسیل‌ها در اثر رخساره کروزیانا، A اثر فسیل *concentricus Cylindrichnus* در برش قرقره، B اثر فسیل *Thalassinoides isp.* با برجستگی مثبت در برش قرقره، C اثر فسیل *Thalassinoides isp.* با برجستگی منفی در برش قرقره، D اثر فسیل *Ophiomorpha isp.* در برش قرقره، E اثر فسیل *Paleophycus heberti* در برش قرقره، E اثر فسیل *Paleophycus tubularis* در برش قرقره

#### اثر رخساره کروزیانا

اثر رخساره کروزیانا برای اولین بار توسط سیلاخر (۱۹۶۷) معرفی شد و تنوع گونه‌ها در این ایکنوفاسیس نسبتاً بالا و از حفظ‌شدگی خوبی برخوردار است. اثر رخساره کروزیانا در برش‌های مورد مطالعه شامل اثر فسیل‌های *Cylindrichnus Concentricus* (شکل ۸A)، *Thalassinoides isp.* (شکل‌های ۸B)، *Ophiomorpha isp.* (شکل ۸C)، *Palaephycus heberti* (شکل ۸D)، *Palaephycus tubularis* (شکل ۸E) و *Arenicolites isp.* (شکل ۸F) است که در قسمت پایینی برش‌های مورد مطالعه و عمدتاً به صورت افقی، مایل و در موارد اندک نیز به صورت عمودی نسبت به

سطح افق با زیست‌آشفستگی بالا دیده شدند. در برش آرتنج تعداد بیش‌تری از لایه‌های ماسه‌سنگی دارای اثر فسیلی بودند. *Paleophycus* و *Thalassinoides* از فراوان‌ترین اثر فسیل‌ها در هر دو برش به شمار می‌رود. اثر فسیل تالاسینوئید به شکل Y است. بسترهایی که اثر رخساره کروزیانا در آن مشاهده شد از ماسه‌سنگ‌های دانه‌متوسط تا دانه‌ریز با جورشدگی متوسط و گاهی با حضور کمی خرده‌های اسکلتی از نوع دوکفه‌ای و هتروهلکس هستند. ساخت رسوبی لامیناسیون موازی نیز در این ماسه‌سنگ‌ها مشاهده شد. در مطالعات میکروسکوپی زمینه این سنگ‌ها از سیمان کلسیتی

لامیناسیون موازی مشاهده شده در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در سرعت‌های پایین و بالای جریان آب حاصل می‌شود (لی و چوئاق، ۲۰۰۶) که رخساره‌های سنگی دارای اثر فسیل‌هایی نظیر *Thalassinoides*، *Ophiomorpha* و *Paleophycus*، کروزیانا و موید انرژی متوسط و مواد غذایی فراوان در بخش‌های پایینی تا میانی حاشیه ساحل هستند، برای مثال رسوبات پلیوسن زیرین جنوب‌غرب اسپانیا (آکوئیر و همکاران، ۲۰۱۰) و رسوبات ژوراسیک زیرین سازند شمشک در کوه‌های جنوب‌شرق البرز (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶). وجود اثر فسیل *Cylindrichnous concentricus* در ماسه‌سنگ‌ها نیز حاکی از محیط حاشیه ساحل است (چانگ و همکاران، ۲۰۰۸ و فورزیش و همکاران، ۲۰۰۶) حضور خرده‌های فسیل دوکفه‌ای و هتروهلکس با حفظ‌شدگی ضعیف در بین دانه‌های سیلیسی آواری نیز حاکی از وجود دوره‌های با جریان‌های انرژی بالا می‌باشند (خلیفه و همکاران، ۲۰۰۶) که باعث حمل خرده‌های فسیلی به سمت حاشیه ساحل شده است.

با توجه به مطالب بالا و اثر فسیل‌های شناخته شده و حضور آن‌ها به صورت‌های مایل و تعداد کمتری قائم و افقی نسبت به سطوح لایه‌بندی، لامیناسیون موازی، حضور گلاکونی‌های درجازا و نیمه برجا و جورشدگی متوسط تا ضعیف و الگوهای رفتاری متنوع با شاخص زیست‌آشفته‌گی نسبتاً بالا نشان‌دهنده اثر رخساره کروزیانا با انرژی متوسط در حاشیه ساحل و غنی از مواد غذایی و سرعت رسوب‌گذاری نسبتاً پایین است. از قسمت‌های پراثرتری‌تر بالای حاشیه ساحل به سمت دور از ساحل بر فراوانی، تنوع و اندازه اثر فسیل‌ها افزوده شده است. اثر رخساره گلوئی‌فانجیتس در برش‌های مورد مطالعه در شرایطی با انرژی بالاتر نسبت به اثر رخساره کروزیانا تشکیل شده است (شکل ۹).

### نتیجه‌گیری

در رسوبات آواری- کربناته سازند آیتامیر در برش‌های مورد مطالعه ۵ اثر جنس فسیلی شامل *Thalassinoides*، *Cylindrichnous concentricus*، *isp. Ophiomorpha Arenicolites isp. isp.* و *Paleophycus heberti* و ۲

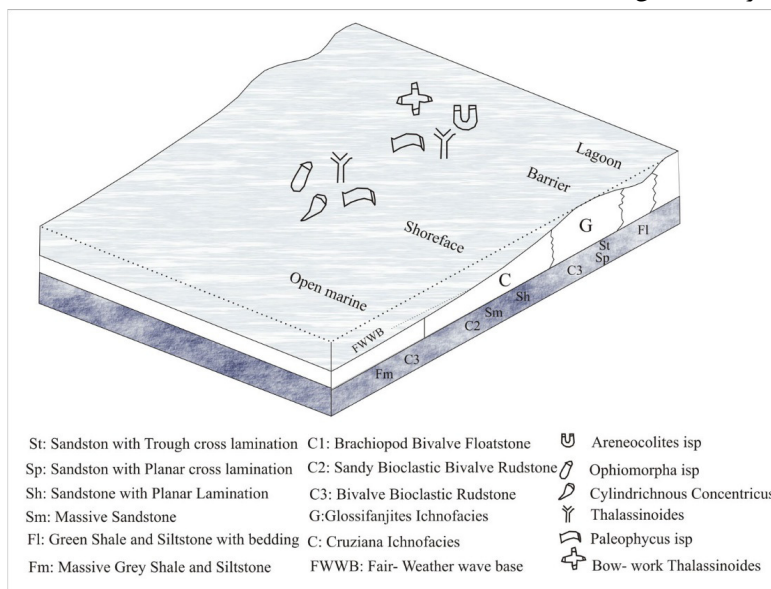
همراه با مقادیر زیادی گلاکونی‌های برجا و نیمه‌برجا و مقدار کمی گل است.

اثر رخساره کروزیانا در موقعیت‌های ساب‌تایدال تا اینترتایدال (الونی و همکاران، ۲۰۱۶) و به طور شاخص در حد فاصل بین سطح اساس امواج عادی و سطح اساس امواج توفانی در فلات‌های قاره یا دریا‌های کم عمق تشکیل می‌شود. پژوهش‌هایی هم نشان داده که این رخساره می‌تواند در محیط‌هایی نظیر مرداب و خلیج (بروملی، ۱۹۹۰) و در برخی دریاچه‌ها، مرداب‌های پشت سدی و پهنه‌های جزر و مدی نیز گسترش داشته باشد (فری و همکاران، ۱۹۹۰). اثر رخساره کروزیانا به وسیله حضور حفاری‌های افقی، مایل و گاهی عمودی مشخص می‌شوند که دست‌یابی به مواد غذایی در آن فراوان است (اکونی و همکاران، ۲۰۱۶). اثر فسیل‌ها در ایکنوفاسیس کروزیانا نشان‌دهنده فعالیت جانوران تعذیه کننده از رسوبات و معلق‌خواران در محیط‌های حاشیه ساحلی و دور از ساحل و تبیین بستر نرم در ماسه‌های ریز تا متوسط دانه است (تیواری و همکاران، ۲۰۱۱). در سازند آیتامیر افزایش در تنوع اثر فسیل‌ها و درجه آشفته‌گی زیستی بالا نشان‌دهنده محیط حاشیه ساحل با انرژی نسبتاً کم تا متوسط و غنی از مواد غذایی با نرخ رسوب‌گذاری کم است که تحت شرایط نرمال دریایی گسترش یافته‌اند مانند رسوبات جنوب‌شرق نیجریه (اکونی و همکاران، ۲۰۱۶) و رسوبات پلیوسن زیرین جنوب شرق اسپانیا (آکوئیر و همکاران، ۲۰۱۰).

حضور گلاکونی برجا و نیمه برجا از دیگر خصوصیات این ماسه‌سنگ‌ها است (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۲). گلاکونی‌های نیمه‌برجا در سازند آیتامیر با داشتن ویژگی‌هایی نظیر حاشیه اکسید آهن در اطراف گلاکونی، حاشیه‌ای از سیمان رشته‌ای اطراف دانه‌های گلاکونی، گردش‌گی و جورشدگی نسبتاً خوب شناخته شده‌اند (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۲) که حاکی از محیط حاشیه ساحل هستند (آموروسی، ۱۹۹۷). حضور دانه‌های سبز گلاکونی برجا نیز موید تشکیل این ماسه‌سنگ‌ها در محیط دریای کم عمق و پراثرتری است، برای مثال رسوبات مرکز تایوان (چانگ و همکاران، ۲۰۰۸). در این اثر رخساره‌های تنوع نسبتاً بالای جانوری سبب ایجاد انواع ساختمان‌های بیوژنیک شده که این امر، در اثر تنوع رفتاری موجودات ایجاد گردیده است.

پرانرژی سدی است. اثر رخساره کروزیانا شامل اثر فسیل‌های شامل *Cylindrichnous concentricus* isp. *Arenicolites* isp. *Thalassinoides* isp. *Ophiomorpha* و *Paleophycus heberti* در بستر ماسه‌سنگی با جورشدگی ضعیف تا متوسط همراه با اثر فسیل‌های افقی و مایل هستند که در شرایط با انرژی پایین‌تر از رخساره گلوسی فانجیتس و در حاشیه ساحل تشکیل شده‌اند.

اثر رخساره کروزیانا و گلوسی فانجیتس شناسایی شده است. اثر رخساره گلوسی فانجیتس با تنوع کم اثر فسیلی و حضور اثر فسیل‌های *Thalassinoides* isp. *Thalassinoides* و تعداد زیادی *Arenicolites* isp. *Paleophycus heberti* اثر فسیل تالاسینوئید شبکه‌ای که در بستری از سنگ‌های کربناته با جورشدگی نسبتاً خوب، اثر فسیل‌های مایل و عمودی همراه با طبقه‌بندی مورب مسطح و تراف قرار دارند که نشان‌دهنده محیط نسبتاً



شکل ۹. مدل رسوبی سازند آیتامیر در برش‌های آرتنج و قرقره بر اساس رخساره‌های سنگی، اثر فسیل‌ها و اثر رخساره‌ها (اقتباس با تغییراتی از عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳)

جدول ۱. اختصاصات اثر رخساره‌های سازند آیتامیر در برش‌های آرتنج و قرقره (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۳)

محیط رسوبی اثر رخساره‌ای	اثر فسیلی	محتوای فسیلی	ساخت رسوبی	لیتولوژی	رخساره سنگی
حاشیه ساحل	Cruziana	دوگفه ای و هترو هلیکس	لامیناسیون موازی و طبقه بندی مسطح	ماسه سنگ های متوسط تا ریز دانه با جورشدگی متوسط	Sh
حاشیه ساحل	Cruziana	دوگفه ای	ماسه سنگ های توده ای، متوسط تا ریز دانه با جورشدگی متوسط تا کم		Sm
سد	Thalassinoides	لامیناسیون مورب تراف	ماسه سنگ های متوسط با جورشدگی خوب		St
سد	Thalassinoides	لامیناسیون مورب مسطح	ماسه سنگ های متوسط با جورشدگی خوب		Sp
لاگون		لایه بندی مسطح	شیل و سیلتستون های سبز تا خاکستری با لایه بندی و دارای پولک های زبیس و گلاکونی های نابالغ		Fl
دریای باز		دوگفه ای و هترو هلیکس	شیل و سیلتستون های خاکستری با ضخامت زیاد		Fm
دریای باز		دوگفه ای، براکیوپود و هترو هلیکس	تراکم پایین از خرده های اسکلتی تقریباً سالم با درجه پایین از خوردشدگی و سایش در زمینه گل آهکی		C1
حاشیه ساحل		دوگفه ای، براکیوپود، جلبک قرمز و بریوزوئر و گاستروپود	تراکم متوسط از خرده های اسکلتی با سایش و شکستگی متوسط تا زیاد		C2
سد	Thalassinoides isp, Paleophycus, Glossifunites Arenicolites isp	دوگفه ای، براکیوپود، اکتینودرم جلبک قرمز و بریوزوئر	طبقه بندی مورب مسطح در مقیاس تراکم بالا از خرده های اسکلتی فاقد جهت یابی با خوردشدگی و سایش تقریباً بالا و جورشدگی ضعیف		C3



- Formation, Sydney Basin, Australia in McIlroy, D. (ed), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis, Lyell Meeting 2003, The Geological Society of London, 228: 179-211.
- Bromley, R.G (1990) Trace fossils: biology and taphonomy, Academic Division of Unwin Hyman Ltd, 280 p.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G (2009) Applications of ichnology in lacustrine sequence stratigraphy: potential and limitations, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 272: 127-142.
- Chafetz, H.S., Reid, A (2000) Syndepositional shallow- water precipitation of glauconitic minerals, *Sedimentary Geology*, 136: 29-42.
- Chang, S.S., Shau, Y.H., Wang, M.K., Ku, C.T., Chiang, P.N (2008) Mineralogy and occurrence of glauconite in central Taiwan, *Applied Clay Science*, 42: 74-80.
- Christ, N., Immenhauser, A., Amour, F., Mutti, M., Tomas, S., Agar, S.M., Alway, R., Kabiri, L (2012) Characterization and interpretation of discontinuity surfaces in a Jurassic ramp setting (High Atlas, Morocco), *Sedimentology*, 59: 249-290.
- Dasgupta, S., Buatois, L.A (2012) Unusual occurrence and stratigraphic significance of the Glossifungites ichnofacies in a submarine paleo-canyon- Example from a Pliocene shelf-edge delta, Southeast Trinidad, *Sedimentary Geology*, 269-270: 69-77.
- Diaz, E., Prasad, M., Gutierrez, M.A., Dvorkin, J., Mavko, G (2002) Effect of Glauconite on the Elastic Properties, Porosity, and Permeability of Reservoirs Rocks, AAPG Annual Meeting, 1-7.
- Ekdale, A.A., Bromley, R.G., Pemberton, S.G (1984) Ichnology: Trace fossils in Sedimentology and Stratigraphy, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course 15, 317pp.
- Ekwenye, O.C., Nichols, G., Okogbue, C.O., Mode, A.W (2016) Trace fossil assemblages in the tide dominated estuarine system: Ameki Group, southeastern Nigeria, *African Earth Sciences*, 118: 284-300.
- El-Azabi, M.H., El-Araby, A (2005) Depositional facies, environments and sequence stratigraphic interpretation of the Middle Triassic-Lower Cretaceous (pre-Late Albian) succession in Arif El-Naga anticline, northeast Sinai, Egypt, *African Earth Sciences*, 41: 119-143.
- Embry, A.F., Kloven, J.E (1971) A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories, *Bulletin Canadian Petroleum Geology*, 19: 730-781.
- Flügel, E (2010) Microfacies Analysis of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and
- تشکر و قدردانی**
- از گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات صحرایی و آزمایشگاهی سپاسگزاری می‌گردد (طرح پژوهشی شماره ۳ کد ۳/۲۳۴۴۸). از همکاری آقای دکتر فورزیش از دانشگاه ولسبورگ و آقای دکتر شرفی از دانشگاه فردوسی که در شناسایی اثر فسیل‌ها و رخساره‌های فسیلی یاری داده‌اند تشکر می‌شود. در انتها از داوران محترم این مقاله که با نظرات سازنده خود در ارتقای سطح علمی این مقاله کمک کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.
- منابع**
- حسینی‌برزی، م.، بابت‌گل، آ (۱۳۸۹) تحلیل رخساره‌های و محیط رسوبی نهشته‌های سیلیسی آواری- کربناته سازند شیرگشت در بلوک کلمرد ایران مرکزی، رخساره‌های رسوبی، جلد ۲، شماره ۱، ص ۲۴.
- عقیقی، ر.، موسوی‌حرمی، ر.، محبوبی، ا.، خانه‌باد، م (۱۳۹۲) بررسی سازوکار تشکیل گلاکونی‌های سازند آیتامیر در ناحیه بزنگان- شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ، مجموعه مقالات هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۱۲-۱۲۰.
- عقیقی، ر.، موسوی‌حرمی، ر.، محبوبی، ا.، خانه‌باد، م (۱۳۹۳) محیط‌رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های مخلوط سیلیسی آواری کربناته سازند آیتامیر (ناحیه بزنگان- شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ)، رخساره‌های رسوبی، جلد ۷، شماره ۲، ۲۴۴-۲۶۷.
- Amorosi, A (1997) Detecting compositional, spatial and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research, *Sedimentary Geology*, 109: 135-153.
- Aguirre, J., J.M. de., Gibert, A., Puga-Bernabéu (2010) Proximal-distal ichnofabric changes in a siliciclastic shelf, Early Pliocene, Guadalquivir Basin, southwest Spain, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291: 328 - 337.
- Baccelle, L., Bosellini, A (1965) Diagrammi per la stima visiva della composizione percentuale nelle rocche sedimentary. *Annali dell universita di Ferrara, Sience Geologiche Palenotologiche*, 3: 59-62.
- Bann, K.L., Fielding, C.R., MacEachern J.A (2004) Differentiation of estuarine and offshore marine deposits using integrated ichnology and sedimentology: Permian Pebbly Beach

- Analysis, Geological Society, London, Special Publication, 228: 179-212.
- Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Carpenter, S.J., Aghaei, A., Collins, L.B (2010) Petrographical and Geochemical evidences for paragenetic sequence interpretation of diagenesis in Mixed siliclastic- carbonate sediments: Mozduran Formation (upper jurrasic), south of aaghdarband, NE Iran, Carbonates and Evaporites, 25: 231-246.
- Malpas, J.A., Gawthorpe, R.L., Pollard, J.E., Sharp, I.R (2005) Ichnofabric analysis of the shallow marine Nukhul Formation (Miocene), Suez Rift, Egypt, implications for depositional processes and sequence stratigraphic evolution: occurrence of glauconite in central Taiwan, Applied Clay Science, 42: 74- 80.
- Patra, A., Singh, B.P (2015) Facies characteristics and depositional environments of the Paleocene- Eocene strata of the Jaisalmer basin, western India, Carbonates and Evaporites, 30: 331-346.
- Pearson, N.J., Mangano, M.G., Buatois, L.A., Casadío, S., Raising, M.R (2012) Ichnology, sedimentology and sequence stratigraphy of outer-estuarine and coastal plain deposits: implications for the distinction between allogenic and autogenic expressions of the Glossifungites ichnofacies, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 333: 192-217.
- Pemberton, S.G., R.W., Frey (1982) Trace fossil nomenclature and the Planolites- Palaeophycus dilemma, Palaeontology, 56: 843-881.
- Pickerill, R., Romano, M., Meléndez, B, (1984), Arenig trace fossils from the Salamanca area, western Spain, Geological Journal, 19:249-264.
- Rodriguez-Tovar, F.J., Perez-Valera, F (2008) Trace fossil Rhizocorallium from the middle Triassis of the Betic Cordillera, southern Spain: characterization and environmental implications, Palaios, 23: 78-86.
- Schwarz, E., Buatois, L (2012) Substrate-controlled ichnofacies along a marine sequence boundary: The Intra-Valanginian Discontinuity in central Neuquén Basin (Argentina), Sedimentary Geology, 277-278: 72-87
- Seilacher, A (1967) Bathymetry of trace fossils, Marine Geology, 5: 413- 428.
- Seilacher, A (2006) Trace Fossil Analysis, Springer, 225p.
- Selley, R.C (1996) Ancient Sedimentary Environments and their Subsurface Diagnosis, Chapman & Hall, London, 300 p.
- Sharafi, M., Ashuri, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R (2012) Stratigraphic application of Thalassinoides ichnofabric in delineating sequence stratigraphic surfaces (Mid-Application, 2nd edition, Springer-Verlag, 984p.
- Folk, R.L (1980) Petrology of sedimentary rocks, Hemphill, Austin, Texas, 182p.
- Fournier, F., Montaggioni, L., Borgomano, J (2004) Paleoenvironments and high-frequency cyclicity from Cenozoic South-East Asian shallow-water carbonates: a case study from the Oligo-Miocene buildups of Malampaya (Offshore Palawan, Philippines), Marine and Petroleum Geology, 21: 1-21.
- Frey, R.W., Goldring, R (1992) Marine event beds and recolonization surfaces as revealed by trace fossil analysis, Geological Magazine, 129: 325-335.
- Frey, R.W., Pemberton, S.G., Saunders, T.D.A (1990) Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship, Paleontology, 54:155-158.
- Fürsich, F.T (1998) Environmental distribution of trace fossils in the Jurassic of Kachchh (Western India), Facies, 39: 243-272.
- Fürsich, F.T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K (2006) Ichnology of Lower Jurassic beach deposits in the beach deposits in the Shemshak Formation at Shahmirzad, southeastern Alborz Mountains, Iran, Facies, 52: 599-610.
- Ghibaudo, G., Grandesso, P., Massari, F., Uchman, A (1996) Use of trace fossils in delineating sequence stratigraphic surfaces (Tertiary Venetian Basin, northeastern Italy): Palaeogeography, Palaeoclimatology, and Palaeoecology, 120: 261-279.
- Gingras, M.K., Pemberton, S.G., Saunders, T.D.A (2001) Bathymetry, sediment texture and substrate cohesiveness: their impact on Glossifungites trace assemblages at Willapa Bay, Washington: Palaeogeography, Palaeoclimatology, and Palaeoecology, 169: 1-21.
- Khalife, M.A., Soliman, H.E., Wanas, H.A (2006) The Cambrian Araba Formation in northeastern Egypt: Facies and depositional environments, Asian Earth Science, 27: 873-884.
- Lee, H.S., Chough, S.k (2006) Lithostratigraphy and depositional environments of the Pyeongan Supergroup (Carboniferous-Permian) in the Taebaek area, mid-east Korea, Asian Earth Sciences, 26: 339-352.
- Leonide, P., Borgomano, J., Masse, J.P., Doublet, S (2012) Relation between stratigraphic architecture and multi-scale heterogeneities in carbonate platforms: the Barmian- Lower Aptian of the Monts de raucluse, SE, France, Sedimentary Geology, 265: 86-109.
- MacEachern, J.A., Bann, K.L., Pemberton, S.G., Gingras, M.K (2007) The ichnofacies paradigm: High-resolution paleoenvironmental interpretation of the rock record. In: McIlroy, D. (ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic

- Cretaceous), Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran *Palaeoworld*, 21: 202–216.
- Taylor, A.M., Goldring, R (1993) Description and analysis of bioturbation and ichnofabric: *Geological Society (London)*, 150: 141–148.
- Tiwari, P., Chinmoy Rajkonwar, C., Lalchawimawii, Lalnunluanga, P., Malsawma, J., Z Ralte, V.Z., Patel, S.J (2011) Trace fossils from Bhuban Formation, Surma Group (Lower to Middle Miocene) of Mizoram India and their palaeoenvironmental significance, *Earth System Science*, 120: 1127-1143.
- Tovar, F.J.R., Valera, F.P., López, A.P (2007) Ichnological analysis in high-resolution sequence stratigraphy: the Glossifungites ichnofacies in Triassic successions from the Betic Cordillera (southern Spain), *Sedimentary Geology*, 198: 293-307.
- Tucker, M.E (2001) *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*, Blackwell, Scientific Publication, London, 260 p.
- Warren, W.J (2000) Dolomite: Occurrence, evolution and economically important association, *Earth Science Review*, 52:1-18.
- Yang, B.C., Dalrymple, R.W., Gingras, M.K., Pemberton, S.G (2009) Autogenic occurrence of Glossifungites Ichnofacies: Examples from wave-dominated, macrotidal flats, southwestern coast of Korea, *Marine Geology*, 260: 1–58.

Archive