

## یافته‌های نوین در ارتباط با اثر فسیل‌های تریلوبیت‌ها در کامبرین زیرین - میانی، بلوک طبس، ایران مرکزی

آرام بایت گل، استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران\*  
مهدی دارایی، استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران  
محمود شرفی، دکتری زمین‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

### چکیده

توالی‌های کامبرین زیرین - میانی در منطقه شیرگشت، واقع در بلوک طبس ایران مرکزی، حاوی مجموعه اثرفسیل‌ها با تنوع و فراوانی بالا از اثرفسیل‌های بندپایان است. این اثرفسیل‌ها حاوی الگوی رفتاری خزیدن (*Cruziana*)، استراحت (*Rusophycus*)، حرکتی (*Diplichnites*)، گریزینگ مایل (*Dimorphichnus*) و گریزینگ شناگر (*Monomorphichnus*) هستند. مجموعه اثرفسیل‌های گزارش شده از توالی‌های کامبرین زیرین - میانی در بلوک طبس از نظر چینه‌شناسی اهمیت گسترده‌ای دارد و شواهد مهمی از طرح تکاملی جانداران در طول فاز اولیه زندگی روی زمین فراهم می‌کند. در نتیجه نبود فوناهای تریلوبیت مشخص از کامبرین - زیرین - میانی در توالی‌های بلوک طبس از ایران مرکزی، مطالعات اثرفسیل‌ها برای تعیین سن این توالی‌ها از دیدگاه چینه‌شناسی مهم تلقی می‌شود. براساس ایکنواستراتیگرافی کروزیانا و تطابق با اثرگونه‌های مشابه از توالی‌های با سن مشابه، سن واحد شبیلی سازند لالون، اواخر کامبرین زیرین تا اوایل کامبرین میانی است. توزیع اثرفسیل‌ها در توالی‌های کامبرین زیرین - میانی نشان‌دهنده شرایط دیرین‌زیست‌شناسی مناسب از جمله وجود غذای فراوان و اکسیژن کافی در بستر رسوبی است. به‌هرحال، تنوع و فراوانی کم اثرفسیل‌ها، اندازه کوچک آنها، توزیع پراکنده با شدت زیست‌آشفتنگی مجموعه اثرفسیل‌ها و غالب بودن فعالیت بندپایان همراه با مورفولوژی ساده آنها نشان‌دهنده ایکنوفاسیس‌های دریایی لب شور در محیط‌های با نوسانات زیاد شرایط محیطی همچون خلیج‌های دهانه‌ای است. با وجود نبود فوناهای تریلوبیت مشخص از کامبرین - زیرین - میانی، مجموعه اثرفسیل‌ها ابزار مناسبی برای تعیین سن این توالی‌ها در بلوک طبس از ایران مرکزی است.

واژه‌های کلیدی: اثرفسیل، تریلوبیت، کامبرین زیرین - میانی، سازند لالون، ایکنوفاسیس، ایکنواستراتیگرافی

## مقدمه

مطالعات زیست‌چینه‌ای، بازسازی شرایط جغرافیایی دیرینه و دیرین بوم‌شناسی فراهم می‌کند. در بررسی‌های صحرایی انجام‌شده روی واحد شیلی سازند لالون و واحد کوارتزیتی بین سازند لالون و سازند میلا، اثرفسیل‌های مختلفی یافت شدند که فراوانی اثرفسیل‌های *کروزیانا* و *روزوفیکوس* با تنوع ریخت‌شناسی زیاد، زمینه مناسبی را برای مطالعه اثرشناسی این دو اثرجنس در سطح اثرگونه فراهم کرده‌اند. ایکنواستراتیگرافی *کروزیانا* براساس اثرگونه‌های مختلف *کروزیانا* و *روزوفیکوس* در تعیین سن واحد کوارتزیتی و واحد شیلی استفاده می‌شود. تنوع ریخت‌شناسی بالای این دو اثرجنس در بررسی تعیین مرز کامبرین زیرین و میانی و تعیین واحد کوارتزیتی به‌عنوان کوارتزیت رأسی یا کوارتزیت قاعده‌ای در واحدهای آواری کامبرین البرز و ایران مرکزی (که در آنها فسیل پیکره‌ای یافت نشده است) گام مهمی محسوب می‌شود. هدف‌های اصلی این مقاله عبارتند از 1) بررسی خصوصیات ایکنوتاکسونومیک واحد شیلی نهشته‌های سازند لالون و رسوبات کوارتزیتی؛ 2) استفاده از شواهد اثرفسیلی *کروزیانا* برای تعیین سن واحد کوارتزیتی (ایکنواستراتیگرافی)؛ 3) تفسیر شرایط دیرین زیست‌شناسی واحدهای مطالعه‌شده براساس اثرفسیل‌های مطالعه‌شده.

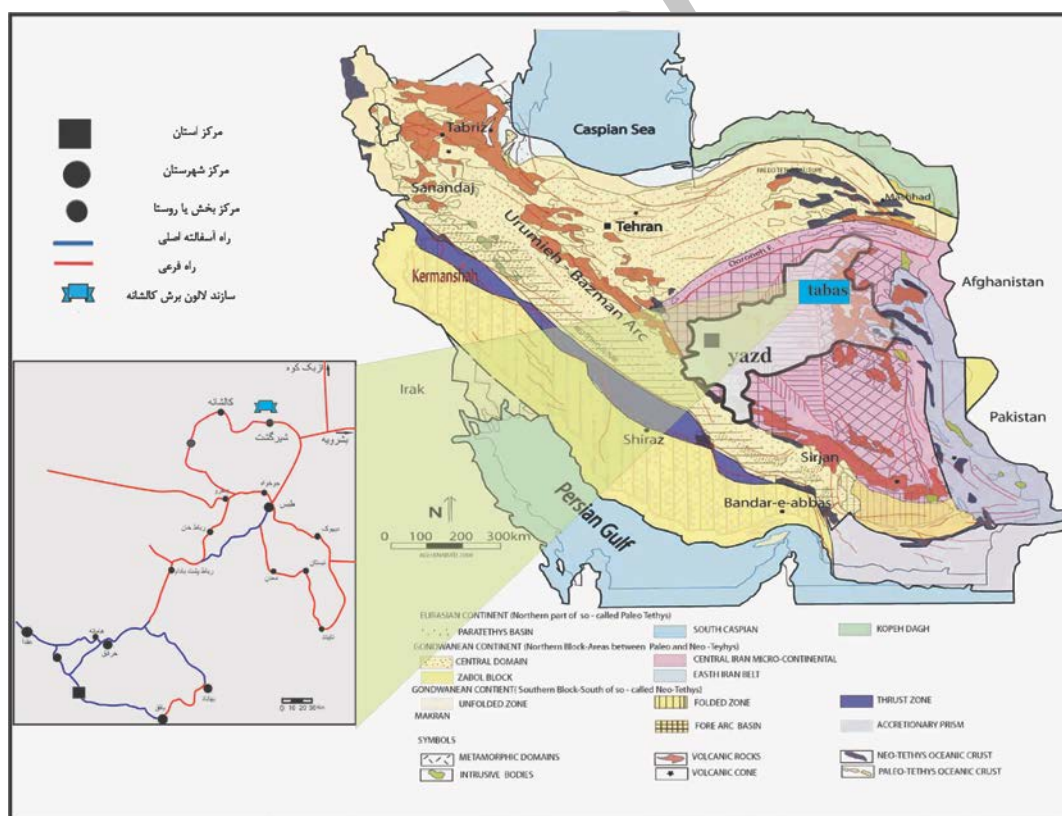
## زمین‌شناسی عمومی منطقه

در سرتاسر توالی‌های رسوبی ایران مرکزی و البرز، بخش بالایی نهشته‌های کامبرین پیشین ایران (سازند زاگون، سازند لالون) به رنگ سُرخ ارغوانی و نشان‌دهنده محیط‌های کم‌عمق اکسیدی است. تهنشینی نهشته‌های سازندهای زاگون و لالون و هم‌ارزهای آنها در ایران مرکزی (سازند داهو) و عربستان (بخش زیرین ماسه‌سنگ ساق) در محیط‌های قاره‌ای تا حد واسط، در نتیجه پایین‌افتادن سطح جهانی آب دریاها در ابتدای کامبرین پیشین فرض شده است (Aghanabati 2004). سازند ماسه‌سنگی لالون یکی از گسترده‌ترین سازندهای کامبرین پیشین ایران است که به تقریب در همه‌جا ترکیب

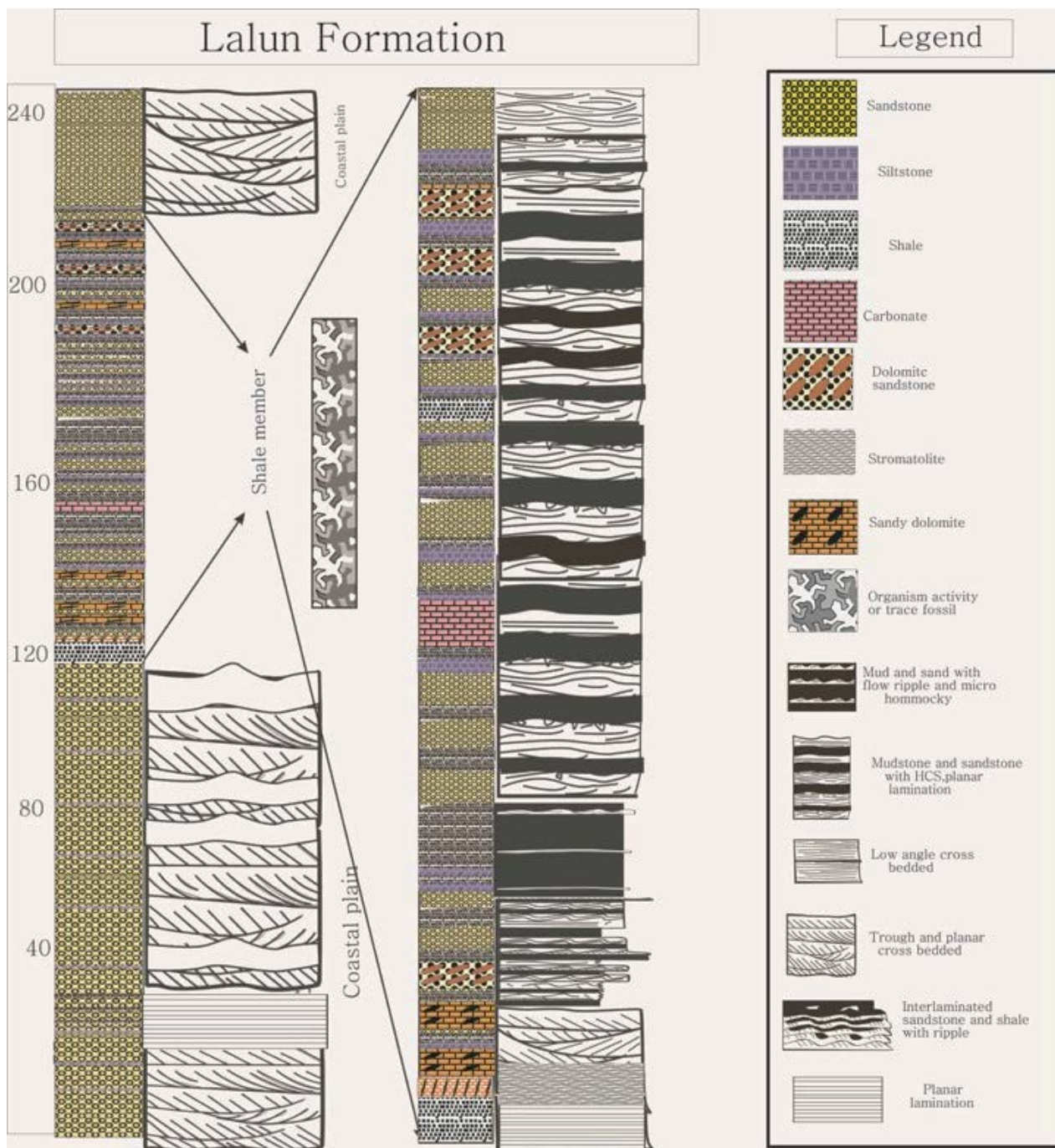
اثرفسیل‌ها (trace fossils) بقایای فعالیت‌های زیستی جانداران (گیاهان، جانوران و آغازیان) در رسوبات و سنگ‌های رسوبی هستند. مهم‌ترین استفاده از اثرفسیل‌ها این است که تغییر در مجموعه اثرفسیل‌ها و میزان آشفتگی زیستی (BI)، تغییر در پارامترهای محیطی همچون تداوم بستر (بستر ماسه‌ای در مقابل بستر گلی)، شوری، انرژی محیط، میزان رسوب‌گذاری، میزان موادغذایی در دسترس و اکسیژن را نشان می‌دهد (Bayet-Goll et al. 2016a, b). در این راستا اگر مطالعه محیط‌های رسوبی برپایه ادغام داده‌های رسوب‌شناسی با ایکنولوژی (اثرشناسی) صورت گیرد، تصویر بهتری از محیط‌های رسوبی قدیمه را به ما ارائه می‌کند؛ چنین هدفی تفکیک صحیح اثرفسیل‌ها را می‌طلبد. در مواردی که تشخیص اثرفسیل‌ها (تاکسونومی) با اشتباه همراه باشد، تفسیر نادرست از محیط‌های رسوبی قدیمه و شرایط دیرین زیست‌شناسی آنها را موجب می‌شود. در توالی‌های رسوبی پرکامبرین - پالئوزوئیک زیرین، بررسی اثرفسیل‌ها ابزار مناسبی برای مطالعه رسوباتی است که شرایط مطلوب برای حفظ‌شدگی فسیل‌های پیکره‌ای ندارند؛ به‌طوری‌که بررسی تکامل دیرین بوم‌شناسی و ایکنوتاکسونومی مجموعه اثرفسیل‌ها برای استنتاج شرایط دیرینه محیطی و تکامل سبک زندگی جانداران کفزی سودمند است (Bayet-Goll et al. 2015a, b). بررسی افزایش پیچیدگی ریخت‌شناسی و تنوع ساختارهای زیستی در طرح تکاملی در مرز پرکامبرین - کامبرین و پالئوزوئیک زیرین در زمینه مطالعات زیست‌چینه‌ای و زوناسیون واحدهای چینه‌ای استفاده می‌شود (Seilacher 2000, 2007). مهم‌ترین اثرجنس‌ها در این رابطه، اثرفسیل‌های حاصل از فعالیت تریلوبیت‌ها (*Cruziana*, *Rusophycus*) و حفرات کرمی شکل بندپایان (*Arthropycus*, *Daedalus*, *Phycodes*) هستند (Seilacher 1970, 1990, 1991, 2000, 2007). چینه‌شناسی *کروزیانا* در واحدهای آواری کامبرین البرز و ایران مرکزی که در آنها فسیل پیکره‌ای یافت نشده است، زمینه مناسبی را برای

ردیف‌های سیلتی - شیلی زاگون سبب شده است تا یک فاز فرسایشی پیش از لالون حتمی دانسته شود (Aghanabati 2004). براساس مطالعات صحرايي و نتایج دیگر مطالعات (Ruttner et al. 1968; Lasemi 2001)، نهشته‌های سازند لالون در بلوک طبس از دو واحد ماسه‌سنگی و شیلی تشکیل شده است. واحد شیلی این سازند نیز به دو زیربخش آواری قاعده‌ای (خلیج دهانه‌ای) و زیربخش کربناته بالایی (دریای باز) تقسیم‌بندی شده است (شکل 3). در مطالعه حاضر، بخش‌های آواری واحد شیلی نهشته‌های سازند لالون و رسوبات کوارتزیتی بین سازند لالون و گروه میلا در 60 کیلومتری شمال طبس و در جنوب شرقی کوه‌های درنجال با مختصات جغرافیایی (E: 56° 46' 16 و N: 34° 7' 39) برای بررسی مطالعات ایکتوتاکسونومیک انتخاب شدند (شکل 1).

سنگ‌شناسی مشابه دارد. سازند لالون در بیشتر نقاط ایران شامل واحدهای مخلوط تخریبی - کربناته از رسوبات دولومیتی، شیلی، سنگ‌آهک و ماسه‌سنگ است که به داشتن طبقه‌بندی مورب ترف و واحدهای هترولیک شیلی - ماسه‌ای - سیلتستونی شاخص است (شکل‌های 1-2). وجود یک بخش شیلی ارغوانی و واحدی از ماسه‌سنگ کوارتزیتی سفیدرنگ در بالای سازند لالون سبب شده بود تا این سازند به سه بخش تقسیم شود؛ اما هم‌اکنون پذیرفته شده است که کوارتزیت رویی، مرز ناپیوسته‌ای با ماسه‌سنگ‌های لالون دارد و برای ردیف‌های پیش‌رونده کامبرین میانی - بالایی (سازند میلا یا گروه میلا)، نام سازند فشم برای آنها پیشنهاد شده است (e.g., Peng et al. 1999; Geyer et al. 2014). وجود افق‌های کنگلومرایی در مرز زیرین ماسه‌سنگ‌های لالون با



شکل 1- نقشه جغرافیایی برش چینه‌شناسی مطالعه‌شده در شمال خاوری طبس (علامت آبی‌رنگ).



شکل 2- ستون چینه‌شناسی سازند لالون در برش کالشانه همراه با ساخت‌های رسوبی فیزیکی موجود در لایه‌ها.

است. به‌طور غالب، رخساره‌های سازند لالون به چهار مجموعه رخساره تقسیم می‌شوند (Geyer et al. 2014) که مجموعه رخساره‌های رودخانه‌ای (واحد ماسه‌سنگ قاعده‌ای)، مجموعه رخساره‌های خلیج دهانه‌ای، مجموعه

#### محیط رسوبی

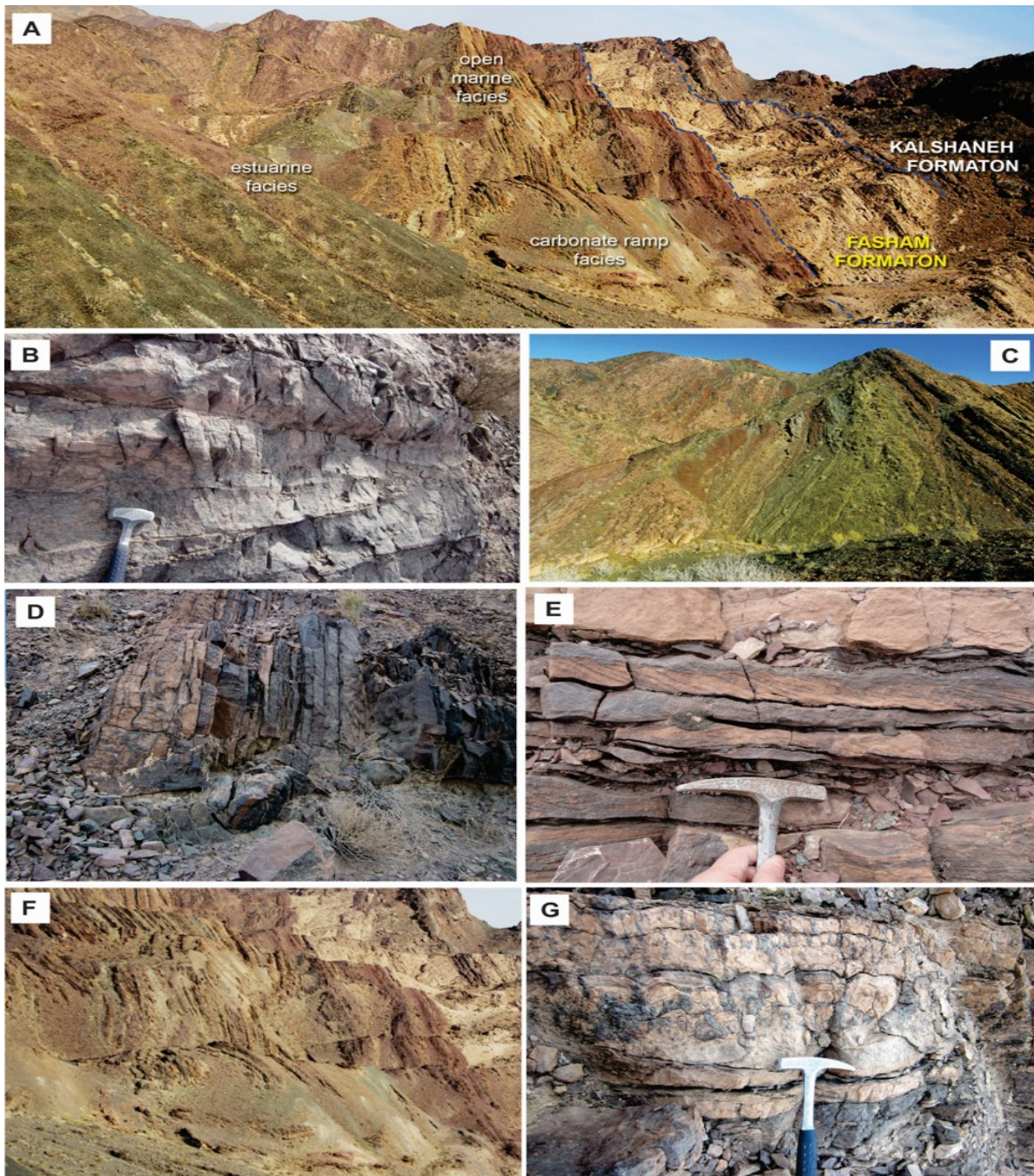
نهشته‌های سازند لالون با تغییرات زیاد در الگوی برانبارش، ضخامت و ساختارهای رسوبی همراه با تغییرات زیاد در سنگ‌شناسی آن به دلیل ته‌نشینی در محیط‌های رسوبی متفاوت

سازند لالون با فراوانی بالایی از پوشش‌های موجودات میکروسکوپی (microbial mat) یا استروماتولیت‌ها (stromatolite) مشخص می‌شود (Mahboubi et al. 2013). تنوع مورفولوژیکی زیاد و الگوی توزیع استروماتولیت‌ها نشان‌دهنده تأثیر شرایط محیطی و عمق محیط رسوبی بر شکل و خصوصیات مورفولوژیکی و الگوی توزیع آنها در طول بخش کربناته نهشته‌های سازند لالون است (Bayet-Goll et al. 2015a, b, c). استروماتولیت‌های سازند لالون در رخساره‌های جزرومدی در بالاترین قسمت توالی از توالی‌های کامبرین زیرین و در زیررخساره آئید گریستون قرار دارد. مورفولوژی‌های مختلفی از شیوه رشد استروماتولیت‌ها شناسایی شده است که فرم‌های مسطح، نامنظم، کورک‌دار، سربوئید توده‌ای، مخروطی، گنبدی و ستونی را شامل می‌شود.

براساس مطالعات بایت گل و همکاران (Bayet-Goll et al. 2015d) بخش زیادی از نهشته‌های واحد کوارتزی قاعده‌ای گروه میلا باتوجه‌به شواهد جریان‌های جزرومدی و ساختارهای رسوبی همراه، سدهای ماسه‌ای جزرومدی در نواحی ساب تایدال تعریف می‌شوند. سدهای ماسه‌ای جزرومدی در نواحی ساب تایدال با بیشترین سرعت فرایندهای جزرومدی مشخص می‌شوند. نبود میان لایه‌های دانه‌ریز شیل و سیلتستون، فراوانی نسبتاً کم پوشش‌های گلی در بین سیکل‌های جزرومدی، نبود طبقه‌بندی فلاسر، موجی و عدسی و نبود شواهدی از اثر فسیل‌ها نشان‌دهنده تشکیل سدهای ماسه‌ای در یک محیط رسوبی جزرومدی با بیشینه فعالیت‌های جزرومد است.

رخساره محیط‌های ساحلی پارانرژی و مجموعه رخساره دریایی کم‌عمق را شامل می‌شود (شکل-3 a). براساس مطالعات گیر و همکاران (Geyer et al. 2014) تغییرات مجموعه رخساره‌های سازند لالون در برش‌های مختلف ایران مرکزی همچون بلوک کرمان و طبس و پهنه رسوبی البرز به دلیل موقعیت جغرافیایی دیرینه این حوضه‌ها نسبت به هم است. براساس شواهد صحرایی، واحد شیلی نهشته‌های سازند لالون در بلوک طبس به دو گروه رخساره‌ای تقسیم‌بندی می‌شود؛ 1- گروه رخساره‌های تخریبی در بخش قاعده‌ای (شکل-3 c, d, e)؛ 2- گروه رخساره کربناته در بخش بالایی (شکل-3 f, g). هدف این مطالعه، گروه رخساره‌های تخریبی در بخش قاعده‌ای واحد شیلی با اثر فسیل‌های متنوع حاصل از فعالیت بندپایان است. براساس داده‌های به‌دست‌آمده از نهشته‌های این واحد تخریبی (Bayet-Goll 2014)، محیط رسوبی این واحد، خلیج دهانه‌ای تأثیر گرفته از جزرومد قوی (ماکروتایدال) در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس، این محیط‌ها به سه بخش تقسیم می‌شوند که شامل 1) بخش خارجی (outer zone) پارانرژی، جایی که فرایندهای دریایی (امواج یا جزرومدی)، غالب و میزان تأثیر فرایندهای دریایی بیشتر از فرایندهای رودخانه‌ای است؛ منشأ رسوبات در این زون، دریایی است؛ 2) بخش میانی (central zone) کم‌انرژی، جایی که فرایندهای دریایی (بیشتر جزرومدی) با فرایندهای رودخانه‌ای معادل است و غالب رسوبات دانه‌ریزند و منشأ دریایی دارند؛ 3) بخش داخلی (inner zone) شامل رخساره‌هایی است که از جریانات کانال رودخانه‌ای تأثیر گرفته‌اند و تأثیر فرایندهای دریایی در این بخش به حداقل می‌رسد. گروه رخساره‌های کربناته واحد شیلی نهشته‌های





شکل 3- تصاویر صحرائی نهشته‌های سازند لالون و واحد کوارتزیتی قاعده‌ای گروه میلا. A- تصویر پانورامیک از از نهشته‌های سازند لالون با رخساره‌های رودخانه‌ای، خلیج دهانه‌ای، دریای باز و رمپ کربناته که با ماسه‌سنگ‌های کوارتزیتی قاعده‌ای گروه میلا پوشیده شده است. شمال شرق روستای کالشانه در کوه‌های درنجال (دید به سمت شمال شرق). B- سازند لالون شامل توده‌های ماسه‌سنگی تراف مربوط به رخساره‌های رودخانه‌ای. C- مجموعه رخساره‌های خلیج دهانه‌ای شامل ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه با طبقه‌بندی مورب تراف و چینه‌های هترولیک ماسه سنگی - شیلی که به سمت بالا به رخساره‌های دریایی باز تبدیل می‌شود (دید به سمت شرق). D- توالی رخساره‌های خلیج دهانه‌ای از ماسه‌سنگ‌های جزرومدی تراف به سمت بالا تبدیل به استروماتولیت‌های دریایی باز در تناوب با ماسه‌سنگ، سیلستون و شیل. E- لایه‌های ماسه‌سنگ جزرومدی از لامیناسیون ریپلی جریانی - بایمدال، تشکیل دسته‌های جزرومدی (tidal bundles) با پوشش‌های گلی (mud drops) هم به فرم منفرد و هم به فرم مزدوج. F- رخساره‌های دریایی باز بخش بالایی سازند لالون با تناوب لایه‌های استروماتولیتی و لایه‌های شیلی به سمت بالا تبدیل به ماسه‌سنگ‌های تراف جزرومدی واحد کوارتزیت قاعده‌ای گروه میلا. G- پوشش‌های میکروبی شامل واحدهای استروماتولیتی گنبدی به هم پیوسته از رخساره‌های رمپ کربناته سازند لالون.



به صورت موجی شکل دیده می‌شود. این اثرگونه، اثرات شیارهای جانبی ندارد. همچنین، اثرات اِگزاپودایت در این اثرگونه با حفظ‌شدگی ضعیف و ارتباط قطع‌کننده با خراش‌های عرضی، موازی با طول پشته‌ها دیده می‌شود؛ درحالی‌که اثرات اِندوپودایت یا شیارهای عرضی به‌طور کامل به صورت طرح v- شکل عمیق دیده می‌شوند.

*Ichnospecies Cruziana salomonis* (Seilacher, 1990)

شکل 4-e، محل نمونه: واحد شیلی سازند لالون  
توصیف: این اثرگونه شامل ساختارهای دوباندی نواری شکل پهن کم‌عمق و مستقیم تا نسبتاً مایل است که با شیار میانی پهن و نامنظم در طول اثرفسیل از هم جدا می‌شوند. به‌طور غالب، شکل کلی ساختار لوبیایی شکل روزوفیکوس (rusophyciform) دارند. *C. salomonis* با لب‌های حاصل از پاهای حرکتی دارای اثر خراش‌های به صورت مستقیم تا نسبتاً انحادار در مجموعه‌های دو تا پنج خراش درشت و با تراکم کم در بخش داخلی لب‌ها است. مجموعه خراش‌ها به صورت نیمه موازی نسبت به هم و عرضی تا نسبتاً مایل نسبت به شیار میانی قرار گرفته‌اند. در بیشتر موارد اثر خراش‌های عرضی در بخش خارجی لب‌ها به صورت ریز و با تراکم بالاتر دیده می‌شوند. *C. salomonis*، اثرات اِگزاپودایت و شیارهای جانبی ندارد.

*Ichnospecies Cruziana tenella* (Linnarsson 1871)

شکل 4-h، محل نمونه: واحد شیلی لالون  
توصیف: این اثرگونه شامل ساختارهای دوباندی مستقیم تا انحادار با پهنای کم و کناره‌های قائم و برجسته است که به صورت برجسته روی سطح زیرین طبقات ماسه‌سنگی دانه‌ریز دیده می‌شود. هر دو لب حاصل از پاهای حرکتی به صورت نسبتاً مسطح دیده می‌شوند که با شیار میانی کم‌عمق از هم جدا شده‌اند. اثرات اِندوپودایت با حفظ‌شدگی کامل تا ضعیف با آرایشی تقریباً قائم نسبت به شیار میانی قرار دارند.

*Ichnospecies Didymaulichnus lyelli* (Rouault 1850)

صورت می‌گیرد (Seilacher 2007)؛ با این وجود به سمت بخش پسین اثر لب‌ها باریک‌تر می‌شوند.

*Ichnospecies Cruziana cf. nabataeica* (Seilacher 1990)

شکل‌های 4-f، محل نمونه: واحد شیلی لالون  
توصیف: این اثرگونه شامل ساختارهای لوبیایی شکل روزوفیکوس با عنوان 'rusophyciform' نسبتاً کوتاه و کم‌عمق است (Seilacher 2007) که به صورت برجسته روی سطح زیرین طبقات ماسه‌سنگی دانه‌ریز دیده می‌شوند و نسبت به ساختار لوبیایی شکل روزوفیکوس، کوچک‌تر و بدون کشیدگی در بخش‌های انتهایی قدامی و پسین اثرفسیل است. همچنین، بخش شیار میانی تقسیم‌کننده لب‌ها در آن کمتر توسعه یافته است. مهم‌ترین ویژگی این اثرگونه به صورت لب‌های پهن کوچک است. سطح هر لب با شیارهای پاهای حرکتی به صورت مجموعه‌های 5 تا 12 خراش موازی با آرایش نامنظم و روی هم چیده‌شده (imbricated) دیده می‌شوند. لب‌های حاصل از پاهای حرکتی، اثر خراش‌های عرضی با زاویه متغیر (منفرجه در بخش جلویی تا تند در بخش پسین) دارند که با شیار میانی کم‌عمق و نامنظم از هم جدا می‌شوند. اثرات شیارهای جانبی طویل حاصل از خار گونه‌ای و لب‌های حاصل از پاهای تنفسی در بخش خارجی پشته‌ها در آن وجود ندارد. اثرات پاهای حرکتی به صورت آثار شیارهای مواج دیده می‌شود.

*Ichnospecies Cruziana promensis* (Crims, Legg, Marcos and Arboleya 1997)

شکل 4-g، محل نمونه: واحد شیلی لالون  
توصیف: این اثرگونه شامل ساختارهای دوباندی نسبتاً طویل و عمیق است که به صورت برجسته روی سطح زیرین طبقات ماسه‌سنگی دانه‌ریز دیده می‌شوند. لب‌های حاصل از پاهای حرکتی، اثر خراش‌های عرضی دارند که با شیار میانی عمیق از هم جدا می‌شوند. زاویه تقاطع اثر خراش‌ها در خط شیار میانی به صورت زاویه تندی است. در برخی موارد به دلیل تحذب زیاد پشته‌ها در *C. promensis*، اثرات خراش



محدب، ساده و کشیده دیده می‌شوند که تعداد آنها در هر زنجیره از 4 تا 9 عدد متغیر است. مشابه اثر فسیل‌های روزوفیکوس، عرض مجموعه در هر دو طرف مسیر حرکتی کاهش می‌یابد.

#### Ichnospecies *Diplichnites* isp. B

شکل-5 d، محل نمونه: واحد شیلی لالون  
توصیف: این اثرگونه به صورت زنجیره‌های حرکتی مزدوج با الگوی متقارن تا نامنظم دیده می‌شود که در آن، نشانک‌های حرکتی (imprints) در دو ردیف موازی به صورت عرضی تا نسبتاً مایل در جهت مسیر حرکتشان نسبت به شیار میانی قرار گرفته‌اند. طول مجموعه در حدود 4 تا 6 سانتی‌متر است. فاصله بین زنجیره‌های حرکتی در حدود 2 تا 4 سانتی‌متر است. نشانک‌های حرکتی عمدتاً به صورت ساده، محدب، کشیده و دوکی شکل هستند که در گاهی موارد با انحنای کم یا به صورت سیگموئید دیده می‌شوند. گاهی موارد خراش‌های طولی (longitudinal striellae) در آن مشاهده می‌شود.

#### Ichnogenus *Dimorphichnus* (Seilacher 1955)

##### Ichnospecies *Dimorphichnus quadrifidus* (Seilacher 1990)

شکل-5 e، محل نمونه: واحد شیلی لالون  
توصیف: اثر جنس دیمورفیکنوس به صورت آثار حرکتی نامتقارن روی سطح بالایی طبقات ماسه‌سنگی به صورت اپی-رلیف و محدب کشیده دیده می‌شوند که نشانک‌های حرکتی در بیشتر موارد در این اثرات به صورت شیارهای شکل (rib-shaped) و نامتقارن یا با شکل سیگموئید در طول خود دیده می‌شوند و در گاهی موارد حالت کشیده سینوسی را نشان می‌دهند. آثار شیار، اندازه متغیر دارند و بین 5 تا 20 میلی‌متر طولیند. در بیشتر موارد این اثرات، الگوی مسیری - حرکتی مایل دارند که نشان‌دهنده حرکت جاندار در آن مسیر است.

##### Ichnospecies *Dimorphichnus obliquus* (Seilacher, 1955)

شکل-5 a، محل نمونه: واحد شیلی لالون

توصیف: اثر فسیل‌های به درازای 5 تا 50 میلی‌متر بوده است که به صورت شیارهای دوباندی صاف به طور دو ردیفی آرایش یافته‌اند. در حفظ‌شدگی‌های هیپورلیف، شیارهای دو ردیفی با یک خط میانی از هم جدا شده‌اند. این آثار ممکن است با خودشان یا دیگر اثرها قطع شده باشند و در غالب موارد مسیر حفرات به صورت انحنادار است. لبه‌ها و شیارهای آنها ممکن با فاصله 1 میلی‌متری جدا شده باشند. این اثر فسیل، اثر خراش‌های عرضی روی لب‌ها یا پلیسه‌ها در طول مسیر حرکتی جاندار ندارد.

#### Ichnogenus *Diplichnites* isp.

شکل-5 b، محل نمونه: واحد شیلی لالون

توصیف: این نمونه شامل ساخت حرکتی بندپایان همچون تریلوبیت‌ها هستند که روی سطح بالایی طبقات ماسه‌سنگی یا سیلتستونی به صورت اپی‌رلیف با کندشدگی‌های مدور - مقعر یا محدب - کشیده دیده می‌شود. این اثر فسیل‌ها به صورت زنجیره‌های حرکتی جفتی با الگوی متقارن در کنار هم دیده می‌شوند. طول اثرها در حدود 5 تا 10 سانتی‌متر است. فاصله بین زنجیره‌های حرکتی در حدود 1 تا 3 سانتی‌متر است. در برخی موارد مسیرهای حرکتی، الگوی نامنظم از توزیع نشانه‌های حرکتی دارند؛ به طوری که مسیرهای حرکتی، دو زنجیره متفاوت از لحاظ مورفولوژیکی دارند و در بیشتر موارد جهت آرایش آنها نسبت به شیار میانی (trackway midline) متغیر از عمود تا مایل است.

#### Ichnospecies *Diplichnites* isp. A

شکل-5 c، محل نمونه: واحد شیلی لالون

توصیف: این نمونه شامل زنجیره‌های حرکتی است که عمدتاً در مجموعه‌های منظم با طرح V شکل از الگوی حرکتی نشان داده می‌شوند. طول مجموعه در حدود 3 تا 8 سانتی‌متر است. فاصله بین زنجیره‌های حرکتی در حدود 2 تا 4 سانتی‌متر است. نشانه‌های حرکتی در هر زنجیره به صورت هیپورلیف

جفتی (paired) با شکل و اندازه نسبتاً مشابه در دسته‌های کوچک و آرایش فرارگیری به هم فشرده، بدون آثار شیاری روی آن، از مهم‌ترین ویژگی‌های بارز این اثرگونه است.

*Ichnospecies Monomorphichnus biserialis* (Mikulas 1995)

شکل-6 a و b، محل نمونه: واحد شیلی لالون  
توصیف: شکل و ریخت‌شناسی اثرگونه *M. biserialis* مشابه اثرفسیل قبلی است، با این تفاوت که در این اثرگونه، سری‌های موازی از خراش‌های تشکیل‌دهنده هر مجموعه در شکل و اندازه مشابه به‌صورت موازی در کنار هم تکرار می‌شوند و خراش‌های حرکتی در سری‌های موازی به‌صورت نازک و طویل بدون ایجاد حالت جفتی دیده می‌شوند.

*Ichnospecies Monomorphichnus lineatus* (Crims, Legg, Marcos and Arboleya 1997)

شکل-5 h و شکل-6 c، محل نمونه: واحد شیلی لالون  
توصیف: اثرفسیل *M. lineatus* به‌صورت مجموعه خراش‌های منفرد در دسته‌های 5 تا 10 تایی به‌صورت موازی با هم روی سطح زیرین طبقات به‌صورت همپورلیف دیده می‌شوند. خراش‌های موجود در این اثرفسیل به‌صورت استوانه‌ای محدب با شکل مستقیم تا سیگموئیدال دیده می‌شوند. در هر سری، خراش‌ها گرده‌شده و پهنای کمتر از یک میلی‌متر با اندازه و شکل نسبتاً مشابه دارند. ویژگی مهم این اثرگونه وجود اثرخراش‌های ساده و مستقیم در ردیف‌های موازی هم است. به ندرت خراش‌های موجود در این اثرگونه به‌صورت آثار شیاری نازک سیگموئیدال در مسیر حرکتی مستقیم دیده می‌شوند.

*Ichnospecies Monomorphichnus multilineatus* (Alpert 1976)

شکل‌های-6 d و e، محل نمونه: واحد شیلی لالون  
توصیف: این اثرگونه به‌صورت سری‌های موازی از اثرها یا خراش‌های حرکتی روی سطح زیرین طبقات به‌صورت همپورلیف در اندازه‌های متغیر و اشکال نامنظم به‌صورت

شکل-5 f، محل نمونه: واحد شیلی لالون

توصیف: این اثرگونه به‌صورت اثرفسیل زنجیری جفت و کوتاه از نشانه‌های حرکتی جانداران سازنده تشکیل شده است. سری‌های موازی هم از اثرهای حرکتی روی سطح بالایی طبقات به‌صورت اپی‌رلیف در اندازه‌های متغیر و اشکال نامنظم به‌صورت محدب و ویرگولی شکل (comma shaped) دیده می‌شوند. این اثرات به‌صورت مایل در دسته‌هایی از نشانه‌های ویرگولی شکل توزیع شده‌اند. در غالب موارد، اثرات ویرگولی به‌صورت محدب و نوک‌تیز و بدون شواهدی از اثرات شیاری نازک سیگموئیدال دیده می‌شوند. طول هرکدام از اثرات در حدود 1 سانتی‌متر است.

*Ichnogenus Monomorphichnus* isp.

شکل-5 g، محل نمونه: واحد شیلی لالون

توصیف: اثرفسیل مونومورفیچنوس به‌صورت اثرات حرکتی حاصل از فعالیت بندپایان در بسترهای گلی و نرم دانه‌ریز به‌صورت برجسته و همپورلیف روی بخش پایینی طبقات دیده می‌شود. این اثرات به‌صورت خراش‌های مزدوج تا منفرد موازی با هم دیده می‌شوند. مجموعه خراش‌ها شامل 5 تا 8 خراش است که به‌صورت موازی با هم دیده می‌شوند. قطر خراش‌ها کمتر از یک میلی‌متر و طول آنها بین 5 تا 10 میلی‌متر است. خراش‌ها در برش عرضی به‌صورت استوانه‌ای محدب دیده می‌شوند.

*Ichnospecies Monomorphichnus bilinearis* (Crims 1970)

شکل-5 h، محل نمونه: واحد شیلی لالون

توصیف: اثرفسیل *M. bilinearis* به‌صورت سری‌های موازی از خراش‌های حرکتی مزدوج در الگوی مستقیم یا انحنادار تشکیل شده است که به‌صورت برجسته و همپورلیف روی بخش پایینی طبقات دیده می‌شود. خراش‌های مزدوج در این اثرفسیل با شکل مستقیم تا انحنادار در اندازه متغیر دیده می‌شوند که 5 تا 15 میلی‌متر طویل است و در هر مجموعه 6 تا 18 خراش مشاهده می‌شود. وجود خراش‌های حرکتی

اسبی در شکل و اندازه مشابه دیده می‌شوند. قطر خراش‌ها از یک میلی‌متر کمتر و طول آنها 5 تا 10 میلی‌متر است. در این اثرگونه، خراش‌های مدور همدیگر را قطع نمی‌کنند و با فاصله منظم در کنار هم با الگوی مشابه تکرار می‌شوند.

*Ichnogenus Rusophycus isp.*

شکل-5 f و شکل-6، محل نمونه: واحد شیلی لالون توصیف: در مقطع عرضی، این اثرفسیل به صورت نیمه‌استوانه‌ای از لب‌های مزدوج متقارن - موازی تشکیل شده است که به صورت هیپورلیف محدب روی سطح زیرین طبقات ماسه‌سنگی دانه‌ریز و سیلتستون ماسه‌ای دیده می‌شود. در جهت طولی با شیار میانی کم‌عمق و باریک به دو لب موازی تقسیم می‌شوند. لب‌ها نسبت به هم متقارن تا غیرمتقارن هستند. در برخی موارد پهنای این اثر به دلیل بازشدگی در انتهای بخش قدامی دو برابر عرض‌تر از بخش پسین است. اثر خراش‌ها روی لب‌ها به صورت عرضی، ضخیم و گاهی در مجموع‌های 2 تا 5 خراش است. طول این اثرفسیل از 2 تا 5 سانتی‌متر و عرض آن از 1 تا 3 سانتی‌متر متغیر است.

مستقیم تا انحنادار تشکیل شده است. فاصله بین خراش‌های حرکتی، متغیر و در اندازه نامنظم در مجموعه 3 تا 9 تایی دیده می‌شود. از ویژگی بارز این اثرگونه وجود خراش حرکتی طویل و پهن‌تر در بخش میانی مجموعه نسبت به بخش‌های کناری است.

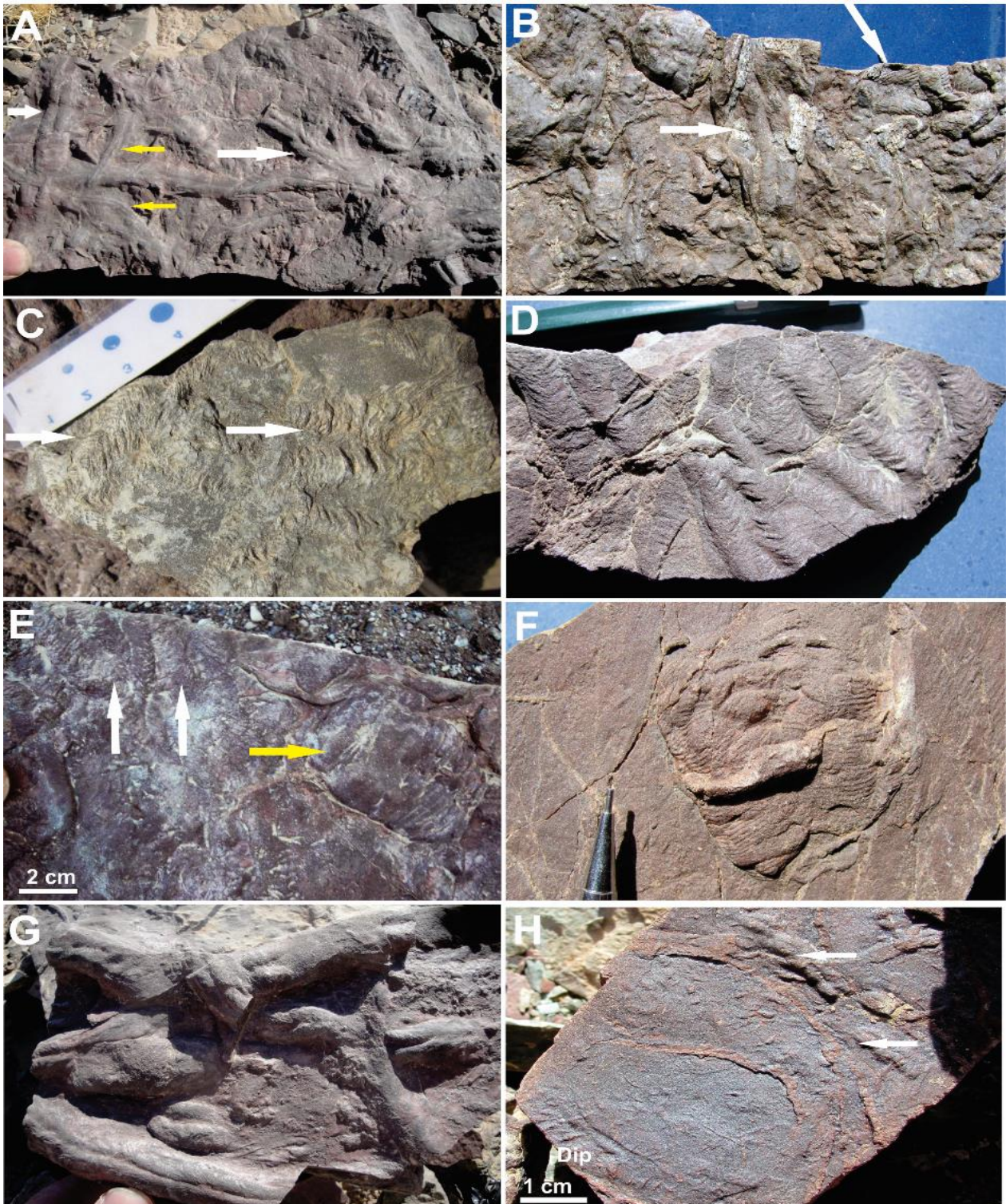
*Ichnospecies Monomorphichnus isp. A*

شکل-5 e، محل نمونه: واحد شیلی لالون این نمونه به صورت زنجیره‌های حرکتی مزدوج با الگوی متقارن تا نامنظم در کنار هم به صورت هیپورلیف محدب دیده می‌شوند که هر زنجیره از مجموعه‌های 5 تا 8 خراش تشکیل شده است. خراش‌ها به صورت پشته‌های محدب، نوک‌تیز و پهن با آثار شیارهای طولی روی آن دیده می‌شوند که در سری‌های مزدوج زنجیری کوتاه به صورت جانبی تکرار می‌شوند. فاصله بین پشته‌های متوالی ثابت است.

*Ichnospecies Monomorphichnus isp. B*

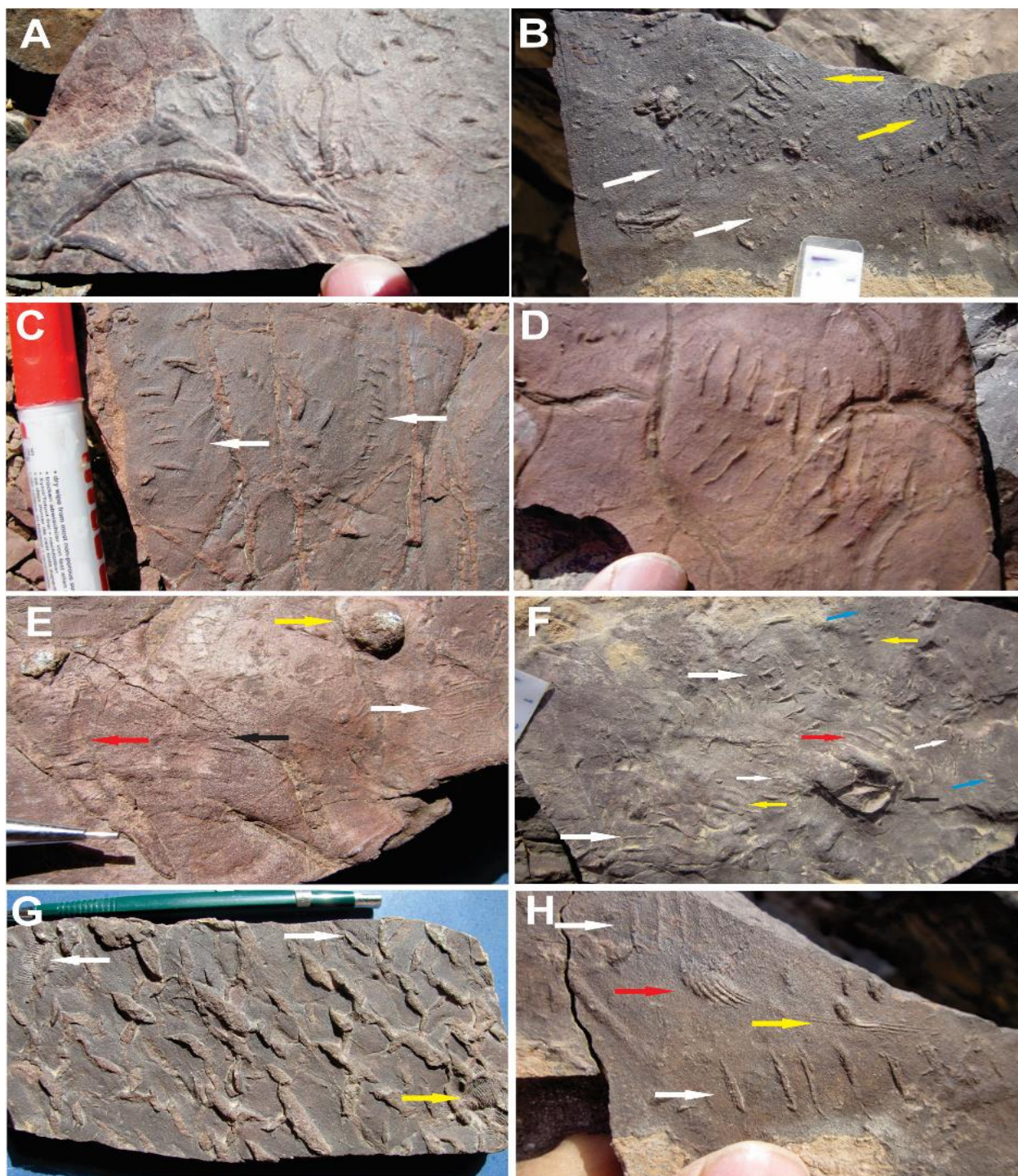
شکل-6 f، محل نمونه: واحد شیلی لالون توصیف: این نمونه در بسترهای گلی و نرم دانه‌ریز به صورت برجسته و هیپورلیف روی بخش پایینی طبقات به صورت مجموعه خراش‌های موازی مدور تا انحنادار به حالت نعل





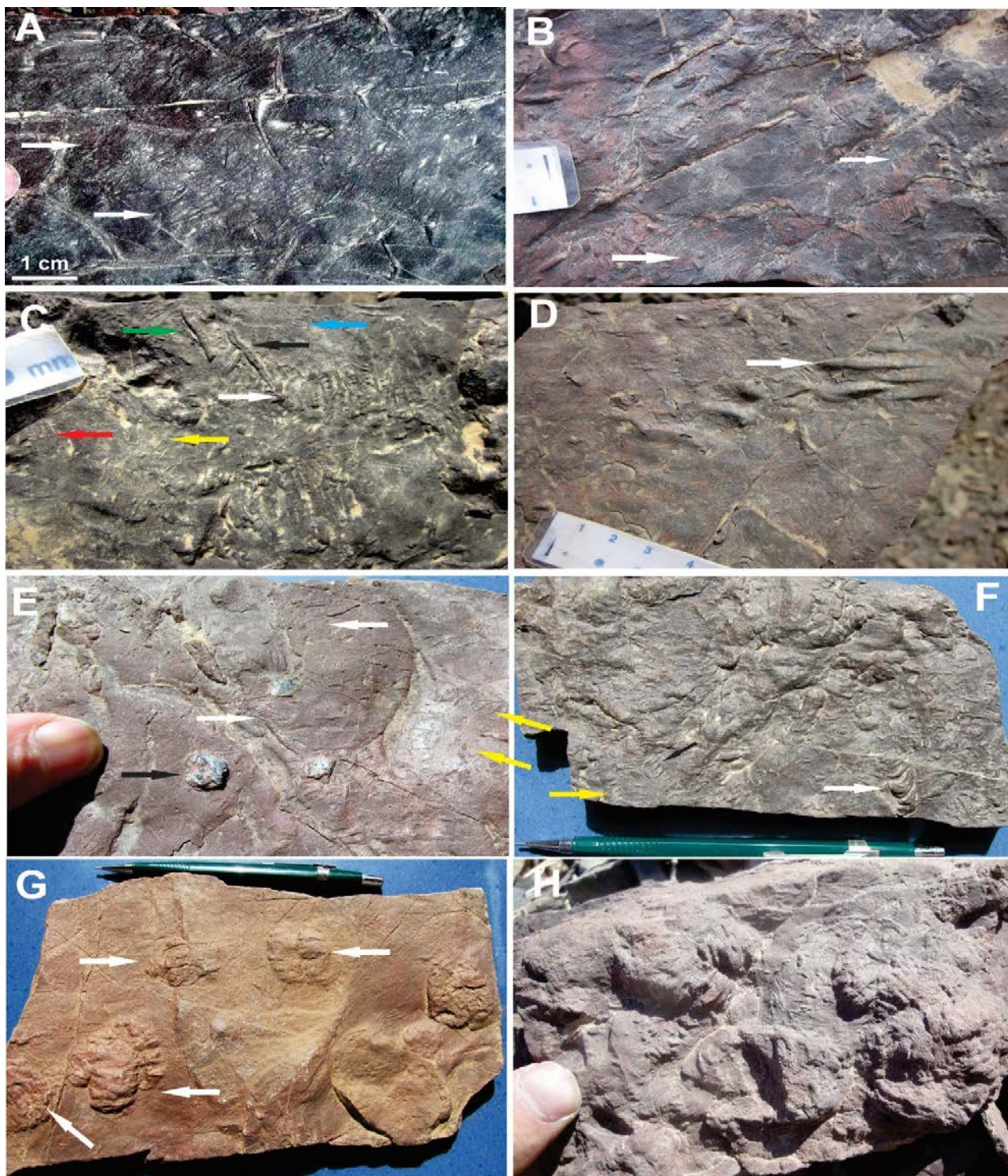
شکل 4- A. ساختارهای دوباندی نواری شکل از *Cruziana* isp. همراه با اثرفسیل *Didymaulichnus lyelli* (پیکان زرد).  
 B. *Cruziana arizonensis* در واحد کوارتزیتی. C. *Cruziana cantabrica*. D. *Cruziana fasciculata*. E. *Cruziana fasciculata*.  
 F. ساختارهای لوبیای شکل روزوفیکوس با عنوان 'rusophyciform' از *Cruziana salomonis* (پیکان زرد).  
 G. *Cruziana nabataeica*. G. *Cruziana promensis*. همراه با اثرفسیل *Diplichnites* isp. (Dip).  
 H. *Cruziana tenella* همراه با اثرفسیل *Diplichnites* isp. (Dip).





شکل 5- A. شیارهای دوباندی صاف از *Didymaulichnus lyelli*. B. ثرفسیل *Diplichnites isp.* همراه با *Rusophycus isp.* (پیکان زرد). C. اثرفسیل *Diplichnites A.* (پیکان سفید). D. ثرفسیل *Diplichnites B.* E. *Dimorphichnus quadrifidus* (پیکان سفید)، *M. bilinearis* (پیکان سیاه) و *M. multilineatus* (پیکان قرمز). F. *D. obliquus* (پیکان سفید)، *M. bilinearis* (پیکان قرمز)، *Monomorphichnus isp.* (پیکان آبی) و *Diplichnites isp.* (پیکان آبی). G. *Monomorphichnus isp.* (پیکان زرد) و *Diplichnites isp.* (پیکان آبی) همراه با اثرفسیل *M. multilineatus* و *M. bilinearis* (پیکان سفید). H. *M. lineatus* (پیکان زرد) و ترک‌های دوکی شکل. *Cruziana isp.* (پیکان زرد) و ترک‌های دوکی شکل.





شکل 6- A و B اثر فسیل *M. biserialis*. C *M. lineatus* (پیکان سفید)، *Dimorphichnus quadrifidus* (پیکان قرمز)، *D. obliquus* (پیکان زرد)، *Diplichnites isp.* (پیکان آبی)، *Pkanolites* (پیکان سبز)، و *Didymaulichnus lyelli* (پیکان سیاه). D اثر فسیل *M. multilineatus* E *M. multilineatus* (پیکان سفید)، *M. bilinearis* (پیکان زرد) و *Bergaueria isp.* (پیکان سیاه). F *Rusophycus isp.* (پیکان سفید)، *Diplichnites isp.* (پیکان زرد) و *D. obliquus* (پیکان سیاه). G و H اثر فسیل

## بحث

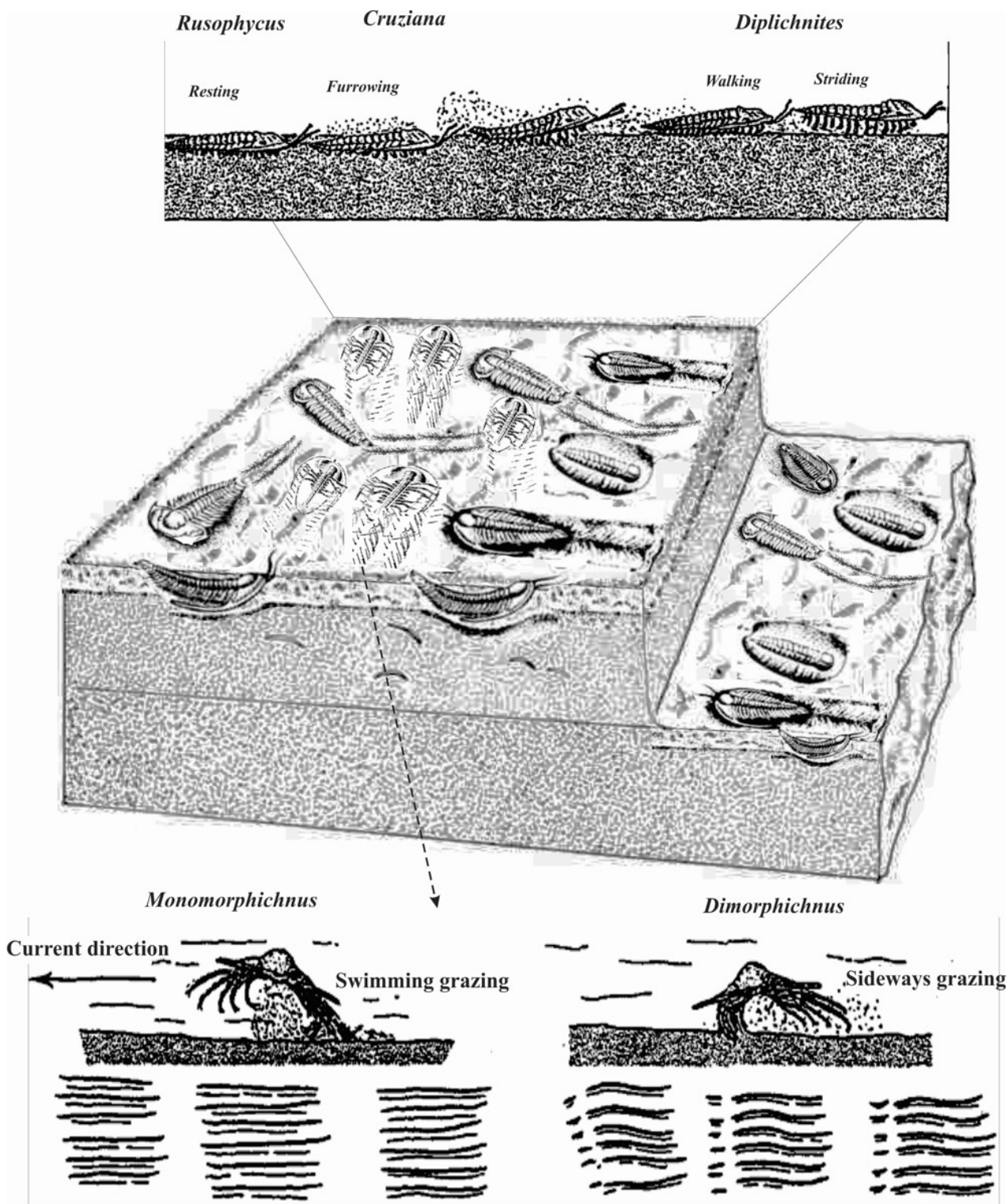
در توزیع دیده می‌شوند. براساس مطالعات کرایمس (Crimes 1970) تشخیص *Dimorphichnus* از *Monomorphichnus* همیشه سخت است. به‌هرحال برخلاف *Monomorphichnus* اثرفسیل *Dimorphichnus* به‌صورت آثار شکاری سیگموئیدال، منفرد یا در گروه‌های چندتایی دیده می‌شود که به‌صورت جانبی تکرار می‌شوند. برخلاف اثرگونه *Dimorphichnus quadrifidus* که به‌صورت اثرات شکاری نازک سیگموئیدال دیده می‌شوند، اثرگونه‌های *Dimorphichnus obliquus* به‌صورت اثرات محدب نوک تیز و پهن دیده می‌شوند. با توجه به شکل ظاهری سیگموئیدال و نامنظم و حرکت جانبی این اثرات، سیلاخر (Seilacher 2007) آنها را اثرات گریزینگ معرفی کرده است که حرکت جانبی یا کناری (sideaways) برای به دست آوردن غذا دارند (شکل-7).

*Monomorphichnus* براساس تعداد خراش‌هایی که با هم موازی هستند سه گونه *M. bilinearis*, *M. M. bilinearis* و *M. multilineatus* را تشکیل می‌دهد. *M. bilinearis* خراش‌های موازی مزدوج دارند که تا حدی واگرا از هم را نشان می‌دهند. به‌هرحال سیلاخر (Seilacher 1990) *Monomorphichnus* را مترادف با *Dimorphichnus* معرفی می‌کند. *Monomorphichnus* به‌عنوان اثرات چرشی حاصل از فعالیت تریلوبیت‌ها در محیط دریایی کم‌عمق با بستر غنی از موادغذایی نسبت داده شدند (Fillion and Pickerill 1990). مجموعه خراش‌های موجود در این اثرفسیل‌ها نشان‌دهنده عملکرد حفاری بستر با اندام‌های حرکتی جاندار است (شکل-7). مجموعه خراش‌های موجود در *Monomorphichnus* به‌ویژه در مواردی که حاوی خراش‌های ضخیم، واضح و دو شاخه است (*M. bilinearis*) و *M. multilineatus*، نشان می‌دهد با اندام‌های حرکتی حاصل از پاهای تنفسی (exopodite) ایجاد شده است (Mikulas 1995).

بررسی دقیق اثرشناسی فعالیت تریلوبیت‌های سازند لالون نشان می‌دهد اثرفسیل، نتیجه رفتار خزیدن (Cruziana, *Didymaulichnus*)، استراحت (*Rusophycus*)، حرکت (*Diplichnites*)، چرخش یکسویه (*Dimorphichnus*) و شنا همراه با چریدن (*Monomorphichnus*) هستند. کروزیانا اثر حفاری (burrow) یا خزشی طویل، نواری شکل و دو لبی است. نحوه آرایش اثر خراش‌های عرضی و طولی روی بخش‌های داخلی و خارجی لب‌ها باعث تفکیک اثرگونه‌های مختلف کروزیانا می‌شود (Seilacher 2007). اثرگونه‌های متعلق به کروزیانا، اثرات حاصل از فعالیت بندپایان تفسیر می‌شود (Häntzchel 1975) و اثر خراش‌ها روی لب‌ها به اثرات حاصل از اندام‌های حرکتی بندپایان نسبت داده می‌شوند (شکل-7). بررسی وجود شیارهای جانبی و نحوه آرایش اثر خراش‌های عرضی و طولی روی بخش‌های داخلی و خارجی لب‌ها، اثر پاهای تنفسی (exopodite) و بررسی زاویه اثر پاهای حرکتی (endopodite) باعث تفکیک اثرگونه‌های کروزیانا شده است (Seilacher 2007).

دیپلیچنیتس حاصل از اندام‌های حرکتی بندپایان، جهت حرکت جاندار را نشان می‌دهد و به‌طور غالب نشان‌دهنده حرکت جاندار در جهت زنجیره‌های حرکتی مزدوج است (شکل-10). این اثرفسیل‌ها حاصل از الگوی تکاملی فعالیت جاندار سازنده از تشکیل روزوفیکوس و کروزیانا به اثر حرکتی فعال دیپلیچنیتس است. به‌هرحال عده‌ای از پژوهشگران، جاندار سازنده این اثرفسیل‌ها را سخت‌پوستان و کرم معرفی می‌کنند (Lucas et al. 2006). همراهی این اثرفسیل با اثرات کروزیانا در نهشته‌های مطالعه‌شده نشان‌دهنده نقش مؤثر تریلوبیت‌ها در تشکیل آنها است. اثرفسیل‌های دیمورفیکنوس به اثرفسیل *Monomorphichnus* با مجموعه پشته‌های مزدوج موازی شباهت زیادی دارد. با این وجود، پشته‌های موجود در این گونه به‌صورت نیمه‌موازی تا نامنظم





شکل 7- بازسازی مدل حرکتی تریلوبیت‌های سازنده اثرفسیل‌های کروزیانا و روزوفیکوس در مورفوتایپ‌های مختلف کروزیانا و روزوفیکوس سازند لالون، حاوی الگوی رفتاری چرخش (*Cruziana*)، استراحت (*Rusophycus*)، حرکت (*Diplichnites*)، چریدن یکسویه (*Dimorphichnus*) و شنا همراه با چریدن (*Monomorphichnus*)



## اهمیت محیطی اثر فسیل‌های تریلوبیت‌ها

بر مبنای مطالعات بایت گل (Bayet-Goll 1393)، وجود ماسه‌سنگ‌های توده‌ای در بخش پایینی (همراه با طبقه‌بندی مورب تراف و مسطح به میزان کمتر) بر تأمین بالای ماسه از نواحی مجاور به محیط پرنرژی ساحلی دلالت دارد که میزان بالای تأمین رسوب (MacEachern et al. 2005) باعث عدم بستری مناسب برای فعالیت جانداران و نبود آثار فسیلی و فونا و تشکیل ماسه‌سنگ‌های توده‌ای شده است. بر مبنای مطالعات صحرائی در واحد میانی در لایه‌های سیلستونی - شیلی و ماسه‌سیلتی، اثرات خزیدن (*Rusophycus*)، حرکتی (*Diplichnites*)، چریدن یکسویه (*Dimorphichnus*) و شننا همراه با چریدن (*Monomorphichnus*) دیده می‌شود؛ در حالی که در لایه‌های ماسه‌سنگی اثرات معلق‌خوار شامل *Diplocraterion*، *Phycodes*، *Planolites*، *Palaeophycus*، *Bergaueria*، *Treptichnus* و *Skolithos* مشاهده شد (Bayet-Goll 2014; Geyer et al. 2014). تعداد زیادی اثر فسیل‌های دروغین (*pseudofossil Manchuriophycus*) نیز در این لایه‌ها مشاهده شده‌اند. میزان شاخص آشفستگی زیستی در این رخساره‌ها شدیداً متغیر است و از میزان کم در لایه‌های ماسه‌سنگی (BI=0-2) تا میزان خیلی زیاد در لایه‌های دانه‌ریز تر (BI=4-6) متغیر است. واحدهای دانه‌ریز حاوی اثرات تغذیه‌ای نشان‌دهنده‌ی ایکنوفاسیس کروزیانا و واحدهای ماسه‌ای حاوی ساخت‌های رسوبی جزرومدی و اثرات معلق‌خوار نشان‌دهنده‌ی ایکنوفاسیس / اسکولایتوس است. چنین تناوبی از ایکنوفاسیس‌ها بر ایکنوفاسیس مخلوط کروزیانا - اسکولایتوس دلالت دارد. این ایکنوفاسیس بیشتر نشان‌دهنده‌ی نوسانات در شرایط انرژی هستند تا تغییرات در سطح آب یا فاصله از ساحل (e.g. MacEachern and Pemberton 1992). اثر فسیل‌های حاصل از فعالیت تریلوبیت‌های حاوی الگوی رفتاری خزیدن، استراحت، حرکتی، گریزینگ مایل و گریزینگ شناگر در لایه‌های رسوبی دانه‌ریز منطبق بر

ایکنوفاسیس کروزیانا در شرایط آرام رسوبی در تناوب با اثرات معلق‌خوار منطبق با ایکنوفاسیس / اسکولایتوس دیده می‌شوند. ترکیب ایکنوفاسیس‌ها باتوجه‌به تغییرات عمق محیط رسوبی و تغییر فاکتورهای محیطی (میزان رسوب‌گذاری، سطح انرژی آب و اندازه‌دانه‌های رسوب، شوری، آشفستگی آب و شرایط تافونومی) به‌علت تغییرات در شرایط تداوم بستر تغییر می‌کند (Bayet-Goll et al. 2010) و باعث ایجاد گروه ایکنوفاسیس‌های مرتبط با تأثیرات محیطی همچون ایکنوفاسیس مخلوط کروزیانا - اسکولایتوس می‌شود. در نتیجه گفتنی است مجموعه آثار فسیلی و ساخت‌های رسوبی فیزیکی بر محیط تشکیل واحد میانی سازند لالون در محیط با نوسانات انرژی حاصل از جزرومد یا چرخه‌های جزرومدی کامل و خفیف (neap-spring tidal variations) دلالت دارد. به‌رحال مجموعه اثر فسیل‌ها با شدت زیست‌آشفستگی کم، تنوع و اندازه‌ی پایین اثر فسیل‌ها نشان‌دهنده‌ی ایکنوفاسیس کروزیانای محدود شده هستند (*stressed Cruziana ichnofacies*) که محیطی با نوسانات شرایط فیزیکوشیمیایی را نشان می‌دهند (Bayet-Goll and Neto De Carvalho 2015). براساس مطالعات مک ایچرن و گینگراس (MacEachern and Gingras 2012) بیشتر محیط‌های جزرومدی در اثر نوسانات محیطی همچون تغییرات میزان رسوب‌گذاری در اثر فرایندهای رفت و برگشتی، نوسانات شوری و انرژی، مجموعه اثر فسیل‌های با تنوع و فراوانی خیلی کم دارند.

چنین محیطی مشابه رخساره‌های ایکنولوژیکی بواوتس و مانگانو (Buatois and Mángano 2003) است. مهم‌ترین فاکتور در توزیع آثار فسیلی و تغییر در الگوی رفتاری جانداران، به‌خصوص اثرات معلق‌خوار و اثرات تغذیه‌ای که به فراوانی در نهشته‌های لالون مشاهده شده‌اند، فرایندهای رفت و برگشتی، نوسانات شوری و انرژی است. در چنین محیط‌هایی این فرایندها به هم خوردن بستر رسوبی از نظر مواد غذایی،

سیلاخر (Seilacher 1970, 1990, 1992). شازنده اثرگونه از *کروزینا* را در هفت گروه معرفی کرده است که کاربرد آنها را برای مطالعات زیست‌چینه‌ای کامبرو - اردوویسین مناسب می‌داند. مهم‌ترین اثرگونه‌های *کروزینا* در مطالعات زیست‌چینه‌ای کامبرین شامل *C. cantabrica*، *C. nabataeica*، *C. fasciculata*، *C. rusiformis*، *C. promensis*، *C. barbata*، *C. carinata*، *C. aegyptica*، *C. salomonis* و *C. arizonensis*، *C. omanica*، *C. polonica* و *C. semiplicata* هستند (Seilacher 1970, 1990, 1992, 1994). گسترش چینه‌شناسی اثرگونه‌های ذکر شده در طول کامبرین متفاوت است؛ باوجوداین، به دلیل نبود وجود فسیل‌های پیکره‌ای در نهشته‌های سازند لالون، اثرگونه‌های *کروزینا* در واحد شیلی سازند لالون و واحد کوارتزیتی به‌عنوان معیار مفیدی برای مطالعات زیست‌چینه‌ای نهشته‌های کامبرین البرز و ایران مرکزی به‌ویژه برای تعیین مرز کامبرین زیرین و میانی استفاده می‌شود. براساس مطالعات سیلاخر (Seilacher 1970, 1992, 2007) *C. carinata*، *C. aegyptica*، *C. nabataeica*، *C. cantabrica*، *C. promensis*، *C. salomonis*، *C. fasciculata*، *C. salomonis*، *C. arizonensis* و *C. barbata* در طول کامبرین زیرین دارند؛ باوجوداین، گسترش چینه‌شناسی دو اثرگونه *C. arizonensis* و *C. barbata* در طول کامبرین میانی است. همچنین، اثرگونه‌های *C. omanica*، *C. polonica* و *C. semiplicata*، گسترش چینه‌شناسی از کابرین بالایی تا اردوویسین زیرین دارند. در این مطالعه، الگوی توزیع اثرفسیل‌های حاصل از فعالیت بندپایان در واحد شیلی سازند لالون و واحد کوارتزیتی به‌گونه‌ای است که روند تکاملی را از نظر تنوع ریخت‌شناسی و تاکسونومی نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که اثرگونه‌های حاصل از تریلوبیت‌ها روندی از *C. cantabrica*، *C. fasciculata*، *C. tenella* و *R. Didymaulichnus lyelli*، *R. Rusophycus*، *C. promensis*، *Diplichnites* به *C. nabataeica*، *C. semiplicata* و *C. arizonensis* می‌رسد.

اکسیژن و شوری مناسب را موجب می‌شوند (e.g. Gingras et al. 2002). غالب‌بودن الگوهای رفتاری حاصل از فعالیت بندپایان با اندازه کوچک و نبود فعالیت دیگر جانداران سازنده اثرفسیل‌ها نشان‌دهنده وجود شرایط زیستی نامطلوب محیطی است که در اثر نوسانات جزرومدی به وجود می‌آید. در کل، شدت زیست‌آشفستگی کم، تنوع و اندازه کوچک اثرفسیل‌ها، مورفولوژی ساده آنها و غالب‌بودن فعالیت بندپایان نشان‌دهنده ایکنوفاسیس‌های دریایی لب‌شور (stressed ichnofacies) در محیط‌های با نوسانات زیاد شرایط محیطی همچون خلیج‌های دهانه‌ای است (Pembererton et al. 2001).

#### ایکنواستراتیگرافی *کروزینا*

در نهشته‌های سازند لالون، پژوهشگران مختلفی اثرفسیل‌های حاصل از فعالیت بندپایان (arthropod) شامل *کروزینا* را از علم کوه (Gansser and Huber 1962)، ازبک کوه (Flügel and Ruttner 1962)، و شرق دماوند (Allenbach 1966) گزارش داده‌اند. همچنین، قبلاً پژوهشگران دیگری یک مجموعه متنوعی از اثرفسیل‌های *کروزینا* و *روزوفیکوس* از نهشته‌های سازند لالون در بلوک طبرس در ایران مرکزی (Gansser and Huber 1962; Allenbach 1966; Seilacher in Ruttner et al. 1995; Hamdi 1968) گزارش داده‌اند. براساس مطالعات این پژوهشگران، اثرفسیل‌های حاصل از فعالیت بندپایان این سازند از فعالیت نوعی تریلوبیت به نام *Redlichia* به وجود آمده است که از نواحی همچون *Salt Range* و شمال پاکستان گزارش شده است و سن اواخر کامبرین پیشین را نشان می‌دهد. به‌رحال یافته‌های جدید از این سازند براساس اثرفسیل‌های یافت‌شده در بلوک طبرس ایران مرکزی (Geyer et al. 2014) با مجموعه اثرفسیل‌های شناخته‌شده از کامبرین پیشین - میانی دریای سرخ شباهت زیادی دارد (Hofman et al. 2012; Elicki and Geyer 2013). در نتیجه، واحد شیلی بالایی سازند لالون به اواخر کامبرین پیشین تا اوایل کامبرین میانی منطبق بر غرب گندوانا (Cambrian Stage 5) نسبت داده می‌شود (Geyer et al. 2014).

*C. arizonensis* و *C. barbata* نشان‌دهنده سن کامبرین میانی است. بر این اساس، بر مبنای وجود *C. arizonensis* در واحد کوارتزیتی بالایی نهشته‌های شیلی سازند لالون می‌توان نتیجه گرفت واحد کوارتزیتی، سن کامبرین میانی دارد و این واحد به سازند لالون متعلق نیست و مرز کامبرین زیرین و میانی براساس وجود *کروزیانها* در بخش پایینی واحد کوارتزیتی قرار دارد.

#### نتیجه

بررسی دقیق اثرشناسی فعالیت تریلوبیت‌های سازند لالون نشان می‌دهد اثرفسیل‌های حاوی الگوی رفتاری خزیدن (*Cruziana*)، استراحت (*Rusophycus*)، حرکتی (*Diplichnites*)، گریزینگ مایبل (*Dimorphichnus*) و گریزینگ شناگر (*Monomorphichnus*) فراوان‌ترین اثرفسیل‌های سازند لالون هستند. الگوی توزیع این اثرات در واحد شیلی به گونه‌ای است که روند تکاملی را از نظر تنوع ریخت‌شناسی و تاکسونومی نشان می‌دهد. توزیع محیطی اثرفسیل‌های تریلوبیت‌ها نشان می‌دهد غالب بودن الگوی رفتاری گریزینگ و حرکتی حاصل از فعالیت بندپایان با اندازه کوچک و نبود فعالیت دیگر جانداران سازنده اثرفسیل‌ها، مخصوص ایکنوفاسیس *کروزیانای* محدود شده یا ایکنوفاسیس‌های دریایی لب‌شور (*stressed ichnofacies*) در محیط‌های با نوسانات زیاد شرایط محیطی همچون خلیج‌های دهانه‌ای است. در تطابق با اثرگونه‌های مشخص شده از توالی‌های رسوبی با سن مشابه، سن واحد شیلی سازند لالون، اواخر کامبرین زیرین تا اوایل کامبرین میانی است.

#### تشکر و قدردانی

از مرحوم پروفیسور Adlof Seilacher و دوست عزیز Neto de Carvalho به دلیل نقطه‌نظرات ارزنده‌شان در شناسایی اثرفسیل‌ها و همچنین از داوران محترم تشکر و

*C. salomonis*، *Monomorphichnus multilineatus* R. و *C. arizonensis* دارند؛ درحالی‌که دیگر اثرگونه‌های *Monomorphichnus bilinearis* و *Diplichnites* الگوی توزیع یکنواختی در سرتاسر توالی واحد شیلی میانی دارند. در تطابق با اثرگونه‌های مشخص شده مشابه از توالی‌های رسوبی پژوهشگران مختلف در سرتاسر جهان (Crims 1970, 1975, 1987, 1992; Seilacher 1970, 1990, 1991, 2000, 2007; Fillion and Pickerill 1990; Jensen 1997; Mángano et al. 1996, 2005; Mángano and Buatois 2003; Hofmann et al. 2008) سازند لالون، اواخر کامبرین زیرین تا اوایل کامبرین میانی است. اثرگونه‌های *C. salomonis*، *C. nabataeica*، *C. fasciculata*، *tenella*، *Rusophycus carbonarius* و *C. bilobatus* شاخص سنی کامبرین پیشین هستند (Seilacher 2007; Hofmann et al. 2008)؛ درحالی‌که اثرگونه‌های *Monomorphichnus multilineatus* *Dimorphichnus isp.* در رنج سنی کامبرین میانی تا پسین هستند (Seilacher 2007; Mángano and Buatois 2003). اثرگونه *Rusophycus bilobatus* رنج سنی کامبرین پیشین تا پسین را دارند (Mángano and Buatois 2003).

باتوجه به هم‌پوشانی اثرگونه‌هایی که سیلاخر معرفی کرده است با گسترش چینه‌شناسی کامبرین زیرین در نهشته‌های واحد شیلی سازند لالون، مشابه مطالعات دیگر پژوهشگران، بر سن اواخر کامبرین پیشین واحد شیلی سازند لالون دلالت دارد (Seilacher and Crimes 1969). اثرگونه‌های شناسایی شده، سن کامبرین پیشین در واحد شیلی سازند لالون شامل *C. promensis*، *C. cantabrica*، *C. nabataeica*، *C. fasciculata*، *C. salomonis* را نشان می‌دهند. این اثرگونه‌ها در طول گذر از مرز کامبرین پیشین به میانی با اثرگونه *C. arizonensis* در واحد کوارتزیتی جایگزین می‌شوند. با وجود تنوع و فراوانی خیلی کم (2 نمونه) اثرفسیل‌ها در واحد کوارتزیتی، شاخص بودن سنی این اثرگونه *کروزیانها* در تعیین سن واحد کوارتزیتی سازند خیلی مفید واقع می‌شود. براساس مطالعات سیلاخر (Seilacher 2007)

- ichnodiversity. *Cretaceous Research*, 56: 628-646.
- Bayet-Goll A. Mahboubi A. and Moussavi-Harami R. 2015c. Usage of microbial mats in depositional environment interpretation and sea level changes: A study of carbonate deposits of members 1 to 2 of the Mila Group (Deh-Sufiyan Formation) in Central Alborz. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, University of Isfahan, 31 (1): 35-56.
- Bayet-Goll A. Moussavi-Harami R. and Mahboubi A. 2015d. Sedimentary environments and sequence stratigraphy of basal Quartzite of the Mila Group (Fasham Formation), Central Alborz, *Sedimentary Facies*, 8:1-26.
- Bayet-Goll A. Myrow P. M. Aceñolaza G. F. Moussavi-Harami R. and Mahboubi A. 2016a. Depositional controls on the ichnology of Paleozoic wave-dominated marine facies: new evidence from the Shirgesht Formation, central Iran. *Acta Geologica Sinica*, 90 (5): 1572-1597.
- Bayet-Goll A. Monaco P. Mahmudy-Gharaei M.H. and Nadaf R. 2016b. Depositional environments and ichnology of Upper Cretaceous deep-marine deposits in the Sistan Suture Zone, Birjand, Eastern Iran. *Cretaceous Research*, 60: 28-51.
- Crimes TP. 1970a. Trilobite tracks and other trace fossils from the Upper Cambrian of North Wales. *Geological Journal*, 7: 47-68.
- Crimes TP. 1970b. The significance of trace fossils in sedimentology, stratigraphy and palaeoecology with examples from Lower Palaeozoic strata. In Crimes T.P. Harper J.C. (Eds.) *Trace Fossils*, Geological Journal Special Issue, 3: 101-126.
- Crimes T.P. 1975. Trilobite traces from the Lower Tremadoc of Tortworth. *Geological Magazine*, 112: 33-46.
- Crimes T. P. 1987. Trace fossils and correlation of Precambrian- Early Cambrian strata. *Geological Magazine*, 124: 97-119.
- Crimes T. P. 1992. Changes in the trace fossil biota across the Proterozoic-Phanerozoic boundary. *Journal of the Geological Society (London)*, 149: 637-646.
- Crimes T.P. Legg I. Marcos A. and Arboleya M. 1977. Late Precambrian-low Lower Cambrian trace fossils from Spain. In: Crimes T.P. and Harper J.C. (Eds.), *Trace Fossils 2*. Geological Journal Special Issue, 9: 91-138. Seel House Press, Liverpool.
- قدردانی می‌شود که با نظرات خود به ارتقای سطح علمی این مقاله کمک کردند.

## References

- Aalpert S.P. 1976. Trilobite and star-like trace fossils from the White-Inyo Mountains, California. *Journal of Paleontology*, 50: 226-239.
- Aghanabati, A. 2004. *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran, 434 p. (In Persian).
- Allenbach P. 1966. *Geologie und Petrographie des Damav und seiner Umgebung (Zentral-Elburz), Iran*. Abhandlung zur Erlangung der Würde eines Doktors der Naturwissenschaften der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 1-145.
- Bromley R.G. 1996. *Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications*. Chapman & Hall, London. 361 p.
- Buatois L.A. and Mángano, M.G. 2003. Sedimentary facies, depositional evolution of the Upper Cambrian-Lower Ordovician Santa Rosita formation in northwest Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 343-363.
- Bayet-Goll A. 2014. *Ichnology and sequence stratigraphy Mila Formation (Central Alborz) and comparison with Shirgesht Formation (Tabas block)*, PhD thesis, Ferdowsi University of Mashhad, 501 p.
- Bayet-Goll A. and Neto de Carvalho C. 2015. *Ichnology and sedimentology of a tide-influenced delta in the Ordovician from the Northeastern Alborz range of Iran (Kopet-Dagh region)*. *Lethaia*, 49: 327-350. DOI: 10.1111/let.12150.
- Bayet-Goll A. Mahboubi A. Hossaini Barzi M. and Moussavi-Harami R. 2010. *Ichnological model of siliciclastic sediments of Shirgesht Formation in Kalmard block, Central Iran*. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan*, 38: 43-68.
- Bayet-Goll A. Chen J. Mahboubi A. and Moussavi-Harami R. 2015a. *Depositional processes of ribbon carbonates in Middle Cambrian of Iran (Deh-Sufiyan Formation, Central Alborz)*. *Facies*, 61:9. 10.1007/s10347-015-0436-6.
- Bayet-Goll A. Neto de Carvalho C. Mahmudy-Gharaei M.H. and Nadaf, R. 2015b. *Ichnology and sedimentology of a shallow marine Upper Cretaceous depositional system (Neyzar Formation, Kopet-Dagh, Iran): palaeoceanographic influence on*



- Cambrian shallow- to marginal-marine environments of Jordan. *Journal of Paleontology*, 86: 931-955.
- Jensen S. 1997. Trace fossils from the Lower Cambrian Mickwitzia sandstone, south-central Sweden. *Fossil and Strata, Lethaia. Fossils and Strata*, 42: 1-111.
- Linnarsson I.G.O. 1871. Geognostiska och paleontologiska iakttagelser ofver Eophytosandstenen i Vestergotland. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, 9 (7): 19.
- MacEachern J.A. and Pemberton S.G. 1992. Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America, in Pemberton S.G. (Eds.) *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, a core workshop: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshop*, 17: 57-84.
- MacEachern J.A. Bann K.L. Bhattacharya J.P. and Howell C.D. 2005. Ichnology of deltas: organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storm and tides. In: Giosan L. Bhattacharya J.P. (Eds.), *River Deltas Concepts, Models and Examples: SEPM special Publication, No. 83*: 49-85.
- MacEachern J.A. Pemberton S.G. Gingras M.K. and Bann K.L. 2007. The ichnofacies paradigm: a fifty-year retrospective In: Miller W. (Eds.), *Trace Fossils. Concepts, Problems, Prospects*. Elsevier, Amsterdam, 52-77.
- Mahboubi A. Moussavi-Harami R. Bayetgoll A. 2014. Microbial mats in the Shale Member of the Cambrian Lalun Formation: type, morphology and environment. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches, University of Isfahan*, 51: 1-20.
- Mangano M.G. Buatois L.A. and Acenolaza F.G. 1996. Trace fossils and sedimentary facies from a Late Cambrian-Early Ordovician tide-dominated shelf (Santa Rosita Formation, northwest Argentina implications for ichnofacies models of shallow marine successions. *Ichnos*, 5: 52-88.
- Mangano M.G. Buatois L.A. and Muniz Guinea F. 2005. Ichnology of the Alfarcito Member (Santa Rosita Formation) of northwestern Argentina: animal-substrate interactions in a lower Paleozoic wave-dominated shallow sea. *Ameghiniana*, 42, 641-668.
- Mikuláš R. 1995. Trace fossils from the Klabava Formation. *Acta Universitatis Carolinae—Geologica*, 1992/3-4: 385-419.
- Droser M. L. Gehling J. G. and Jensen S. 1999. When the worm turned: concordance of Early Cambrian ichnofabric and trace-fossil record in siliciclastic rocks of South Australia. *Geology*, 27: 625-628.
- Fillion D. and Pickerill R.K. 1990. Ichnology of the Upper Cambrian? to Lower Ordovician Bell Island and Wabana groups of eastern Newfoundland, Canada. *Palaeontographica Canadiana*, 7: 1-119.
- Gansser A. and Huber N. 1962. Geological observations in the Central Elburz, Iran. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 42: 583-630.
- Geyer G. Bayet-Goll A. Wilmsen M. Mahboubi A. and Moussavi-Harami R. 2014. Lithostratigraphic revision of the middle and upper Cambrian (Furongian) in northern and central Iran. *Newsletters on Stratigraphy*, 47: 21-59.
- Ghavidel-Syooki M., 2006. Palynostratigraphy and palaeogeography of the Cambro-Ordovician strata in southwest of Shahrud City (Kuh-e-Kharbash, near Deh-Molla), Central Alborz Range, northern Iran. *Revue of Palaeobotany and Palynology*, 139: 81-95.
- Gingras M.K. Räsänen M.E. Pemberton S.G. and Romero L.P. 2002. Ichnology and sedimentology reveal depositional characteristics of baymargin parasequences in the Miocene Amazonian foreland basin. *Journal of Sedimentary Researches*, 72: 871-883.
- Hall J. 1852. *Palaeontology of New York, Volume 2*. Containing descriptions of the organic remains of the Lower Division of the New York System (equivalent in part to the Lower Silurian rocks of Europe). C. van Benthuyssen, 362 p.
- Häntzchel W. 1975. Trace Fossils and Problematica. 1-269 in Teichert, C. (Eds.), *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellanea, Supplement 1*. Geological Society of America, Boulder and University of Kansas, Lawrence 269p.
- Hofmann Q. Mangano M.G. Elicki O. and Shinaq Q. 2008. Ichnology of a Middle Cambrian tide-dominated delta, burj Formation, southern Dead Sea, Jordan. In: a. Uchman (Eds.), abstract book and The Intra-Congress Field Trip Guidebook. The Second International Congress on Ichnology, Cracow, Poland, 53-54. Warszawa.
- Hofmann R. Mangano G. Elicki O. and Shinaq R.. 2012. Paleoecologic and biostratigraphic significance of trace fossils from Middle

- Seilacher A. 1990. Paleozoic trace fossils. In: R. Said (Eds.), *The Geology of Egypt*. A.A. Balkema, Rotterdam, 649–670.
- Seilacher A. 1991. An updated Cruziana stratigraphy of Gondwanan Palaeozoic sandstones. In *The Geology of Libya 4*, Salem MJ (Eds.). Elsevier: Amsterdam, 1565–1581.
- Seilacher A. 1992. An updated Cruziana stratigraphy of Gondwanan Palaeozoic sandstones. In: Salem M.J. Hammuda O.S and Eliagoubi B.A. (Eds.), *The Geology of Libya, Vol. 5*, Elsevier: Amsterdam, New York, 1565–1580.
- Seilacher A. 1994. How valid is Cruziana stratigraphy? *Geologische Rundschau*, 83: 752–758.
- Seilacher A. 2007. *Trace Fossil Analysis*. Springer Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Seilacher A. and Crimes T. P. 1969. "European" species of trilobite burrows in eastern Newfoundland. In: Kay M. (Eds.) *North Atlantic Geology and Continental drift, Memoir of the American Association of Petroleum Geologists*, 12: 145–148.
- Peng S. Geyer G. and Hamdi B. 1999. Trilobites from the Shahmirzad section, Alborz Mountains, Iran: Their taxonomy, biostratigraphy and bearing for international correlation. *Beringeria*, 25: 3–66.
- Seilacher A. 1955. Spuren und Fazies im Unterkambrium. In: Schindewolf, O.H., Seilacher A. (Eds.), *Beitrage zur Kenntnis des Kambriums in der Salt Range (Pakistan)*, Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz. *Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse*, 10: 373–399.
- Seildiher. A. 1967. Bathypetry of trace fossils. *Marine Geology*, 5: 413–43.
- Seilacher A. 1970. Cruziana stratigraphy of 'non-fossiliferous' Palaeozoic sandstone. In: Crimes T.P. Harper J.C. (Eds.), *Trace Fossils, Geological Journal Special Issue*, 3: 447–476.
- Seilacher A. 1985. Trilobite palaeobiology and substrate relationships. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 76: 231–237.

Archive of SID