

اثر فسیل سیرکولایکنوس و دیگر اثر فسیل‌های پاره سازند پنجم میلاد در برش تویه- دروار، البرز خاوری

نصراله عباسی^{۱*} و رضا اهری پور^۲

^۱دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۲استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

چکیده

سازند میلاد در برش منطقه تویه- دروار در باختر دامغان از پنج پاره سازند تشکیل شده است. پاره سازند پنجم شامل توالی شیل‌های آهکی، سنگ‌آهک و شیل‌های سبز زیتونی است. اثر فسیل‌های یافت شده در این پاره سازند شامل *Cruziana problematica*, *Gordia isp.*, *Helminthopsis abeli*, *Helminthopsis tenuis*, *Palaeophycus striatus*, *Planolites beverleyensis*, *Psammichnites gigas* و *Scolicia strozzii* است. اثر فسیل *Circulichnis montanus* در افق‌های بالایی پاره سازند پنجم فراوان است و ساختمان لوله‌ای شکل و گرد دارد. این اثر فسیل به عنوان ساختمان تغذیه‌ای توسط جانوران کرمی اثر ساز با بدن انعطاف‌پذیر و با رفتار تکاملی پیشرفته‌تر ایجاد شده است. این اثر فسیل در رخساره‌های تکراری نهشته‌های ریزدانه گسترش دارد و به نظر می‌رسد، با واحدهای سنگی حدواسط نهشته‌های توریدایتی ارتباط دارد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

سیرکولایکنوس

اثر فسیل

سازند میلاد

اردوویسین

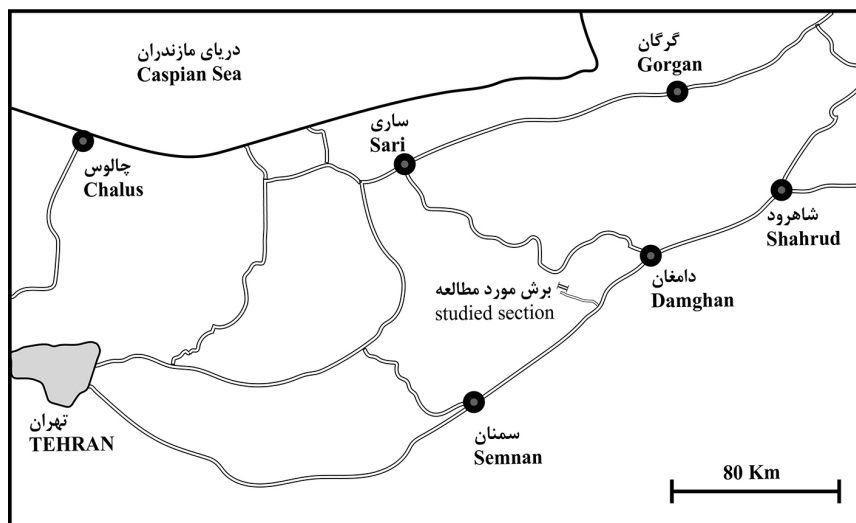
البرز

۱- پیش‌نوشتار

انتظار می‌رود، در بسیاری از سنگ‌های رسوبی به نوعی اثر فعالیت‌های زیستی یا همان ساخت‌های زیست‌زادی (biogenic structures) یافت شود. فراوانی، تنوع و تغییرات اثر فسیل‌ها در رخساره‌های رسوبی به شرایط زیستی موجود در هنگام رسوبگذاری بستگی دارد. بی‌شک، بخشی از اولین جانداران که بر روی زمین ظاهر شدند منش زیستی کفزی داشته‌اند و ارتباط آنها با بستر رسوبی بیشتر بوده است. این ارتباط می‌توانسته برای تأمین نیازهای جانور مانند غذا، مسکن یا حرکت و غیره بوده باشد. فعالیت زیستی جانداران این قابلیت را دارد که اثری از آن فعالیت بر روی رسوب یا در داخل لایه‌های رسوبی باقی بگذارد و در واقع ساخت رسوبی ایجاد شده بعنوان اثر فسیل‌ها (trace fossils) یا ایکنوفسیل‌ها (ichnofossils) شناخته می‌شود. در دیدگاه تخصصی‌تر دیرینه‌شناسی مطالعه ساختاری اثر فسیل‌ها، دیرینه‌شناسان را در شناخت جزئیات ساختمان اثر فسیل و نوع و تکامل رفتاری جانوران اثر ساز (trace-makers) یاری می‌دهد.

سازند میلاد به سن کامبرین میانی تا اردوویسین پیشین از تنوع سنگ‌شناسی و فسیل‌شناسی برخوردار است (Stöcklin et al., 1964) و برخی از واحدهای سنگی آن از نظر داشتن اثر فسیل، قابل توجه هستند (عباسی، ۱۳۸۹). دو اثر فسیل پلاتولیتس-پالئوفیکوس در پاره سازند پنجم سازند میلاد در البرز

خاوری و دیگر سازندهای ایران میانی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است و این دو اثر فسیل از نظر نحوه ایجاد توسط اثرسازها مورد ارزیابی قرار گرفته است (بایت‌گل و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین بایت‌گل و همکاران (۱۳۹۴) با لحاظ پاره سازند پنجم سازند میلاد به عنوان سازند لشگرک به وجود اثر فسیل‌هایی همچون ماکارونچنیوس، دیلوکراتریون و ژئوفیکوس اشاره نموده‌اند. در طی بازدید و پیمایشی که از سازند میلاد در برش تویه- دروار واقع در باختر دامغان در البرز خاوری انجام پذیرفت (شکل ۱)، به مجموعه اثر فسیل متنوع در پاره سازند پنجم این سازند برخورد شد. در میان این اثر فسیل‌ها، اثر فسیل سیرکولایکنوس (*Circulichnis*) در بالاترین افق‌های این پاره سازند به فراوانی یافت شد. ویژگی خاص این اثر، داشتن ساختمان حفاری لوله‌ای شکل کاملاً گرد است که بررسی آن، چه از نظر چگونگی ایجاد و چه از نظر تکامل رفتار جانور اثرسازی مورد توجه می‌باشد. هدف از ارائه این مقاله، بحث و بررسی تخصصی یک اثر فسیل معین یعنی سیرکولایکنوس است. همچنین معرفی مجموعه اثر فسیل‌های یافت شده در پاره سازند پنجم سازند میلاد در برش مورد مطالعه و بحث و بررسی سیستماتیک و ساختاری سیرکولایکنوس و ارزیابی آن در روند تکاملی اثر فسیل‌ها در طی گذر کامبرین- اردوویسین از اهداف مطالعه حاضر است.



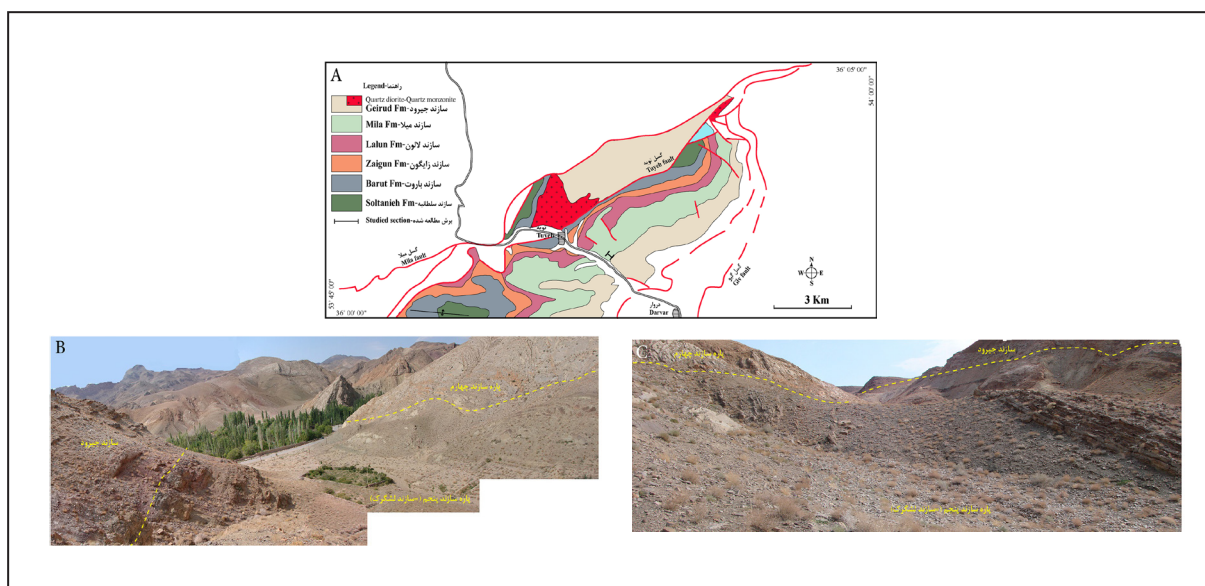
شکل ۱- نقشه راه‌های دسترسی به برش مورد مطالعه در منطقه دامغان.

۲- روش مطالعه

مطالعه حاضر در دو بخش پیمایش‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی انجام پذیرفت. در پیمایش صحرایی، لایه به لایه رخنمون توالی مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. برداشت‌های لازم شامل ویژگی‌های سنگ‌شناسی رسوبی، ساختمان‌های فیزیکی و زیستی، ارتباط واحدهای سنگی با هم و سطح چینه‌بندی انجام پذیرفت. نمونه‌های اثر فسیل به طور ویژه مورد توجه قرار گرفتند به نحوی که موقعیت و نوع حفظ‌شدگی اثر فسیل در لایه رسوبی، فراوانی، ارتباط با دیگر اثر فسیل‌ها در صورت وجود مورد توجه بود. عکسبرداری لازم صحرایی انجام پذیرفت و در صورت قابلیت نمونه‌برداری نمونه‌هایی برداشت شدند. تعداد ۲۰ نمونه اثر فسیل جهت مطالعات بیشتر برداشت شدند. در آزمایشگاه نمونه‌های اثر فسیل مورد بررسی دقیق انجام گرفت و از نظر سیستماتیک تشخیص داده شدند. عکس‌های برداشت شده در صحرا و آزمایشگاه با استفاده از نرم‌افزارهایی چون فوتوشاپ و ادوب الیستور (adobe illustrator)، ویرایش شده و تصاویر مورد نیاز تهیه شد.

۳- چینه‌نگاری برش مورد مطالعه

برش مطالعه شده در ۲۰ کیلومتری باختر دامغان و در چهار کیلومتری شمال روستای دروار و یک کیلومتری جنوب روستای تویه قرار دارد. به دلیل تأثیر پی در پی گسل‌ها، با ماهیت راندگی، مانند گسل گیو، گسل تویه و گسل میلا، زمین‌های پالئوزوئیک در پیرامون روستاهای تویه و دروار رخنمون یافته‌اند (شکل A - ۲). نهشته‌های پالئوزوئیک در این رخنمون‌ها شامل سازندهای سلطانیه، باروت، زاگون، لالون، میلا و جیروود است. سازند جیروود به طور ناپیوسته توسط سازند الیکا به سن تریاس پوشیده می‌شود و رخنمونی از رسوبات پرمین در منطقه تویه - دروار دیده نمی‌شود. سازند میلا در منطقه تویه - دروار که در نزدیکی میلاکوه قرار دارد، همانند برش الگو از پنج پاره سازند تشکیل شده است. پاره سازند پنج از توالی شیل‌های سبز تا خاکستری و میان لایه‌های آهک شیلی و آهک متورق تشکیل شده است (شکل B - ۲). واحدهای سنگی پاره سازند پنج سازند میلا در برش برداشت شده عبارت است از (از بالا به پایین) (شکل ۳):



شکل ۲- (A) نقشه زمین‌شناسی نهشته‌های پالئوزوئیک منطقه تویه - دروار (نقشه پایه بر اساس سعیدی و اکبرپور ۱۳۷۱؛ با تغییرات) (B-C) رخنمون پاره سازند پنجم سازند میلا در برش مورد مطالعه (B) دید به سوی باختر و C دید به سوی خاور).

توالی لایه‌های قرمز تخریبی و شیل (قاعده سازند جبرود- دونین)

مرز بالایی: ناپیوسته و فرسایشی

ستبرای: ۷۷ متر

f- توالی تکراری از شیل و شیل‌های آهکی و آهک نازک لایه متورق، به رنگ سبز زیتونی و خاکستری، به طور نسبی ضخیم لایه شونده به طرف بالا، دارای اثر فسیل (۷ متر).

e- شیل سبز متورق، فرسایش یافته (۴۳ متر).

d- سنگ آهک نازک لایه قهوه‌ای با سطوح چین‌بندی موجی و توالی شیل متورق به رنگ سبز زیتونی، نازک لایه شونده به طرف بالا، دارای اثر فسیل (۷ متر).

c- سنگ آهک متوسط لایه اینتراکستیک خاکستری (۱ متر).

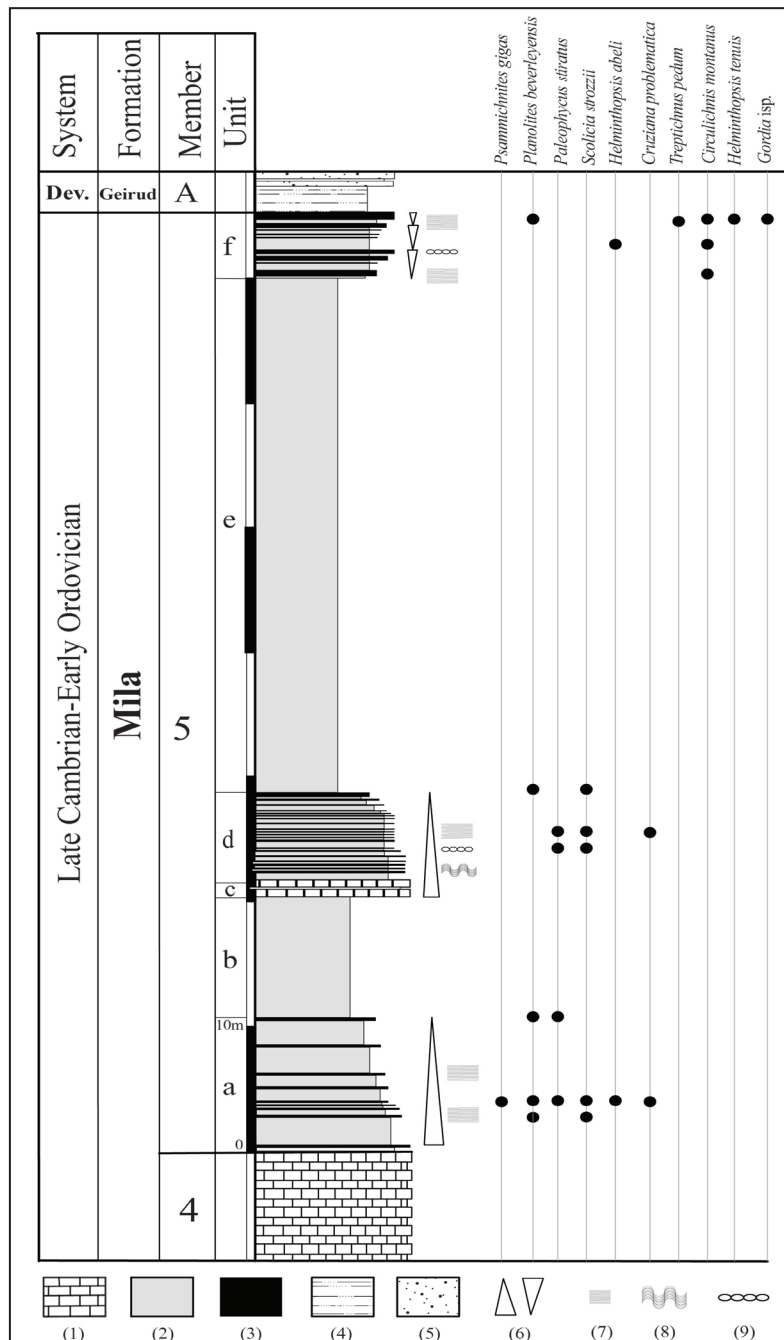
b- شیل سبز زیتونی یکنواخت (۸ متر).

a- توالی شیل سبز زیتونی، شیل آهکی نازک لایه متورق، دارای اثر فسیل (۱۲ متر).

مرز زیرین: هم شیب و ناپیوسته با پاره سازند چهارم سازند میلا.

سن: اردوئین پیشین.

در برش الگوی سازند میلا، پاره سازند پنج به ستبرای ۱۲۹ متر با یک لایه کوارتزیتی خاکستری مترکم (به ستبرای ۴۷ متر) شروع می‌شود. در برش تویه- دروار لایه کوارتزیتی قاعده‌ای مشاهده نشد. ادامه این پاره سازند در برش الگو از توالی شیل سبز سیلتی با میان لایه‌های ماسه‌سنگ قهوه‌ای است (Stöcklin et al., 1964). سن پاره سازند پنجم در میلاکوه بر اساس محتوای فسیلی اردوئین پیشین (ترمادوسیون) می‌باشد (Kushan, 1973; Kebria-ee Zadeh et al., 2015).



شکل ۳- ستون چینه‌شناسی پاره سازند پنجم سازند میلا در برش تویه - دروار و پراکنش اثر فسیل‌ها در این ستون. راهنما: (۱) سنگ آهک، (۲) شیل، (۳) شیل آهکی، (۴) سیلتستون، (۵) ماسه‌سنگ، (۶) نازک/ستبرالایه شونده به طرف بالا، (۷) لایه‌بندی متورق، (۸) لایه‌بندی موجی، (۹) ساخت بودین.

تشخیص داده شدند. در اینجا بر اساس عمومی بودن یا کمیاب بودن اثر فسیل‌ها، آنها را در دو دسته اثر فسیل‌های عمومی و اثر فسیل *Circulichnis montanus* معرفی می‌شوند.

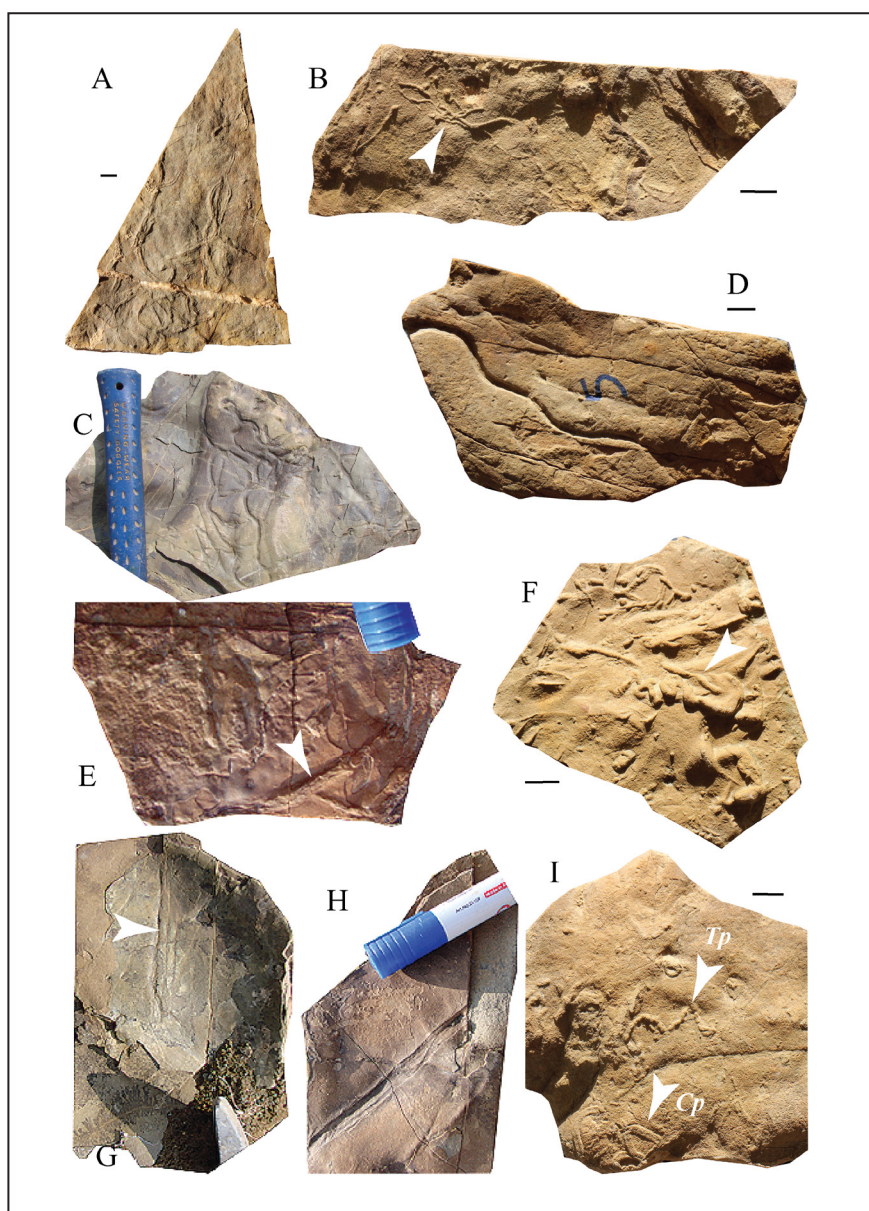
الف- اثر فسیل‌های عمومی (شکل ۴):

Cruziana problematica: شامل اثر فسیل خزشی-چرشی (*Pascichnia*) است که به صورت برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی حفظ شده‌اند. اثرها به شکل آثار خزش دو لبی مستقیم تا پر پیچ و خم و به پهنای ۳ تا ۵ میلی‌متر هستند. این خزش‌ها با رسوباتی همجنس با سنگ میزبان پر شده و روی هم افتادگی نیز نشان می‌دهند.

این در حالی است که در کوه خرباش در شمال ده ملا (خاور دامغان) سن لایه‌های رأسی سازند میلا بر اساس محتوای پالینومورف به سن کامبرین پسین تعیین شده است (Ghavidel-Syooki, 2006). نبود زمین‌های اردوویسین و حذف پاره سازند پنج سازند میلا در برخی مناطق گزارش شده است (Kushan, 1973) و بنا به توصیه کمیته ملی چینه‌شناسی پاره سازند پنجم از سازند میلا حذف و همه زمین‌های اردوویسین البرز-آذربایجان سازند لشگرک تلقی شوند (آقاباتی، ۱۳۸۳).

۴- توصیف اثر فسیل‌ها

در میان مجموعه اثر فسیل‌های یافت شده در برش مورد مطالعه اثر فسیل‌های زیر



شکل ۴- اثر فسیل‌های پاره سازند پنجم سازند میلا در برش تویه- دروار. (A *Cruziana problematica* (B *Gordia isp* (C *Helminthopsis abeli* (D *Helminthopsis tenuis* (E *Palaeophycus striatus* (F *Psammichnites gigas* (G *Scolicia strozzii* (H *Planolites beverleyensis* (I *Treptichnus pedum* (Tp) و *Cruziana problematica* (Cp) مقیاس‌های خطی برابر یک سانتی‌متر هستند.

ب- اثر فسیل سیرکول ایکنوس (*Circulichnis*):

سیستماتیک اثر فسیل سیرکول ایکنوس به شرح زیر است (شکل ۵).

Ichnogenus Circulichnis Vialov, 1971

گونه الگو: *Circulichnis montanus* Vialov, 1971 (بر اساس تک الگوی (monotypy)

مشخصه (diagnosis): اثر حلقه سیلندری افقی تقریباً گرد تا بیضوی (اصلاح شده توسط Uchman and Rattazzi, 2017).

Ichnogenus Circulichnis montanus Vialov, 1971

تعداد نمونه: ۱۱ اثر که در شش نمونه قرار داشتند و نمونه‌برداری شدند.

مشخصه: حفاری‌های لوله‌ای یا سیلندری افقی به شکل گرد یا بیضوی ممتد و منظم است.

توصیف: اثرهای لوله‌ای حلقوی شکل و گرد و منفرد هستند که به صورت افقی و برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی حفظ شده‌اند. سطح لوله‌های حفاری صاف و در موارد با ناهمواری همراه است. یکی از نمونه‌ها لوله حفاری به صورت منقطع است. رسوب پرکننده حفاری‌ها با رسوب سنگ میزبان یکسان است. در بیشتر نمونه‌ها قطر لوله حفاری ثابت است ولی در برخی اندکی تغییر می‌کند. قطر کلی اثر در تمام نمونه‌ها ثابت است و نامنظمی دیده نمی‌شود. تنها در یکی از نمونه‌های زائده‌ای انشعابی به سمت داخل دیده می‌شود. میانگین قطر کلی اثر برابر میلی‌متر و میانگین قطر لوله حفاری ۴ میلی‌متر است. اثر فسیل *Gordia marina* همراه این اثرها مشاهده شد.

بحث سیستماتیک: در ابتدا ویالوف اثر جنس سیرکول ایکنوس را با املائی *Circulichnis* معرفی نمود و مشخصه آن را خزش یا حفاری‌های حلقوی اغلب به شکل گرد (یا بیضوی) که تنها از یک حلقه تشکیل شده است، بیان داشت (Vialov, 1971). از آنجا که املائی *Circulichnis* به لحاظ گرامر زبان لاتین و طبق قواعد نوشتاری نامگذاری جانوری ICZN درست نبوده است، املائی این اثر جنس به *Circulichnus* تغییر یافت (Keighley and Pickerill, 1997). با این وجود، در برخی از نوشته‌های اخیر به دلیل تلفی *Circulichnus* به عنوان نامگذاری مترادف موضوعی (objective synonymy) همان املائی اولیه *Circulichnis* را معتبر دانسته‌اند یا به کار برده‌اند (مثلاً Uchman and Rattazzi, 2019; Toom et al., 2019). Buatois et al., 2017). در اینجا، از نوشتار *Circulichnis* به استفاده شد. در تعیین مشخصه این اثر فسیل نیز اتفاق نظر وجود ندارد. زیرا این مشخصه به زبان روسی بوده است و در ترجمه واژگان مورد استفاده توسط Vialov (1971) در مشخصه به معانی مختلف در زبان انگلیسی ترجمه شده است. مولف این اثر جنس مشخصه را به زبان روسی به این صورت بیان داشته است (Vialov, 1971): «Кольцевой след почти круглой (или овальной) формы, образованы одним валиком» که معنی واژه به واژه آن در زبان انگلیسی «An almost round or oval (annular track formed by one bead)» است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود چگونگی ایجاد این اثر، حرکت (след = track) در ترجمه ساده است و می‌توان ماهیت خزشی (trail) یا حفاری (burrow) را از آن برداشت نمود (Keighley and Pickerill, 1997). این برداشت‌های متفاوت در نحوه ایجاد، ماهیت استراتونومی متفاوت آن را نیز نشان خواهد داد. در حالت خزش، اثر به صورت فرورفته در سطح بالایی لایه است و در حالت حفاری، موقعیت اثر می‌تواند در درون رسوب یا میان دو سطح لایه‌بندی باشد.

در ابتدا، اثر جنس *Circulichnis* با یک اثر گونه *Circulichnis montanus* معرفی شد (Vialov, 1971). در سال‌های بعد، اثر گونه‌های *C. spiralis* و *C. ngriensis* از کشور چین معرفی شدند و در واقع هیچ یک معتبر نبوده و همه ریختی از حفظ‌شدگی اثر جنس *Gordia* هستند (Uchman and Rattazzi, 2019). اثر گونه معتبر دیگر سیرکول ایکنوس، اثر گونه *Circulichnis ligusticus* است و به دلیل نامنظم بودن در حفاری‌های گرد از اثر گونه *Circulichnis montanus* متمایز می‌شود.

Gordia isp.: این اثر فسیل تنها در واحد سنگی ششم یافت شد که به صورت خزش لوله‌ای نازک و نخ مانند است که پر پیچ و خم بوده و با روی هم افتادگی است. قطر لوله‌ها ۲ میلی‌متر است. رسوبات پرکننده هم جنس رسوبات میزبان است.

Helminthopsis abeli: هلمنتوپسیس اثر فسیل شناخته شده‌ای در بیشتر توالی‌های رسوبی است. در این توالی به صورت خزش مآندری و پیچ و خم‌دار در سطوح چین‌بندی است. پیچ و خم‌ها به صورت فشرده تا باز هستند. قطر خزش‌ها ۵ تا ۷ میلی‌متر است. برخی از اثرها به صورت فرورفته در سطح بالایی رسوب یا لوله‌ای برجسته در سطوح زیرین یا بالایی رسوب هستند. تنها دو نمونه در واحد سنگی یک و شش مشاهده شد.

Helminthopsis tenuis: این اثر فسیل با داشتن پیچ و خم‌های باز از دیگر اثر گونه‌های هلمنتوپسیس شناخته می‌شود. تنها یک نمونه یافت شده در واحد سنگی ششم توالی مورد مطالعه به صورت اثر مآندری با پیچ و خم‌های باز است و فرورفته در سطح بالایی لایه رسوبی حفظ شده است. طول موج حرکت مآندری در این اثر ۳۰ میلی‌متر است. پهنای اثر ۳ تا ۵ میلی‌متر می‌باشد.

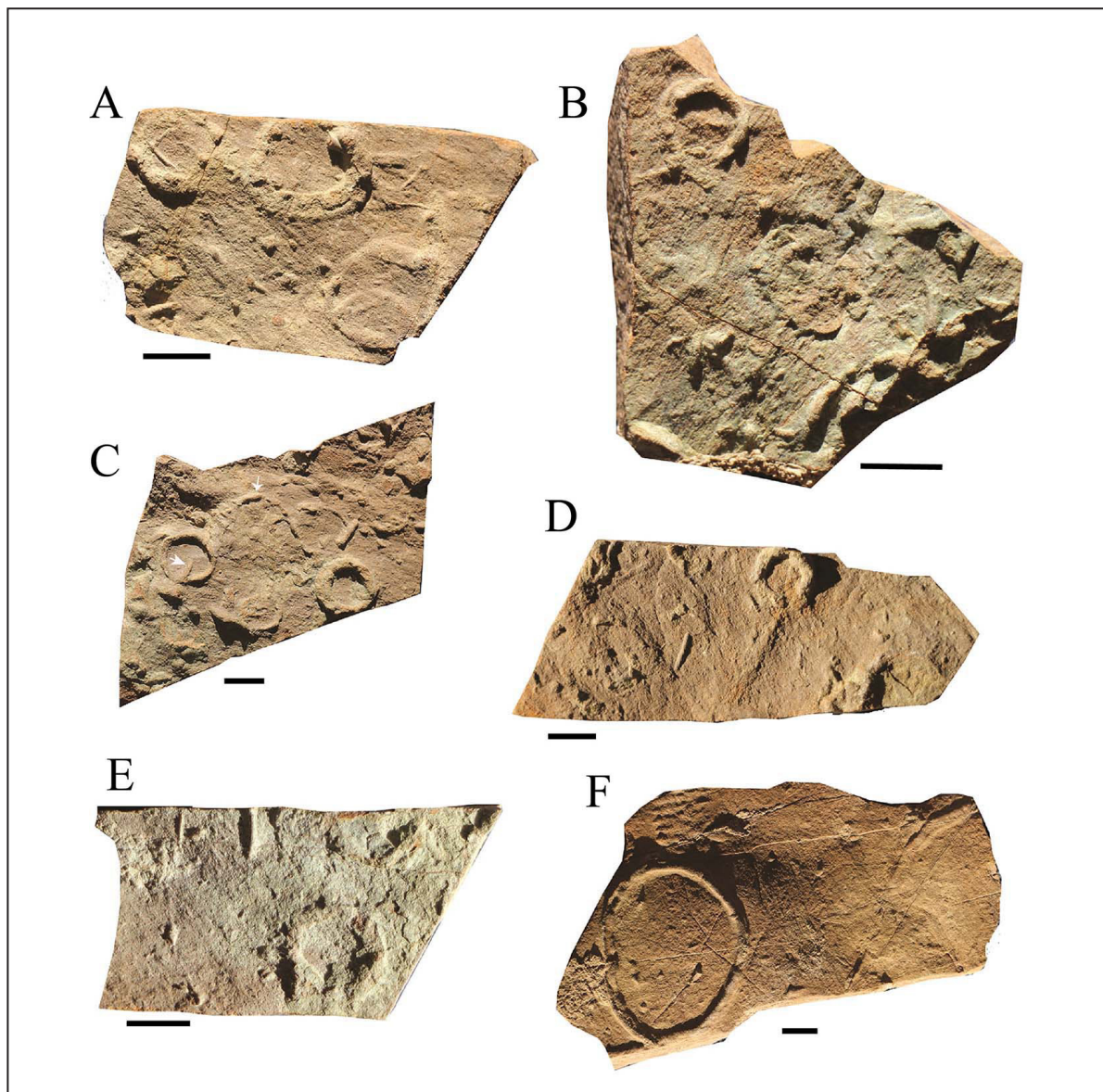
Palaeophycus striatus: حفاری‌های لوله‌ای شکل به نسبت ستر هستند. سترای حفاری ۵ تا ۱۰ میلی‌متر است. فراوانی و تراکم این اثر فسیل به نسبت زیاد است. رسوبات پرکننده از نظر رنگ یا قطر دانه متفاوت با رسوبات پیرامون است. در نمونه‌های فرسایش یافته، دیواره مشخص با رسوبات میزبان دارند. ویژگی مشخص این اثر فسیل، وجود خطواره‌های نامنظم در سطح اثر است که سطح آن را ناهموار جلوه می‌دهد. این نمونه به تعداد ۱۰ عدد در واحدهای سنگی اول و چهارم توالی مورد مطالعه یافت شد.

Planolites beverleyensis: این اثر فسیل به صورت حفاری‌های لوله‌ای شکل در سطح یا درون رسوبات هستند. قطر حفاری در طول اثر ثابت و برابر ۳ تا ۵ میلی‌متر هستند. بیشینه طول این اثر ۲۰ سانتی‌متر دیده شد. حفاری به صورت پیچ و خم‌دار تا مستقیم هستند. رسوبات پرکننده حفاری همجنس با رسوبات سنگ میزبان است. سطح اثر صاف و بدون هرگونه تزئینات می‌باشد. آستر بندی یا دیواره در جدار اثر وجود ندارد. روی هم افتادگی (cross-cutting) یا قطع‌شدگی به صورت لوپ مشاهده نشد. تعداد این اثر پنج نمونه می‌باشد و در لایه‌های مختلف توالی مورد مطالعه یافت شدند.

Psammichnites gigas: خزش‌های دولبی هستند که شیار میانی آنها را از هم جدا می‌کند. این اثر در نگاه نخست مشابه اثر فسیل اسکولیسیاست ولی تفاوت بارز آن وجود اثرهای شیار عرضی است. پهنای این اثر ۲۰ میلی‌متر می‌باشد. در بخش کوچکی از اثرها که سطح فرسوده دارند، خراش‌ها و خطواره‌های عرضی قابل مشاهده‌اند.

Scolicia strozzii: این اثر فسیل فراوان‌ترین اثر فسیل در پاره سازند پنج سازند میلا در برش مورد مطالعه است و به تعداد بی‌شمار در واحدهای سنگی اول و به ویژه چهارم یافت شد. اثر فسیل اسکولیسیا به صورت خزش نواری دو بانده با برجستگی میانی در سطح بالایی لایه می‌باشد. پهنای دو باند اثر برابر است هر چند در برخی نمونه‌ها محل برجستگی متغیر است و ممکن است این برجستگی منقطع باشد. در نمونه‌ای، برجستگی میانی جای خود را به یک اثر لوله میانی می‌دهد. فرورفتگی و گودی اثرها اندک و در حد ۲ تا ۳ میلی‌متر است. لبه‌های دو طرف اثر مشخص و به موازات هم است. قطر اثر ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. در حفظ‌شدگی در سطح زیرین به صورت برجستگی دو لبی با شیار میانی است.

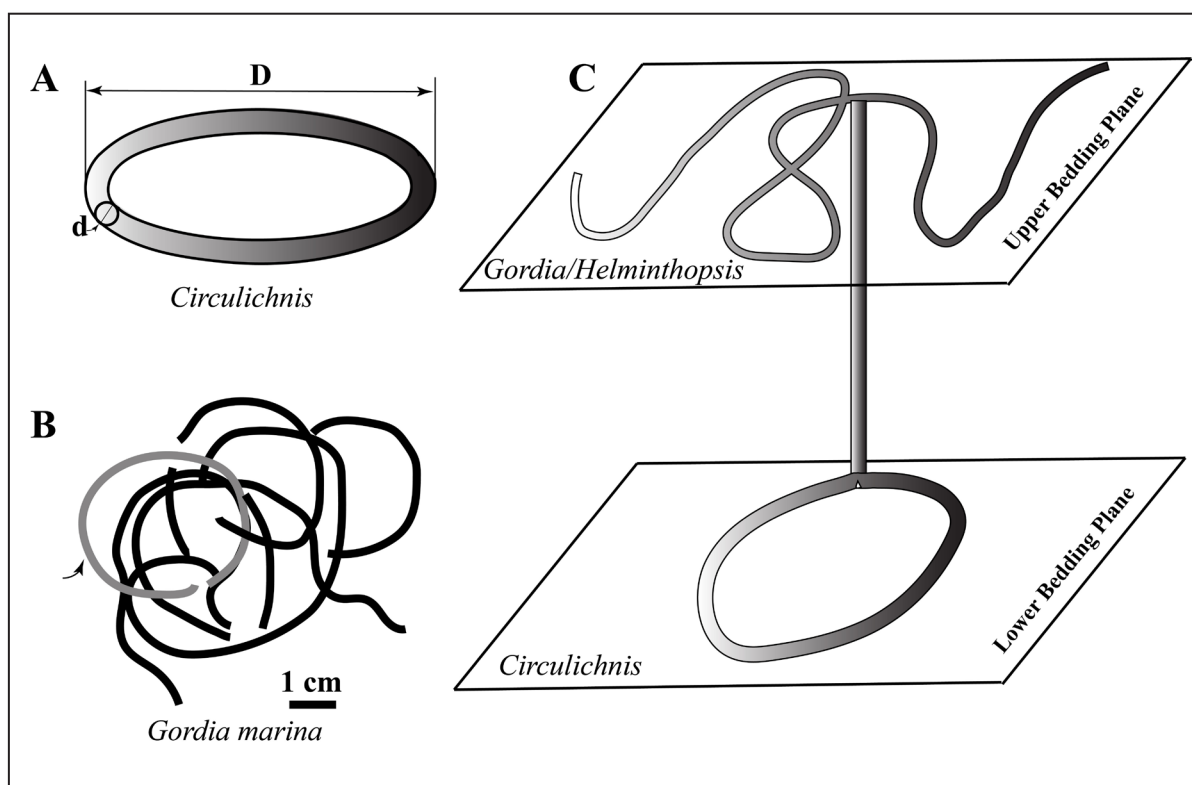
Treptichnus pedum: این اثر فسیل ظاهری مانند کوک خیاطی دارد و از قطعات حفاری پی در پی کوتاه تشکیل شده است. حفاری‌ها در یک مسیر مستقیم، خمیده یا گرد و در یک سمت یا یک در میان به صورت چپ و راست هستند. در نمونه یافت شده حفاری از قطعات کوچک در یک مسیر پیچ و خم است. طول هر قطعه ۳ تا ۵ میلی‌متر است. جهت حفاری‌ها در یک سو یا در راستای مسیر حفاری هستند.



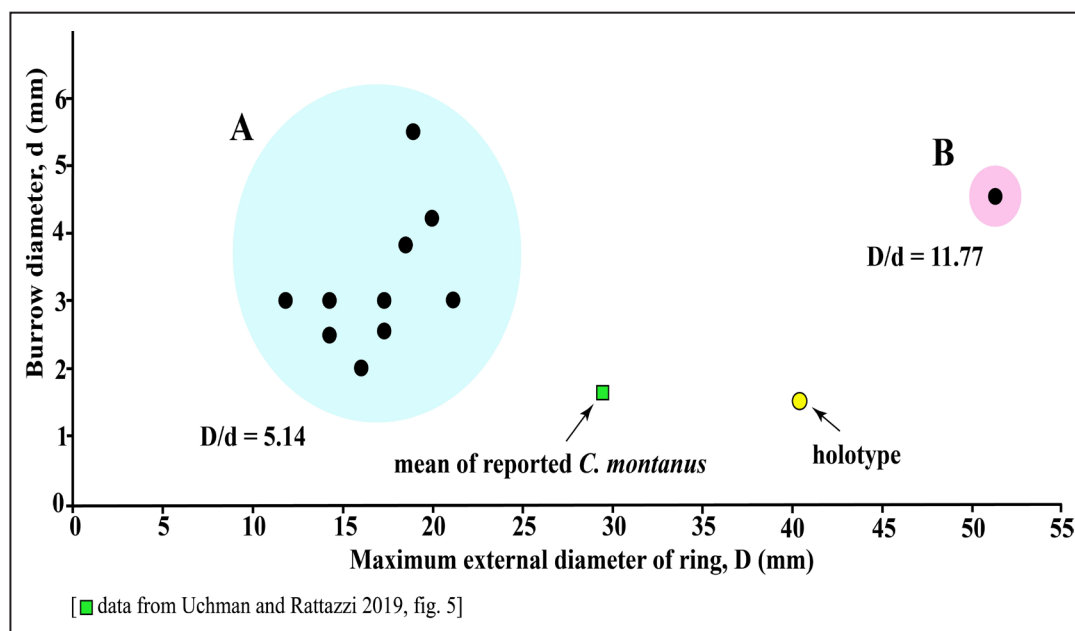
شکل ۵- (A-F) اثر فسیل *Circulicchnis montanus* از لایه‌های بالایی پاره سازند پنجم سازند میلا در برش تویه- دروار. نمونه C همراه با اثر *Helminthopsis* و یک زائده در داخل حلقه حفاری (پیکان‌ها)، نمونه F نسبت به دیگر نمونه‌های یافت شده ابعاد بزرگ‌تری دارد. مقیاس‌های خطی برابر یک سانتی متر هستند.

به موقعیت حفاری سیرکول ایکنوس نیاز به حفاری مسیری برای دسترسی به آن دارد. Uchman and Rattazzi (2019) همراهی اثر فسیل‌های گوردیا و هلمینتوپسیس (*Helminthopsis*) در بیشتر گزارشات با اثر فسیل سیرکول ایکنوس را مورد توجه قرار داده‌اند. ایشان اثر سیرکول ایکنوس را جزئی از ساختار کنکاش و جستجوی اثر فسیل‌های گوردیا و هلمینتوپسیس دانسته به نحوی که جانور در ادامه حفاری سطحی و از طریق دهلیز لوله‌ای قائم به درون رسوب یا سطح میان دو رسوب نفوذ کرده و اثر حلقوی سیرکول ایکنوس را برجای گذاشته باشد (شکل ۶- C). این نوع ساختار در حد فرضیه بوده زیرا در هیچ یک از گزارشات زائده حفاری قائم همراه با سیرکول ایکنوس بیان نشده است. نمونه‌های یافت شده از سازند میلا را می‌توان از نظر اندازه در دو گروه طبقه‌بندی نمود: گروه اول که بیشتری فراوانی را دارد شامل سیرکول ایکنوس‌هایی است که قطر حلقه نسبتاً کوچک و لوله ستبر دارند و نسبت قطر حلقه به قطر لوله برابر ۵/۱۴ است. گروه دوم که تنها یک نمونه را شامل است قطر حلقه بزرگ و لوله نازک دارد و نسبت قطر حلقه به قطر لوله برابر ۱۱/۷۷ است. پراکنش این نسبت‌ها در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است.

تفسیر ساختاری: گام نخست در شناسایی دقیق ساختمان اثر فسیل‌ها، توجه آنها نسبت به سطوح چینه‌بندی است. در توصیف اولیه اثر فسیل سیرکول ایکنوس موقعیت و حفظ‌شدگی نسبت به سطح چینه‌بندی زیرین یا بالایی، نامشخص است. هر چند که در بیشتر گزارشات آن را به صورت برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی (*convex hyporelief*) بیان داشته‌اند، ولی حفظ‌شدگی به صورت فرورفته در سطح بالایی رسوب نیز گزارش شده است (Keighley and Pickerill, 1997). همانطور که اشاره شد، سیرکول ایکنوس یک اثر با ساختمان لوله‌ای حلقه‌ای است (شکل ۶- A). دست یابی به ساختمان سه بعدی سیرکول ایکنوس نیازمند تهیه برش‌های پی در پی از آن است. در نمونه‌های گزارش شده سطح آن صاف و بدون هر نوع آرایشی است ولی ممکن است نامنظم، منقطع یا با یک زائده کوچک همراه باشد. در مواردی اثرهای روی هم افتادگی اثر فسیل گوردیا (*Gordia*) ممکن به عنوان اثر فسیل سیرکول ایکنوس تلقی و توجه گردد و زائده کوچک، همان لوله حفاری گوردیا می‌تواند باشد (شکل ۶- B). چگونگی ایجاد یک حفاری گرد و حلقوی منفرد توسط جانور کرمی شکل مورد توجه و پرسش است. به هر ترتیب جانور برای رسیدن



شکل ۶- (A) ساختار اثر فسیل؛ (B) *Circulichnis* ساختمان اثر فسیل *Gordia marina*، ممکن است بخش‌های گرد این اثر فسیل (مانند حلقه نشان داده شده با پیکان) با *Circulichnis* اشتباه شود؛ (C) ساختمان تفسیری *Circulichnis*، که در بخش بالایی لایه ممکن است اثر فسیل *Gordia* یا *Helminthopsis* با و نفوذ اثر ساز به داخل لایه رسوبی به صورت *Circulichnis* در سطح زیرین لایه‌بندی باقی‌مانده باشد.



شکل ۷- پراکنش اثر فسیل‌های *Circulichnis montanus* در نمودار قطر حلقه حفاری - قطر لوله حفاری و جایگاه نمونه الگو (holotype) و میانگین ابعادی در گزارشات پیشین، (A) تغییرات D/d در بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه؛ (B) تنها یک نمونه با قطر حفاری متمایز و درشت‌تر از دیگر نمونه‌های یافت شده در توالی مورد مطالعه.

تعداد تنوع زیستی در کامبرین است. به عبارت دیگر بایستی رخدادهای زیستی زمان کامبرین را زمینه ساز افزایش تنوع زیستی اردوویسین با نرخ بالا دانست. با این حال حوادث غیر زیستی رخ داده در طی اردوویسین نیز تأثیر به سزایی در تکثیر زیستی این زمان داشته است.

بخش‌های مختلف سازند میلا با وجود رخساره‌های سنگی گوناگون، در محیط‌های رسوبی گوناگون ته‌نشست شده‌اند.

بخش اول سازند میلا در همین برش شه‌میرزاد توسط Noike et al. (2007) و Kangi et al. (2009) مورد بررسی قرار گرفته است. به عقیده این افراد لایه‌های زرد این بخش از سازند میلا که بیشتر از دولوستون استروماتولیتی و جلبکی ترکیب یافته است، در یک محیط قاره‌ای با شرایط خشک نهشته شده است.

به عقیده لاسمی و امین رسولی (۱۳۸۱)، واحد زیرین بخش دوم سازند میلا در برش تویه- دروار واقع در ۴۸ کیلومتری جنوب باختری دامغان در یک رمپ کم شیب با جزر و مد ضعیف (micro-tide) زیر نفوذ طوفان (storm-dominated) پدیده آمده‌اند. این تفسیر با بودن فسیل‌های دریای باز در تالاب، محدود بودن رخساره تالاب در دریای باز، تنوع کم فسیل تالاب و همچنین تغییر تدریجی رخساره‌های دریای باز به رخساره‌های پهنه‌های جزر و مدی در نظر گرفته شده است.

چنین شرایط رسوبگذاری در برش حسنکدر نیز گزارش شده است. نهشته سنگ‌های بخش ۲ سازند میلا در ناحیه حسنکدر از دو دسته رخساره‌ای وابسته به دوره های آرام و توفانی زیر محیط‌های پهنه جزر و مدی / ساحل، تالاب باز و سد ساخته شده‌اند. از میان زیر محیط‌های یاد شده، سترای رخساره‌های پهنه جزر و مدی و تالاب بیشتر است. بررسی مقدار دانه‌های سیلیسی آواری در رخساره‌های بخش ۲ سازند میلا نشان می‌دهد که ورود این دانه‌ها به پلاتفرم یاد شده در برش حسنکدر کمتر از برش الگو بوده است (مرشدیان و همکاران، ۱۳۸۵).

از آنجا که سنگ‌های تشکیل دهنده بخش پنج سازند میلا در برش تویه-دروار از رسوبات تخریبی و گل‌سنگ است و با توجه به رخساره سنگی و ساخت‌های همراه این لایه‌ها، این سنگ‌ها در بخش‌های عمیق دریا و در زیر محیط‌های بادن‌های دریایی و دشت حوضه‌ای نهشته شده‌اند و فعالیت‌های زمین‌ساختی در پیدایش رخساره‌های توریدیتی بخش ۵ سازند میلا نقش داشته‌اند (امیرسرداری و لاسمی، ۱۳۷۹). چنین وضعیتی نیز در رسوبات بخش ۵ سازند میلا در برش شه‌میرزاد مشاهده می‌شود. همانطور که در توضیح چینه‌شناسی این بخش آمد، لایه‌ها شامل توالی رخدادی بصورت لایه‌های تخریبی-کرناته تا شیلی و به صورت نازک‌لایه شونده و ریزدانه شونده به طرف بالا هستند. با عنایت به اینکه در زمان شروع اردوویسین فرایندهای زمین‌ساختی نواحی شمال شمال خاوری گندوانا رو به افزایش بوده است، بنابراین این لایه‌ها در طی جریان‌ات توریدیتی برجای مانده‌اند.

در پی خردشدگی ابرقاره پروتروزویک ردونیا (Rodinia) در طی کامبرین- اردوویسین موجب افزایش محیط‌های شلف با آب و هوای تروپیکال شده است (Servais et al., 2009). این تغییرات، تغییر ژئوشیمی آب‌های اقیانوسی و دریای آزاد را در پی داشته و موجب افزایش و تنوع منابع غذایی و در نتیجه افزایش تنوع زیستی گردیده است (Saltzman, 2005). با وجود چنین افزایشی، در انتهای اردوویسین انقراض جانداران و کاهش تنوع زیستی با شیب بسیار بالا رخ داده است که علت اصلی آن را حادثه یخچالی هیرنانتین (Hirnantian) در اردوویسین پسین است (Brenchley et al., 1994). از زمان کامبرین تا اردوویسین میانی روند رو به افزایش محیط‌های شلف با آب و هوای تروپیکال رخ داده است و بیشترین مساحت محیط‌های شلف تروپیکال در تاریخ زمین در اردوویسین بوده است (Servais et al., 2009) و در انتهای اردوویسین اولین انقراض مهم فانروزیئیک به وقوع پیوسته است.

به نظر می‌رسد عامل اصلی افزایش تنوع زیستی در اردوویسین در دسترس قرار گرفتن منابع غذایی جدید برای زیست‌مندان و از جمله جانوران اثرساز می‌باشد. در

تفسیر تکاملی: اثر فسیل‌ها از شواهد مناسب در بررسی تغییرات رفتاری و تکامل جانداران در طی تاریخ زمین هستند. تحقیقات گسترده‌ای در تغییر رفتار جانوران اثرساز اولیه در طی نئوپروتروزویک- کامبرین انجام یافته است (Crimes and Anderson 1985; Jensen et al. 2005; Mángano and Buatois 2020).

چه بسا نخستین زیست‌مندانی که بر روی کره زمین ظاهر شدن فاقد اندام‌های مناسب فسیل شدن بودند، بنابراین اثر فسیل‌ها، از شواهد مناسب برای ارزیابی و اثبات وجود حیات اولیه محسوب می‌شوند. این موضوع نشان از توانایی حرکت و جابه‌جایی اولین زیست‌مندان می‌باشد. به نظر می‌رسد، همگام با تکامل جانداران، رفتارهای زیستی آنها نیز تکامل یافته و این روند در اثر فسیل‌ها ثبت شده است (Crimes and Droser, 1992). البته بایستی توجه داشت که این موضوع، همانند دیگر فسیل‌ها به قابلیت فسیل شدن اثر رفتار جانور نیز بستگی دارد (Plotnick, 2012).

در طی ادیاکاردن، و به ویژه پس از دوره یخ‌بندان Varanger، نخستین اثر فسیل‌ها به صورت آثار حفاری ساده و لوله‌ای مستقیم (مانند *Planolites*) بودند و به تدریج به فرم‌های پیچ و خم‌دار سینوسی ساده تا ماندری پر پیچ و خم تغییر یافته‌اند (Crimes and Droser, 1992). توانایی جانوران اولیه اثرساز بر حرکت خمشی نشان دهنده تکامل رفتاری آنهاست و داشتن ساختمان بدنی با انعطاف‌پذیری کافی را نشان می‌دهد. بی‌شک، دستیابی به چنین قابلیت در جانوران اثرساز بی‌تأثیر از عوامل پالئوآکولوژیکی نبوده است. بنابراین ممکن است در رخساره‌های سنگی مختلف و در یک سن معین (در اینجا ادیاکاردن تا اردوویسین)، تنوع اثر فسیلی متفاوتی را فهرست نمود. اثر فسیل سیرکول ایکنوس در رسوبات زمان ادیاکاردن تا سنوزویک (Narbonne and Aitken, 1990; Fedonkin, 1988; Uchman and Rattazzi, 2019) و در محیط‌های مختلف رسوبی از دریایی عمیق تا قاره‌ای گزارش شده است که به همان فرم لوله‌ای گرد می‌باشد. پلی‌گات‌ها با داشتن بدن انعطاف‌پذیر در محیط‌هایی دریایی و گرم‌های حلقوی الیگوکات در محیط غیر دریایی از اثرسازهای سیرکول ایکنوس محسوب می‌شوند. اثر فسیل سیرکول ایکنوس به عنوان یک اثر تغذیه‌ای تفسیر می‌شود و در رفتار جانور اثرساز سیرکول ایکنوس حفاری کاملاً گرد تعریف شده است به نحوی که شروع و پایان حفاری یک نقطه است. چنین رفتاری نشان از پیشرفت جانور اثرساز از حالت حفاری لوله‌ای ساده یا لوله‌ای سینوسی به حفاری لوله‌ای و سیلندری کاملاً گرد است.

۵- بحث

در مطالعات تنوع زیستی گذشته زمین سه معیار برای بررسی ظهور و ایجاد تنوع در دسترس‌اند، که شامل فسیل‌های پیکره‌ای، فسیل‌های مولکولی و اثر فسیل‌ها هستند (Jensen et al., 2005). در هریک از این معیارهای یاد شده آنچه که مشترک است، رخداد هر تنوعی، مستلزم ظهور فرم‌های جدید است. بنابراین با رخداد یک ظهور انتظار تنوع زیستی نیز است ولی برای متنوع شدن لازم است که زمینه و شرایط زیستی و غیرزیستی (محیطی) مورد نیاز نیز فراهم باشد. طبق مدل‌های تنوع زیستی ظهور و ایجاد گونه نو در ابتدا با تغییرات ژنتیکی و تکثر و گوناگونی بانک ژنتیکی یک بوم زیست فراهم باشد. با این حال ممکن است تغییرات ژنتیکی ناشی از تغییرات محیطی رخ داده و به عبارت بهتر رخداد تنوع زیستی همراه با سازگاری در بوم می‌باشد. در پی گذر حوضه‌های رسوبی از کامبرین به اردوویسین، نرخ زایش گونه‌ها و تنوع زیستی به طور چشمگیری افزایش می‌یابد که این تنوع زیستی و زایش گونه‌های جدید در طی فانروزیئیک بی نظیر می‌باشد و از آن رخداد تنوع زیستی عظیم اردوویسین (The Great Ordovician Biodiversification Event-GOBE) یاد می‌نمایند (Webby et al., 2004; Harper, 2006). در پی چنین رخدادی انتظار می‌رود همگام با فسیل‌های پیکره‌ای، تنوع اثر فسیل‌ها را نیز افزایش قابل توجهی داشته باشد (Mángano et al., 2016).

آنچه که در این بحث‌ها مورد توجه است تنوع زیستی اردوویسین محصول ایجاد و

۶- نتیجه‌گیری

مطالعه توالی رسوبی پاره سازند پنجم سازند میلا و اثرشناسی اثر فسیل‌های آن در برش تویه- دروار نشان می‌دهد که اثر فسیل‌های گوناگونی در این پاره سازند یافت می‌شوند. این تنوع شامل ۱۰ اثر تاکساست که در میان آنها اثر فسیل *Circulichnis montanus* در لایه‌های بالایی سازند میلا جلب توجه می‌نماید. این اثر فسیل به صورت اثرهای لوله‌ای با ساختمان حلقوی است. با توجه به تغییر ساختار اثر فسیل‌ها در روند تکاملی رفتارهای زیستی اثرسازان، اثر فسیل سیرکول ایکنوس نشان‌دهنده تکامل رفتاری هم به صورت نفوذ در افق‌های رسوبی و هم حرکت خزشی کاملاً خمشی و گرد می‌باشد. این اثر فسیل به رفتار تغذیه‌ای جانور اثرساز مربوط است و یک محیط رسوبی توریدایتی ایجاد شده است. به نظر می‌رسد رخدادهای زمین‌ساختی و ایجاد زیست‌بوم‌های جدید با تکاملی رفتاری جانوران اثرساز همراه بوده است.

سپاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان از داوران علمی به دلیل تذکر نکات ارزشمند سپاسگزارند.

این راستا علت تغییر شرایط رسوبگذاری در نهشته‌های بالایی سازند میلا به سن اردوویسین را بایستی در تغییر شرایط تکتونیکی منطقه البرز نیز جستجو کرد. در زمان اردوویسین موقعیت البرز که جزیی از ایران میانی است، و متأثر از فرایند فروانش لبه فعال شمال خاوری گندوانیک بوده است (Horton et al., 2008). بایت‌گل و همکاران (۱۳۹۴) نهشته‌های پاره سازند پنجم سازند میلا (= سازند لشگرک) را با توجه به خصوصیات رخساره‌ای و زمین‌ریخت‌شناختی، به دو مجموعه رخساره دور از ساحل- حاشیه ساحلی تحت تأثیر امواج و خلیج دهانه‌ای تفکیک کرده است و به عنوان چرخه‌های پیشرونده-پسرونده ای در انطباق با سطح جهانی آب دریاها در طول اردوویسین در نظر گرفته‌اند. با این وجود به نظر می‌رسد با توجه به نوع رسوبات بخش پنجم سازند میلا در برش مورد مطالعه یا دیگر برش‌ها در ابتدای اردوویسین همچنان شرایط حاشیه فعال حاکم بوده و تبدیل حوضه رسوبی دریایی کامبرین بخش‌های دوم تا چهارم به حوضه رسوبی با رژیم جریانی رخدادی (توریدایت) شرایط اکولوژیکی جدیدی را برای زیست‌مندان فراهم نموده است که در نتیجه موجب گوناگونی زیست‌مندان و رفتارهای زیستی و در نهایت تکثیر و تنوع اثر فسیلی شده است.

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- امیرسرداری، د. و لاسمی، ی.، ۱۳۷۹- بررسی میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی عضو ۵ سازند میلاد البرز شرقی. چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارائه به صورت پوستر.
- بایت‌گل، ی.، عباسی، ن.، محبوبی، ا.، موسوی حریمی، ر. و امین‌رسولی، ه.، ۱۳۹۱- تحلیل رخساره و تفسیر محیطی اثر فسیل‌های پلاتولیتس و پالتوفیکوس از رسوبات پالئوزویک ایران میانی، علوم زمین، سال ۲۱، شماره ۸۵، ص ۱۸۵-۱۹۶.
- بایت‌گل، ی.، محبوبی، ا. و موسوی حریمی، ر.، ۱۳۹۴- محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های سیلیسی آواری سازند لشکرک در البرز مرکزی، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال سی و یکم، شماره پیاپی ۱۶، شماره چهارم، ص ۱-۳۲.
- سعیدی، ع. و اکبرپور، م. ر.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عباسی، ن.، ۱۳۸۹- ایکنولوژی آثار فسیل کامبرین پسین- اردوویسین در شمال شهرمیرزاد، استان سمنان، طرح پژوهشی دانشگاه زنجان، ۱۲۲ ص.
- لاسمی، ی. و امین‌رسولی، ه.، ۱۳۸۱- میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی نهشته‌های طوفانی در واحد زیرین بخش ۲ سازند میلاد، منطقه تویه- دروار (جنوب باختر دامغان)، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۲۸، شماره ۱، ص ۵۲-۳۳.
- مرشدیان، ع.، جهانی، د. و آقاباتی، ع.، ۱۳۸۵- تحلیل رخساره‌های کربناته بخش ۲ سازند میلاد ناحیه حسنکدر (البرز مرکزی- دره کرج)، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، صفحه ۱۹۲۲-۱۹۱۶.

References

- Brenchley, P. J., Marshall, D., Carden, A. F., Robertson, D. B. R., Long, D. G. F., Meidla, T., Hints, L. and Anderson, T. F., 1994- Bathymetric and isotopic evidence for a short-lived late Ordovician glaciation in a greenhouse period. *Geology*, 22: 295-298. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<0295:BAIEFA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<0295:BAIEFA>2.3.CO;2).
- Buatois, L. A., Wisshak, M., Wilson, M. A. and Mángano, M. G., 2017- Categories of architectural designs in trace fossils: A measure of ichnodisparity. *Earth-Science Review*, 164: 102-181. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.009>.
- Crimes, T. P. and Anderson, M. M., 1985- Trace fossils from Late Precambrian-Early Cambrian strata of Southeastern Newfoundland (Canada): temporal and environmental implications. *Journal of Paleontology*, 59: 310-343. <https://www.jstor.org/stable/1305031>.
- Crimes, T. P. and Droser, M. L., 1992- Trace fossils and bioturbation: The other fossil record. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 23: 339-60. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.002011>.
- Fedonkin, M. A., 1988- Paleoichnology of the Precambrian-Cambrian transition in the Russian Platform and Siberia. In: Landing, E., Narbonne, G. M., Myrow, P. (Eds.), *Trace fossils, small shelly fossils and the Precambrian-Cambrian boundary*. New York State Bull. 463, p. 12.
- 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. *Review of Palaeobotany and Palynology* 139, 81-95. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2005.07.006>.
- Harper, D. A. T., 2006- The Ordovician biodiversification: setting an agenda for marine life. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 232, 148-166. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.07.010>.
- Heydari, E., 2008- Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros mountains of Iran. *Tectonophysics*, 451: 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.046>.
- Horton, B. K., Hassanzadeh, J., Stochli, D. F., Axen, G. J., Gilis, R. J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M. D., Zamanzadeh, S. M., and Grove, M., 2008- Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Ectonophysics*, 451: 97-122. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.063>.
- Jensen, S., Droser, M. L. and Gehling, J. G., 2005- Trace fossil preservation and the early evolution of animals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220: 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2003.09.035>.
- Kangi, A., Aryaei, A. A. and Maasoomi, A., 2009- Synsedimentary deformations in member 2 of the Mila Formation in the Central Alborz Mountains, Northern Iran. *Arab. J. Geosci.*, 3: 33-39. <https://doi.org/10.1007/s12517-009-0044-2>.
- Kebria-ee Zadeha, M. R., Ghobadi Pourb, M., Popov, L. E., Baars, C. and Jahangird, H., 2015- First record of the Ordovician fauna in Mila-Kuh, eastern Alborz, northern Iran. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 64: 1-19. <https://doi.org/10.3176/earth.2015>.
- Keighley, D. G. and Pickerill, R. K., 1997- Systematic ichnology of the Mabou and Cumberland groups (Carboniferous) of western Cape Breton Island, eastern Canada, 1: burrows, pits, trails and coprolites. *Atlantic Geology*, 33: 181-115. <https://doi.org/10.4138/2068>.
- Kushan, B., 1973- Stratigraphie und trilobiten Fauna in der Mila-Formation (Mittelkambrium-Tremadoc) im Alborz-Gebirge (N-Iran). *Palaeontographica*, A144, 113-165.

- Mángano, M. G. and Buatois, L. A., 2020- The rise and early evolution of animals: where do we stand from a trace-fossil perspective? *Interface Focus*, 10: <https://doi.org/10.1098/rsfs.2019.0103>.
- Mángano, M. G., Buatois, L. A., Wilson, M. and Droser, M., 2016- The Great Ordovician Biodiversification Event. In: M. G. Mángano and L. A. Buatois (Editors) *The Trace Fossil Record of Major Evolutionary Events*, v. 1, Precambrian and Paleozoic 127-156. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9600-2_4.
- Narbonne, G. M. and Aitken, J. D., 1990- Ediacaran fossils from the Sekwi Brookarea, Mackenzie Mountains, northwestern Canada. *Palaeontology* 33, 945-980.
- Noike, K., Matsumoto, R., Gharaie, M. H. M., Yinxi, W., Salamati, R. and Matsuda, S. N., 2007- Carbon isotope anomaly of the "Yellow beds" in the Lower Cambrian Mila Formation in Shahmirzad, Alborz, northern Iran. *Jour. Sedimentological Society of Japan*, 64: 121-124. <https://doi.org/10.4096/jssj.64.121>.
- Plotnick, R. F., 2012- Behavioral biology of trace fossils. *Paleobiology* 38(3):459-473. <https://doi.org/10.1666/11008.1>.
- Saltzman, M. R., 2005- Phosphorus, nitrogen, and the redox evolution of the Paleozoic oceans. *Geology* 33: 573-576. <https://doi.org/10.1130/G21535.1>.
- Servais, T., Harper, D. A., Li, J., Munnecke, A., Owen, A. W. and Sheehan, P. M., 2009- Understanding the great Ordovician biodiversification event (GOBE): Influences of paleogeography, paleoclimatology, or paleoecology?, *GSA today*, 19(4/5): 4-10. <https://doi.org/10.1130/GSATG37A.1>.
- Stöcklin, J., Rüttner, A. W. and Nabavi, M. H., 1964- New data on the lower Paleozoic and pre-Cambrian of North Iran, Geological Survey of Iran, report no. 1, 29 p.
- Toom, U., Vinn, O. and Hints, O., 2019- Ordovician and Silurian ichnofossils from carbonate facies in Estonia: a collection-based review. *Palaeoworld*, 28: 123-144. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2018.07.001>.
- Uchman, A. and Rattazzi, B., 2019- The trace fossil *Circulichnis* as a record of feeding exploration: New data from deep-sea Oligocene-Miocene deposits of northern Italy. *Comptes Rendus Palevol*, 18: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2018.05.002>.
- Webby, B. D., Droser, M. L., Paris, F. and Percival, I. G., 2004- *The Great Ordovician Biodiversification Event*. Columbia University Press, New York. 484 pp.
- Vialov, O. S., 1971- The rare Mesozoic problematica from Pamir and Caucasus. *Paleont. Sb.* 7, 85-93 (In Russian, with English summary).

Original Research Paper

Circulichnis and other trace fossils from Member 5 of Mila Formation in Tuyeh-Darvar section, Eastern Alborz Mountain, north Iran

Nasrollah Abbassi^{1*} and Reza Aharipour²¹Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran²Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Damghan, Damghan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 May 12

Accepted: 2021 June 27

Available online: 2021 December 22

Keywords:

Circulichnis

Trace fossil

Mila Formation

Ordovician

Alborz

ABSTRACT

Mila Formation includes five members in the Tuyeh-Darvar section, west Damghan. Fifth Member of formation comprises alternations of calcareous shale, limestone and green shales. Trace fossils of this member includes *Cruziana problematica*, *Gordia* isp., *Helminthopsis abeli*, *Helminthopsis tenuis*, *Palaeophycus striatus*, *Planolites beverleyensis*, *Psammichnites gigas*, *Scolicia strozzii* and *Treptichnus pedum*. *Circulichnis montanus* abundant in the upper most layers of the fifth Member and is circular cylindrical ring in shape. Circulichnis is a fodinichnion, that produced by progressive and plasticity behaviors of annelids. It seems that these trace fossils are belong to the mid parts of the turbidite rhythmic sequences and formed in the turbidity conditions of the sedimentary environment.

* Corresponding author: Nasrollah Abbassi; E-mail: abbasi@znu.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/GSJ.2021.285607.1903

 dor: 20.1001.1.10237429.1400.31.4.10.9



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)