چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علـوم زمیـــن
The 42nd National
Geosciences Congress
www.geoconf.ir

مطالعه سیستماتیک اثرفسیل‌های سازند سلطانیه در برش گرماب، جاده چالوس

زهرا شاهی[1]، انوشیروان لطفعلی کنی[2]و مریم‌ناز بهرام منش طهرانی[3]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران Zahra.shahi0986@gmail.com

[2] دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران a-kani@sbu.ac.ir

[3] استادیار، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، دفتر نظارت و ارزیابی، تهران bahrammanesh69@gmail.com

چکیده

این مطالعه بر روی سازند سلطانیه در برش گرماب که با رخنمون مناسب در مجاورت جاده تهران-چالوس ۹۷ کیلومتری شمال غربی تهران قرار دارد انجام شده است، در این برش گونه‌های اثرفسیل بسیار متنوع و فراوان است. ضخامت عضوهای این برش به ترتیب عبارتند از: عضو دولومیت پایینی که توالی دولومیت قهوه‌ای مایل به آبی است ۶۰ متر می‌باشد، عضو شیل پایینی یک توالی سیاه به ضخامت ۱۹۲ متر است، عضو دولومیت میانی که توالی ضخیم دولومیت سبز مایل به خاکستری ۹۰ متر است، عضو شیل بالایی یک توالی شیل سیلتی و ماسه‌سنگ به ضخامت ۱۸۰ متر است و عضو دولومیت بالایی توالی ضخیم دولومیت آبی روشن است ۶۰۰ متر می‌باشد.

بر اساس بررسی‌های انجام شده گونه *Trichophycus pedum* که خود به عنوان اثرفسیل شاخص قاعده کامبرین زیرین در برش تیپ جهانی (Global Stratotype Section) است، از بخش‌های زیرین عضو شیل بالایی بدست آمده است. تنوع شکلی و نوع حفظ شدگی این اثرفسیل اشاره به شرایط محیط رسوبی تشکیل سازند سلطانیه دارد.

واژه‌های کلیدی

سازند سلطانیه، اثرفسیل، مرز پرکامبرین-کامبرین، برش گرماب، چالوس

مقدمه

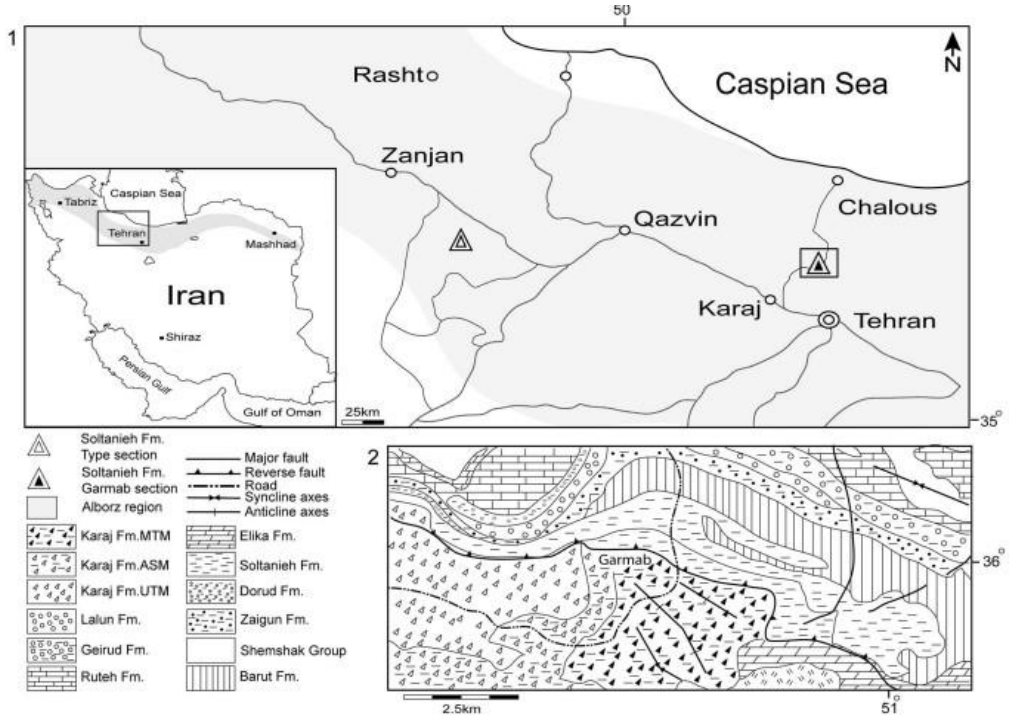
ایکنولوژی علمی است که در شاخه‌های مختلف به مطالعه آثار تولید شده توسط جانداران در درون یا سطح لایه‌های رسوبی می‌پردازد. جاندارانی که این اثرفسیل‌ها را ایجاد می‌کنند معمولاً خود به همراه اثر حفظ نمی‌شوند. از طرفی دیگر، جانداران مختلف ممکن است با یک رفتار معین یک ساختار مشابه ایجاد کنند یا جاندارن مشابه با رفتارهای متفاوت آثار مختلفی ایجاد کنند. بنابراین شناسایی اینکه چه جانداری اثر به جا مانده را ایجاد کرده است، کار راحتی نیست. اثرفسیل‌ها معمولاً به صورت برجا دیده می‌شوند. بنابراین، می‌توانند نشان دهنده موقعیت و ویژگی‌های اصلی محیط زیست موجودی که آن اثر را به وجود آوره باشند.

اثرفسیل‌ها یکی از مهم‌ترین شواهد فسیلی موجود در کامبرین زیرین هستند. سازندهای مختلف بسته به محیط رسوبی آن‌ها می‌توانند اثرفسیل‌هایی را در خود حفظ کنند. ولی رسوبات آواری ماسه‌ای یا ریزدانه‌تر قابلیت بهتری در حفظ و نگهداری اثرفسیل‌ها دارند که پیکر فسیل (body fossil) به طور نادر در آنها یافت می‌شود [6] .یکی از این سازندها، سازند سلطانیه است که در توالی آواری یا شیلی آن اثرفسیل‌ها یافت می‌شوند.

موقعیت جغرافیایی منطقه

شهرستان چالوس در عرض جغرافیایی ۱۶ ، ۵۱ و طول جغرافیایی ۵ ، ۳۶ قرار گرفته است. این شهرستان از شهرستان‌های استان مازندران در شمال ایران است. مرکز این شهرستان شهر چالوس می‌باشد، این شهرستان از شرق به شهرستان نوشهر، از جنوب به کرج و از غرب و جنوب غرب با عباس‌آباد و کلاردشت همجوار است.

روستای گرماب و حسنکدر در استان البرز واقع شده‌اند. و برش گرماب که در این پروژه بررسی شده است. با مختصات جغرافیایی (36.040900°N , 51.310767°E; WGS84) (شکل ۱) واقع، در این جاده نزدیک روستای حسنکدر بعد از میدانک و قبل از روستای سرخدره است.



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه منبع: برگرفته از [4]

سنگ چینه‌نگاری سازند سلطانیه

برش الگوی سازند سلطانیه در شمال روستای چپقلو واقع در دامنه جنوبی قره داغ در کوه‌های سلطانیه و در جنوب خاوری انتخاب شده است [7],[8] . این سازند در بخش‌هایی از مرکز و خاور ایران و تقریبا در سرتاسر کوه‌های البرز گسترش دارد و طبق شواهد چینه‌شناسی موجود، گذر پرکامبرین- کامبرین در سنگ‌های رسوبی حوضه البرز در سازند سلطانیه ثبت شده است [1].

بررسی‌هایی که توسط حمدی در محل برش مرجع (منطقه دلیر ولی‌آباد چالوس) صورت گرفت، نشان می‌داد که سازند سلطانیه را می‌توان به ۵ بخش یا پاره سازند تقسیم کرد [9]، و این تقسیم‌بندی را می‌توان به برش الگو نیز تعمیم داد. مرز پرکامبرین- کامبرین به تقریب در لایه‌های آغازین سومین بخش این سازند قرار دارد [2]. به همین رو بخش‌های این سازند به شرح زیر می‌باشند:

عضو دولومیتی پایینی: شامل ۲۵ متر دولومیت لایه‌ای چرت دار، خاکستری تیره حاوی فسیل‌های پوسته دار. این عضو در بیشتر نقاط وجود ندارد و سازند سلطانیه با شیل پایینی آغاز می‌شود.

عضو شیل پایینی :شامل ۱۲۰ متر شیل های رسی – سیلتی میکادار و گاهی ماسه ریزدانه که حاوی عدسی هایی از سنگ آهک سیلت‌دار است. فسیل‌هایی از جمله *Chuaria circularis* Walcot و آکریتارک‌ها از سنگوارەهای شاخص این بخش هستند که سن وندین را نشان می‌دهند. بخش شیل چپقلو دارای اشکال صفحه‌ای فراوانی است که اشتوکلین و همکاران (۱۹۶۴) آن‌ها را از نوع *Fermoria* sp و آسرتو و همکاران (۱۹۶۶) آن‌ها را از نوع *Chuaria* با زمان پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین معرفی نموده‌اند.

عضو دولومیت میانی :شامل ۴۰ تا ۷۲ متر سنگ‌های کربناتی چهره ساز است که ۴۰ متر زیرین آن سنگ آهک‌های سیلیسی خاکستری تیره و بقیه آن دولومیت تا دولومیت آهکی روشن است. سنگوارەهایی مانند پروتوکونودونت‌ها، معرف آشکوب مانی‌کای از کامبرین پیشین است.

عضو شیل بالایی :شامل ۴۰ تا ۲۱۲ متر شیل‌های رسی – سیلتی آهکی متمایل به سبز است که به طرف بالا به سنگ آهک‌های رسی خاکستری تیره رنگ تبدیل می‌شود. در عضو شیل بالایی انواع گوناگونی از فسیل‌های پوسته‌دار، شکم پایان، اسفنج‌ها، هیولیتیدها و کنودونت‌های ابتدایی وجود دارند که تعلق این بخش را به آشکوب توماتین Tommotian قطعی می‌سازد.

عضو دولومیت بالایی :شامل ۲۵۰ تا ۷۹۰ متر دولومیت‌های توده‌ای، متبلور، صخره ساز با رنگ روشن تا خاکستری روشن است. جلبک‌های استروماتولیتی به ویژه انواع *Collenia* sp فراوانترین سنگواره این بخش و نشانگر آشکوب آتابانین از کامبرین پیشین است.

فونای زیستی و شرایط رسوبی در ادیاکاران-کامبرین

انفجار کامبرین یکی از رویدادهای مهم تاریخ زمین است که باعث افزایش پیچیدگی مورفولوژیکی شده است. از این رو مرز ادیاکاران-کامبرین در ستون چینه‌شناسی از اهمیت زیادی برخوردار است. با وجود اینکه در سیبری، نیوفاندلند و چین نمونه‌هایی مشاهده شده اما مقطع پیوسته فسیل‌دار در امتداد مرز پرکامبرین-کامبرین نادر است [10] و به همین خاطر برای تعیین این مرز در میان گروه‌های مختلف فسیلی اثرفسیل‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند [11]. اثرفسیل‌ها با ثبت تغییرات و تکامل زمانی و زیست‌محیطی رفتارهای جانوران نخستین اطلاعات مفیدی درباره تغییر از پروتروزوییک به فانروزوییک ارائه می‌دهند. سوابق فسیلی Ediacaran ارگانیسم‌هایی به دست آورده‌اند که جسمی نرم داشتند تصور می‌شود که این حیوانات در نزدیکی رسوبات موجود در فلات قاره کم عمق زندگی کرده باشند. فسیل‌هایی که در سایت‌های دیرینه شناسی یافت شده‌اند با پوشاندن کف دریا با گل و ماسه ریز تشکیل شده‌اند. این گونه است که در بدن‌هایی که زیر ماسه‌ها هستند فرورفتگی‌های خاصی ایجاد می‌شود. از آنجا که درصد بالایی از آب دارد، از ضخامت آن کاسته می‌شود و ظاهری صاف و گردتر به فسیل‌ها می‌بخشد. نحوه توزیع و حفظ اثرفسیل‌های کامبرین پیشین در عضو شیل زیرین سازند سلطانیه به احتمال زیاد توسط رخساره‌ها کنترل شده است، به ویژه در رسوبات سیلتستون-شیل که توسط طوفان تولید می‌شود احتمال حفظ شدن این اثرفسیل‌ها بیشتر است. در مقابل توزیع اثرفسیل‌ها در عضو شیل بالایی به شدت با آنچه در سراسر جهان مشاهده می‌شود مطابقت دارد [5].

رخساره‌های رسوبی سازند سلطانیه

تاکنون هشت رخساره در سازند سلطانیه شناسایی شده است که به دو دسته سیلیسی آواری و کربناته تقسیم می‌شوند. رخساره‌ها به ترتیب از پروگزیمال (نزدیک ساحل) تا دیستال (حوضه‌ای) توصیف می‌شوند. مجموع رخساره‌های سیلیسی آواری رخساره غالب است در

حالی که رخساره‌های کربناته تحت سلطه می‌باشند، و رسوب آن‌ها در آب‌های کم‌عمق (زیر جزر و مدی کم‌عمق تا پریتایدال) رخ داده است، در حالی که مجموع رخساره‌های سیلیسی آواری غالباً شامل رسوبات در زیر پایه موج طوفان و بالافاصله بالای قاعده موج طوفانی (یعنی پایین و بالای فراساحل) می‌باشد [5].

مجموعه‌ها و پراکنش اثرفسیل‌ها

در برش مورد مطالعه ۱۰۰ نمونه دارای اثرفسیل از زیربخش‌های شیل زیرین و شیل بالایی برداشت شدند و در سایر زیر بخش‌های زیربخش‌ها اثرفسیلی یافت نشد. این اثرفسیل‌ها بیشتر به صورت برجسته در سطح زیرین یا فرورفته در سطح بالایی لایه‌بندی حفظ شده‌اند و بیشتر رفتار خزشی (Repichnia) را نشان می‌دهند [3].

Ichnogenus *Gordia* Emmons, 1844

Ichnospecies *Gordia marina* Emmons, 1844

مشخصات: مسیرهایی با پیچش گره مانند، صاف و فاقد آستر و بدون انشعاب است. پیچ‌خوردگی آنها غیرسیستماتیک است که به صورت حلقه‌های عبور کننده از سطوح درآمده‌اند (شکل۲، تصویر۱).

توصیف: یک حفاری افقی منحنی که تمایل به شکل حلقه‌ای دارد. به صورت اپی‌رلیف محدب است. حلقه‌ها به صورت ناقص بر روی این سطح حفظ شده‌اند.

بحث: به دلیل حفظ شدگی ضعیف شناسایی دقیق این اثر مشکل است.

Ichnogenus *Monomorphichnus* Crimes, 1970

cf Ichnospecies *Monomorphichnus* isp

توصیف : دسته‌های ۷ یا ۸ تایی از خراش‌های موازی و کوتاه که به صورت جانبی تکرار شده و در سطح شیل سبز ریزدانه حفظ شده‌اند. در برخی نمونه‌ها اثر به صورت دست‌های از برآمدگی‌های باریک و تقریبا موازی بر رویسطح شیل حفظ شده است (شکل ۲، تصویر۲)

بحث: *Monomorphichnus* با دسته‌هایی از پشته‌های (برآمدگی‌های) باریک و بلند شناخته می‌شود. این اثر در بخش‌های مختلف از سطح نمونه‌های مورد مطالعه قابل مشاهده است.

Ichnogenus *Neonereites* Seilacher, 1960

Ichnospecies *Neonereites uniserialis* Seilacher, 1960

مشخصات: گوله‌هایی با اندازه و ترتیب منظم، شکل واحد و یکنواخت که دارای اتصال طبیعی به هم و حفظ‌شدگی با برجستگی کامل هستند [12]. آثار کروی تا نیمه کروی هستند که به صورت تک ردیفی مرتب شده‌اند[13].

توصیف: آثار افقی تک‌ردیفی شامل گلوله‌های کروی و بیضی که در یک ردیف قرار گرفته و می‌توانند به هم متصل باشند یا نباشند اتصال آن‌ها ممکن است به گونه‌ای باشد که ظاهری مشابه یک شیار ایجاد کند و یا گلوله‌ها با هم هم‌پوشانی داشته یا با فاصله نسبت به هم قرار گرفته باشند. این آثار بسته به سطحی که بر روی آن حفظ شده‌اند، می‌توانند مقعر یا محدب باشند. جنس گلوله‌ها می‌تواند مشابه سنگ دربرگیرنده و یا متفاوت از آن باشد. جاشیه آن‌ها در طول سطح اثر صاف، محدب و یا دارای حلقه‌های فرورفته و برآمده‌ای است که حاشیه آن را ناهموار کرده و نشان دهنده انقباض نامنظم در فواصل مختلف است. مسیر آن‌ها مستقیم، منحنی، مئاندری یا کاملا پیچ‌خورده است. طول بین ۸۷ تا ۱۲/۷۱ و عرض ۷/۵ تا ۱/۲ میلی متر دارند. قطر گلوله‌ها از ۰/۸ تا ۴/۳ میلی‌متر است و می‌تواند در امتداد طول ثابت یا متغیر باشد عمق آثار مقعر و یا برآمدگی‌های آثار محدب نیز در طول یک اثر منحصر بفرد ثابت یا متغیر است (شکل ۲، تصویر۳)

بحث: در این گروه از اثرفسیل‌ها اندازه گلوله‌ها متفاوت است، به شکل محدب و یا مقعر با فاصله و یا متصل به هم قرار گرفته‌اند اما در همه آن‌ها یک مسیر یک ردیفی به وجود آمده است و اثر فسیل *Neonereites uniserialis* را تداعی می‌کند.

Ichnogenus *Planolites* Nicholson, 1873

Ichnospecies *Planolites beverleyensis* Billings, 1862

مشخصات: حفاری‌های استوانه‌ای نسبتا بزرگ، صاف مستقیم تا به آرامی منحنی یا موجی[14] (شکل ۲، تصویر ۴).
توصیف: شناسایی بر اساس قطر حفاری انجام می‌شود. لوله‌های ساده افقی، بلند، بدون انشعاب، مستقیم تا کمی منحنی هستند طول آنها ۱۴/۵ و ۴۷/۱۴ و عرض ۵/۶ و ۳/۴۴ میلی‌متر دارند. جنس پرشدگی‌ها مشابه سنگ میزبان است و فاقد آستر می‌باشند. برخی نمونه‌ها به صورت فول‌رلیف در سطح بالایی لایه شیل ریزدانه سبز قرار گرفته‌اند و برخی نمونه‌ها دارای علایم انقباض (تنگ شدن مسیر) است در سطح شیل سبز تا ارغوانی میکادار حفظ شده است.
بحث: *P .beverleyensis* از *P .montanus* در درجه اول با اندازه بزرگتر و انحنای ظریف مشخص می‌شود [15]. پرشدگی‌های آن نیز تا حدودی با رسوبات سنگ میزبان متفاوت است. شناسایی بر اساس قطر حفاری صورت می‌گیرد.

Ichnospecies *Planolites montanus* Richter, 1937

مشخصات: حفاری‌های نسبتا کوچک منحنی تا پیچشی [14] (شکل ۲، تصویر۵)
توصیف: حفاری‌های استوانه‌ای افقی ساده، کوچک، کمی منحنی که در جهات مختلف امتداد دارند. فاقد آستر و بدون انشعاب هستند. طول بین ۳ تا ۲۹ میلی‌متر و عرض تقریبا ۰/۸۶ میلی‌متر می‌باشد. جنس پرشدگی‌ها مشابه سنگ میزبان است و فاقد تزئینات هسند. این آثار در برخی نمونه‌ها با هم تقاطع، هم‌پوشانی یا تماس ندارند، فول‌رلیف محدب در سطح بالایی شیل نخودی- سبز ریزدانه حفظ شده‌اند. در برخی نمونه‌ها با هم هم‌پوشانی و تقاطع فراوان دارند که ظاهر انشعابی کاذب به آن می‌دهد. فاقد انشعابات حقیقی هستند.
بحث: اندازه *P.montanus* به طور پیوسته کوچکتر و البته پیچیده‌تر از *P.beverleyensis* است.

Ichnospecies *Planolites* isp

توصیف: حفاری‌های استوانه‌ای افقی تا کمی مایل نسبت به لایه‌بندی کوچک و ساده، مستقیم تا بسیار کمی منحنی که در جهات مختلف قرار گرفته‌اند، غالباً فاقد انشعاب هستند ولی در بعضی از آن‌ها مانند نمونه شماره ۱ به ندرت انشعاب نیز دیده می‌شود. صاف و بدون تزئینات هستند. در بعضی دیگر از نمونه‌ها تراکم آثار زیاد بوده و با یکدیگر و نیز با سایر آثار واقع در سطح متقاطع هستند که این تقاطع ممکن است با انشعاب اشتباه شود. با توجه به نوع حفظ شدگی به صورت مقعر و محدب بر روی سطح لایه دیده می‌شوند. آستر (پوشش) ندارند، جنس پرشدگی‌ها اغلب مشابه سنگ میزبان است اما پرشدگی‌هایی کمی متفاوت از سنگ میزبان نیز در آن‌ها دیده می‌شود. طول اثر در نمونه‌های مختلف بین ۸۳/۲۲ تا ۱ میلی متر متفاوت است و عرض آن‌ها بین ۱/۷۵ تا ۲/۵۸ میلی متر در امتداد طول هر اثر منصر به فرد و ثابت است (شکل ۲، تصویر۶).
بحث: آثار *Planolites* از *Palaeophycus* در درجه اول با داشتن دیواره‌های فاقد آستر و پرشدگی‌هایی با بافت متفاوت از سنگ میزبان شناخته می‌شوند. *Planolites* از *Palaeophycus* ساده‌تر و کوچکتر است. نمونه‌های با حفظ شدگی ضعیف به *Treptichnus pedum* نیز شباهت دارد.

شکل ۲. تصاویر اثرفسیل‌های یافت شده در برش مورد مطالعه، ۱) *Gordia marina* ۲) *Monomorphichnus* isp ۳) *Neonereites uniserialis* ۴) *Planolites beverleyensis* ۵) *Planolites montanus* ۶) *Planolites* isp

Ichnospecies *Palaeophycus* Hall, 1847

Ichnospecies *Palaeophycus* isp

توصیف: لوله‌های افقی تا کمی مایل، ساده مستقیم تا به مقدار بسیار کمی خمیده، برخی دارای پرشدگی و برخی توخالی هستند، جنس پرشدگی‌ها در برخی نمونه‌ها متفاوت است در برخی موارد هم می‌تواند مشابه سنگ میزبان باشد، این پرشدگی‌ها فاقد ساختار داخلی هستند. حفظ‌شدگی در سطح بالای لایه به صورت اپی‌رلیف و در زیر لایه به صورت هیپورلیف است، بخش‌های پر شده کمی برجسته (محدب) و نمونه‌های تو خالی به صورت فرورفته (مقعر) در سطح لایه حفظ شده‌اند. آستری ظریف در بعضی از آن‌ها دیده می‌شود. دارای طول و عرض‌های مختلف است (طول از ۱۱۷/۲۶ تا ۵/۴۰ و عرض از ۳/۹ تا ۰/۹۵) اما عرض هر اثر منحصر بفرد در راستای طول آن ثابت می‌باشد و در جهات مختلف امتداد دارند. لوله‌ها صاف و فاقد تزئینات می‌باشند. گروهی دارای انشعاب و گروهی فاقد انشعاب هستند (شکل ۳، تصویر۱).

Ichnogenus *Scolicia* de Quartrefages, 1849

Ichnospecies *Scolicia* isp

توصیف: مسیرهای مستقیم منحنی تا سینوسی که با یک شیار یا پشته باریک میانی به دو لوب موازی تقسیم شده‌اند، دارای دیواره‌های صاف و فاقد تزئینات، لوب‌ها با توجه به بالا و پایین سطحی که در آن حفظ شده‌اند محدی یا مقعر بوده و سطح آن‌ها مسطح است ولی نسبت به سطح سنگ در برگیرنده خود کمی بالاتر یا پایین‌تر قرار دارند. عرض آثار بین ۳/۵ تا ۲۲/۵ میلی‌متر است. کف مسیر در برخی نمونه‌ها دارای پوششی تیره‌تر نسبت به سنگ دربرگیرنده است. میزان تحدب لوب‌ها در طول مسیر کمی تغییر می‌کند. درکف شیار میانی خطوط ریز و متوالی دیده می‌شود که موازی مسیر بوده و از اتصال آنها به هم این شیار به وجود آمده است (شکل ۳، تصویر۲).

بحث: بر اساس میزان و مورفولوژی پیچش‌ها می‌توان *Scolicia* را از *Taphrhelminthopsis* تشخیص داد هر دو اثر مئاندری هستند و تقارن دو طرفه دارند اما میزان و شکل پیچ خوردگی مئاندرها متفاوت است.

Taphrhelminthopsis مانند *Subphyllochorda* توسط دو پشته موازی از هم جدا می‌شوند و بخش مرکزی آن معمولاً مقعر است. *Scolicia* از یک کفه و دو دیواره در طرفین آن تشکیل شده که این کفه می‌تواند فرورفته یا برآمده باشد، دو نوار جانبی نیز آن را احاطه کرده است [16].

Ichnogenus *Treptichnus* Miller, 1889

Ichnogenus *Treptichnus bifurcus* Miller, 1889

مشخصات: اشکال زیگزاکی، هیپورلیف محدب یا اپی‌رلیف مقعر که مشابه *Plangtichnus erraticus* می‌باشد. طرح کلی آن به صورت بیرون‌زدگی‌های کوتاه با ضخامت کم که در انتهای آن‌ها گودال‌های بلندی دیده می‌شود است. بیرون‌زدگی‌ها از محل زاویه اتصال بین بخش‌های کشیده شده گسترش می‌یابند. در آثاری که موجود اثرساز در یک مسیر نسبتا مستقیم حرکت کرده است پیش‌آمدگی‌ها در جهات مختلف اثر قرار می‌گیرند و اگر مسیر حرکت جاندار منحنی باشد پیش‌آمدگی‌ها در سمت خارج منحنی دیده می‌شوند (شکل ۳، تصویر ۳) فرورفتگی‌های دایره‌ای که در انتهای پیش‌آمدگی‌ها قرار دارند می‌توانند بدون هیچ ارتباطی به زاویه اتصال بین بخش‌ها ایجاد می‌شوند[17] .

توصیف: یک سیستم حفاری افقی به هم پیوسته که به صورت چپ و راست (زیگزاک) نمود دارد. عرض حفاری‌ها در امتداد طول آن ثابت است، سطح حفرات صاف و فاقد تزئینات بوده و در انتهای خارجی هر زیگزاک یک فرورفتگی دایره‌ای وجود دارد که از موادی متفاوت از سنگ میزبان پر شده است. در بیشتر نمونه‌ها زاویه زیگزاک باز است.

Ichnospecies *Treptichnus pollardi* Buatois and Mángano, 1993

مشخصات: گونه‌ای از *Treptichnus* که در زاویه اتصال بین حفره‌ای افقی یا در داخل این حفاری‌ها چاله‌های کوچکی دارد. این چاله‌ها در سیستم حفاری نشان دهنده میله‌های عمودی هستند (شکل ۳، تصویر۴).

توصیف: یک مسیر حفاری بلند با پیچ خوردگی‌های فراوان در جهات مختلف، این پیچ خوردگی‌ها در بعضی بخش‌ها به مقدار بسیار کمی زاویه‌دار هستند در بعضی از این زوایا یک برجستگی بسیار ضعیف وجود دارد. حفظ‌شدگی به صورت اپی‌رلیف محدب در سطح شیل سبز ریزدانه است.

بحث: در طول حفاری و حتی در بخش‌هایی که زاویه‌ای در مسیر حفاری ایجاد نشده، برآمدگی‌هایی دیده می‌شود که می‌تواند قالب چاله‌هایی باشد که مشخصات این اثرگونه آمده است.

Ichnospecie *Treptichnus pedum* Seilacher, 1955

مشخصات: یک سیستم حفاری مستقیم، منحنی تا نیم دایره‌ای، شامل یک حفره اصلی که می‌تواند دارای شاخه‌های جانبی نیز باشد. این حفاری‌ها دهانه‌هایی را به طرف سطح رسوبات باز کرده‌اند که این دهانه‌های باز ممکن است برای تهویه یا به دام انداختن ذرات مواد آلی باشند [18].

توصیف: یک سری حفاری‌های به هم پیوسته مستقیم تا منحنی که نسبت به محور اثر کمی مورب هستند، زاویه بین آن‌ها در بیشتر نمونه‌ها حاده و در حدود ۳۵ درجه است. شکل کلی اثر غالباً خمیده و به صورت بخشی از یک کمان است. سطح و دیواره‌های آن‌ها صاف و فاقد تزئینات است. در بعضی از بخش‌ها هوازدگی و فرسایش سطح اثر را از بین برده و پرشدگی داخل حفره‌ها که متفاوت از جنس سنگ میزبان است دیده می‌شود (شکل ۳، تصویر ۵).

اتصال حفاری‌ها می‌تواند بسیار متراکم و بدون هیچ فضای خالی یا باز و دارای فضای خالی بین آن‌ها و یا حتی با کمی فاصله و بدون پیوستگی باشد. حفاری‌ها در جهت بیرونی کمان به صورت مورب به هم متصل شده‌اند و زوائد فقط در یک سمت آثار دیده می‌شود. این آثار منشعب یا فاقد انشعاب بوده و انشعابات آن‌ها نیز می‌توانند مستقیم تا منحنی باشند. برجستگی آن‌ها با توجه به سطحی که بر روی آن حفظ شده‌اند می‌تواند مثبت، منفی یا با برجستگی کامل باشد. طول آثار از ۲۵/۱ تا ۹۴/۸ میلی‌متر و عرض آن‌ها بین ۲ تا ۳/۷ میلی‌متر متغیر است این اثر در برخی نمونه‌ها دولویی به نظر می‌رسد که یک لوب آن به شکل مسیری صاف و لوب دیگر آن دارای حجرات به هم پیوسته مورب باشد و در حاشیه خارجی آن زوائدی بیرون‌زدگی داشته و آرایش ظاهری مخطط به آن دهد.

بحث: ویژگی این اثرگونه حفاری‌های متوالی به طرف بالا در رسوبات است که موجب ایجاد حفره‌های مورب متصل به هم می‌شود. الگوهای حفاری می‌تواند سینوسی، حلقه‌ای و گاهی اوقات مستقیم با کمی انحنا باشد این اثر در ابتدا *Phycodes pedum* نام داشت ولی در سال‌های بعد به *Treptichnus pedum* تغییر یافت.

Ichnospecies *Treptichnus triplex* Palij,1976

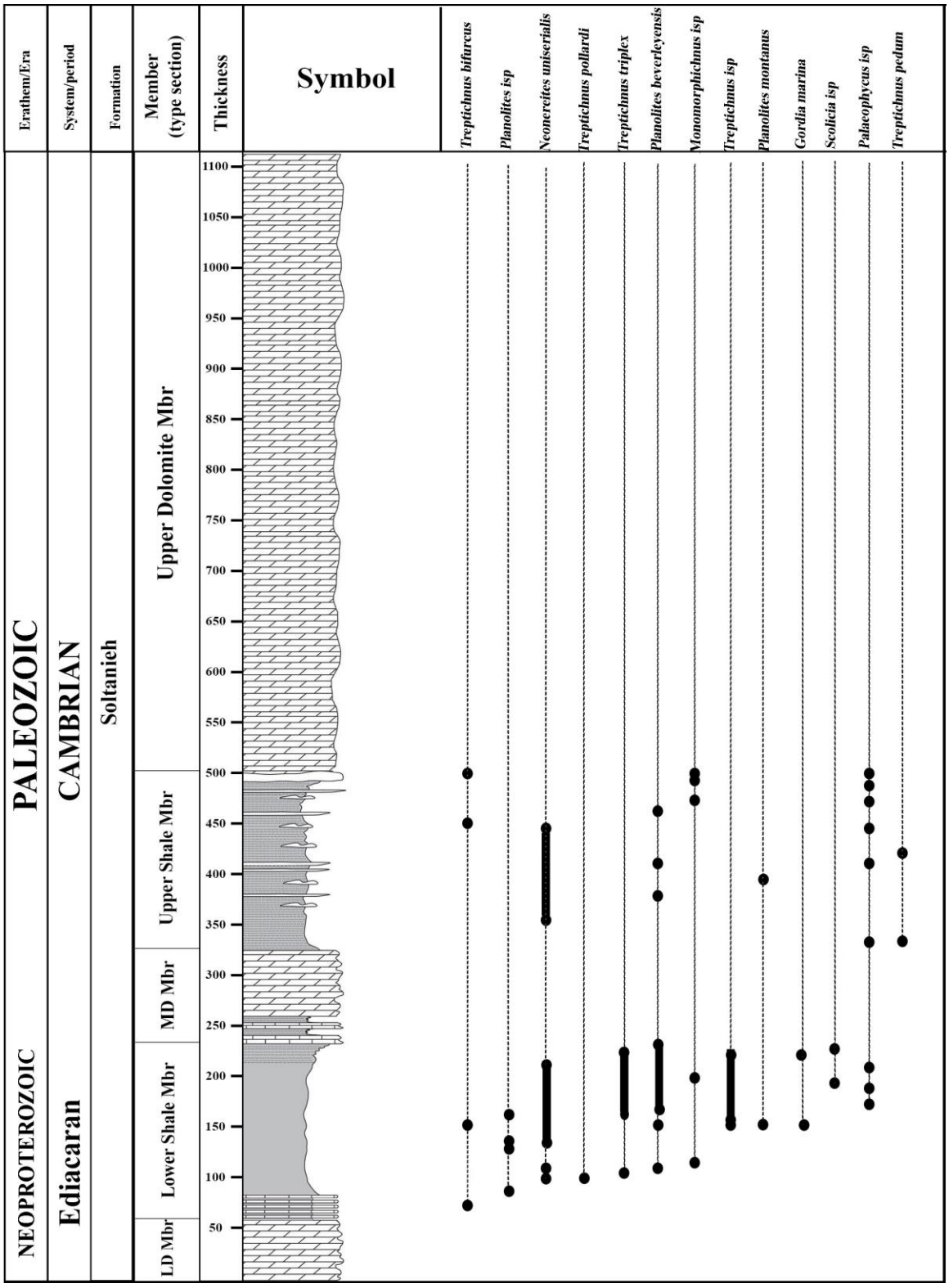
مشخصات: حفاری با زاویه ۲۰-۴۰ درجه نسبت به محور طولی ردیابی و به ندرت به طور دیگری رشد می‌کند. حفاری‌هایی با عرض ثابت، انتهای بیرونی آن‌ها گرد یا نوک تیز، انتهای داخلی با موارد قبلی همپوشانی دارند. حفاری‌ها کمی خمیده و محدب هستند و به سمت پایین گسترش یافته است. سطح حفاری‌ها دارای دو شیار طولی بوده و به سه قسمت با عرض یکسان تقسیم می‌شود[19].

Ichnospecies *Treptichnus* isp

توصیف: حفاری‌های باریک که در امتداد هم به صورت مورب به هم متصل شده و در جهات مختلف قرار گرفته‌اند. این حجرات مورب ممکن است نسبت به هم موازی یا زاویه‌دار و در امتداد هم با کمی فاصله یا مماس قرار گرفته باشند. مسیر آن‌ها به شکل مستقیم تا کمی منحنی درمی‌آید که در نمونه ۴۸ به صورت تداخل چند اثر دیده می‌شود (شکل ۳، تصویر ۶).

بحث: در آثار *Treptichnus pedum* زوائد و بیرون زدگی‌ها فقط در یک طرف مسیر وجود دارد.

شکل ۳ . ادامه تصاویر اثرفسیل‌های یافت شده در برش مورد مطالعه، ۷) *Palaeophycus* isp ۸) *Scolicia* isp ۹) *Treptichnus bifurcus* ۱۰) *Treptichnus pollardi* ۱۱) *Treptichnus pedum* ۱۲) *Treptichnus* isp تداخل چند اثر



شکل ۴-. توضیع اثرفسیل‌های یافت شده در بخش‌های شیل زیرین و شیل بالایی

چگونگی حفظ‌شدگی در سازند سلطانیه

موجودات اثرساز در شرایط محیط‌های دریایی کم‌عمق که در کامبرین زیرین شرایط غالبی بوده به علت شیوه حفظ شدگی این اثرفسیل‌ها که معمولاً در چند سانتی متری سطح رسوب- آب است تشکیل می‌شوند [20]. در حالی که اثرفسیل‌ها در شرایط دریاهای عمیق کمیاب هستند. در سازند سلطانیه اثرفسیل *Trichophycus pedum* و دیگر اثرفسیل‌هایی که مشخصه سنگ‌های آواری دریایی کم‌عمق است مشاهده می‌شود.

کیفیت حفظ‌شدگی

در بررسی اثرفسیل‌های *Trichophycus pedum* تزئیینات بسیار ظریف دیواره‌ها کاملاً مشخص دیده می‌شود که همین حفظ‌شدن با جزئیات در نقاط مختلف دیگر کامبرین پسین دیده شده است و از ویژگی‌های فسیل‌های مناطق کم‌عمق و آرام دریایی است [21].

نتیجه گیری

ضخامت برش بررسی شده ۱۱۲۲ متر می‌باشد که از پنج زیربخش تشکیل شده که شامل سه زیربخش دولومیت و دو زیربخش شیل است. بخش عمده اثرفسیل‌های گزارش شده از نئوپرونوزوییک- اوایل کامبرین از رسوبات سیلیسی آواری از محیط‌های جزر و مدی کم‌عمق گزارش شده‌اند. این اثرفسیل‌ها نشان‌دهنده شروع سریع اما تدریجی در فعالیت‌های جانوران حفار در داخل رسوبات است که در کامبرین فراوانی و تنوع آن‌ها، به طور چشم‌گیری افزایش یافته است [22]. بررسی برش‌های چینه‌شناسی از نقاط مختلف جهان نشان دهنده یک نظم معین در ظهور اثرفسیل‌ها در طول زمان است به طوری‌که می‌توان بر اساس خود همین اثرفسیل‌ها زون تعریف کرد [23]. در این برش بر اساس مطالعه‌ای که صورت گرفت اثرفسیل *Treptichnus pedum* در ۱۰ متری لایه شیل بالایی مشاهده شد که مطابق برش الگوی جهانی است که افق ظهور *Treptichnus pedum* که در فاصله ۸ متر بالای قاعده دولومیت میانی قرار دارد است افق ظهور این اثر فسیل به عنوان مرز نئوپروتروزوییک- کامبرین در برش مورد مطالعه هم پیشنهاد می‌شود. در توالی برش مورد مطالعه فسیل پیکری یافت نشد، ولی با توجه به گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها می‌توان، نتیجه گرفت که این گستره‌ها تنوع زیستی قابل توجهی را شامل هستند. چهار ایکنوزون به سن‌های فورتونین تا Age 3 در کامبرین پیشنهاد شده است و بخش‌های پایینی شیل زیرین و دولومیت زیرین به سن وندین بوده و افق‌های جدیدتر از آن سن فورتونین دارند [4].

منابع

[1] آدابی، م. ح. و میراب شبستری غ. ر.، ۱۳۸۰- تعیین مرز پرکامبرین- کامبرین در توالی سازند سلطانیه واقع در شمال سمنان به روش چینه‌نگاری شیمیایی. نشریه دانشگاه علوم زمین. ۸۵ تا ۹۲ ص

[2] آقانباتی، س. ع ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

[3] فامرینی بزچلوئی، منیژه، عباسی، نصراله، سلسانی، آرمان، و زهدی، افشین. (۱۳۹۹). مرز نئوپروتروزوییک-کامبرین در سازند سلطانیه بر مبنای مطالعات ایکنولوژی، برش سیدکندی، کوه های سلطانیه، شمال باختری ایران. علوم زمین، ۳۰(۱۱۷)، ۱۶۳-۱۷۴.

[4] Shahkarami, S., Mángano, M. G., & Buatois, L. A. (2017). Ichnostratigraphy of the Ediacaran-Cambrian boundary: new insights on lower Cambrian biozonations from the Soltanieh Formation of northern Iran. *Journal of Paleontology*, *91*(6), 1178-1198.

[5] Shahkarami, S., Mángano, M. G., & Buatois, L. A. (2017). Discriminating ecological and evolutionary controls during the Ediacaran–Cambrian transition: trace fossils from the Soltanieh Formation of northern Iran. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 476, 15-27.

[6] Jensen, S., & Palacios, T. (2016). The Ediacaran-Cambrian trace fossil record in the Central Iberian Zone, Iberian Peninsula. Comunicaçõe Geológicas, 103.

[7] stöcklin, J. ruttner, a. & naBavi, Mn, 1964. New data on the Lower Palaeozoic and Precambrian of North Iran. Geological Survey of Iran, Reprints, 1, 1-29.

[8] Stoecklin, W. (1969). Chemistry and physiological properties of gymnemic acid, the antisaccharine principle of the leaves of Gymnema sylvestre. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 17(4), 704-708.

[9] Hamdi, B., Brasier, M. D., & Zhiwen, J. (1989). Earliest skeletal fossils from Precambrian–Cambrian boundary strata, Elburz Mountains, Iran. Geological Magazine, 126(3), 283-289.

[10] Brasier, M. D. (1990). Phosphogenic events and skeletal preservation across the Precambrian-Cambrian boundary interval. *Geological Society, London, Special Publications*, *52*(1), 289-303.

[11] Hofmann, H. J., & Patel, I. M. (1989). Trace fossils from the type 'Etcheminian Series'(Lower Cambrian Ratcliffe Brook Formation), Saint John area, New Brunswick, Canada. *Geological Magazine*, *126*(2), 139-157.
[12] Brasier, M. D., & McIlroy, D. (1998). Neonereites uniserialis from c. 600 Ma year old rocks in western Scotland and the emergence of animals. *Journal of the Geological Society*, *155*(1), 5-12.
[13] Genise, J. F., MáNGANO, M. G., Buatois, L. A., Laza, J. H., & Verde, M. (2000). Insect trace fossil associations in paleosols: the Coprinisphaera ichnofacies. *Palaios*, *15*(1), 49-64.
[14] Pemberton, S. G., & Frey, R. W. (1982). Trace fossil nomenclature and the Planolites-Palaeophycus dilemma. *Journal of Paleontology*, 843-881.
[15] Billings, E. (1862). Further observations on the age of the red sandrock formation (Potsdam group) of Canada and Vermont. *American Journal of Science*, *2*(97), 100-105.
[16] Smith, A. B., & Crimes, T. P. (1983). Trace fossils formed by heart urchins-a study of Scolicia and related traces. *Lethaia*, *16*(1), 79-92.
[17] Maples, C. G., & Archer, A. W. (1989). The potential of Paleozoic nonmarine trace fossils for paleoecological interpretations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *73*(3-4), 185-195.
[18] Seilacher, A., Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (2005). Trace fossils in the Ediacaran–Cambrian transition: behavioral diversification, ecological turnover and environmental shift. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *227*(4), 323-356.
[19] Palij, V. M., Posti, E., Fedonkin, M. A. 1979. Soft-bodied Metazoa and trace fossils of Vendian and Lower Cambrian.Upper Precambrian and Cambrian Paleontology of East-European Platform, pp. 49-82
[20] Droser, M. L., Jensen, S., & Gehling, J. G. (2002). Trace fossils and substrates of the terminal Proterozoic–Cambrian transition: implications for the record of early bilaterians and sediment mixing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(20), 12572-12576.
[21] Jensen, S., Droser, M. L., & Gehling, J. G. (2005). Trace fossil preservation and the early evolution of animals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *220*(1-2), 19-29.
[22] Jensen, S. (2003). The Proterozoic and earliest Cambrian trace fossil record; patterns, problems and perspectives. *Integrative and Comparative Biology*, *43*(1), 219-228.
[23] Narbonne, G. M., Myrow, P., & Landing, E. (1988). Trace fossil biostratigraphy in the Precambrian–Cambrian boundary interval. *New York State Museum Bulletin*, *463*, 72-76.