

مرز نوپروتروزویک-کامبرین در سازند سلطانیه بر مبنای مطالعات اکتولوژی، برش سیدکندی، کوه‌های سلطانیه، شمال باختری ایران

منیژه فامرینی بزچلوئی^۱، نصراله عباسی^۲، آرمین سلسانی^۳ و افشین زهدی^۴

^۱کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲دانشیار، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۳دکتر، گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۴استادیار، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۹

چکیده

سازند سلطانیه در برش سیدکندی واقع در ۳۲ کیلومتری جنوب باختری زنجان، به ستبرای بیش از ۱۱۱۰ متر از هفت زیربخش غیررسمی، شامل دولومیت و شیل تشکیل شده است. توالی سنگی سازند سلطانیه در این برش به ترتیب شامل دولومیت اول یا زیرین، شیل اول، دولومیت دوم، شیل دوم، دولومیت سوم، شیل سوم و دولومیت چهارم یا بالایی است. در طی این مطالعه، تعداد ۱۰۹ نمونه اثر فسیل یافت شدند که شامل ۲۳ اثر جنس و ۴۲ اثر گونه است. این اثر فسیل‌ها عبارتند از:

Archaeonassa fossulata, *Archaeonassa* isp., *Cruziana problematica*, *Cruziana semiplicata*, *Cruziana* isp., *Diplichnites gouldi*, *Diplichnites* sp., *Gordia marina*, *Helminthoida* isp., *Helminthopsis* isp., *Hormosiroidea* isp., *Isopodichnus* isp., *Monocraterion* isp., *Monomorphichnus* isp., *Neonereites uniserialis*, *Neonereites biserialis*, *Neonereites* isp., *Nereites imbricata*, *Nereites* isp.1, *Nereites* isp.2, *Palaeobullia* isp., *Palaeophycus* cf. *annulatus*, *Palaeophycus heberti*, *Palaeophycus striatus*, *Palaeophycus* isp., *Planolites beverleyensis*, *Planolites montanus*, *Planolites* isp., *Phycodes palmatum*, *Rusophycus* isp., *Scolicia prisca*, *Scolicia* isp.1, *Scolicia* isp.2, *Skolithos* isp., *Subphyllochora* isp., *Taenidium* isp., *Taphrhelminthopsis recta*, *Taphrhelminthopsis* isp., *Treptichnus bifurcus*, *Treptichnus pedum*, *Treptichnus pollardi*, *Treptichnus* isp.

فراوانی اثر فسیل‌ها در زیربخش شیل دوم بسیار زیاد بوده و ۹۹ نمونه از این زیربخش برداشت شدند. بر اساس این مطالعه، مرز نوپروتروزویک-کامبرین در برش مورد مطالعه با ظهور اثر فسیل *Treptichnus pedum* در لایه‌های آغازین زیربخش دولومیت دوم پیشنهاد می‌شود.

کلید واژه‌ها: سازند سلطانیه، اثر فسیل، مرز نوپروتروزویک-کامبرین پیشین، زنجان.

*نویسنده مسئول: منیژه فامرینی بزچلوئی

E-mail: manizhe_famarini@znu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

بخش‌هایی از مرکز و خاور ایران و تقریباً در سرتاسر کوه‌های البرز گسترش دارد و طبق شواهد چینه‌شناسی موجود، مرز پرکامبرین-کامبرین در سنگ‌های رسوبی حوضه البرز از سازند سلطانیه می‌گذرد (آدابی و میراب‌شیبستری ۱۳۸۰).

مرز پرکامبرین-کامبرین تقریباً در لایه‌های آغازین سومین بخش سازند سلطانیه در برش مرجع قرار دارد (Hamdi et al., 1989). این سازند مجموعه متنوعی از فسیل‌ها مانند کنودنت‌ها یا ریزصدف‌ها (Hamdi et al. 1989) را دارد که در این میان، فسیل *Chuarina circularis* Walcott, 1899 در بخش شیل زیرین یا شیل چپقلو مشهورترین آنهاست (*Fermoria* در Stöcklin et al., 1964) و از برخی از افق‌های این سازند اثر فسیل‌هایی گزارش شده است (Shahkarami et al., 2017a)، حمدی ۱۳۷۴، ثیاب قدسی و همکاران (۱۳۸۵)، در این گزارشات مبنای تعیین مرز نوپروتروزویک-کامبرین بر اساس ریز صدف‌های فسیل یا هم ارزی اثر فسیل‌ها با ریز صدف‌ها است. توالی مورد مطالعه در شمالی روستای سیدکندی واقع در جنوب باختری زنجان نه تنها محتوای اثر فسیلی غنی دارد، بلکه توالی سنگ‌شناسی متنوع‌تری را در دسترس قرار می‌دهد. هرچند این برش از نظر افق‌های فسفاتی از دیرباز مورد توجه بوده است (آبشاهی، ۱۳۶۸) و عملیات اکتشاف تفصیلی بر روی این افق‌ها انجام پذیرفته است (جهاد نصر، ۱۳۹۵)، ولی متأسفانه آنالیزهای شیمیایی موجود تنها محدود به همان افق‌های فسفاتی بوده و آنالیزهای شیمیایی از سایر لایه‌ها و افق‌ها انجام نشده است. از طرف دیگر هنوز مطالعه بر روی فسیل‌های پیکری (body fossils) مانند ریزصدف‌ها (small shelly fossils, SSFs) در این برش به عمل نیامده است. بنابراین مطالعات حاضر تنها بر پایه مطالعات ماکروسکوپی و صرفاً بر اساس اکتولوژی (Ichnology) انجام پذیرفته و نتایج ارائه شده در برگزیده داده‌های حاصل از پیمایش اثر فسیل‌ها

اکتولوژی، علمی چند شاخه‌ای است که به مطالعه آثار تولید شده توسط جانداران (گیاهان و جانوران) در درون یا سطوح لایه‌های رسوبی در ادوار مختلف زمین‌شناسی می‌پردازد و در حقیقت رفتار موجودات را در موضوعات وابسته به آشفستگی زیستی، فرسایش زیستی و رسوبگذاری زیستی را در بر می‌گیرد (Buatois and Mángano, 2011). قدیمی‌ترین اثر فسیل‌های ریز در روی بازالت‌های کف دریا هستند که قدمت آنها ۳/۵ میلیارد سال است (Banerjee et al., 2007). جاندارانی که اثر فسیل‌ها را ایجاد می‌کنند معمولاً بر خلاف فسیل‌های پیکری، خود به همراه اثر ایجاد شده حفظ نمی‌شوند. از طرفی دیگر، جانداران مختلف ممکن است با یک رفتار معین یک ساختار مشابه ایجاد کنند، یا افراد و گونه‌های مشابه، بسته به رفتارهای متفاوت آثار مختلفی به جا بگذارند. بنابراین پی بردن به اینکه چه جاندارانی اثر بر جا مانده را ایجاد کرده است معمولاً کاری دشوار است. اثر فسیل‌ها معمولاً حمل شده نیستند بنابراین نشان دهنده موقعیت و ویژگی‌های اصلی محیط زیست جانور اثرساز هستند. سازندهای مختلف بسته به محیط رسوبی و نوع سنگ‌شناسی آنها می‌توانند اثر فسیل‌هایی را در خود حفظ کنند. ولی رسوبات آواری ماسه‌ای یا ریز دانه‌تر قابلیت بهتری در حفظ و نگهداری اثر فسیل‌ها دارند. یکی از این سازندها، سازند سلطانیه است که در توالی آواری یا شیلی آن می‌توان اثر فسیل‌ها را جستجو نمود، به نحوی که گزارش‌هایی از اثر فسیل‌های این سازند در دسترس است (ثیاب قدسی و همکاران ۱۳۸۵؛ حمدی ۱۳۷۴؛ Shahkarami et al., 2017a,b).

برش الگوی سازند سلطانیه در شمال روستای چپقلو واقع در دامنه جنوبی قره داغ در کوه‌های سلطانیه و در جنوب خاوری زنجان انتخاب شده است (Stöcklin and Eftekhari-Nezhad, 1969; Stöcklin et al., 1964). این سازند در

رأس آن $36^{\circ} 42' 35''$ شمالی و $48^{\circ} 14' 38''$ خاوری واقع شده است و دسترسی به آن از طریق جاده‌های زنجان بیجار و زنجان دندی امکان‌پذیر است (شکل ۱). بارزترین واحدهای سنگی در برش مورد مطالعه سازندهای بایندر، سلطانیه و باروت هستند که با گسل خوردگی‌های فراوان تناوب سازندهای منطقه را تشکیل داده‌اند.

در این توالی است. در واقع این مطالعات نخستین مطالعه دیرینه‌شناسی بر روی سازند سلطانیه در برش سیدکندی (در برخی از نوشته‌ها سعیدکندی) است. با توجه به وجود اثر فسیل‌های گوناگون در سازند سلطانیه، برش شمال روستای سیدکندی در کوه‌های سلطانیه انتخاب شده‌اند. این برش در 32 کیلومتری جنوب باختری زنجان و قاعده برش در $36^{\circ} 20' 36''$ شمالی و $48^{\circ} 14' 54''$ خاوری و



۲- سنگ‌چینه‌نگاری سازند سلطانیه

هم‌شیب با تغییر تدریجی به شیل‌های سازند باروت تبدیل می‌شود. در این توالی سازند سلطانیه به ۷ واحد سنگی تقسیم شده است (آبشاهی، ۱۳۶۸) که در اینجا آنها را با عنوان زیربخش (submember) غیررسمی معرفی می‌کنیم و شامل ۴ زیربخش کربناته (دولومیت) و ۳ زیربخش تخریبی (شیلی) به شرح زیر است (شکل ۲). به لحاظ سنگ‌شناسی و محتوای سنگ‌شناسی شاخص مانند افق‌های فسفاتی، زیربخش دولومیت اول جزء بخش یا پاره سازند (Member) دولومیت زیرین، زیربخش‌های شیل اول، دولومیت دوم و شیل سوم جزء پاره سازند شیل چپقلو و زیربخش‌های دولومیت سوم، شیل سوم و دولومیت چهارم جزء پاره سازند دولومیت بالایی در برش الگو هستند.

۲-۱. پاره سازند دولومیت زیرین

پاره سازند دولومیت اول یا دولومیت زیرین (D1): دولومیت قاعده‌ای سازند سلطانیه بوده و شامل ۷۰ متر دولومیت ضخیم لایه ستیغ‌ساز خاکستری تا نخودی روشن است.

۲-۲. پاره سازند شیل چپقلو

— **زیر بخش شیل اول (Sh1):** دارای ستبرای ۱۹۸ متر است که $133/5$ متر ابتدای آن از تناوب دولومیت خاکستری تیره تا روشن با میان لایه‌های شیل ضخیم لایه شونده به طرف بالا تشکیل شده است. ۵۳ متر بعدی تناوب شیل سبز تا

سازند سلطانیه در برش الگو، واقع در دامنه‌های جنوبی قره‌داغ در کوه‌های سلطانیه، به سه بخش تقسیم شده است (Stöcklin et al., 1964). این سازند در محل برش مرجع (برش دلیر، جنوب چالوس)، به ۵ بخش یا پاره سازند تقسیم شده است (Hamdi, 1989) که این تقسیم‌بندی قابل تعمیم به برش الگو نیز است (حمدی، ۱۳۷۴). سازند سلطانیه در برش الگو به ستبرای ۱۱۶۰ متر شامل سه بخش دولومیت زیرین (۱۲۳ متر)، شیل چپقلو (۲۴۷ متر) و دولومیت بالایی (۷۹۰ متر) است (Stöcklin et al., 1964). در برش ولی آباد چالوس به ستبرای بیشینه ۸۸۸ متر (دولومیت زیرین ۱۲۰ متر، شیل زیرین ۱۵۸ متر، دولومیت میانی ۴۸ متر، شیل بالایی ۲۱۲ متر و دولومیت بالایی ۳۰۰ متر) و در برش دلیر به عنوان برش مرجع بیشینه تا ۷۳۸ متر (دولومیت زیرین ۱۲۰ متر، شیل زیرین ۱۳۰ متر، دولومیت میانی ۷۲ متر، شیل بالایی ۱۱۶ متر و دولومیت بالایی ۳۰۰ متر) است. (Shahkarami et al. (2017a) برش گرماب، واقع در جاده چالوس را به ستبرای ۱۱۲۲ متر (دولومیت زیرین ۶۰ متر، شیل زیرین ۱۹۲ متر، دولومیت میانی ۹۰ متر، شیل بالایی ۱۸۰ متر و دولومیت بالایی ۶۰۰ متر) گزارش نموده‌اند. ستبرای سازند سلطانیه در کوه‌های سلطانیه کم و بیش یکسان است (Stöcklin et al., 1964)، به طوری که برش پیمایش شده در سیدکندی $1110/65$ متر ستبرای دارد. در اینجا سازند سلطانیه با تغییر ناگهانی سنگ‌شناسی و به طور هم‌شیب بر روی سازند بایندر قرار گرفته است. مرز بالایی آن نیز به صورت

آنها را به سه گروه فراوان، متداول و نادر تقسیم کنیم (شکل ۶). *Neonereites*، *Treptichnus* و *Planolites* به عنوان اثر فسیل‌های فراوان؛ *Palaeophycus*، *Cruziana* و اثرهای گروه *Scolicia* اثر فسیل‌های متداول و سایر اثر فسیل‌ها به عنوان اثرهای نادر هستند. این در حالی است که توزیع و پراکندگی هر یک از آنها در سطوح مختلف توالی چینه‌شناسی مورد مطالعه نیز متفاوت است. با توجه به توزیع، پراکندگی و فراوانی اثر فسیل‌ها و نیز ظهور یا پایان حضور یک اثر فسیل خاص در ناحیه مورد مطالعه، سه مجموعه پراکنش اثر فسیلی شناسایی و نامگذاری شد. این دسته بندی بر اساس فراوانی آنها و افقی که اثرها ظاهر و ناپدید شده‌اند، تنظیم شده‌اند، به نحوی که مجموعه A بیشترین ستبرای داشته و در اکثر لایه‌ها اثر فسیل مربوط به آن مشاهده شد. مجموعه B مجموعه اثر فسیل‌هایی که فراوانی بیشتری داشته و در افق بالاتر ظاهر شدند. مجموعه C اغلب اثرهایی با پراکندگی و فراوانی کم را شامل می‌شود.

مجموعه اثر فسیل A به نام *Planolites-Treptichnus pedum* با ظهور اولین اثر فسیل *Planolites* آغاز و با پایان آخرین اثر *Treptichnus* پایان می‌یابد، این مجموعه از افق‌های رأسی شیل اول شروع و در بالاترین افق‌های شیل دوم پایان می‌پذیرد. در مجموعه اثر فسیل B که *Neonereites-Palaeophycus* نامگذاری شد، *Neonereites* فراوان‌ترین اثر فسیل بوده و مرز بالایی آن نیز با پایان آخرین *Palaeophycus* منطبق است. این مجموعه در شیل دوم گسترش دارد. مجموعه اثر فسیل *Monocraterion-Archaeonassa* نامگذاری شده است، مرز پایین آن با ظهور *Monocraterion* و مرز بالای آن با پایان *Archaeonassa* منطبق است. این مجموعه اثر فسیل از افق‌های بالاتر از مجموعه پیشین شروع و تقریباً هم افق با مجموعه A پایان می‌پذیرد. با بررسی این تقسیم‌بندی به وضوح دیده می‌شود که مرز پایین مجموعه اثر فسیلی B با اولین فراوانی آثار مجموعه A انطباق دارد و مرز پایین مجموعه اثر فسیلی C با دومین فراوانی مجموعه B منطبق است. مجموعه C قبل از آخرین حضور آثار مجموعه A به پایان می‌رسد.

۴- مرز نوپروتروزویک-کامبرین در برش مورد مطالعه

با مطالعاتی که تاکنون در ایران بر روی مرز پرکامبرین-کامبرین صورت گرفته این نتیجه حاصل شده است که این مرز از سازند سلطانیه می‌گذرد (Hamdi, 1989). در برش مورد مطالعه اولین اثر فسیل مشاهده شده *Planolites* در زیربخش شیل اول بود. *Planolites* به فعالیت رسوب‌خواری جانداران کرمی شکل نسبت داده شده پس یک حفره تغذیه‌ای است و چندین شاخه می‌تواند مسئول ایجاد آن باشند (Alpert, 1975). به عبارتی دیگر می‌توان گفت این اثر نشان دهنده پس‌ریزی فعال رسوبات در یک حفره موقت است که توسط جانوران رسوب‌خوار متحرک اینفونال ایجاد می‌شود و محدوده سنی آن پروتروزویک تا عهد حاضر است (Kappel, 2002). چون گسترش این اثر فسیل از پرکامبرین تا عهد حاضر است، بنابراین با وجودی که این اثر در برش مورد مطالعه جزو آثار فراوان است برای تعیین مرز کاربرد ندارد.

اثرگونه *Treptichnus pedum* دیگر اثر فسیل موجود در زیربخش دولومیت دوم است. اثر فسیل *Treptichnus* به عنوان یک ساختار تغذیه‌ای شناخته می‌شود (Schlirf, 2000) و به لحاظ ایکنوتاکسونومیک نام‌های *Phycodes pedum* یا *Trichophycus pedum* معادل *Treptichnus pedum* هستند و معمولاً از همان نام *Treptichnus pedum* استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد *Treptichnus* توسط کرم‌های *priapulid* ایجاد شده، زیرا این کرم‌ها با ساختاری شبیه به *Treptichnus* حرکت می‌کنند (Vannier et al., 2010, Srivastava, 2012). این اثر جنس معمولاً به عنوان حفاری کوک مانند تفسیر می‌شود (مثل Seilacher, 1955) و از مرز وندین-کامبرین تا ائوسن گسترش دارد (Uchman, 1998, Geyer and Uchman, 1995). Srivastava (2012) این اثر را نتیجه حرکت جانوران برای جستجوی مواد غذایی تفسیر نمود. *Treptichnus pedum* اولین اثر فسیل با گسترش جهانی است که ظهور آن همزمان با

— **زیربخش شیل دوم (Sh2):** به ستبرای ۷۶/۷۵ متر و شامل ۳۸ متر شیل بسیار خرد شده نخودی، زرد، سبز تا خاکستری روشن با لامینه‌های بسیار نازک و سپس ۲/۵ متر شیل ارغوانی است. در گزارش‌های پیشین تنها این زیربخش از این برش به عنوان شیل چپقلو نامیده شده است (آبشاهی، ۱۳۶۸؛ باباخانی و صادقی، ۱۳۸۳). این در حالی است که (Stöcklin and Eftekhari-Nezhad, 1969) در برش الگو و (Hamdi et al., 1989) در برش ولی‌آباد بخش شیل زیرین را به عنوان شیل چپقلو در نظر گرفته‌اند. این اختلاف نامگذاری در تعیین موقعیت چینه‌نگاری شیل چپقلو در برش سیدکندی قابل تأمل است. شاید این موضوع ناشی از اشتباه تشخیص محققین اولیه در برش سیدکندی باشد یا اینکه آنان تنها بر پایه وجود افق‌های فسفاتی در این شیل‌ها آن را با برش الگو مقایسه کرده و نام شیل چپقلو را برای این بخش مورد استفاده قرار داده‌اند. بایستی توجه داشت که رسوبات فسفاتی در طی نوپروتروزویک-کامبرین زیرین در چندین افق چینه‌نگاری ته نشست شده‌اند. بنابراین نامگذاری زیربخش شیل دوم (Sh2) به نام شیل چپقلو، تنها با وجود افق‌های فسفاتی، دلیل کافی نیست و این نامگذاری نیاز به بازنگری و اصلاح دارد. بنابراین در اینجا، مجموعه شیل اول، دولومیت دوم و شیل دوم به عنوان زیربخش‌های پاره‌سازند شیل چپقلو در نظر گرفته می‌شوند. قاعده این زیربخش فسفاتی است و لایه‌های بعدی ۱۵/۲۵ متر شیل یکنواخت سبز با سطوح لایه‌بندی مسطح، نازک لایه تا بسیار نازک لایه است که در بالا با سطوح لایه‌بندی موازی مسطح به طرف بالا ضخیم لایه شونده دیده می‌شود، این لایه‌ها دارای اثر فسیل هستند. میان دو لایه اخیر ۱۰ سانتی‌متر شیل کربناته ضخیم با سطوح لایه‌بندی مسطح قرار گرفته است. ۷۰ سانتی‌متر ماسه سفاته قهوه‌ای تیره کمی شیلی شده با لایه‌بندی موجی و ۱۳/۲۰ متر شیل دانه‌ریز نخودی تا سبز زیتونی (روشن) متوسط تا نازک لایه با لامینه‌بندی ریز دارای اثر فسیل‌های مختلف در ادامه زیربخش Sh2 دیده می‌شوند. ۳ متر شیل ماسه‌ای میکادار ارغوانی-سفید-سبز با لایه‌بندی مطبق ممتد که احتمال گسل خوردگی در آن وجود دارد و ۴ متر شیل ماسه‌ای قهوه‌ای روشن تا تیره سفاته که دارای لایه‌بندی مطبق ممتد و چینه‌بندی به هم پیچیده (Convolute bedding) هستند آخرین لایه‌های توالی Sh2 هستند. یک افق آرزلیتی در قاعده این زیربخش شیلی دیده می‌شود.

۲-۳. پاره سازند دولومیت رأسی یا اصلی

— **زیربخش دولومیت سوم (D3):** از ۲۸۷/۳ متر تناوب دولومیت‌های تیره و روشن (خاکستری تا نخودی) همراه با باندهای چرتی خاکستری و چینه‌بندی لامینه‌ای تشکیل شده است، باندهای استروماتولیتی و میان لایه‌های نازک شیلی به فراوانی در آن دیده می‌شود.

— **زیربخش شیل سوم (Sh3):** شامل ۱۷۵/۲۰ متر مرکب از ۹۴/۲۰ متر شیل میکادار سفاته نازک لایه روشن، ۵۳ متر شیل تیره دولومیت‌دار ضخیم لایه با باندهای چرتی و علائم فعالیت زیستی و ۲۸ متر شیل روشن نازک لایه پوشیده شده با میان لایه‌های دولومیت است.

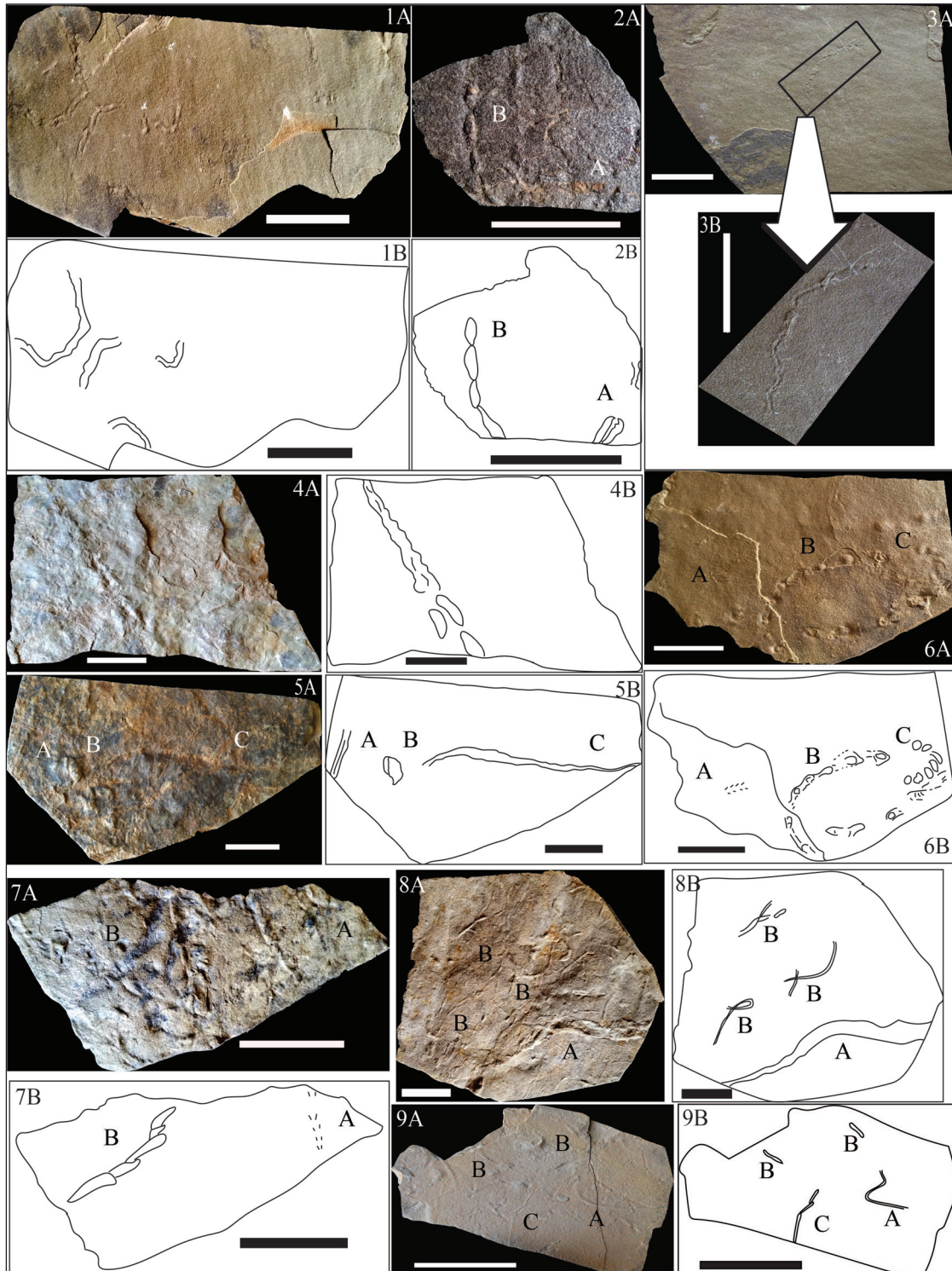
— **زیربخش دولومیت چهارم یا دولومیت بالایی (D4):** این زیربخش از ۲۲۸/۶۰ متر دولومیت متوسط تا ضخیم لایه استروماتولیت‌دار کرم تا خاکستری روشن تشکیل شده که میان لایه‌های شیلی در بخش‌هایی از آن دیده می‌شود و دارای باندهای چرتی و لایه‌بندی موازی است. این واحد دولومیت رأسی سلطانیه است.

۳- مجموعه‌ها و پراکنش اثر فسیل (Ichnoassemblages)

در برش مورد مطالعه بیش از ۱۰۹ نمونه دارای اثر فسیل از زیربخش‌های شیل اول، دولومیت دوم و شیل دوم برداشت شدند و در سایر زیربخش‌های این سازند در برش مورد مطالعه اثر فسیلی یافت نشد. این اثر فسیل‌ها شامل ۲۳ اثر جنس با ۴۲ اثرگونه است. این اثر فسیل‌ها بیشتر به صورت برجسته در سطح زیرین یا فرورفته در سطح بالایی لایه‌بندی حفظ شده‌اند و بیشتر رفتار خزشی (*repichnia*) تا خزشی-چرشی (*pasichnia*) را نشان می‌دهند (شکل‌های ۳ تا ۵) (فامرینی بزچلویی، ۱۳۹۶). فراوانی اثر فسیل‌ها در برش مورد مطالعه متفاوت است. اگر بر اساس فراوانی

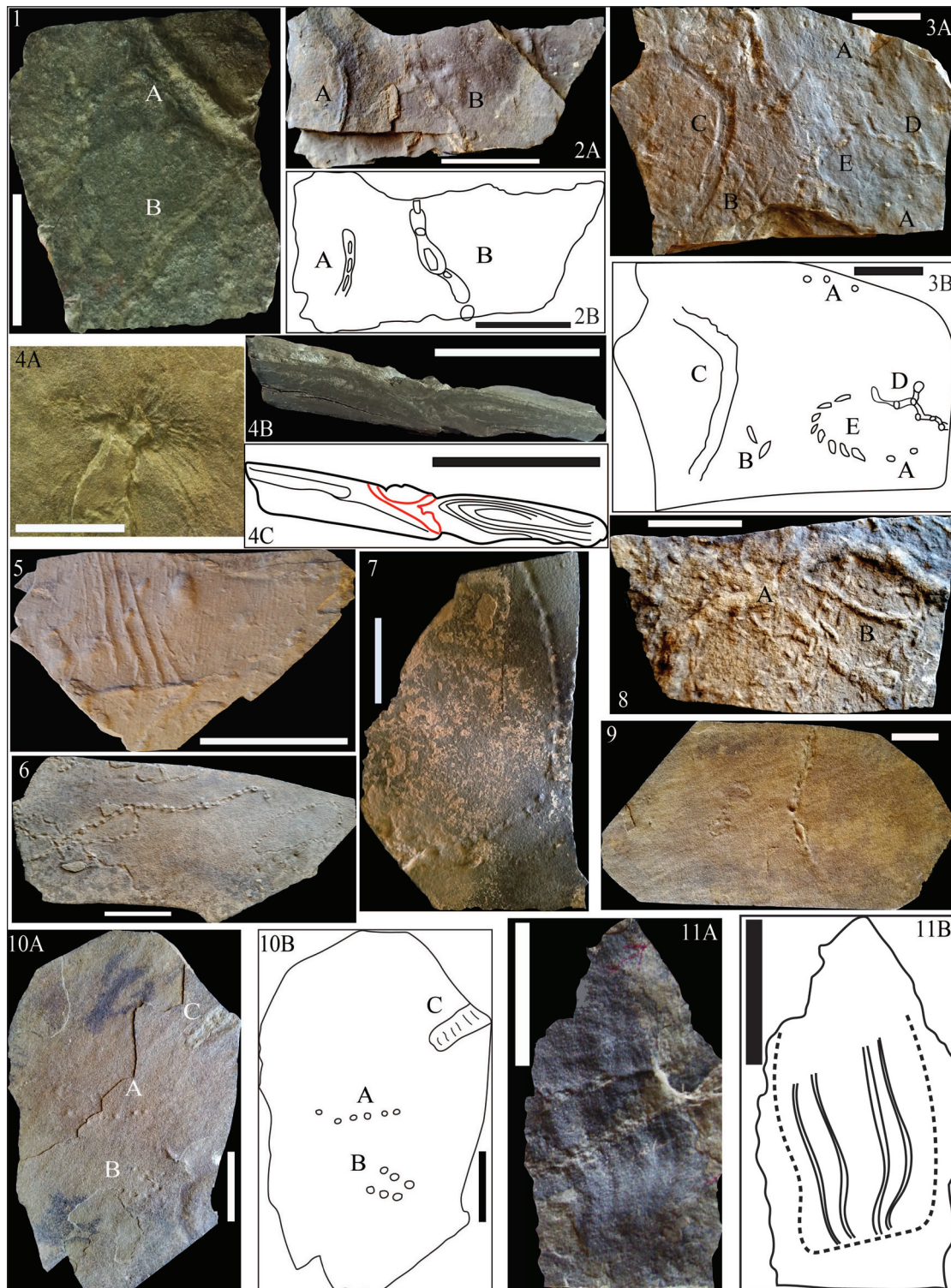
در لایه‌های پایینی زیر بخش D2 به عنوان آغاز پالتوزویک و قاعده سیستم/پریود کامبرین در برش سیدکندی پیشنهاد می‌شود. بنابراین مرز نئوپروتروزویک-کامبرین در برش مورد مطالعه در متر ۲۷۵ متر از قاعده برش قرار دارد.

آخرین گسترش فسیل‌های نئوپروتروزویک است و با این ویژگی، از آن برای تعیین مرز نئوپروتروزویک-کامبرین استفاده می‌شود (Fedonkin, 1990). از آنجایی که در بخش‌های پایین‌تر هیچ نمونه‌ای از این اثر یافت نشد، اولین افق دارای *Treptichnus pedum*



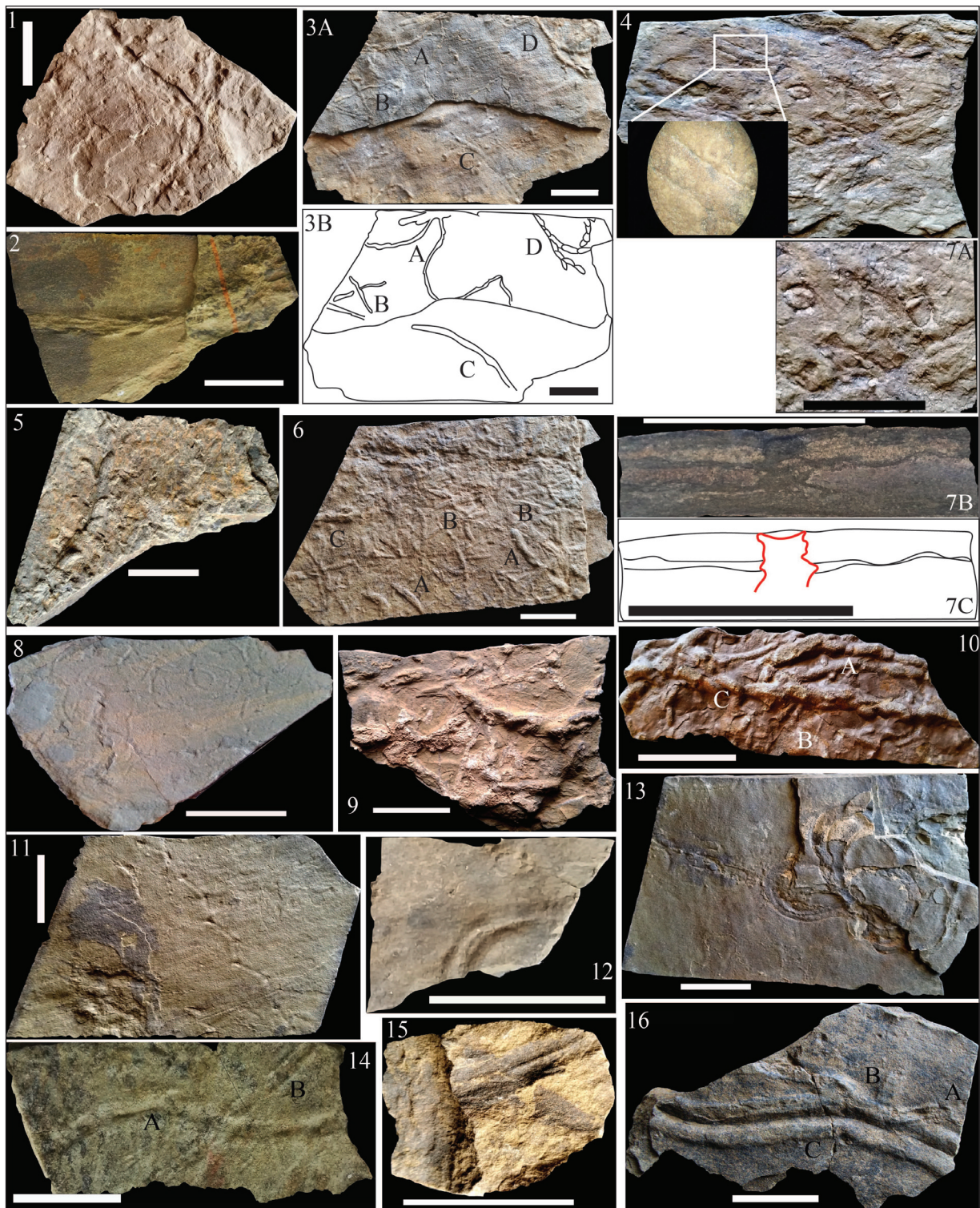
شکل ۳- تصویر اثر فسیل‌های یافت شده در توالی مورد مطالعه (مقیاس برای همه برابر ۳ سانتی‌متر است).

- 1- (N12) *Archaeonassa fossulata* Fenton and Fenton, 1937, 2- (M8) A: *Archaeonassa* isp., B: *Treptichnus pedum* Seilacher, 1955, 3- (S9) *Cruziana problematica* Schindewolf, 1928, 4- (N5) *Cruziana* isp., 5- (S12) A: *Cruziana semiplicata* Salter, 1853, B: *Cruziana problematica* Schindewolf, 1928, C: *Rusophycus* isp., 6- (S20) A: *Diplichnites gouldi* (Gevers et al., 1971) (Bradshaw, 1981), B: *Neonereites uniserialis* Seilacher, 1960, C: *Treptichnus pedum* Seilacher, 1955, 7- (S3) A: *Diplichnites* isp., B: *Treptichnus pedum* Seilacher, 1955, 8- (M26) A: *Cruziana semiplicata* Salter, 1853, B: *Gordia marina* Emmons, 1844, 9- (M32) A: *Helminthopsis* isp., B: *Planolites* isp., C: *Treptichnus* isp.



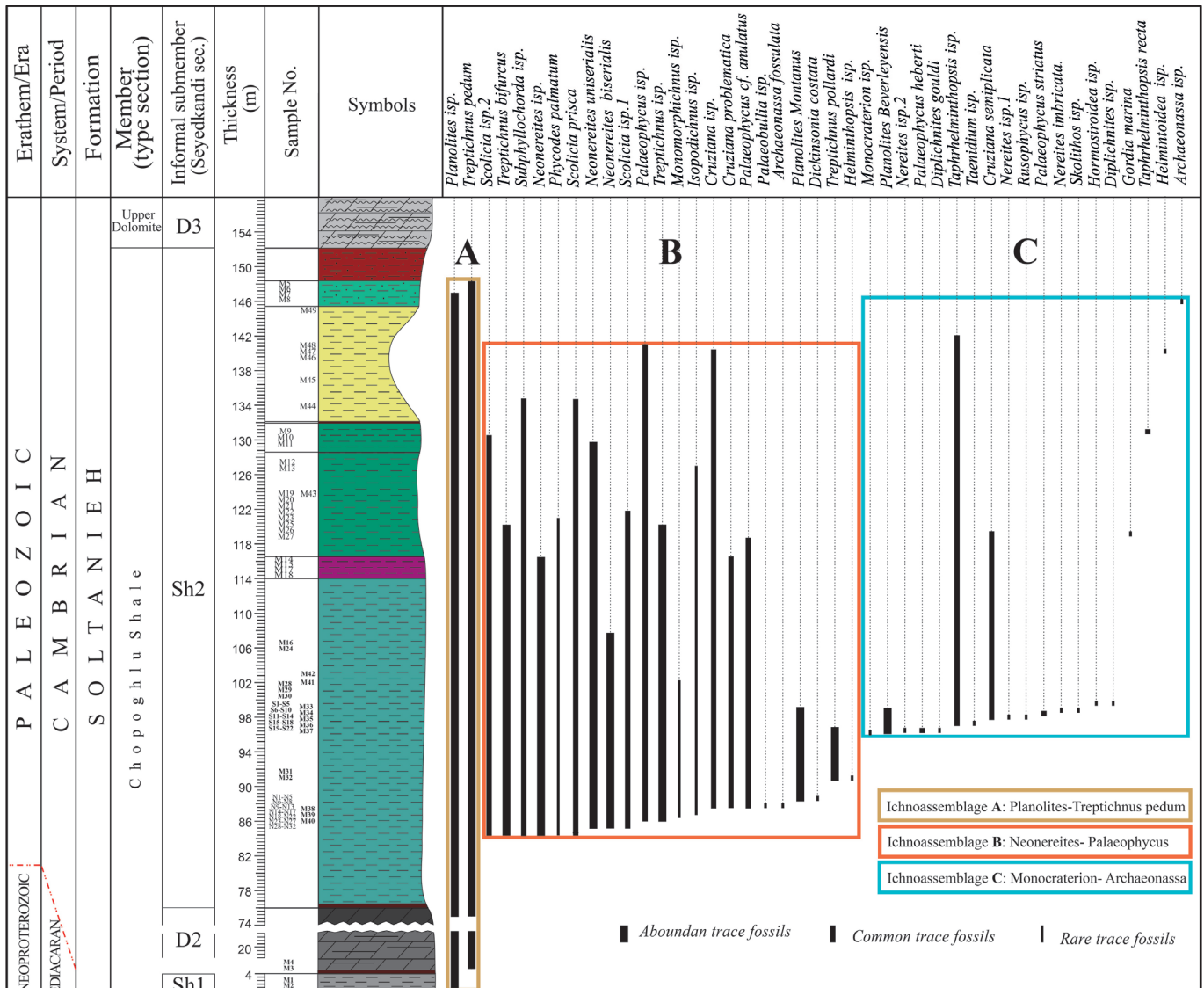
شکل ۴- ادامه تصویر اثر فسیل‌های یافت شده در توالی مورد مطالعه (مقیاس برای همه برابر ۳ سانتی‌متر است).

1- (M46) A: *Helminthoidea* isp., B: *Neonereites uniserialis* Seilacher, 1960, 2- (M14) A: *Isopodichnus* isp., B: *Neonereites* isp., 3- (S5) A: *Hormosiroidea* isp., B: *Planolites* isp., C: *Scolicia* isp.2, D: *Treptichnus bifurcus* Miller, 1889, E: *Treptichnus pedum* Seilacher, 1955, 4- (M37) *Monocraterion* isp., 5- (M39) *Monomorphichnus* isp., 6- (S1), 7 (M16), 9 (M12) *Neonereites uniserialis* Seilacher, 1960, 8- (S14) A: *Nereites* isp.1 B: *Treptichnus pedum* Seilacher, 1955, 10- (S7) A: *Neonereites uniserialis* Seilacher, 1960, B: *Neonereites biserialis* Seilacher, 1960, C: *Nereites imbricata* (Mángano et al., 1996), 11- (N11) *Palaeobullia* isp.



شکل ۵- ادامه تصویر اثر فسیل‌های یافت شده در توالی مورد مطالعه (مقیاس برای همه برابر ۳ سانتی‌متر است).

1- (M27) *Palaeophycus* cf. *annulatus* Pemberton and Frey, 1982, 2- (M34) *Palaeophycus striatus* Hall, 1852, 3- (S19) A: *Palaeophycus heberti* da Saporta, 1872, B: *Planolites* isp., C: *Planolites beverleyensis* Billings, 1862, D: *Treptichnus pedum* Seilacher, 1955, 4- (S10) *Palaeophycus* isp., 5- (M23) *Phycodes palmatum* Hall, 1852, 6- (S19) A: *Palaeophycus* isp., B: *Planolites montanus* Richter, 1937, C: *Nereites* isp.2, 7- (S10) *Skolithos* isp., 8- (S22) *Treptichnus pollardi* Buatois and Mángano, 1993, 9- (M3) *Treptichnus pedum* Seilacher, 1955, 10- (N8) A: *Planolites* isp., B: *Planolites montanus* Richter, 1937, C: *Treptichnus. pedum* Seilacher, 1955, 11- (M25) *Treptichnus bifurcus* Miller, 1889, 12- (M18) *Taphrhelminthopsis* isp., 13 (S8) *Subphyllochorda* isp., 14- (M44) A: *Scolicia prisca* Quartrefages, 1849, B: *Neonereites uniserialis* Seilacher, 1960, 15 (N23) *Scolicia* isp.2, 16- (S15) A: *Scolicia* isp.1 B: *Taenidium* isp. C: *Taphrhelminthopsis recta* Sacco, 1888.



شکل ۶- انتشار چینه‌شناسی گروه‌های مختلف اثر فسیل در سازند سلطانیه در برش چینه‌ای ناحیه مورد مطالعه (سیدکندی).

۵- بحث

بررسی برش‌های چینه‌شناسی از سراسر جهان نشان می‌دهد که یک نظم معینی در ظهور انواع اثر فسیل‌ها و در افق‌های زمانی رخ داده است، به طوری که امکان تعریف زون‌های متکی بر اثر فسیل‌ها ممکن است (Narbonne et al., 1987; Walter et al., 1989). بر همین اساس Narbonne et al. (1987) با استفاده از توالی‌های منطقه نیوفوندلند (Newfoundland) در مرز نوپروتروزیویک-کامبرین ۳ زون اثر فسیلی *Rusophycus avalonensis* و *Treptichnus pedom* و *Harlaniella podolica* را شناسایی کردند که هر کدام از آنها با یکی از سه زون اثر فسیلی جهانی تعریف شده توسط Crimes (1987) مطابقت دارد. Narbonne et al. (1987) زون *Harlaniella podolica* را مطابق بخش فوقانی زون اثر فسیلی ۱ نوپروتروزیویک (Crimes 1987) تعریف کردند که با وقوع *Harlaniella* و *Palaeopascichnus* مشخص می‌شود (Jensen, 2003). زون *Treptichnus pedom* اولین ظهور مجموعه اثر فسیل‌هایی مشخص می‌شوند که شامل حفاری‌های سه‌بعدی پیچیده (مثل *Treptichnus pedom*)، اولین علائم خراش بندپایان (*Monomorphichnus*) و چندین ایکنوتاکسا از حفره‌های توبی شکل در *Treptichnus pedom* هستند. سرانجام قاعده زون *Treptichnus pedom*

نخستین اثر فسیل‌های نوپروتروزیویک (وندین) حفاری‌های افقی و فاقد انشعاب هستند (که در نزدیکی سطح رسوبات ایجاد شده‌اند)، ولی آثار حفاری‌های قائم در مرز نوپروتروزیویک-کامبرین بیشتر می‌شوند (Crimes and Droser, 1992; Jensen, 2003). در کامبرین جانوران قادر به نفوذ بیشتر در داخل رسوبات بودند و اثر فسیل‌هایی با اشکال پیچیده‌تر و اندازه بزرگ‌تر به وجود آوردند. بخش عمده اثر فسیل‌های گزارش شده از نوپروتروزیویک-اوایل کامبرین از رسوبات سیلیسی آواری از محیط‌های جزر و مدی کم‌عمق گزارش شده است (Crimes, 2001). (Seilacher 1956) با بازنگری در گزارشات موجود از سرتاسر دنیا، فقط ۳ اثر جنس از چینه‌های پرکامبرین و ۱۰ اثر جنس از کامبرین گزارش نمود. به گونه‌ای که در طول مرز نوپروتروزیویک-کامبرین تنوع و پیچیدگی اثر فسیل‌ها افزایش یافته است. این افزایش تنوع و پیچیدگی از دیرباز شناخته شده بود و سن قدیمی‌ترین اثر فسیل‌هایی که به طور گسترده مورد تأیید هستند، بیش از ۵۵۵ میلیون سال نیست (Droser et al., 2002). اثر فسیل‌های نوپروتروزیویک نشان دهنده 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 (Jensen, 2003).

هنگام رسوبگذاری بخش شیل زیرین مؤثر بوده است، چراکه در لایه‌های سیلت سنگ و شیل با منشأ طوفانی، حفظ‌شدگی بهتری برای اثر فسیل‌ها دیده می‌شود (Shahkarami et al., 2017b). در این برش که *Treptichnus pedum* در آخرین لایه‌های شیل زیرین و در رخساره سنگی شیل سیلنی (توالی شیل توده‌ای با لامیناسیون موازی و سیلت و شیل نازک لایه) ظاهر می‌شود، چهار ایکنوزون به سن‌های فورتونین تا Age 3 در سیستم کامبرین پیشنهاد شده (Shahkarami et al., 2017a) و تمام بخش شیل زیرین و دولومیت زیرین به سن فورتونین پیشین در نظر گرفته شده است. با این حال، اگر اولین پیدایش زیرین شیل زیرین در برش گرماب و دولومیت زیرین در این برش به سن وندین بوده و افق‌های جدیدتر از آن افق سن فورتونین داشته باشند.

ایکنوزون یک در متر ۱۵۷ متری از قاعده در برش گرماب با اثر جنس‌هایی چون *Cochlichnus anguineus*، *Helminthoidichnites tenuis*، *Helminthopsis tenuis* تحت عنوان اثر فسیل‌های پیش قراول (distal expression)، با زون ریزصفد *Anabarites trisulcatus-Protoherzina anabarica*، مقایسه و به سن فورتونین پیشین نسبت داده شده است (Shahkarami et al., 2017a). ولی اساساً در هیچ یک از مطالعات قبلی (Hamdi et al. 1989; Tashayoe et al. 2012) بایوزن ریزصفد *Anabarites tripartitus-Anabarites rectus vasileva Assemblage Zone Protoherzina anabarica*، *Anabarites trisulcatus*، یا مجموعه ریزصفد‌های *Cambrotubulus decurvatus*، *Hyalithellus* sp. به بخش‌های دولومیت زیرین یا شیل زیرین نسبت داده نشده است. بنابراین این موضوع که (Shahkarami et al. 2017a and b) سن فورتونین را به این بخش‌ها تعمیم داده‌اند جای تأمل دارد. جالب است که اثر فسیل *Treptichnus pedum* از افق‌های بالایی شیل زیرین در برش الگو نیز یافت شده است (ثاب قدسی و همکاران ۱۳۸۵). بنابراین مرز نئوپروتروزیویک-کامبرین در محدوده افق‌های رأسی شیل زیرین تا افق‌های پایینی دولومیت میانی جای دارد.

در برش سیدکندی، اولین اثر فسیل *Planolites* و از لایه‌های بالایی زیربخش شیل اول یافت شد. اثرهای بعدی شامل *Planolites* و *Treptichnus* از لایه‌های نزدیک به قاعده زیربخش دولومیت دوم یافت شدند. از آنجا که *Treptichnus pedum* در بیشتر مطالعات تشخیص مرز به عنوان شاخص پایان نئوپروتروزیویک و آغاز کامبرین در نظر گرفته می‌شود، مرز نئوپروتروزیویک-کامبرین بر اساس پیدایش این اثر در برش مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود (شکل ۷) و این افق را می‌توان با برش‌های دیگر مقایسه و مطابقت داد (شکل ۸). به بیان دیگر با مقایسه برش سیدکندی با برش دلیر می‌توان گفت مرز نئوپروتروزیویک-کامبرین از میان دولومیت میانی سازند سلطانیه می‌گذرد و تعیین مرز در برش گرماب نیاز به بازنگری دارد (شکل ۸).

بخشی از Fortune Head، جزیره Burine، Newfoundland، به عنوان قاعده کامبرین GSSP (Global Standard Stratotype Section and Point) در نظر گرفته شد (Brasier et al., 1994). به بیان دیگر مرز نئوپروتروزیویک-کامبرین با اولین ظهور اثرگونه *Treptichnus pedum* تعیین می‌شود (Fedonkin, 1990; Ogg et al., 2016). با این حال اخیراً این اثر فسیل در افق ۴/۴ متر پایین‌تر از افق مرزی GSSP یافت شده است (Gehling et al., 2001). ولی این ماهیت مرزی در نیوفوندلند را تغییر نمی‌دهد (Ogg et al., 2016).

در کوه‌های راکی کانادا، Young (1972) مرز نئوپروتروزیویک-کامبرین را در ۱۰۰ متر بالای سازند مک‌ناوتون (Mc Naughton) پیشنهاد داد که در آن اثر فسیل‌ها فراوان‌ترند. با تطبیق اثر فسیل‌های کوه‌های راکی با زون ۱ و ۳ کرامز این نتیجه حاصل شد که مرز نئوپروتروزیویک-کامبرین ممکن است از بخش‌های پایین یا حتی قاعده سازند مک‌ناوتون بگذرد.

بررسی مرز نئوپروتروزیویک-کامبرین در میشوکان (Meishucun) در کشور چین نشان می‌دهد که اولین اثر فسیل‌ها (*Asteriacites* sp.، *Arenicolites* sp.) در واحد ۳ بخش ژونگیچون (Zhongyicun) مشاهده می‌شوند و تعداد اندکی از اثرها (مانند *Arenicolites* و *Neonereites*) ۸ متر بالاتر از نقطه‌ای که به عنوان مرجع مرز پیشنهاد شد، ظاهر می‌شوند. با توجه به افق ظاهر شدن سایر اثر فسیل‌ها مانند *Cochlichnus* sp.، *Monomorphichnus* sp.، *Neonereites biserialis*، *Taphrohelminthopsis circularis*، *N. uniserialis* در یافتن مرز یادشده استفاده نمود (Crimes and Zhiwen, 1986).

اثر فسیل *Treptichnus pedum* در برخی برش‌ها مانند نامیبیا، نروژ و کانادا (نیوفوندلند)، ممکن است همراه با فسیل‌های پیکری نئوپروتروزیویک باشد (Seilacher et al., 2005; Högström et al., 2013). این در حالی است که بوآتویس (Buatois, 2018) ضمن بررسی ایکنوتاکسونومی، پراکنش محیط رسوبی و رفتارشناسی اثر فسیل *Treptichnus pedum*، گسترش چینه‌نگاری آن را مورد بررسی قرار داده است و این نکته را خاطر نشان می‌کند که نمونه‌های *Treptichnus pedum* نسبت داده شده به نئوپروتروزیویک نیاز به بازنگری سیستماتیک و تشخیص درست دارد و آنچه که توسط Seilacher et al. (2005) به عنوان نمونه‌های نئوپروتروزیویک نشان داده شده است متعلق به فورتونین (Fortunian، نخستین سری / اپوک کامبرین) است.

دیرینه بوم‌شناسی سازند سلطانیه در برش گرماب در جاده چالوس از دیدگاه‌های رخساره رسوبی، زون‌های فسیل‌های ریزصفد، چینه‌نگاری سکانسی و ایکنولوژی مطالعه شده است (Shahkarami et al., 2017b). نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که به احتمال زیاد شرایط محیط رسوبی در پراکنش اثرهای شاخص کامبرین در

۶- نتیجه گیری

وجود داشته است. بنابراین مطابق با مرز جهانی نئوپروتروزوییک-کامبرین بر اساس اثر فسیل‌ها در برش الگوی جهانی، افق ظهور *Treptichnus pedum* که در فاصله ۸ متر بالای قاعده D2 قرار دارد، به عنوان مرز نئوپروتروزوییک-کامبرین در برش مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

سیاسگزاری

نگارندگان از داوران محترم به دلیل ارائه رهنمودهای علمی و اصلاحات مورد نیاز این مقاله سپاسگزاری می‌نمایند. از آقای کریم ممبینی و مسئولین شرکت جهاد نصر استان زنجان به دلیل کمک‌ها و حمایت‌هایشان کمال تشکر را دارند.

برش مورد نظر به ستبرای ۱۱۱۰/۶۵ متر و در مجموع دارای ۷ زیربخش غیررسمی است که شامل ۴ زیربخش دولومیت و ۳ زیربخش شیل است. از لایه‌های شیل اول، دولومیت دوم و شیل دوم اثر فسیل‌هایی گزارش شد. اولین اثر فسیل‌هایی که مشاهده شدند *Planolites isp.* در زیربخش شیل اول (Sh1) و اثر فسیل‌های *Planolites isp.* و *Treptichnus pedum* از زیربخش دولومیت دوم (D2) هستند. به جز این نمونه‌ها، همه اثر فسیل‌های دیگر در زیربخش شیل دوم یافت شدند. در توالی مورد مطالعه فسیل پیکری جانوری یافت نشد، ولی با وجود گوناگونی و فراوانی اثر فسیل‌ها می‌توان این نتیجه را گرفت که در گستره شیل‌های Sh2 تنوع زیستی قابل توجه وجود داشته، یا حداقل اینکه تنوع رفتاری در هنگام رسوبگذاری این لایه‌ها در جانداران اثر ساز

کتابنگاری

- آبشاهی، م.، ۱۳۶۸- گزارش گمانه زنی در منطقه فسفات‌دار جنوب غربی زنجان. طرح اکتشاف معدنی فسفات به سرپرستی محمدحسین بلورچی. وزارت معادن و فلزات. گزارش داخلی. ۱۶ ص.
- 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 دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی. ۴۰ و ۵، صص. ۸۵ تا ۹۲.
- باباخانی، ع. ر. و صادقی، ا.، ۱۳۸۳- نقشه زمین شناسی چهارگوش زنجان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- ثیاب قدسی، ع. ا.، حمدی، ب.، آدابی، م. ح. و صادقی، ع.، ۱۳۸۵- بررسی سیستماتیک و تافونومی ایکنوفسیل *Trichophycus pedum* در برش الگوی سازند سلطانیه در جنوب خاوری زنجان. مجله علوم زمین سازمان زمین شناسی کشور، شماره ۶۱، صص. ۱۱۶ تا ۱۲۳.
- جهاد نصر، ۱۳۹۵- طرح اکتشاف تفصیلی فسفات سیدکندی. گزارش داخلی سازمان صنعت، معدن و تجارت. منتشر نشده.
- حمدی، ب.، ۱۳۷۴- سنگ‌های رسوبی پرکامبرین- کامبرین در ایران. مجموعه زمین شناسی ایران، طرح تدوین کتاب، سازمان زمین شناسی کشور. ۳۵۳ ص.
- فامرینی بزچلوئی، م.، ۱۳۹۶- چینه‌شناسی، ایکنولوژی و دیرینه‌بوم‌شناسی سازند سلطانیه در برش سعیدکندی، جنوب غرب زنجان. پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، منتشر نشده.

References

- Alpert, S. P., 1975- *Planolites* and *Skolithos* from the Upper Precambrian-Lower Cambrian White-Inyo Mountains, California. *Journal of Paleontology*. 49: 508-521.
- Banerjee, N. R., Simonetti, A., Furnes, H., Muehlenbachs, K., Staudigel, H., Heaman, L. and Van Kranendonk, M. J. 2007- Direct dating of Archean microbial ichnofossils. *Geology*. 35: 487-490. <https://doi.org/10.1130/G23534A.1>.
- Billings, E., 1862- New species of fossils from different parts of the Lower, Middle and Upper Silurian rocks of Canada. -In: *Palaeozoic Fossils, Volume I (1862-1865)*: 96-168; Montreal (Geological Survey of Canada, Dawson Brothers).
- Bradshaw, M. A., 1981- Paleoenvironmental interpretations and systematics of Devonian trace fossils from the Taylor Group (lower Beacon Supergroup), Antarctica: *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*. 24: 615- 652. <https://doi.org/10.1080/00288306.1981.10421537>.
- Brasier, M. D., Cowie, J. and Taylor, M., 1994- Decision on the Precambrian-Cambrian boundary stratotype. *Episodes*. 17:3.
- Buatois, L. A., 2018- *Treptichnus pedum* and the Ediacaran-Cambrian boundary: significance and caveats. *Geological Magazine*. 155: 174-180. <https://doi.org/10.1017/S0016756817000656>.
- Buatois, M. A. and Mángano, G. M., 1993- The ichnotaxonomic status of *Plantagichnus* and *Treptichnus*. *Ichnos*. 2: 217- 224.
- Buatois, M. A. and Mángano, G. M., 2011- *Ichnology: organism-substrate interactions in space and time*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cohen, K. M., Harper, D. A. T. and Gibbard, P. L., 2016- International Chronostratigraphic Chart <http://stratigraphy.org/ICSchart>, IUGS publications.
- Crimes, T. P. and Droser, M. L., 1992- Trace fossils and bioturbation: the other fossil record. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 23: 339- 360. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.002011>.
- Crimes, T. P. and Zhiwen, J., 1986- Trace fossils from the Precambrian-Cambrian boundary candidate at Meishucun, Jinning, Yunnan, China. *Geological Magazine*. 123: 641-9. <https://doi.org/10.1017/S0016756800024158>.
- Crimes, T. P., 1987- Trace fossils and correlation of late Precambrian and early Cambrian strata. *Geological Magazine*. 124: 97-119. <https://doi.org/10.1017/S0016756800015922>.
- Crimes, T. P., 2001- Evolution of the deep-water benthic community. In A. Yu. Zhuravlev and R. Riding (eds.), *The Ecology of the Cambrian Radiation*. 275-296. Columbia University Press, New York.
- Droser, M. L., Jensen, S. and Gehling, J. G., 2002- Trace fossils and substrates of the terminal Proterozoic-Cambrian transition: Implications for the record of early bilaterians and sediment mixing. *PNAS*. 99: 12572-12576. <https://doi.org/10.1073/pnas.202322499>.
- Emmons, E., 1844- *The Taconic System: based on observations in New York, Massachusetts, Maine, Vermont and Rhode Island*. 68 pp. Caroll and Cook, Albany.
- Fedonkin, M., 1990- Paleoiology of the Vendian metazoan. In: Sokolov, B. S. and Iwanowski A. B. (eds.). *A Vendian System V. 1. Paleontology* 132-137. Berlin. Heidelberg. New York (Springer Verlag).
- Fenton, C. L. and Fenton M. A., 1937- *Archaeonassa*: Cambrian snail trails and burrows. *American Midland Naturalist*. 18: 454-456. DOI: 10.2307/2420587.

- Gehling, J.G., Jensen, S., Droser, M. L., Myrow, P. M. and Narbonne, G. M., 2001- Burrowing below the basal Cambrian GSSP, Fortune Head, Newfoundland. *Geological Magazine*. 138: 213–218. <https://doi.org/10.1017/S001675680100509X>.
- Geyer, G. and Uchman, A., 1995- Ichnofossil assemblages from the Nama Group (Neoproterozoic- Lower Cambrian) in Namibia and the Proterozoic– Cambrian boundary problem revisited. *Beringeria. Special. Issue. 2*: 175-202.
- Hall, J., 1852- *Palaeontology of New York*. V.II. C. Albany, Van Benthuyesen. 362.
- Hamdi, B., 1989- Stratigraphy and paleontology of the Late Precambrian to Early Cambrian in the Alborz Mountains, northern Iran. *Geological Survey of Iran. Report No. 59*, 40 p. (with 6 plates).
- Hamdi, B., Brasier, M. D., Zhiwen, J., 1989- Earliest skeletal fossils from Precambrian-Cambrian boundary strata, Elburz Mountains, Iran. *Geological Magazine* 126: 283-289. <https://doi.org/10.1017/S0016756800022378>.
- Högström, A. E., Jensen, S., Palacios, T. and Ebbestad, J. O. R., 2013- New information on the Ediacaran–Cambrian transition in the Vestertana Group, Finnmark, northern Norway, from trace fossils and organic-walled microfossils. *Norwegian Journal of Geology*. 93: 95–106.
- Jensen, S., 2003- The Proterozoic and Earliest Cambrian Trace Fossil Record; Patterns, Problems and Perspectives. *Integrative and Comparative Biology*, 43: 219-228. <https://doi.org/10.1093/icb/43.1.219>.
- Kappel, J., 2002- Ichnofossilien im Campanium des südöstlichen Münsterlandes. 236 pp. Ph.D. thesis, Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Westfälischen Wilhelms- Universität, Münster. [in German].
- Mángano, M. G., Buatois, L. A. Maples, C. G. and West. R., 1996- Trace fossils from an Upper Carboniferous tidal shoreline (Stull Shale Member of eastern Kansas). 30th International Geological Congress, Beijing, Abstract V. 2: 133.
- Miller, S. A., 1889- North American geology and paleontology for the use of amateurs, students and scientists. Western Methodist Book Concern, Cincinnati, 664.
- Narbonne, G. M. and Hofmann, H. J., 1987- Ediacaran biota of the Wernecke Mountains, Yukon, Canada. *Palaeontology*, 30: 647-676.
- Ogg, J. G., Ogg, G. M. and Gradstein, F. M., 2016- A concise geologic time scale: 2016. Elsevier. 234 p.
- Pemberton, S. G. and Frey, R.W., 1982- Trace fossil nomenclature and the *Planolites-Palaeophycus* dilemma. *Journal of Paleontology*. 56: 843- 881.
- Quatrefages, M. A. de., 1849- Note sur la Scolicia prisca (A. de Q.) annelide fossile de la Craie. *Annales des Sciences Naturelles*, 3 ser., Zoologie. 12: 265–266.
- Richter, R., 1937- Marken und Spuren aus allen Zeiten. I-II. *Senckenbergiana Biologica*. 13: 299– 342.
- Sacco, F., 1888- Note di Paleoichnologie Italiana. *Societa Italiana di Scienze Naturali, Atti*. 31: 151-191.
- Seilacher, A., 1955- Spuren und Fazies im Unterkambrium, 373–399. In Schindewolf, O.H. and Seilacher, A. Beiträge zur Kenntnis des Kambriums in der Salt Range (Pakistan). Akademie der Wissenschaften und der Literatur zu Mainz, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abhandlungen 10: 324-327, (Extensive documentation of Cambrian trilobite trackways as Diplichnites).
- Seilacher, A., 1956- Der Beginn des Kambriums als biologischeWende. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie- Abhandlungen*. 103: 155-180.
- Seilacher, A., Buatois, L. A. and Mángano, M. G., 2005- Trace fossils in the Ediacaran-Cambrian transition: behavioral diversification, ecological turnover and environmental shift. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 227: 323-356. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.06.003>.
- Shahkarami, S., Mángano, M. G. and Buatois, L. A. 2017a- 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. <https://doi.org/10.1017/jpa.2017.72>.
- Shahkarami, S., Mángano, M. G. and Buatois, L. A., 2017b- 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. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.03.012>.
- Srivastava, P., 2012 -*Treptichnus pedum*: An Ichnofossil Representing Ediacaran–Cambrian Boundary in the Nagaur Group, the Marwar Supergroup, Rajasthan, India. *Proceeding of Indian National Science Academy*. 78: 161-169.
- Stöcklin, J. and Eftekhari-Nezhad, J. (Compilers), 1969- Zanjan Quadrangle map, Scale 1:250000 With explanatory text. *Geology Survey of Iran. Report. 1*: 29 p.
- Stöcklin, J., Ruttner, A. and Nabavi, M., 1964- Newdata on the Lower Paleozoic and Precambrian of North Iran. *Geological Survey of Iran. Report. 1*: 29p.
- Tashayoe, R., Hamdi, B., Vaziri, H. and Yousofzadeh, E., 2012- Biostratigraphy of Soltanieh Formation in the Garmab-Sorkhdar, based on small shell fossils. 31st Geoscience Conference of Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, [in Persian].
- Uchman, A., 1998- Taxonomy and ethology of flysch trace fossils: revision of the Marian Ksiazkiewicz collection and studies of complementary material. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. 68: 105-218.
- Walter, M. R., Elphinstone, R. and Heys, G. R., 1989- Proterozoic and early Cambrian trace fossils from the Amadeus and Georgia Basin. central australia. *Alcher*. 13: 209-256. <https://doi.org/10.1080/03115518908527821>.
- Weber, B., Hu, S., Steiner, M. and Zhao, F., 2012- A divers ichnofauna from the Cambrian stage 4 Wulongqing Formation, near Kungming (Yunnan Province. South China). *Bulletin of GeoSciences*. 87: 71-92. DOI: 10.3140/bull.geosci.1239.
- Young, F. G., 1972- Early Cambrian and older trace fossils from the southern Cordillera of Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 9: 1-17. <https://doi.org/10.1139/e72-001>.

Neoproterozoic-Cambrian boundary in Soltanieh Formation by the ichnological studies, Seyedkandi section, Soltanieh Mountains, NW Iran

M. Famarini Bozchalouei^{*1}, N. Abbassi², A.Salsani³, A. Zohdi⁴

¹M.Sc., Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²Associate Professor, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³Ph.D., Department of Geology, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁴Assistant Professor, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2018 November 26

Accepted: 2019 August 31

Abstract

Soltanieh Formation comprises seven informal submembers as alternation of dolomites and shales, more than 1110 meters in thickness, was surveyed in the Seyedkandi section, 32 km southwest of Zanjan, northwest Iran. These submembers were subdivided as lower dolomite, lower shale, second dolomite, second shale, third dolomite, upper shale and upper dolomite, respectively. Based on ichnological data from 109 specimens, 23 ichnogenera and 42 ichnospecies have been recognised, as following as: *Archaeonassa fossulata*, *Archaeonassa* isp., *Cruziana problematica*, *Cruziana semiplicata*, *Cruziana* isp., *Diplichnites gouldi*, *Diplichnites* isp., *Gordia marina*, *Helminoidea* isp., *Helminthopsis* isp., *Hormosiroidea* isp., *Isopodichnus* isp., *Monocraterion* isp., *Monomorphichnus* isp., *Neonereites uniserialis*, *Neonereites biserialis*, *Neonereites* isp., *Nereites imbricata*, *Nereites* isp.1, *Nereites* isp.2, *Palaeobullia* isp., *Palaeophycus* cf. *annulatus*, *Palaeophycus heberti*, *Palaeophycus striatus*, *Palaeophycus* isp., *Planolites beverleyensis*, *Planolites montanus*, *Planolites* isp., *Phycodes palmatum*, *Rusophycus* isp., *Scolicia prisca*, *Scolicia* isp.1, *Scolicia* isp.2, *Skolithos* isp., *Subphyllochorda* isp., *Taenidium* isp., *Taphrhelminthopsis recta*, *Taphrhelminthopsis* isp., *Treptichnus bifurcus*, *Treptichnus pedum*, *Treptichnus pollardi*, *Treptichnus* isp. The abundance of trace fossils is very high in the second shale submember, so that 99 specimens were collected from this rock unit. Ichnofossil data from the studied section showsthat the Neoproterozoic-Cambrian boundary is located in the 8 m above the base of second dolomite submember in the studied section, where the first occurrence of *Treptichnus pedum* was been recorded.

Keywords: Soltanieh Formation, Trace fossil, Neoproterozoic-Cambrian boundary, Zanjan

For Persian Version see pages 163 to 174

*Corresponding author: M. Famarini Bozchalouei; E-mail: manizhe_famarini@znu.ac.ir