

مقاله پژوهشی

تنوع زیستی اثر فسیل‌های سازند میلا در گذر کامبرین - اردوویسین

برش شمال شه میرزاد، البرز مرکزی

نصراله عباسی*^۱ و مهدی هادی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان.

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷

*مسئول مکاتبات: نصراله عباسی، Abbasi@znu.ac.ir

چکیده

تنوع زیستی شامل همه زیست‌مندان گوناگون یک زیست بوم است که در طی کنش و واکنش میان نیروهای درونی و بیرونی یک زیست بوم و در طی زمان زمین‌شناسی شکل گرفته است. رخداد افزایش چشمگیر تنوع زیستی در گذر کامبرین به اردوویسین برای محققان شناخته شده است. سازند میلا در برش شمال شه میرزاد به سن کامبرین میانی - اردوویسین پیشین به ضخامت ۴۵۰ متر از توالی دولومیت، مارن، آهک بلورین، آهک زیست تخریبی، شیل، ماسه‌سنگ و سیلتستون تشکیل شده است. این سنگ‌ها در پنج بخش چینه‌نگاری تنظیم شده‌اند. اثر فسیل‌های گوناگون و فراوانی در این برش از سازند میلا یافت شدند که شامل ۲۱ اثر جنس با ۴۱ اثرگونه هستند. این اثر فسیل‌ها نشان دهنده رفتارهای زیستی تغذیه‌ای، مسکن گزیدن، چرشی، تخم ریزی، استراحت هستند. تنوع اثر فسیلی به طرف بالای توالی سازند میلا از کامبرین به اردوویسین افزایش می‌یابد که نه تنها همراه تنوع رفتاری است بلکه تنوع اثر تاکسون‌ها را نیز نشان می‌دهد. این تغییر ناشی از ایجاد زیستگاه‌های نو در طی گذر کامبرین به اردوویسین است.

واژه‌های کلیدی: کوه‌های البرز، اکتولوژی، رخداد بزرگ تنوع زیستی اردوویسین.

ماخذنگاری: عباسی، ن. و هادی م. (۱۴۰۲). تنوع زیستی اثر فسیل‌های سازند میلا در گذر کامبرین - اردوویسین برش شمال شه میرزاد، البرز مرکزی. دو فصلنامه چینه‌نگاری و دیرینه‌شناسی، ۱(۱)، ۷۵-۸۶.

©حقوق معنوی مقاله برای دوفصلنامه چینه‌نگاری و دیرینه‌شناسی و نویسندگان محفوظ است.

doi 10.30470/zpaleo.2023.704890



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License



(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Ichno-biodiversity of Mila Formation in Cambrian-Ordovician interval north Shahmirzad section, Central Alborz

Nasrollah Abbasi^{1*}, Mehdi Hadi²

- 1- Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
- 2- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Corresponding author: Nasrollah Abbasi, Abbasi@znu.ac.ir

Abstract:

Biodiversity includes all diversities of biologic forms and its related, and are discussed about genetic, species and ecologic diversities. Recent biodiversity is resulted from interaction of internal and external forces of the ecologic niches through geologic time. Biodiversity trough Cambrian-Ordovician interval however is important and was discuses by many of researcher. Because of Grate Ordovician Biodiversity Event (GOBE), is greatest biodiversity in the phanerozoic and were attended by them. Mila Formation (Middle Cambrian-Early Ordovician) in the north Shahmirzad, eastern Alborz Mountains comprises dolomite, marl, crystalline limestone, bioclastic limestone, shale, sandstone and siltstone (450 m). These sediments have been divided into five members. Biodiversity studies on trace fossils created by some researchers. Trace fossils differ from body fossils in the creation and fossilization. Therefore, it may differ in biodiversity discussion trace fossils from body fossils. Environmental and ethological factors are affected on the trace fossils. Trace fossils radiations of Mila formation are main subject of this paper. Diverse trace fossils have been found in this formation that include 21 ichnogenera with 41 ichnospecies.

Trace fossils show different behaviors such as grazing, dwelling, resting and feeding. The ichnodiversity of trace fossils increase to upper members of formation and show diverse behaviors. It seems that this biodiversity increase resulted from the creation of new settlements during the Cambrian to Ordovician passing.

Keywords: Alborz Mountains, Ichnology, Grate Ordovician Biodiversity Event (GOBE).

مقدمه

سن بخش نخست سازند میلا را به کامبرین میانی نسبت می‌دهند. ۱۱ متر قاعده بخش سوم به سن کامبرین میانی و بقیه به زمان کامبرین پسین تعیین سن شده‌اند. بخش چهارم دارای دو سن است، بطوریکه واحد سنگی بالایی این بخش سن اردوویسین داشته و لایه‌های قاعده‌ای آن به سن کامبرین پسین می‌باشند. در نهایت بخش پنجم سن اردوویسین پیشین (ترومادوسین) دارد. مرز کامبرین پسین-اردوویسین از زیر ۴۴ متر بالایی بخش ۴ عبور می‌کند.

اثر فسیل‌های سازند میلا در برش شه‌میرزاد

لایه رسوبی بخش‌های دوم تا پنجم این سازند دارای اثر فسیل‌های فراوانی است که اثر جنس‌ها و اثر گونه‌های زیر تشخیص داده شدند (شکل‌های ۱ تا ۳):

Asterosoma isp., *Bergaueria* *perata*,
Bilinchus *simplex*, *Conichnus*
conus, *Cruziana* cf. *semiplicata*, *Cruziana*
problematica, *Cruziana* isp., *Harlaniella* isp.,
Lockeia isp., *Mammillichnis* *aggeris*,
Megagraption *irregular*, *Monocretarion*
tentaclatum, *Monomorphichnus* *bilinearis*,
Monomorphichnus *lineatus*, *Neonereites*
uniserialis, *Palaeophycus* *heberti*,
Palaeophycus *striatus*, *Phycodes* cf.
palmatum, *Phycodes* isp., *Planolites*
annularius, *Planolites* *beverleyensis*,
Planolites *constriannulatus*, *Planolites*
montanus, *Rusophycus* *carbonarius*,
Rusophycus cf. *transversensis*, *Rusophycus*
didymus, *Rusophycus* isp.A-H, *Scolicia*
plana, *Scolicia* isp., *Skolithos* isp.,
Subphyllochora isp., *Thalassinoides* isp.,
Thalassinoides isp., *Treptichnus* *pedum*.

دانش مطالعه و شناسایی اثرهای حاصل از فعالیت-های زیستی را در رسوبات ایکنولوژی (ichnology) یا اثرشناسی گویند. زمان کامبرین زمان شکل-گیری پیدا زیستی و حیات نخستین بر روی زمین است. مطالعه ریخت‌های اولیه زیستی ما را در بازسازی حیات اولیه کره زمین یاری می‌دهند. به بیان دیگر با توجه به ماهیت اثر فسیل‌ها، به نظر می‌رسد این گروه از فسیل‌ها در این مطالعات کارایی بیشتری در تغییرات تنوع زیستی داشته باشند (Crimes 1992). از طرف دیگر در زمان اردوویسین زمان خاصی در طول تاریخ زیست‌مندان بوده و بیشینه شکوفایی و تنوع زیستی در طول فانروزوئیک در این دوره رخ داده است. سازند میلا به سن کامبرین میانی تا اردوویسین پیشین علاوه بر داشتن ماکروفسیل‌ها دارای اثر فسیل‌های قابل توجهی است که با استفاده از نوع، فراوانی و پراکندگی این نوع فسیل‌ها سعی خواهد شد تا شرایط حوضه رسوبی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و تنوع اثر فسیلی در گذر کامبرین-اردوویسین مورد بحث قرار گیرد.

سازند میلا در برش شه‌میرزاد

منطقه شه‌میرزاد واقع در ۲۰ کیلومتری شمال شهر سمنان در بخش خاوری البرز مرکزی واقع است. زمین‌های کامبرین میانی، کامبرین پسین و اردوویسین منطقه شه‌میرزاد با سازند میلا مشخص می‌گردد که در بالای سازند لالون به سن کامبرین پسین و زیر سازند جیروود به سن دونین جای دارد. پنج بخش سازند میلا در این برش کم و بیش مشابه برش الگو، قابل تشخیص هستند و به ترتیب از (۱) مارن زرد و دولومیت تیره (۲) تناوب شیل و آهک فسیل‌دار، (۳) آهک‌های روشن ستیغ ساز و گلاکونیتی، (۴) تناوب شیل و آهک پرفسیل، (۵) آهک اینتراکلاستیک و شیل سبز.

محیط رسوبی

لایه‌های زرد بخش یک سازند میلا که بیشتر از دولوستون استروماتولیتی و جلبکی ترکیب یافته است، در یک محیط قاره‌ای با شرایط خشک نهشته شده است. وجود ایزوتوپ سنگین $\delta 180$ نشانگر شرایط تبخیر و ایزوتوپ سبک $\delta 170$ ممکن است بیانگر وضعیت رسوبگذاری کربنات‌های قاره‌ای باشند. لایه‌های زرد بخش نخست سازند میلا نشانگر رسوبات تحت جوی (subaerial) هستند و مشابه پرفیل‌های خاکی در زمان‌های پایین رفتن سطح دریا ته نشست شده‌اند (Noike et al. 2007). بخش دوم سازند میلا در برش‌های ملاکوه و خراباش واقع در برش ناحیه‌های دامغان و شاه‌رود توسط کنگی و همکاران (Kangi et al. 2009) مورد مطالعه قرار گرفته است. در ضخامت ۶۵ متری بخش دوم سازند میلا سی متر قاعده برش در شرایط قاره‌ای و کم عمق نهشته شده است. ده متر بخش میانی در حوضه عمیق‌تر و دریای باز رسوبگذاری نموده که به تدریج از عمق حوضه کاسته شده است. بیشتر لایه‌های بخش بالایی این بخش دوباره در شرایط کم عمق برجای مانده‌اند این در حالی است که 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 (microtide) زیر نفوذ طوفان (strom-dominated) پدیده آمده‌اند. در لایه‌های بالایی بخش دوم و پائینی بخش سوم افق‌هایی از ریف آرکئوسیاتین، میکروبیال و استروماتولیتی وجود دارند که در شرایط پائین بودن سطح انرژی حوضه دسموسپونژیا به همراه ژیروانالا (Girvanella) و صدف براکیوپود، تریلوبیت و هیالولیت ایجاد شده‌اند. در زمان‌های پرانرژی ترکیبی از بایوهرم‌های در مقیاس متری و تافوهرم‌های به

همراه دسموسپونژیا و خرده صدف‌های تریلوبیت، براکیوپود و خارداران و لایه‌های آهکی قرمز ایجاد شده‌اند (Kruse and Zhuravlev 2008). نهشته‌های اردوویسین ایران اساساً با رخساره‌های سنگی شیل، سیلستون و ماسه‌سنگ سبز زیتونی شناخته می‌شوند (آق‌نابتی ۱۳۸۳). بخش پنجم سازند میلا نیز در بیشتر برش‌ها، از همین رخساره سنگی است. این بخش هم ارز سنی سازندهای لشکرک و قلی در البرز-کپه داغ است و برخی این بخش را همان سازند لشکرک تلقی می‌کنند (Bayet-Goll et al. 2021). بخش پنجم سازند میلا در برش تویه-دروار از رسوبات تخریبی و گل سنگ است و با توجه به رخساره سنگی و ساخت‌های همراه این لایه‌ها، این سنگ‌ها در بخش‌های عمیق دریا و در زیر محیط‌های بادبزنی‌های دریایی و دشت حوضه‌ای نهشته شده‌اند و فعالیت‌های زمین‌ساختی در پیدایش رخساره‌های توریدایتی 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 گفته شد لایه‌ها شامل توالی رخدادی بصورت لایه‌های تخریبی-کربناته تا شیلی و بصورت نازک لایه شونده و ریز دانه شونده بطرف بالا هستند. با عنایت به اینکه در زمان شروع اردوویسین فرایندهای زمین‌ساختی نواحی شمال-شمال‌خاوری گندوانا روبه افزایش بوده است، بنابراین این لایه‌ها در طی جریان‌ات توریدایتی برجای مانده‌اند.

این در حالی است که در مطالعات جدیدتر بر روی نهشته‌های سازند میلا انجام گرفته و از لحاظ محیط رسوبی، تکتونیک حوضه، شرایط اقیانوسی قدیمه مورد بررسی قرار گرفته است. این در حالی است که در مطالعات جدیدتر بر روی نهشته‌های

شکل لوله‌ای همراه بخش قیفی شکل مخروطی ساده می‌باشند. در این مسکن گزیدن‌ها فعالیت زیستی جانور ممکن است توأم با تغذیه یا به منظور کمین کردن برای شکار باشد.

در اثر فسیل *Thalassinoides* یافت شده که بعنوان حفاری مسکنی جانوران سخت پوست تلقی می‌شود برخلاف فرم‌های مسکنی یادشده حفاری جانور پیچیده‌تر بوده و شامل مجموعه‌ای از حفاری‌های انشعابی است. با این وجود در مقایسه با فرم‌های *Thalassinoides* گزارش شده از زمان‌های جدیدتر زمین‌شناسی، نمونه‌های سازند میلا از شکل ساده‌تری برخوردار بوده و فقط حفاری‌های دو بعدی و سطحی (سطح لایه‌بندی) یافت شدند. رفتار استراحتی شامل *Bergaueria*-*Lockeia*-*Conichnus* می‌باشد. در این نوع آثار چه به دلیل عوامل محیط (مثلاً به علت افزایش سرعت جریان یا احساس خطر جانور) و چه به دلیل نیاز خود جانور، جانور اثرساز در یک نقطه ساکن شده و به اصطلاح استراحت نموده است.

در این نوع رفتار به علت اینکه در اغلب موارد جانور برای مدتی بر روی سطح یا عمق کم رسوب ساکن می‌گردد، ویژگی‌های ریختی اندام‌های زیرین جانور و در تماس با سطح رسوب، در رسوب ثبت می‌شود، به این دلیل در بیشتر موارد امکان تشخیص جانور اثرساز ممکن است. اثر فسیل *Bergaueria* مربوط به شقایق‌های دریایی، *Lockeia* مربوط به دوکفه‌ای‌ها و بالاخره *Rusophycus* مربوط به استراحت تریلوبیت‌هاست. اگر این تحلیل درست باشد، می‌توان به وجود بی‌مهره‌گان شقایق‌های دریایی و دوکفه‌ای‌ها در محیط رسوبی سازند میلا، پی برد هرچند که فسیل پیکره‌ای آنها در رسوبات میلا گزارش نشده است.

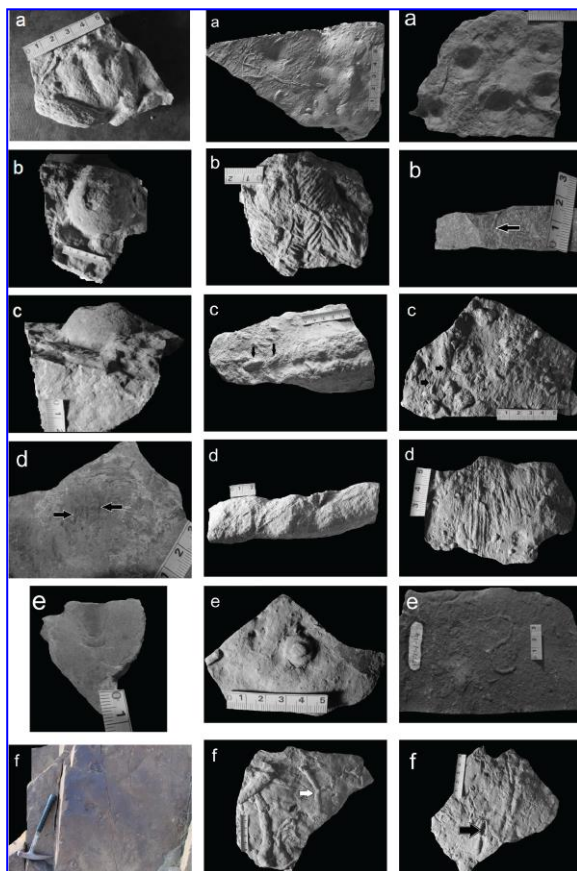
سازند میلا انجام گرفته و از لحاظ محیط رسوبی، تکتونیک حوضه، شرایط اقیانوسی قدیمه مورد بررسی قرار گرفته است. با این وجود، در بررسی‌های اخیر بر روی توالی‌های بخش ۵ سازند میلا نشان می‌دهد که این توالی در طی جریانات بیش چگال (*Hyperpycnal*) و در پاشنه دلتا برجای مانده‌اند که تشکیل توالی‌های شبه بوما تحت عنوان هایپریپیکنیت (*Hyperpycnite*) را می‌دهند (Bayet-Goll et al. 2022a, 2021a, b).

رفتارشناسی اثرسازها

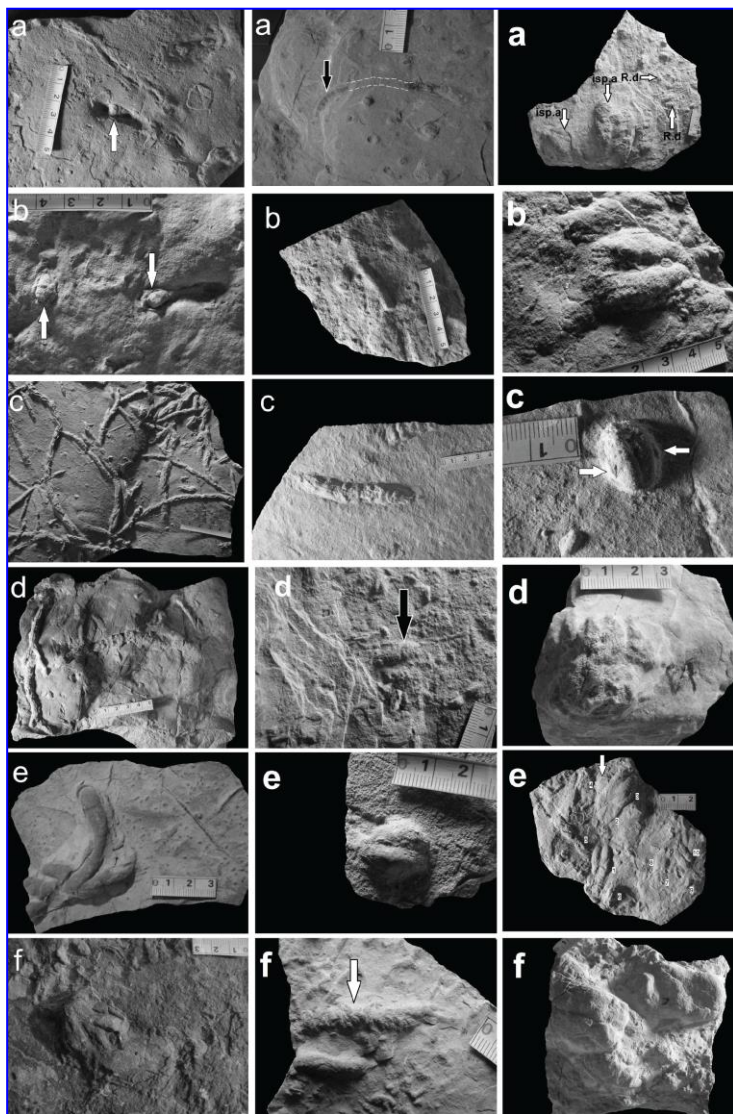
اثر فسیل‌های یافت شده حاصل رفتارهای متنوعی هستند که عبارتند از اثرهای حاصل فعالیت تغذیه‌ای (*Phycodes*-*Asterosoma* - *Treptichnus*-*Subphyllochora*) شامل فقط رفتار تغذیه‌ای است. در این نوع رفتار رسوبات فقط به منظور تغذیه زیست آشفته می‌شوند. در دو اثر فسیل *Phycodes* و *Asterosoma* جانور با به هم ریختن سازمان یافته از یک نقطه معین به جستجوی غذا می‌پردازد. در اثر فسیل‌های *Treptichnus*-*Subphyllochora* عمل تغذیه همراه با حرکت و جابجایی است.

در مقایسه با فرم‌های ابتدایی و اولیه اثر فسیل‌ها که مربوط به زمان پرکامبرین هستند مشاهده می‌شود که به تدریج فرایند تغذیه جانوران اثرساز پیشرفته شده و با پیچیدگی‌هایی همراه می‌گردد و از حرکت ساده به حرکت‌های مشخص و سازمان یافته تبدیل می‌گردد. اثرهای *Cruziana*، *Megagraption*، *Scolicia* نشان دهنده رفتار خزشی-چرشی هستند.

در این اثرها جانور اثرساز نه تنها بر روی رسوب حرکت کرده و جابجا شده است، بلکه تغذیه نیز نموده است. اثرهای مسکنی یافت شده (*Thalassinoides*-*Skolithos*-*Monocretarion*-*Conichnus*) شامل حفاری‌های ساده‌ای هستند به



شکل ۱- ستون سمت چپ - a - *Asterosoma* isp. حفظ شده بصورت برجسته در سطح لایه‌بندی، c و b - *Bergaueria perata* به شکل نیمکره برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی، شکل c نمای جانبی اثر فسیل. d - اثر فسیل *Bilinchnus simplex* به شکل اثرهای خراش بر روی سطح بالایی لایه‌بندی، e و f - *Conichnus conicus*، شکل e برش عمود بر سطح لایه‌بندی و شکل f رخمون سطحی تعدادی از را در سطح یک لایه مربوط به بخش پنج سازند میلا را نشان می‌دهد. مقیاس‌ها به سانتی متر است. طول چکش در شکل f، سی سانتیمتر است. ستون میانی - a - *Cruziana problematica* بصورت اثر خزشی دو لیبی به همراه *Planolites montanus* در سمت چپ و سایر اثرهای نامشخص. b - *Cruziana cf. semiplicata* با اثرهای خراش درشت و واضح. c - *Cruziana* isp. به همراه خراش‌های درشت Y شکل در ابتدای آن (پیکان‌ها). d - *Harlaniella* isp. مانند یک ریسمان پیچ خورده است. e - *Mammillichnus aggeris* به شکل پستان مانند در برجسته در سطح زیرین لایه. f - *Megagraptus irregular* بصورت حفاری های لوله ای انشعابی (پیکان) و به همراه سایر اثر فسیل‌ها. مقیاس‌ها به سانتیمتر است. ستون سمت راست - a و b - *Monocraterion tentaculatum* به ترتیب در دید سطح رسوب و در برش عمود بر سطوح لایه‌بندی. c - *Monomorphichnus bilinearis* بصورت خراش‌های کوتاه و جفتی (پیکان). d - *Monomorphichnus lineatus* به شکل مجموعه خطوط حاصل خراش پای تریلوبیت بر روی سطح رسوب. e - *Neonereites uniserialis* به شکل اثر خزشی دارای برجستگی‌ها در طول خود. شکل f - اثر فسیل *Palaeophycus heberti*؛ پیکان محل پرشدگی و دیواره ضخیم اثر فسیل را نشان می‌دهد. مقیاس‌ها به سانتیمتر است.

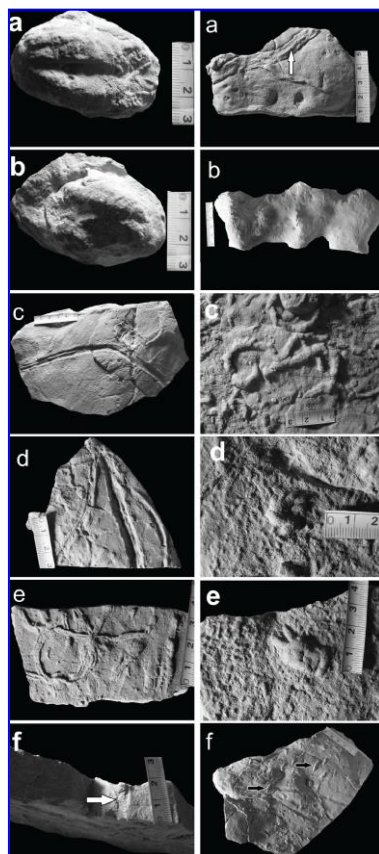


شکل ۲- ستون سمت چپ - a -b - *Palaeophycus heberti* ، پیکان آستریندی ضخیم و پرشدگی اثر با رسوبات همجنس با رسوبات میزبان را نشان می‌دهد. c -d - *Palaeophycus striatus* شامل اثرهای متراکمی از حفاری‌های لوله‌ای شکل، با آثار خطواره زیاد. e - *Phycodes cf. palmatus* بصورت حفاری انشعابی. f - *Phycodes isp.* شامل حفاری‌های لوله‌ای شکل منشعب از یک نقطه. ستون میانی - a - *Planolites annularius* با قطر کوچک و حلقه که همراه با تغییر رنگ است (پیکان)؛ خط چین ادامه مسیر اثر فسیل را نشان می‌دهد. b - *Planolites beverleyensis* بصورت اثر لوله‌ای ساده. c - *Planolites constriannulatus* دارای اثرهای حلقوی و طولی. d - *Rusophycus carbonarius* e - *Rusophycus didymus* . f - *Rusophycus cf. transversensis* ، ستون سمت راست - a - *Rusophycus isp.* (R.d=*Rusophycus didymus*) . B - b . c - *Rusophycus* . C - c - *Rusophycus* . D - d ، *Rusophycus isp.* E - e ، *Rusophycus isp.* F - f ، *Rusophycus isp.* مقیاس ها به سانتیمتر است.

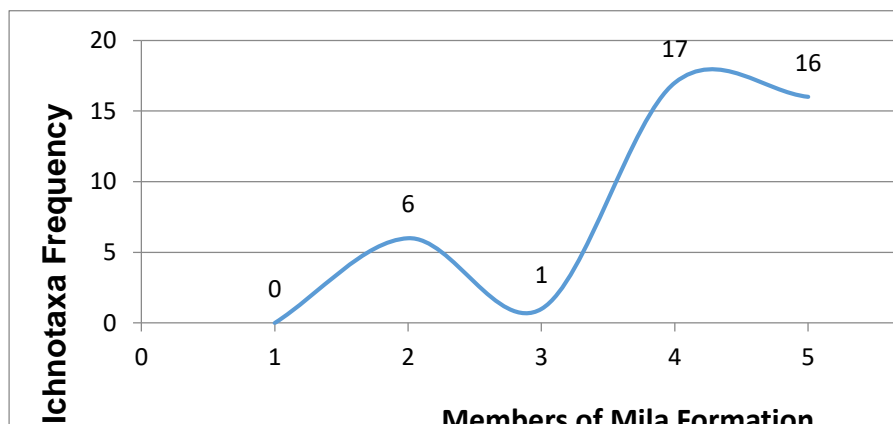
تنوع اثر فسیلی در گذر کامبرین- اردوویسین
 ویژگی‌های محیط رسوبی یاد شده در طی تغییر شرایط تکتونیکی محیط رسوبگذاری سازند میلا ایجاد شده‌اند. به نحوی که به تدریج شرایط تکتونیکی حاشیه غیرفعال و آرام گندوانیک در زمان کامبرین میانی-پسین به لبه فعال و عمیق اردوویسین تبدیل شده است. با تغییر شرایط محیط رسوبی و همگام با افزایش تنوع فسیل‌های پیکری در زمان اردوویسین، گوناگونی قابل توجهی در اثر فسیل‌ها نیز مشاهده می‌شود (شکل ۴، جدول ۱). این افزایش تنوع نشانگر تکامل و تکرر در رفتارهای زیستی است.

بنابراین در پی تشکیل حوضه کم عمق و فلاتی شکل (Platform) بر روی ایران میانی (البرز-ایران مرکزی) تکمیل روند رسوبگذاری این حوضه با سازند [گروه] میلا در زمان کامبرین- اردوویسین ادامه پیدا می‌کند. اساساً سازندهای رسوبی پرکامبرین- کامبرین میانی این بخش از ایران دارای تنوع فسیلی بالایی نیستند، ولی از زمان کامبرین میانی تا اردوویسین پیشین فسیل‌های مختلفی را می‌توان در رسوبات سازند میلا یافت. اثر فسیل‌های موجود در بخش‌های سازند میلا چه به لحاظ فراوانی و چه به لحاظ گوناگونی و تنوع قابل توجه است.

این افزایش را می‌توان به دو دلیل اصلی دانست. دلیل نخست می‌تواند این باشد که به تدریج بر تنوع زیست‌مندان افزوده شده و همراه با تکامل آناتومیک، رفتار زیستی آنها نیز تکامل یافته است. دلیل دوم تغییر شرایط محیطی بوده است، به نحوی که در طی رسوبگذاری سازند میلا شرایط ممکن برای ایجاد و ثبت اثرهای فسیلی در رسوبات فراهم شده است.



شکل ۳- ستون سمت چپ - *Rusophycus* isp. G - a
 اثر *Scolicia* isp. - d و c
 اثر *Rusophycus* isp. H - b
 خزشی با یک بخش میانی پهن و بخش‌های کناری باریک، در بخش میانی اثرهای هلالی مشاهده می‌شود. *Scolicia perisca* - e
 کناری باریک و یک بخش میانی پهن. *Skolithos* - f
linearis به شکل لوله ای قائم ساده. ستون راست -
Subphyllocorda isp. - a
 پیکان اثر لوله میانی را نشان می‌دهد. b -
Thalassinoides isp. ، قطعه ای از شبکه انشعابی حفاری‌های این اثر جنس را نشان می‌دهد. c و d و e -
 اثر فسیل *Treptichnus pedum* شامل مجموعه ای از اثرهای انشعابی *Lockeia* isp. - f بصورت برجسته در سطح زیرین لایه بندی. مقیاس ها به سانتیمتر است.



شکل ۴- منحنی تغییرات فراوانی تاکسون‌های اثر فسیلی در بخش‌های سازند میلا

سنگی با نامگذاری جدید مورد تایید کمیته ملی چینه‌شناسی قرار نگرفته است، از تقسیمات جاری (Stöcklin et al. 1964) پیروی کرده و از همان نام و تفکیک رسمی بخش پنجم برای بالاترین واحد سنگی سازند میلا در شمال شه‌میرزاد استفاده شده است. تنوع زیستی (biodiversity) به فراوانی یا گوناگونی جامع زیستی که شامل همه اشکال زیستی است اشاره دارد و دربردارنده تنوع ژنتیکی، تنوع گونه‌ای و تنوع بوم سازگان می‌باشد. در مطالعات دیرینه‌شناسی به منظور تحلیل تنوع زیستی، بسیاری از اطلاعات حذف شده یا دسترسی به آنها به راحتی میسر نیست. در این میان عوامل مختلفی بر تشخیص تنوع زیستی گذشته زمین موثراند و آنچه که تشخیص تنوع زیستی گذشته را با محدودیت روبرو می‌کند، تأثیر فرآیندهای فسیل‌شدن در ثبت تنوع موجود و قابلیت فسیل شدن زیست‌مندان در زیست‌بوم‌های گذشته است. همچنین تأثیر روش نمونه‌برداری بر تعیین تنوع زیستی دیرینه را نیز نباید از یاد برد. در مطالعات تنوع زیستی گذشته زمین سه معیار برای بررسی ظهور و ایجاد تنوع در دسترس‌اند، که

بحث و نتیجه گیری

سازند میلا یکی از مهمترین و گسترده‌ترین سازندهای پالئوزوئیک پیشین ایران می‌باشد که حوضه رسوبی آن در گستره البرز-آذربایجان و ایران مرکزی گسترش داشته است (Stöcklin et al. 1964). این سازند در منطقه طیس ستبرای بالایی داشته و آن را به مرتبه گروه ارتقا می‌دهد و شامل سه سازند کال‌شانه، درنجال و شیرگشت است (Ruttner et al. 1968). با این وجود، اخیراً واحدهای سنگی با نام‌های محلی برای سازند میلا در البرز پیشنهاد شده‌اند (مانند Geyer et al. 2014, Ghobadi Pour et al. 2022) که همه نام‌ها غیر رسمی بوده و هنوز به تایید کمیته ملی چینه‌شناسی ایران نرسیده‌اند. از طرف دیگر بخش پنجم سازند میلا در البرز خاوری مورد پیمایش محققین مختلف قرار گرفته و برخی آن را سازندی مستقل از سازند میلا دانسته و با نام‌های غیر رسمی نامگذاری یا هم ارز سازند لشکرک در البرز مرکزی معرفی نموده‌اند (Álvaro et al. 2022, Ghobadi Pour et al. 2022, Bayet-Goll et al. 2014). به هر ترتیب، در اینجا نظر به اینکه هنوز واحدهای

شامل فسیل‌های پیکره‌ای، فسیل‌های مولکولی و اثرفسیل‌ها هستند (Jensen et al. 2005). بنابراین با رخداد ظهور یک گروه از زیست‌مندان، انتظار تنوع زیستی نیز است ولی برای متنوع شدن لازم است که زمینه و شرایط زیستی و غیر زیستی (محیطی) مورد نیاز نیز فراهم باشد.

جدول ۱- پراکندگی اثرفسیل‌ها در بخش‌های چینه‌نگاری سازند میلا با سن کامبرین میانی تا اردووسین

نام اثرفسیل	سازند میلا				
	بخش یک	بخش دو	بخش سه	بخش چهار	بخش پنج
	کامبرین میانی		کامبرین پسین		اردووسین
<i>Asterosoma</i> isp.					
<i>Bergaueria perata</i>					
<i>Bilinchus simplex</i>					
<i>Conichmus conus</i>					
<i>Cruziana</i> cf. <i>semiplicata</i>					
<i>Cruziana problematica</i>					
<i>Cruziana</i> isp.					
<i>Harlaniella</i> isp.					
<i>Lockeia</i> isp.					
<i>Mammillichnis aggeris</i>					
<i>Megagraptus irregulare</i>					
<i>Monocretarion tentaclarum</i>					
<i>Monomorphichnus bilinearis</i>					
<i>Monomorphichnus lineatus</i>					
<i>Neonereites uniseriatis</i>					
<i>Palaeophycus heberti</i>					
<i>Palaeophycus striatus</i>					
<i>Phycodes</i> cf. <i>palmatus</i>					
<i>Phycodes</i> isp.					
<i>Planolites annularius</i>					
<i>Planolites beverleyensis</i>					
<i>Planolites constriannulatus</i>					
<i>Planolites montanus</i>					
<i>Rusophycus carbonarius</i>					
<i>Rusophycus</i> cf. <i>transversensis</i>					
<i>Rusophycus didymus</i>					
<i>Rusophycus</i> isp. A-H					
<i>Scolicia plana</i>					
<i>Scolicia</i> isp.					
<i>Skolithos</i> isp.					
<i>Subphyllochorda</i> isp.					
<i>Thalassinoides</i> isp.					
? <i>Thalassinoides</i> isp.					
<i>Treptichnus pedum</i>					

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 (Slatzman 2005). از زمان کامبرین تا اردووسین 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 اردووسین بوده است (Servais et al. 2009).

سپاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان از آقای دکتر ارام بایت گل به خاطر در اختیار قراردادن منابع مفید و راهنمایی‌های ارزنده ایشان بسیار سپاسگزارند. از داوران علمی این مقاله به خاطر تذکرات ارزشمند علمی ایشان قدردانی می‌نماییم. از آقایان علی نظری و مرصاد معینی که در مطالعات صحرایی ما را یاری دادند قدردانی می‌کنیم.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی یا انتشار این مقاله ندارند.

منابع

- امیرسرداری، د. و لاسمی، ی. (۱۳۷۹)، بررسی میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی عضو ۵ سازند میلا در البرز شرقی. چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارائه بصورت پوستر.
- لاسمی، ی. و امین رسولی، ه. (۱۳۸۱)، میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی نهشته‌های طوفانی در واحد زیرین بخش ۲ سازند میلا، منطقه تویه-دروار (جنوب باختر دامغان). مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۲۸، شماره ۱، ص. ۵۲-۳۳.

- Álvaro, J.J., Ghobadi Pour, M., Sánchez-García, T. Kebria-ee Zadeh, M.R., Hairapetian, V., Popov, L.E. (2022). Stratigraphic and volcanic signatures of

تنوع زیستی اردووسین محصول ایجاد و تعادل تنوع زیستی در کامبرین است. به عبارت دیگر بایستی رخدادهای زیستی زمان کامبرین را زمینه ساز افزایش تنوع زیستی اردووسین با نرخ بالا دانست. مطالعات گسترده‌ای به وسیله بایت گل و همکاران (Bayet-Goll et al. 2022b) بر روی تاثیر حوادث زیستی کامبرین بر روی اثر فسیل‌ها و تکامل پلتفرم میلا صورت گرفته است و آنان به تاثیر حوادث Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion (SPICE) و Hellnmaria-Red Tops Boundary (HERB) بر روی تنوع اثر فسیل‌ها و ریف‌های میکروبیالی یا اسفنجی میلا اشاره شده کرده‌اند. داده‌های رسوب‌شناسی و اکتولوژی گروه میلا در حوضه البرز، شمال ایران نشان می‌دهد که ظهور رخساره‌های anachronistic و احیای میکروبیولیت‌ها نتیجه توسعه شرایط فوق العاده palaeoceanographic با استرس محیطی گسترده و افزایش تهنشینی $CaCO_3$ بوده است. شرایط نامساعد محیطی در پلتفرم گروه میلا منجر به کاهش قابل توجه در تنوع اثر فسیل‌ها گردیده، شدت زیست آشفستگی و عمق و اندازه حفاری‌های جانوران کاهش یافته که منجر به دوران حاکمیت اکولوژی کلسی میکروب گردیده است. توسعه رخساره‌های anachronistic یا غیرمعمول حدود Cambrian Stage 4-Wuliuan boundary آغاز شده، احتمالاً همزمان با رویداد SPICE، در حالی که دوران رخساره‌های anachronistic Furongian احتمالاً همزمان با رویداد HERB رخ داده‌اند. با این حال حوادث غیر زیستی رخ داده در طی اردووسین نیز تاثیر به سزایی در تکثر زیستی این زمان داشته است. زیرا در پی خردشدگی ابرقاره پروتروزوئیک ردونیا (Rodinia) در طی کامبرین-اردووسین موجب افزایش محیط‌های شلف با آب و هوای تروپیکال

- Ghobadi Pour, M., Popov, L.E., Álvaro, J.J., Amini, A., Hairape tian, V. & Jahangir, H. (2022). Ordovician of North Iran: New lithostratigraphy, palaeogeography and biogeographical links with South China and the Mediterranean peri-Gondwana margin. *Bulletin of Geosciences* 97(4), 465–538.
- 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.
- Kangi, A., Aryaei, A. A., Maasoomi, A., (2009), Synsedimentary deformations in member 2 of the Mila Formation in the Central Alborz Mountains, Northern Iran. *Arb J. Geosci.*, 3: 33-39.
- Kruse, P. D. and Zhuravlev, A. Y., (2008), Middle-Late Cambrian Rankenella-Girvanella reefs of the Mila Formation, north Iran. *Cand. J. Earth Sci.* 45: 619-639.
- Noike, K., Matsumoto, R., Gharaie, M. H. M., Yinxi, W., Salamati, R. and S. N. Matsuda, (2007), Carbon isotope anomaly of the “Yellow beds” in the Lower Cambrian Mila Formation in Shahrizad, Alborz, northern Iran. *Jour. Sedimentological Society of Japan*, 64: 121-124.
- Ruttner, A., Nabavi, M. and Hajian, J. (1968). *Geology of the Shirgesth area (Tabas area, East Iran)*. Geological Survey of Iran, Report 4, 1-133.
- Saltzman, M.R. (2005), Phosphorus, nitrogen, and the redox evolution of the Paleozoic oceans. *Geology* 33: 573-576.
- 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.
- Stöcklin, J., Ruttner, A., Nabavi, M., (1964). New data on the Lower Paleozoic and pre-Cambrian of North Iran. *Geological Survey of Iran, Report 1*, 1–29.
- Miaolingian-Late Ordovician rift pulses in the Alborz Mountains, northern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 233, 105240. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2022.105240>
- Bayet-Goll, A., Geyer, G., Wilmsen, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., (2014). Facies architecture, depositional environments and stratigraphy of the Middle Cambrian Fasham and Deh-Sufiyani formations in the central Alborz. *Facies* 60, 815–841.
- Bayet-Goll, A., Sharafi, M., Jazimagh, N., Brandano, M., (2022a). Understanding along-strike variability in controlling mechanisms of paleoenvironmental conditions and stratigraphic architecture: Ordovician successions in the Alborz Mountains of Iran at the northern Gondwana margin. *Marine and Petroleum Geology*, 140, 105654.
- Bayet-Goll, A., Buatois, L. A., Mángano, M. G., & Daraei, M. (2021a). The interplay of environmental constraints and bioturbation on matground development along the marine depositional profile during the Ordovician Radiation. *Geobiology*, 20, 233–270. <https://doi.org/10.1111/gbi.12473>.
- Bayet-Goll, A., Knaust, D., Daraei, M., Bahrami, N., and Bagheri, F., (2021b). *Rosselia* ichnofabrics from the Lower Ordovician of the Alborz Mountains (northern Iran): palaeoecology, palaeobiology and sedimentology. *Palaeobio Palaeoenv.* <https://doi.org/10.1007/s12549-021-00493-0>.
- Crimes, T. P. (1992a). Changes in the trace fossil biota across the Proterozoic-Phanerozoic boundary. *J. geol. Soc. London* 149:637–646.
- Geyer, G., Bayet-Goll, A., Wilmsen, M., Mahboubi, A., & Moussavi-Harami, R. (2014). Lithostratigraphic revision of the middle Cambrian (Series 3) and upper Cambrian (Furongian) in northern and central Iran. *Newsletters on Stratigraphy*, 47, 21–59. <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2014/0039>