

اثر فسیل‌ها، ایکنوفابریک‌ها و دیرین محیط‌زیست سازند میشان در فروافتادگی دزفول، جنوب باختر ایران

مهدی قنوتی^۱، ایرج مغفوری‌مقدم^{۲*}، سیدمحسن آل‌علی^۳ و مهران آرین^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۴- استاد گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

نویسنده مسئول: maghfouri.i@lu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۳

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در این مطالعه بررسی دقیق اثرشناسی^۱ نهشته‌های سازند میشان به سن میوسن در برش امیدیه در فروافتادگی دزفول انجام شده است. سازند میشان به سن میوسن در این برش چینه‌شناسی مجموعه متنوعی از اثر فسیل‌ها دارد که در بردارنده ۴ اثر جنس با ۵ اثر گونه است. این اثر فسیل‌ها نشان‌دهنده رفتارهای حرکتی^۲، تغذیه‌ای، پناهگاهی و گریزینگ هستند و شامل *Protovirgularia cf. pennatus*، *Planolites isp.*، *Helminthopsis isp.*، *Thalassinoides isp.*، *Thalassinoides suevicus* اثر فسیل‌ها شامل تناوب سنگ‌آهک‌های توده‌ای، متوسط تا ضخیم لایه، ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم لایه و مارن‌های آهکی توده‌ای می‌باشد. در این مطالعه ۵ شاخص زیست‌آشفته‌گی مطابق با شاخص‌های زیست‌آشفته‌گی استاندارد و همچنین ۵ ایکنوفابریک مرتبط با محیط‌های دلتا، جزرومدی و لاگون شناسایی شد. تنوع زیاد طبقه‌بندی رفتاری اثر فسیل‌ها شامل سکونت، تغذیه، حرکت و چریدن همراه با رکورد اثر فسیل‌ها بوسیله جانداران رسوب‌خوار و بطور کمتر جانوران معلق خوار سازند میشان نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در رخساره‌های مربوط به آب‌های کم عمق همراه با اکسیداسیون بالا می‌باشد.

واژگان کلیدی: اثر فسیل، ایکنوفابریک، میوسن، بخش گوری، زاگرس

پیشگفتار

مورد اثر فسیل‌های کل توالی سازند میشان پژوهشی صورت نگرفته است. از آنجا که بیشتر این فسیل‌ها هم‌زمان با رسوبگذاری یا کمی بعد از رسوبگذاری ایجاد می‌شوند و به همین دلیل به خوبی منعکس کننده تاثیر عوامل زیستی و غیرزیستی محیط‌های رسوبی هستند (عباسی و همکاران، ۱۳۸۶؛ فامرینی و همکاران، ۲۰۲۰؛ شرفی و همکاران، ۲۰۲۱a, b). اثرشناسی علمی چند شاخه‌ای است که به مطالعه آثار تولید شده توسط جانداران (گیاهان و جانوران) در درون یا سطح لایه‌های رسوبی در ادوار مختلف زمین‌شناسی می‌پردازد و در حقیقت رفتار جانداران را در موضوعات وابسته به آشفته‌گی زیستی، فرسایش زیستی و رسوبگذاری زیستی را در بر می‌گیرد

توالی سیلیسی کلاستیک- کربناته سازند میشان به عنوان جوان‌ترین مخزن هیدروکربوری (عضو گوری) در جنوب شرق حوضه زاگرس محسوب می‌شود (کاشفی، ۱۹۸۲؛ امیری‌بختیار و نورایی، ۲۰۱۴؛ قنوتی و همکاران، ۲۰۲۳). در سال‌های اخیر اکثر مطالعات در مورد سازند میشان و بخش گوری مربوط به محیط رسوبی، پالئواکولوژی و فرآیندهای دپازنزی بوده است که در اکثر موارد مدل رسوبی رمپ کربناته همراه با ته‌نشست در دریای گرم برای سازند میشان در نظر گرفته شده است (مانند رحمانی و همکاران، ۲۰۱۰؛ فناتی و همکاران، ۲۰۱۴؛ زهدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ فتحی و اسرافیلی، ۲۰۲۰). تاکنون در

¹ Ichnology

² Locomotion

می‌باشد که همزمان با پیشروی دریایی گزارش شده توسط سان و همکاران (۲۰۲۱) در پهنه لرستان و بالا آمدن جهانی سطح آب دریا ناشی از شرایط بهینه آب و هوایی میوسن میانی است (دی‌بوئر و همکاران، ۲۰۱۰؛ محمدخانی و همکاران، ۲۰۲۲). این پیشروی موجب اتصال اقیانوس اطلس و هند از طریق حوضه زاگرس و دریای مدیترانه اولیه شده بود (محمدخانی و همکاران، ۲۰۲۲). حوضه زاگرس یکی از زون‌های زمین‌ساختی مهم ایران و بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همالیا با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق است (بیالیک و همکاران، ۲۰۱۹) که به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و پهنای ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر از جنوب شرق ترکیه تا تنگه هرمز ایران گسترش دارد (شکل ۱-a). مرز شمالی و شمال شرقی این واحد ساختمانی منطبق با گسل راندگی زاگرس است که آن را از زون سنندج - سیرجان جدا می‌سازد. بخش غربی آن به حوضه بین‌النهرین و شمال شرق پلیت عربی محدود می‌شود. این حوضه از نظر پیشینه زمین‌شناسی به چندین بخش تفکیک می‌شود که یکی از آن‌ها فروافتادگی دزفول است (مطیعی، ۱۹۹۳؛ امیری‌بختیار و نورایی، ۲۰۰۱). بخش فروافتادگی دزفول از دیدگاه اقتصادی اهمیت زیادی دارد؛ بطوریکه اکثر مخازن نفتی کشورمان در این زون قرار گرفته‌اند (حیدری و همکاران، ۲۰۲۰). فروافتادگی دزفول با ضخامت زیادتر رسوبات ترشیری نسبت به پلاتفرم فارس و ناحیه لرستان مشخص می‌شود. این منطقه بر اثر عملکرد دو گسل پی سنگی بالا رود (گسل چپ‌گرد) و کازرون (گسل راست‌گرد) در پرکامبرین نسبت به ۲ ناحیه لرستان و فارس دچار فرونشینی شده است؛ که نتیجه آن ایجاد گرابن عظیمی در این منطقه است.

سازند میشان به همراه سازندهای گچساران و آغاچاری بخشی از گروه فارس بوده و شامل سنگ‌آهک، مارن و تناوب‌های سیلیسی کلاستیک می‌باشد. برش الگو این سازند برای اولین بار توسط جیمز و وایند (۱۹۶۵) در یال جنوبی میدان نفتی گچساران واقع در ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان گچساران در استان کهگیلویه و بویراحمد معرفی گردید. ضخامت آن در برش نمونه ۷۱۰ متر و دارای سنگواره‌هایی مانند انواعی از فرامینیفرها، جلبک‌های قرمز، استراکد، اویستر، گاستروپود و بریوزوآهایی مثل توبوسلاریا می‌باشد. بر اساس سن‌سنجی انجام شده در مناطق آغاچاری، هفتکل، گتوند، مسجدسلیمان و زرین‌آباد (پیروز

(فامرینی و همکاران، ۲۰۲۰). فراوانی، تنوع و تغییرات اثرفسیل‌ها در رخساره‌های رسوبی به شرایط زیستی موجود در هنگام رسوبگذاری بستگی دارد (عباسی و همکاران، ۲۰۲۰). جانداران کفزی ارتباط بیشتری با بستر رسوبی دارند و این ارتباط می‌توانسته برای تامین نیازهای جانور مانند غذا، مسکن، حرکت و یا غیره بوده باشد. فعالیت زیستی جانداران این قابلیت را دارد که اثری از آن فعالیت بر روی رسوب یا در داخل لایه‌های رسوبی باقی بگذارد و در واقع ساخت رسوبی ایجاد شده به عنوان اثرفسیل یا ایکنوفسیل شناخته شود. مطالعه ساختاری اثرفسیل‌ها، دیرینه‌شناسان را در شناسایی جزئیات ساختمان اثرفسیل و نوع و تکامل رفتاری جانوران اثر ساز کمک می‌کند (عباسی و اهری‌پور، ۲۰۲۱).

به طور معمول جانداران در محیط‌های رسوبی نسبت به تغییر عوامل محیطی حساس هستند؛ چنین عواملی شامل انرژی، تداوم بستر، اکسیژن، نرخ رسوبگذاری، شوری و دیگر شرایط فیزیکوشیمیایی است که همه در ارتباط با تغییرات ژرفای محیط رسوبی نیز هستند (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۶؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۷). تغییر چنین عواملی باعث ایجاد تغییر در مجموعه جانداران محیط‌های رسوبی می‌شود. تغییرات در مجموعه جانداران باعث ایجاد گروه‌های متفاوت اثرشناسی و تغییر در الگوی رفتاری هر کدام از این گروه‌ها در محیط‌های رسوبی می‌شود (برای مثال چریدن، تغذیه‌ای، فراری، معلق‌خوار و ...) بنابراین می‌توان اظهار کرد که چنین عوامل محیطی است که باعث الگوی پراکندگی متفاوت ساختارهای تغذیه‌ای، حفره‌ای و غیره می‌شود (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۲؛ عباسی، ۲۰۲۰). ایکنوفابریک شامل تمامی جنبه‌های مربوط به بافت و ساخت داخلی رسوبات ناشی از زیست‌آشفستگی می‌باشد (اکدال و همکاران، ۱۹۸۴؛ فنواتی و همکاران، ۲۰۲۳) و نقش مهمی در تفسیر شرایط محیطی می‌تواند ایفا کند.

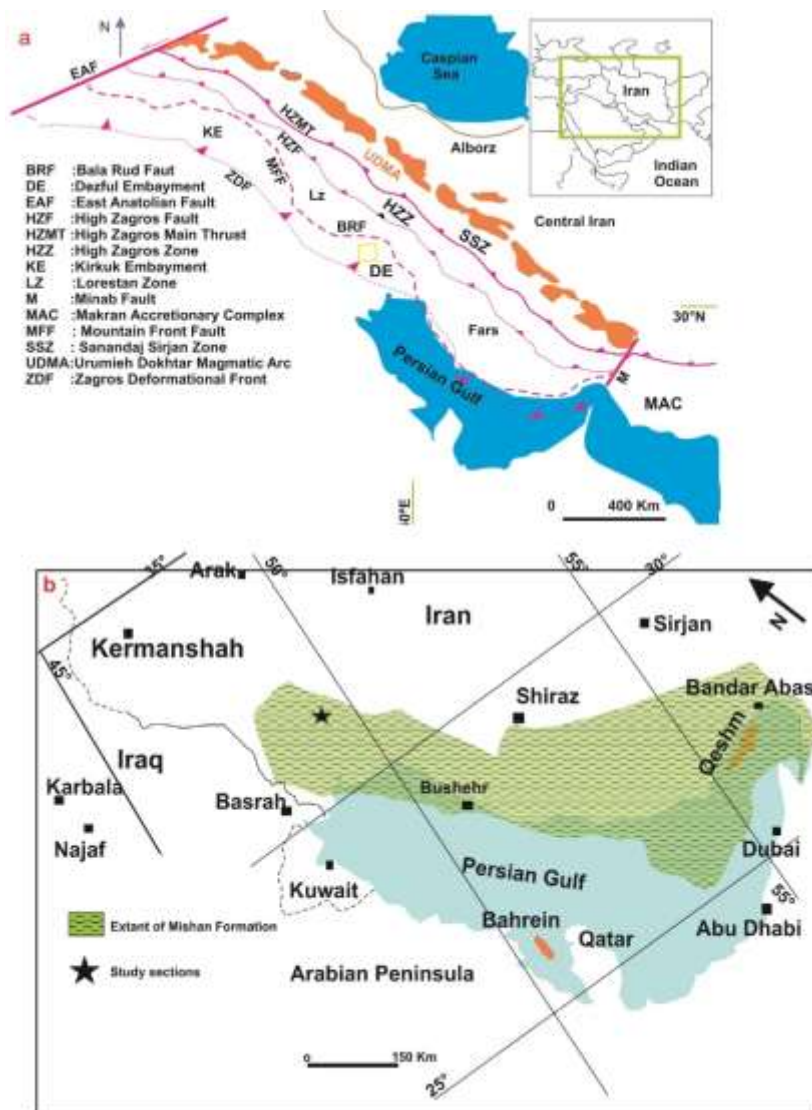
در بررسی‌های صحرائی انجام شده روی سازند میشان در برش امیدیه اثرفسیل‌های متعددی یافت شدند که زمینه مناسبی را برای مطالعه اثرشناسی و ایکنوفابریک فراهم کرده‌اند. این تعدد و تنوع اثرفسیل‌ها می‌تواند در بازسازی شرایط محیط‌زیست دیرینه مفید واقع شود.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

نهشته‌های دریایی سازند میشان نشان‌دهنده آخرین پیشروی سراسری آب دریا در حوضه پیش خشکی زاگرس

مطالعه در جاده شهرستان امیدیه به میانکوه در زون فروافتادگی دزفول واقع شده است (شکل b-۱). ضخامت سازند میشان در برش مورد مطالعه ۲۸۵ متر بوده که با مرز مشخص روی سازند گچساران و مرز تدریجی در زیر سازند آغاچاری قرار می‌گیرد.

و همکاران، ۲۰۱۶) سن سازند میشان در فروافتادگی دزفول از اواخر بوردیگالین تا سراوالین (۸/۱۵-۱۲ میلیون سال پیش) تعیین شده است. از میدان نفتی گچساران به سمت لرستان سازند میشان در جهت جانبی به رخساره تخریبی آغاچاری تبدیل می‌شود و به همین دلیل در لرستان سازند میشان گزارش نشده است. برش مورد



شکل ۱. (a) موقعیت کمربند کوهزایی زاگرس در ایران (برگرفته از علوی، ۲۰۰۷)؛ (b) موقعیت برش مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول (بر گرفته از مطیعی، ۱۹۹۳).

روش مطالعه

اثرفسیل‌ها، تغییرات اندازه دانه‌ها و همچنین ارتباط لایه‌ها مدنظر بوده است. در تعیین شاخص زیست‌آشفستگی از شاخص‌های زیست‌آشفستگی استاندارد تیلور و گولدترینگ (۱۹۹۳) استفاده شد و مواردی مانند وضوح فابریک رسوبی اولیه، فراوانی بارو و میزان هم‌پوشانی باروها به دقت بررسی گردید.

در این مطالعه جهت شناسایی اثرفسیل‌ها و ایکنوفابریک نهشته‌های میوسن یک برش از سازند میشان در جاده امیدیه به میانکوه در فروافتادگی دزفول اندازه‌گیری و برداشت شده است (شکل ۱). در برداشت‌های صحرائی ضخامت نهشته‌ها، سطوح لایه‌بندی، ساختارهای رسوبی،

سیستماتیک

شده و اکسیداسیون فراوان (پیگمنت‌های اکسید آهن) می‌باشد. ذرات تخریبی در اندازه سیلت در این رخساره دیده می‌شود و دارای اثر فسیل *Thalassinoides suevicus* می‌باشد. مجموعه و همراهی ساخت‌های رسوبی این رخساره شامل لامینه ریپلی جریانی، لایه‌بندی عدسی شکل، لایه‌بندی موجی، کانال، لایه‌بندی تدریجی، رسوبات پرکننده کانال و لایه‌بندی متقاطع حاکی از رسوبگذاری در محیط دلتا می‌باشد (نیکولز، ۲۰۰۹).

۳- رخساره مارن خاکستری

این رخساره متشکل از مارن و مارن‌های آهکی خاکستری، خاکستری تیره و خاکستری سبز می‌باشد. دارای صدف‌های دوکفه‌ای، شکم‌پا و همچنین اثر فسیل *Planolites isp.* می‌باشد. رخساره مارن دارای رسوبات سیلیسی کلاستیک در اندازه‌های سیلت تا ماسه می‌باشد. این رخساره در بخش پایینی سازند میشان (بخش گوری) و همچنین بخش میانی در تناوب با سنگ‌آهک‌های توده‌ای و متوسط و ضخیم لایه و در بخش بالایی سازند میشان در تناوب با ماسه‌سنگ‌ها، مارن قرمز و سنگ‌آهک دیده می‌شود (شکل‌های ۲-a, b). عدم وجود ساخت‌ها رسوبی مرتبط با امواج و جریان‌ها، وجود صدف‌های دوکفه‌ای و شکم‌پا و همچنین مارن‌های خاکستری تیره در این رخساره حاکی از رسوبگذاری در محیط لاگون می‌باشد (محمدخانی و همکاران، ۲۰۲۲؛ قنواتی و همکاران، ۲۰۲۳).

۴- رخساره ماسه‌سنگ

این رخساره متشکل از ماسه‌سنگ‌های قهوه‌ای روشن ریزدانه تا متوسط دانه است. دارای پدیده‌ها و ساخت‌های رسوبی ساخت وزنی، سطح فرسایشی، اینتراکست و لگ، لامینه‌های مسطح، دانه‌بندی تدریجی، لایه‌بندی متقاطع، تول‌مارک و چرخه‌های به سمت بالا درشت شونده می‌باشد. این رخساره دارای اثر فسیل‌های *Helminthopsis isp.* و *Protovirgularia cf. pennatus* می‌باشد. رخساره ماسه‌سنگ در بخش بالایی سازند میشان و در تناوب با مارن‌های قرمز، مارن‌های خاکستری و سنگ‌آهک دیده می‌شود (شکل ۲-a). وجود چرخه‌های به سمت بالا درشت شونده در این رخساره نشان‌دهنده محیط دلتایی می‌باشد (نیکولز، ۲۰۰۹؛ فلوگل، ۲۰۱۰).

تاکسونومی اثر فسیل‌ها بر اساس ریخت‌شناسی آن‌ها صورت می‌گیرد (عباسی، ۲۰۲۰؛ براملی و اکدال، ۱۹۸۶). توجه به ویژگی‌های دیگر همچون آستر بندی حفره‌ها، نوع دیواره، ساخت‌های پس ریز، وجود یا نبود انشعاب، ویژگی بافتی رسوبات پرکننده حفرات و مقایسه آن با رسوبات سنگ میزبان، ساختار درونی حفره‌ها و ویژگی‌های سنگ میزبان (جنسون، ۱۹۹۷؛ پک و پمبرتون، ۲۰۰۳) از جمله ویژگی‌هایی هستند که در این تاکسونومی به کار می‌روند. در این مطالعه ۴ اثر جنس و ۵ اثر گونه شناسایی شد که به توصیف آن‌ها پرداخته می‌شود.

رخساره‌های رسوبی

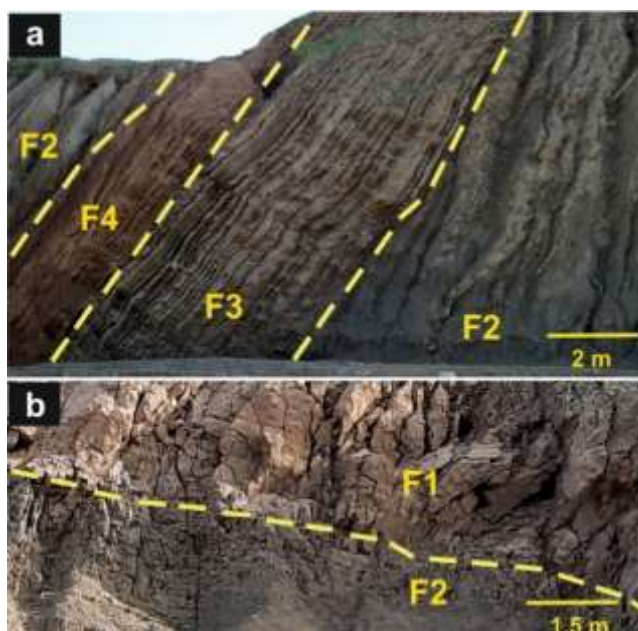
در برش مورد مطالعه بر اساس سنگ‌شناسی، محتوای فسیلی و ساختارهای رسوبی ۵ رخساره رسوبی به شرح ذیل تشخیص داده شد.

۱- رخساره سنگ‌آهک‌های جزرومدی

این رخساره متشکل از سنگ‌آهک‌های کرم رنگ توده‌ای می‌باشد. لامیناسیون، تخلخل فنسترال، زیست‌آشفتگی و ساخت توده‌ای از ساخت‌های رسوبی رایج موجود در این رخساره می‌باشند. ذرات تخریبی در اندازه سیلت به فراوانی در این رخساره دیده می‌شود. دارای اثر فسیل‌های *Thalassinoides isp.* و *Thalassinoides suevicus* می‌باشد. اکسیداسیون (پیگمنت‌های اکسید آهن) در بعضی از قسمت‌های این رخساره دیده می‌شود. این رخساره به طور متناوب همراه با میان لایه‌های مارن خاکستری دیده می‌شود (شکل ۲-b). وجود ساخت لامیناسیون و تخلخل فنسترال حاکی از رسوبگذاری این رخساره در ناحیه جزرومدی است (شین، ۱۹۸۳؛ آورجانی و همکاران، ۲۰۱۵).

۲- رخساره سنگ‌آهک‌های دلتایی

این رخساره از سنگ‌آهک‌های خاکستری رنگ متوسط تا ضخیم لایه تشکیل شده است. دارای پدیده‌ها و ساخت‌های رسوبی بسیار متنوع ساختار زیستی، لامینه ریپلی جریانی، لایه‌بندی عدسی شکل، لایه‌بندی موجی، کانال، لایه‌بندی تدریجی، رسوبات پرکننده کانال، سطح فرسایشی، اینتراکست و لگ، لایه‌بندی متقاطع، سطوح مجدد فعال



شکل ۲. رخساره‌های رسوبی سازند میشان در برش امیدیه؛ (a) رخساره‌های مارن خاکستری (F2)، ماسه‌سنگ (F3)، مارن قرمز (F4) و (b) رخساره‌های سنگ‌آهک‌های جزرومدی (F1)، مارن خاکستری (F2).

۵- رخساره مارن قرمز

این رخساره از مارن‌های قرمز تا قرمز تیره تشکیل شده است. دارای گرهک‌های ژئوپس/ انیدریت و آثار ریشه در مجموعه توالی می‌باشد. بدون اثرفسیل بوده و در بخش بالایی سازند میشان در تناوب با ماسه‌سنگ‌ها و مارن‌های خاکستری رنگ دیده می‌شود (شکل ۲-ا). وجود رنگ قرمز، گرهک‌های ژئوپس/ انیدریت و آثار ریشه در مجموعه توالی رخساره مارن قرمز نشان‌دهنده رسوبگذاری در محیط رودخانه‌ای^۱ می‌باشد (نیکولز، ۲۰۰۹).

محیط رسوبی

سازند میشان در برش امیدیه نشان‌دهنده یک پلات‌فرم کربناته کم شیب به دلایل زیر می‌باشد: ۱- عدم وجود شواهد شلف کربناته مانند رسوبات مجدداً نهشته شده، رخساره‌های مناطق شیبدار و قسمت‌های عمیق حوضه. ۲- عدم وجود دانه‌های کربناته غیراسکلتی مانند آگرگات، اینتراکلسیت (به جز در کانال‌های جزرومدی) و واریزه‌های غالب در شلف کربناته (فلوگل، ۲۰۱۰) که مشخص کننده عدم وجود جریان‌های توفانی می‌باشد. بر اساس آنالیز رخساره‌های رسوبی در برش چین‌شناسی امیدیه در فروافتادگی دزفول، ۳ زیر محیط رسوبی اصلی مربوط به رمپ داخلی شامل زیرمحیط‌های دلتا، جزرومدی و لاگون

تشخیص داده شد. در برش امیدیه، بخش پایینی سازند میشان از تناوب رسوبات کربناته و مارن تشکیل شده است. بخش میانی متشکل از مارن‌های خاکستری همراه با میان لایه‌های کربناته و بخش بالایی از مارن و سیلیسی کلاستیک‌های دانه‌درشت در تناوب با میان لایه‌های کربناته تشکیل شده است. در برش امیدیه لایه‌های کربناته که در تناوب با لایه‌های مارن خاکستری در بخش پایینی و میانی سازند میشان قرار دارند در دو رخساره مربوط به محیط‌های دلتایی و جزرومدی قرار می‌گیرند. کربنات‌های وابسته به جزرومد^۲ شامل کانال‌های جزرومدی و رسوبات جزرومدی می‌باشند.

تناوب لایه‌های آهکی با ترکیبات مختلف (از کربنات‌های خالص تا کربنات‌های مخلوط با ذرات آواری) و لایه‌های مارن ضخیم تا توده‌ای مشخص کننده ورود سیلیسی کلاستیک‌ها از ارتفاعات مجاور بوسیله رودخانه‌ها و تخلیه در محل دلتاها می‌باشد. در برش امیدیه تناوب لایه‌های مارنی با میزان کربنات متغیر منعکس کننده تغییرات موقتی در تناسب نسبی ورودی سیلیسی کلاستیک‌ها و تجمعات کربنات است که نشان‌دهنده جابجایی‌های به سمت خشکی یا دریا در رخساره‌های مجاور یا دورتر می‌باشد. همچنین وجود نوسانات جوی شامل تغییرات در هوازگی و روان‌آب‌ها در نواحی مجاور و یا حتی تغییرات

² Tide related carbonate deposits

¹ fluvial

بوده و ذرات رسوبی پر کننده حفرات مشابه سنگ میزبان می‌باشند (شکل ۳-c).

Ichnogenus *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944
Ichnospecies *Thalassinoides suevicus* Rietch, 1932
عمدتاً بصورت باروهای نسبتاً افقی با انشعابات تقریباً منظم و دارای سطح صاف هستند. باروها به شکل انشعابات Y شکل و T شکل می‌باشند. دارای قطری برابر با ۵ تا ۲۰ میلی‌متر و طول بین ۲۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر هستند. قطر لوله‌ها (باروها) در طول باروها تقریباً ثابت است. انشعابات Y شکل بیشتر از T شکل هستند. برآمدگی‌های پیازی شکل در محل انشعابات و یا در طول باروها دیده می‌شود. ستبرای لوله‌ها (باروها) در طول آن‌ها ثابت است. شبکه تقریباً منظمی از لوله‌ها (باروها) را فراهم ساخته‌اند. فاقد دیواره بودن و عدم وجود حالت کاملاً افقی از خصوصیات این گونه در توالی‌های مورد نظر است. جنس رسوبات پرکننده باروها با رسوبات میزبان همسان است (شکل ۳-d, ۳-e).

Cf. *Thalassinoides* isp.

غالباً بصورت باروهای منشعب (Y شکل) دیده می‌شوند. قطر بارو بین ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر متغیر است و طول باروها از ۴۰ تا ۱۴۰ میلی‌متر می‌باشد. قطر بارو در امتداد بارو تقریباً یکسان می‌باشد. جنس رسوبات پرکننده بارو از لحاظ بافت (شکل و اندازه) با رسوبات میزبان یکسان است (شکل ۳-f).

ایکونوفابریک

ایکونوفابریک شامل تمامی جنبه‌های مربوط به بافت و ساخت داخلی رسوبات ناشی از زیست‌آشفستگی می‌باشد (اکدال و همکاران، ۱۹۸۴). توالی رسوبی سازند میشان دارای ۵ ایکونوفابریک به شرح ذیل می‌باشد:

IF1: *Thalassinoides* ichnofabric A

حفره‌ها در سنگ‌آهک‌های کرم رنگ توده‌ای دارای ذرات تخریبی در اندازه سیلت حفظ شده‌اند. ساخت‌ها رسوبی این ایکونوفابریک شامل ساختار زیستی، ساخت توده‌ای، لامیناسیون و فابریک فنسترال هستند. همچنین اکسیداسیون (پیگمنت‌های اکسید آهن) در این ایکونوفابریک دیده می‌شود. این ایکونوفابریک منحصر از تالاسینوئیدس‌ها با شاخص‌های زیست‌آشفستگی (BI) ۱، ۲،

در تولید کربنات می‌تواند عامل ایجاد تناوب لایه‌های مارنی با میزان کربنات متغیر باشد (محمدخانی و همکاران، ۲۰۲۲). کاهش تدریجی میزان کربنات در لایه‌های مارنی در چرخه‌های رسوبی جزرومدی ممکن است به مهاجرت جانبی کانال‌های جزرومدی و جانشین شدن کارخانه کربنات‌سازی با رسوبات دانه‌ریز سیلیسی کلاستیک مربوط باشد. اغلب رسوبات بخش بالایی سازند میشان متشکل از لایه‌های ماسه‌سنگ و همچنین سنگ‌آهک‌های متعلق به محیط دلتایی در یک دلتا تحت نفوذ امواج تشکیل شده‌اند.

Ichnogenus *Protovirgularia* McCoy, 1850
Ichnospecies *protovirgularia* cf. *pennatus* Eichwald, 1854

این گونه بصورت افقی تا نیمه‌افقی نسبت به لایه‌بندی دیده می‌شود. آثار برجستگی^۳ ضعیف در مقطع عرضی مشاهده می‌شود و متشکل از آثار جناغی و متراکم می‌باشد. از *Phycodes templus* به خاطر داشتن برگچه‌های کناری منظم متفاوت است (هان و پیکریل، ۱۹۹۴). از *Nereites cambrensis* به خاطر داشتن برگچه‌های کناری باز و با لبه گرد متمایز است (مورکینسون، ۱۸۳۹) (شکل ۳-a).

Ichnogenus *Planolites* Nicholson, 1873

Ichnospecies *Planolites* isp.

حفرات استوانه‌ای، بدون آستر، مستقیم تا کمی انحنا دار و دارای قطر نسبتاً ثابت هستند. دیواره حفره‌ها فاقد تزیینات و به صورت صاف دیده می‌شود. آرایش تقریباً موازی با سطح لایه‌بندی دارد. رسوبات پرکننده حفره‌ها بدون ساختار و فاقد لامینه می‌باشند و حفره‌ها بصورت منفرد دیده می‌شوند. جنس و اندازه (ویژگی‌های بافتی) رسوبات پرکننده حفره با رسوبات میزبان مشابه می‌باشد. قطر بارو حدود ۵ میلی‌متر و طول ۶/۳ سانتی‌متر دارد. وجود اکسید آهن در اطراف بارو کاملاً مشهود می‌باشد که به شکل پیگمنت‌های اکسید آهن دیده می‌شود (شکل ۳-b).

Ichnogenus *Helminthopsis* Heer, 1876

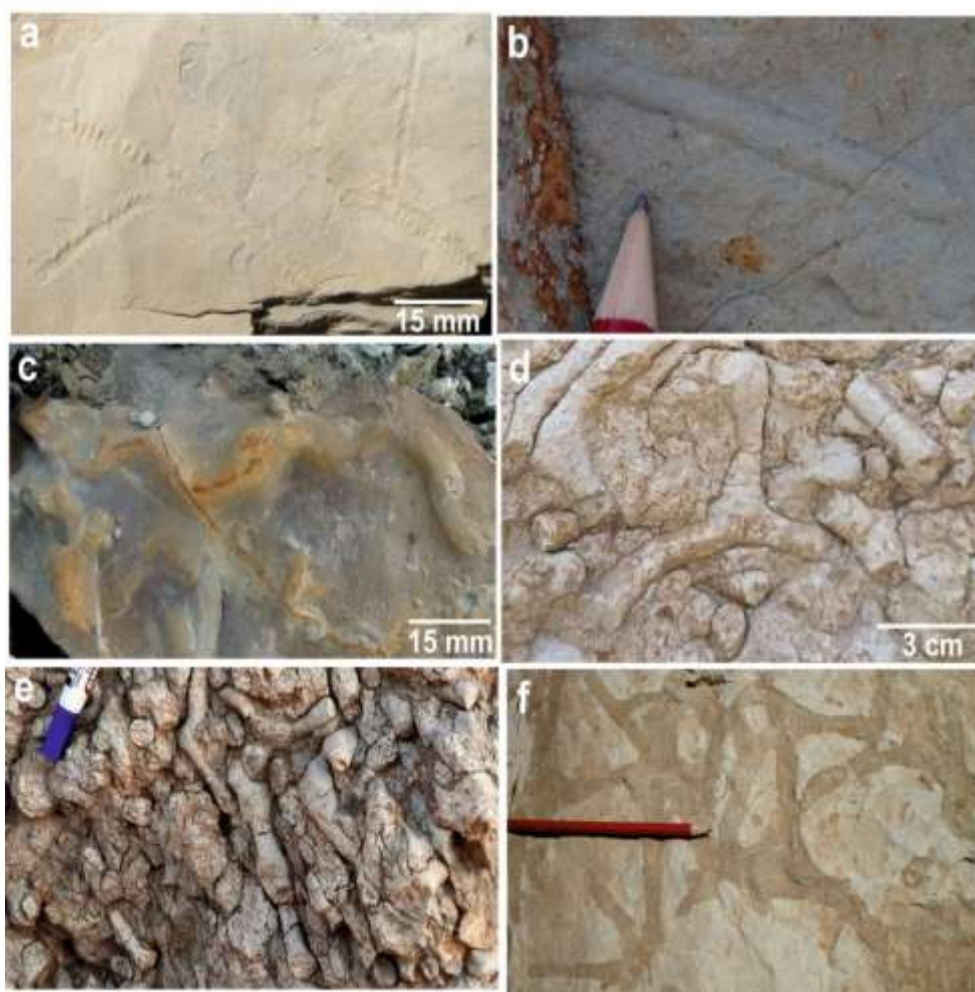
Ichnospecies *Helminthopsis* isp.

این اثر فسیل به صورت اثر خزشی برجسته و بدون انشعاب روی ماسه‌سنگ دیده می‌شود. این اثر فسیل بصورت نسبتاً افقی نسبت به سطح لایه‌بندی دیده می‌شود و یک مسیر سینوسی نامنظم یا مئاندری نامنظم را طی می‌کند (پیچش آن به صورت نامنظم تا اندازه‌ای مئاندری است). قطر حفاری در طول اثر متغیر می‌باشد. دیواره حفرات صاف

³ carinate

میلی‌متر با رسوبات مشابه سنگ میزبان به لحاظ رنگ و اندازه دانه پر می‌شوند. همچنین گونه *Thalassinoides isp.* غالباً بصورت حفاری‌های منشعب (Y شکل دارای پیچیدگی زیاد)، قطر حفاری‌های بین ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر و پرشدگی حفاری‌ها با رسوبات مشابه سنگ میزبان دیده می‌شود. لایه‌های آهکی این ایکنوفابریک بر روی مارن‌های خاکستری لاگون با قاعده فرسایشی قرار می‌گیرند. این ایکنوفابریک در بخش پایینی سازند میشان در برش امیدیه دیده می‌شود و دارای ضخامت ۱ تا ۳/۵ متر می‌باشد.

۳ و ۴ تشکیل شده است. تالاسینوئیدس‌ها بصورت یک سیستم منشعب و در حالت نیمه افقی تا افقی نسبت به لایه‌بندی دیده می‌شوند. تالاسینوئیدس‌ها در این ایکنوفابریک شامل *Thalassinoides suevicus* و *Thalassinoides isp.* می‌باشند. در شکل‌های مختلف Y، T شکل در این ایکنوفابریک ظاهر می‌شود. دیواره حفاری‌ها نرم بوده و در مقطع عرضی بصورت دایره‌ای یا نیمه دایره‌ای دیده می‌شود. حفاری‌ها در گونه *Thalassinoides suevicus* دارای قطر ۵ تا ۲۰



شکل ۳. اثر فسیل‌های شناسایی شده سازند میشان در برش امیدیه

ایکنوفابریک وجود اکسید آهن از شواهد تایید کننده عمق کم و اکسیداسیون کافی جهت حضور موجودات سازنده آثار فسیلی تالاسینوئیدس می‌باشد (مایرو، ۱۹۹۵؛ ال‌سباغ و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به گزارش‌های متعدد از وجود خرچنگ‌های میوسن در سازند میشان (مانند یزدی و همکاران، ۲۰۱۳؛ حیدری و همکاران، ۲۰۱۲) و نیز وجود فسیل‌های خرچنگ در سازند میشان در مجاورت برش

تفسیر: محیط اینترتایدال بوسیله خصوصیات رخنمون سطحی و همجواری عمودی با رخساره‌های جزرومدی پروکسیمال و لاگونی تایید می‌شود (شین، ۱۹۸۳؛ محمدخانی و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین وجود ساخت‌ها لامیناسیون و فابریک فنسترال در این ایکنوفابریک نشان دهنده محیط جزرومدی می‌باشد (شین، ۱۹۸۳؛ آورجانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ جعفری‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲). در این

اکسیدان محسوب می‌شوند (مایرو، ۱۹۹۵؛ براملی، ۱۹۹۶؛ ال‌سباغ و همکاران، ۲۰۱۷).

IF3: *Protovirgularia ichnofabric*

این ایکنوفابریک در یک افق متشکل از ماسه‌سنگ‌های قهوه‌ای روشن ریزدانه تا متوسط دانه دیده می‌شود. دارای پدیده‌ها و ساخت رسوبی، ساخت‌وزنی، سطح فرسایشی، اینتراکلت و لگ، لامینه‌های مسطح و دانه‌بندی تدریجی می‌باشد. این ایکنوفابریک منحصرًا از *Protovirgularia* شاخص زیست‌آشفگی (BI) ۲ تشکیل شده است.

protovirgularia cf. pennatus یک trail افقی تا نیمه‌افقی نسبت به لایه‌بندی دیده می‌شود. آثار برجستگی^۱ ضعیف در مقطع عرضی مشاهده می‌شود. همچنین متشکل از آثار جناغی ضعیف در یک فضای متراکم می‌باشد. برگچه‌های کناری منظم، باز و با لبه گرد به خوبی قابل مشاهده است. لایه‌های ماسه‌سنگی این ایکنوفابریک بر روی مارن‌های خاکستری ضخیم لایه قرار می‌گیرند. این ایکنوفابریک در بخش بالایی سازند میشان در برش امیدیه دیده می‌شود و دارای ضخامت ۱ متر می‌باشد.

تفسیر: در این ایکنوفابریک وجود مجموعه ساخت‌های رسوبی ساخت‌وزنی، سطح فرسایشی، اینتراکلت و لگ، لامینه‌های مسطح و دانه‌بندی تدریجی همراه با اثر فسیل *Protovirgularia* می‌تواند نشان دهنده محیط رسوبی دلتا باشد. *Protovirgularia* به عنوان آثار فسیلی که در اثر حرکت دوکفه‌ای‌ها ایجاد می‌شود (کارمونا و همکاران، ۲۰۱۰؛ ناست، ۲۰۲۲) بطور فراوان از محیط‌های کم عمق مانند دلتا (مانگانو و دروسر، ۲۰۰۴؛ کارمونا و همکاران، ۲۰۱۰) گزارش شده است.

IF4: *Helminthopsis ichnofabric*

در این ایکنوفابریک حفره‌ها در یک افق متشکل از ماسه‌سنگ‌های ریز تا متوسط دانه بخوبی حفظ شده‌اند. دارای ساخت‌های رسوبی، لامیناسیون مسطح و دانه‌بندی تدریجی می‌باشد. این ایکنوفابریک منحصرًا از *Helminthopsis isp.* با شاخص زیست‌آشفگی (BI) ۲ تشکیل شده است. در این ایکنوفابریک پیچش *Helminthopsis isp.* به صورت نامنظم تا مئاندری است و دیواره حفرات صاف می‌باشد. *Helminthopsis isp.* بصورت نسبتاً افقی نسبت به سطح لایه‌بندی دیده می‌شود و یک مسیر سینوسی نامنظم یا مئاندری نامنظم را طی می‌کند.

امیدیه (برش‌های پازنان و پارسی) خرچنگ‌ها می‌توانند به عنوان موجودات اثر ساز تالاسینوئیدس‌ها در برش امیدیه محسوب شوند. اثر فسیل تالاسینوئیدس به عنوان اثر فسیل قطع‌کننده رخساره به فراوان از محیط‌های کم عمق و بسیار کم عمق دریایی گزارش شده است (مانند ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ اكدال و براملی، ۲۰۰۳؛ ال‌سباغ و همکاران، ۲۰۱۷).

IF2: *Thalassinoides ichnofabric B*

حفره‌ها در سنگ‌آهک‌های خاکستری رنگ متوسط تا ضخیم لایه حفظ شده‌اند. ساخت‌های رسوبی این ایکنوفابریک شامل ساختار زیستی، لامینه ریپلی جریان، لایه‌بندی عدسی شکل، لایه‌بندی موجی، کانال، لایه‌بندی تدریجی، رسوبات پرکننده کانال، سطح فرسایشی، اینتراکلت و لگ، لایه‌بندی متقاطع، سطوح مجدد فعال شده بوده و اکسیداسیون (پیگمنت‌های اکسید آهن) دیده می‌شود. این ایکنوفابریک منحصرًا از *Thalassinoides suevicus* با شاخص زیست‌آشفگی (BI) ۳ تشکیل شده است. تالاسینوئیدس‌ها بصورت یک سیستم منشعب و در حالت نیمه افقی نسبت به لایه‌بندی دیده می‌شوند. *Thalassinoides suevicus* به شکل Y در این ایکنوفابریک ظاهر می‌شود. این گونه در مقطع عرضی بصورت دایره‌ای یا نیمه‌دایره‌ای دیده می‌شود. حفاری‌ها در گونه *Thalassinoides suevicus* دارای قطر حدود یک سانتی‌متر بوده و با رسوبات مشابه سنگ میزبان به لحاظ رنگ و اندازه دانه پر می‌شوند. لایه‌های آهکی این ایکنوفابریک بر روی مارن‌های خاکستری رنگ قرار می‌گیرند. این ایکنوفابریک در بخش بالایی سازند میشان در برش امیدیه دیده می‌شود و دارای ضخامت ۱ متر می‌باشد.

تفسیر: مجموعه و همراهی ساخت‌های رسوبی این ایکنوفابریک شامل لامینه ریپلی جریان، لایه‌بندی عدسی شکل، لایه‌بندی موجی، کانال، لایه‌بندی تدریجی، رسوبات پرکننده کانال و لایه‌بندی متقاطع حاکی از رسوبگذاری در محیط دلتا می‌باشد (نیکولز، ۲۰۰۹؛ فلوگل، ۲۰۱۰). حضور گونه *Thalassinoides suevicus* به تنهایی در این ایکنوفابریک نشان دهنده تحت تاثیر قرار گرفتن بوسیله انرژی بالای محیط می‌باشد (ویلگاس مارتین و همکاران، ۲۰۱۴). تالاسینوئیدس‌ها به شدت وابسته به محیط‌های دارای اکسیداسیون می‌باشند و بعنوان شاخص محیط‌های

¹ Carinate

و همکاران، ۲۰۰۹). وجود دو کفه‌ای‌ها و شکم‌پایان همراه با عدم وجود ساختارهای مرتبط با امواج و جریان‌ها نشان دهنده محیط لاگون می‌باشد. پلانولیتس‌ها به عنوان باروهای تغذیه‌ای^۳ موجودات تغذیه کننده از رسوب کرم مانند محسوب می‌شوند که بطور فعال باروهایشان را پر می‌کنند (پمبرتون و فری، ۱۹۸۲؛ آچمن، ۱۹۹۵؛ کانسکو و همکاران، ۲۰۱۶). اثر فسیل پلانولیتس حاصل فعالیت جانوران رسوب‌خوار و دارای الگوی رفتاری تغذیه‌ای (بایت گل و همکاران، ۲۰۱۲؛ شرفی و همکاران، ۲۰۲۲) در محیط‌های کم عمق دریایی می‌باشد (شرفی و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین ویژگی‌های ریخت‌شناسی مانند دیواره غالباً صاف و بدون تزینات (استاکاژ، ۲۰۱۲؛ شرفی و همکاران، ۲۰۲۲)، عدم تشکیل آستر و ساختارهای ریزشی در پلانولیتس‌ها دلالت بر حفره‌های تغذیه‌ای فعال دارد (بایت گل و همکاران، ۲۰۱۳) و ماهیت رسوبات پر کننده حفره‌ها دلالت بر تأثیر جاندار سازنده در تغییر بافت و ساختار رسوبات موجود در حفره، پس ریزی فعال و عمل فشرده‌سازی رسوبات در طی عمل حفاری است.

محیط زیست دیرینه

بطور کلی سازند میشان از رسوبات دانه ریز ماری همراه با روند کاهش محتوای کربناته به سمت بالا و افزایش رسوبات سیلیسی کلاستیک وارد شده از سیستم دلتا در حواشی حوضه تشکیل شده است. همزمان با رسوبگذاری رسوبات سیلیسی کلاستیک در بخش پروکسیمال حوضه، کربنات‌ها در قسمت‌های دورتر و نیز پروکسیمال از طریق کانال‌های جزرومدی نهشته شده‌اند. در سازند میشان ماسه‌سنگ‌های فاقد اثر فسیل غالباً دارای قاعده فرسایشی، ظاهر عدسی شکل، دانه‌های ریز شونده به سمت بالا و عدم وجود فسیل‌های دریایی می‌باشند که مشخص کننده رسوبگذاری در کانال رودخانه‌ای می‌باشد (لیدر، ۱۹۷۳؛ محمدخانی و همکاران، ۲۰۲۲). سطوح فرسایشی چندگانه نشان دهنده پدیده‌های تکرار شونده فرسایش و پرشدگی می‌باشد (پلینک- جورکلاند، ۲۰۰۵). ماسه‌سنگ‌های دارای ساخت توده‌ای، لایه‌بندی متقاطع، لامیناسیون موازی و ریپل‌مارک‌های جریانی نشان دهنده رسوبگذاری در فرم‌های لایه‌بندی متفاوت مانند تپه ماسه‌ای و ریپل‌ها (رژیم جریانی پایین) در کانال‌های

ذرات رسوبی پر کننده حفرات به لحاظ رنگ و اندازه مشابه سنگ میزبان بوده و قطر حفاری دارای اندازه‌های متفاوت در مسیر سینوسی می‌باشد. لایه‌های ماسه‌سنگی این ایکنوفابریک بر روی مارن‌های ماسه‌ای خاکستری رنگ قرار می‌گیرند. این ایکنوفابریک در بخش بالایی سازند میشان در برش امیدیه دیده می‌شود و دارای ضخامت ۱ متر می‌باشد.

تفسیر: وجود چرخه‌های رسوبی به سمت بالا درشت شونده در این ایکنوفابریک نشان دهنده محیط رسوبی دلتا می‌باشد (نیکولز، ۲۰۰۹). هلمینوسوپسیس به عنوان اثر جانور تغذیه کننده از رسوب (گینگراس و همکاران، ۲۰۰۷) با سبک رفتار گریزینگ^۲ تعریف می‌شود (بواتویس و همکاران، ۱۹۹۸). هلمینوسوپسیس اکثراً در محیط‌های دریایی ژرف دیده می‌شود؛ با این وجود چنین اثر فسیل‌هایی در محیط‌های دریایی کم ژرفا و محیط‌های غیردریایی نیز دیده می‌شود (هان و پیکریل، ۱۹۹۴؛ بواتویس و همکاران، ۱۹۹۸؛ متز، ۲۰۲۲).

IF5: *Planolites ichnofabric*

در این ایکنوفابریک حفره‌ها در یک افق متشکل از مارن‌های آهکی دارای ذرات تخریبی در اندازه سیلت دیده می‌شود. ساختارهای زیستی تنها ساخت رسوبی این ایکنوفابریک محسوب می‌شود. وجود پیگمنت‌های اکسید آهن در اطراف بارو کاملاً مشهود می‌باشد. این ایکنوفابریک منحصر از *Planolites isp.* با شاخص زیست‌آشفتگی (BI) ۲ تشکیل شده است. محتوای بایوکستی این ایکنوفابریک شامل خرده‌های دوکفه‌ای و گاستروپود است. حفره‌ها آرایش تقریباً موازی با سطح لایه‌بندی دارند و بصورت منفرد دیده می‌شوند. حفره‌ها استوانه‌ای، بدون آستر، مستقیم تا کمی انحنادار و دارای قطر نسبتاً ثابت هستند. دیواره حفره‌ها بدون تزینات و به صورت صاف دیده می‌شود. قطر بارو حدود ۵ میلی‌متر بوده و جنس و اندازه (ویژگی‌های بافتی) رسوبات پرکننده حفره با رسوبات میزبان مشابه می‌باشد. این ایکنوفابریک در بخش میانی سازند میشان قرار دارد و بر روی سنگ‌آهک‌های کرم تا خاکستری رنگ توده‌ای قرار می‌گیرد.

تفسیر: این ایکنوفابریک به دلیل عدم حضور ساختارهای مرتبط با امواج و جریان‌ها در یک محیط رسوبی کم انرژی و آرام نهشته شده است (هاوارد و ری اینک، ۱۹۸۱؛ کارمونا

³ Fodinichnia

² Pascichnia

به همین دلیل تغییرات زیاد رفتاری جانداران سازنده اثرفسیل‌ها موجب افزایش تنوع آثار فسیلی می‌شود (محمدیان و همکاران، ۲۰۱۲؛ عباسی، ۲۰۲۰).

اثرفسیل‌های سازند میشان با استراتژی‌های غالب گریز نیک و تغذیه‌ای (*Planolites Helminthopsis*, *Thalassinoides*) دیده می‌شوند. تنوع زیاد طبقه‌بندی اتولوژیکی شامل سکونت^۵، تغذیه^۶ و چریدن به اضافه رکورد اثرفسیل‌ها بوسیله جانداران رسوب‌خوار^۷ رسوبگذاری پیوسته و رخساره‌های هوازی^۸ را تأیید می‌کند. آنالیز اثرفسیل‌های سازند میشان نشان می‌دهد که آن‌ها در رخساره‌های مربوط به آب‌های کم عمق به فراوانی یافت می‌شوند. اثرفسیل‌های سازند میشان دارای تنوعی از تونل‌های افقی و حفاری‌های عمودی هستند. تونل‌های افقی^۹ ساختارهای تغذیه‌ای هستند (براملی، ۱۹۹۶) در حالی که حفاری‌های عمودی به منظور کلنی شدن مجدد بوسیله جانوران اثر ساز جوان ساخته می‌شوند. بطور کلی حفاری‌های عمودی^{۱۰} در محیط‌های با انرژی بالاتر شکل می‌گیرند و Boxwork و تونل‌های افقی در محیط‌های با انرژی پایین‌تر تشکیل می‌شوند (فری و همکاران، ۱۹۷۸). در سازند میشان اثرفسیل‌های موجود در نهشته‌های تخریبی به علت ویژگی‌های رسوب‌شناسی و تاثیر اندک فرآیندهای سنگ‌زایی، بطور نسبی از حفظ‌شدگی خوبی برخوردار هستند (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۲). عدم وجود فرسایش زیستی و پوشش زیستی در اکثر موارد بر روی قالب‌های فسیلی این مطالعه حاکی از تدفین سریع و عدم باقی ماندن قالب‌های فسیل در بستر رسوبی برای زمان طولانی است (محمدیان و همکاران، ۲۰۱۲).

در برش امیدیه در مارن‌های آهکی و آهک‌های مارنی دارای اثرفسیل پلانولیتس وجود بافت ریزدانه، عدم وجود ساختارهای رسوبی مرتبط با جزرومد و تغییرات نسبی سیلیسی کلاستیک و گل کربناته و محتوای فسیلی مانند پوسته دوکفه‌ای‌ها نشان می‌دهد این رسوبات در محیط کم انرژی و کم عمق مانند لاگون همراه با ورود مواد آواری از نواحی مجاور تشکیل شده‌اند.

رودخانه‌ای می‌باشد (میال، ۱۹۸۵؛ محمدخانی و همکاران، ۲۰۲۲). رسوبات سیلیسی کلاستیک در بخش بالایی توالی سازند میشان متشکل از لایه‌های مارن و ماسه‌سنگ می‌باشند و غالباً در یک دلتا تحت نفوذ امواج تشکیل شده‌اند. اثر فسیل‌ها افق تازه‌ای برای درک شرایط محیطی دیرینه مهیا کرده‌اند و بنابراین کلید پارامترهای رسوب‌شناسی برای ارزیابی محیط رسوبی محسوب می‌شوند (شمس‌الدین و همکاران، ۲۰۲۲). در برش امیدیه فراوانی سیلیسی کلاستیک‌ها و مارن‌های غالب در توالی سازند میشان نشان دهنده احتمال ورود مواد مغذی از خشکی به حوضه رسوبی از طریق رودخانه‌ها و دلتاها می‌باشد. با توجه به تنوع و تعدد اثر فسیل‌های سازند میشان مطمئناً مواد غذایی به اندازه کافی برای حفظ و نگهداری اجتماع ماکروبنیتیک‌های اثرساز بصورت متنوع و فراوان وجود داشته است (گیلاردو-ویلگاس و همکاران، ۲۰۱۶). فراوانی و در دسترس بودن مواد غذایی ممکن است نتیجه پدیده بالآمدگی^۴ در نواحی اقیانوسی و یا فرسایش و ورود مواد غذایی از طریق روان‌آب‌های سطحی سرچشمه گرفته از سرزمین‌های مرتفع اطراف حوضه رسوبی که با گسترش این محیط‌ها در طی شرایط آب و هوایی بهینه در میوسن میانی ایجاد شده‌اند باشد (موتی و هالوک، ۲۰۰۳؛ پومار و همکاران، ۲۰۰۴؛ هلفار و موتی، ۲۰۰۵؛ محمدخانی و همکاران، ۲۰۲۲).

اثرفسیل‌های متنوع سازند میشان در محیط‌های رسوبی با میزان انرژی متفاوت مانند دلتا، جزرومدی و لاگون دیده می‌شوند. میزان انرژی محیط رسوبی تعیین کننده جانوران اثر ساز، نوع باروینگ و سازگاری تغذیه‌ای بوسیله آن‌ها می‌شود. در سازند میشان در نواحی که تأثیر نوسانات امواج دیده می‌شود (مانند نواحی جزرومدی و دلتاهای تحت نفوذ امواج) تنوع و فراوانی اثرفسیل‌ها بسیار بیشتر می‌باشد زیرا این نوسانات موجب تغییر در بسترهای رسوبی، وضعیت توزیع مواد غذایی، سرعت رسوبگذاری، اکسیژن، دما و شرایط تافونومی جانداران موجود می‌شود بطوریکه در چنین محیط‌هایی جانداران با تغییر استراتژی رفتاری، طرح زیستی خود را با تغییرات محیطی سازگار می‌نمایند.

⁸ Aerobic Facies

⁹ Maze

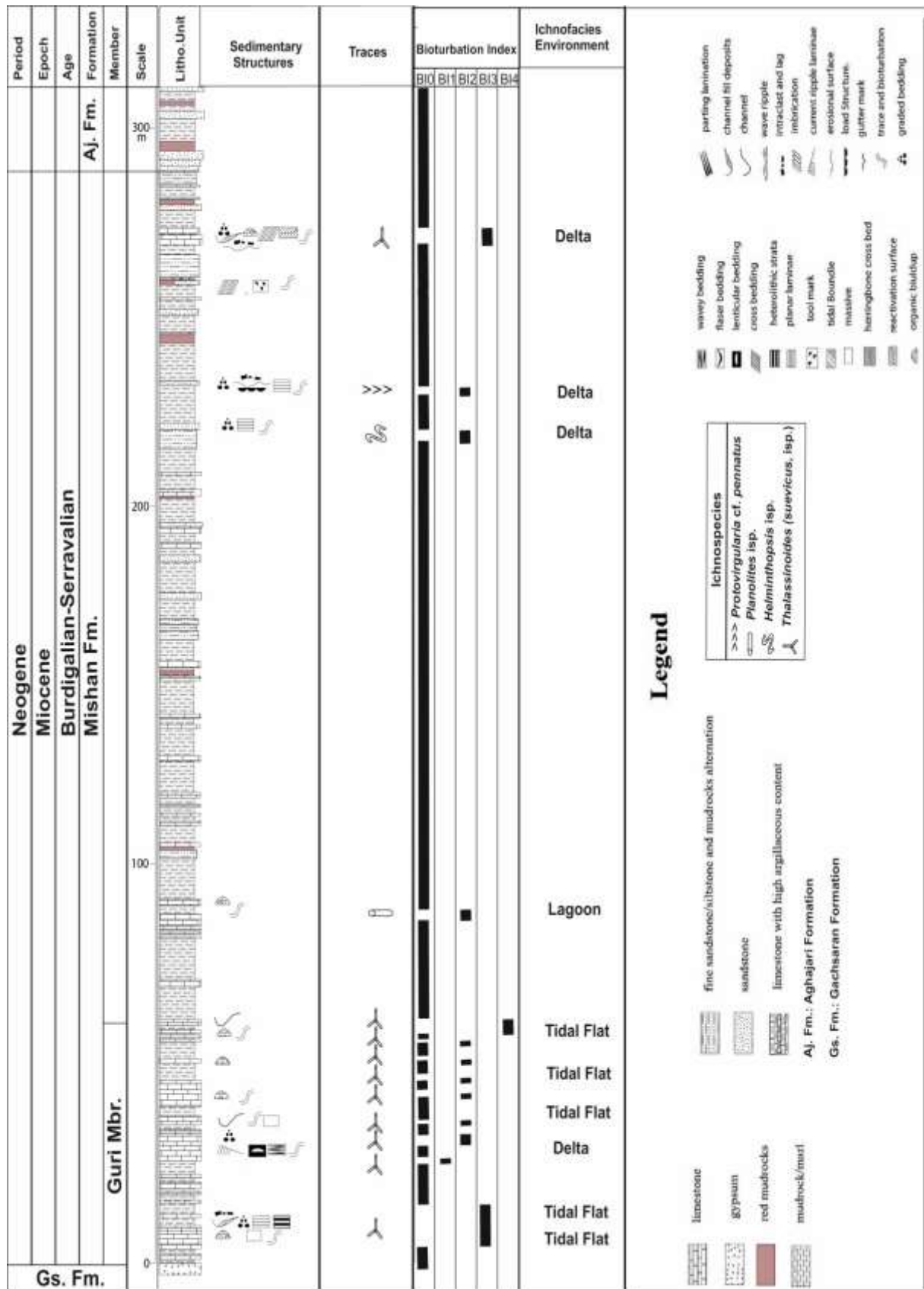
¹⁰ Shafts

⁴ Upwelling

⁵ dwelling

⁶ feeding

⁷ Deposit Feeders



شکل ۴. ستون چینه‌شناسی سازند میشان در برش امیدیه همراه با موقعیت آثار فسیلی، ساخت‌های رسوبی، شاخص‌های زیست‌آشفستگی و محیط رسوبی آثار فسیلی.

نتیجه‌گیری

مطالعات اثرشناسی سازند میشان در برش امیدیه منجر به شناسایی ۴ اثر جنس با ۵ اثر گونه شد. این اثرفسیل‌ها نشان دهنده رفتارهای حرکتی، تغذیه‌ای، پناهگاهی و گریزینگ هستند. در این مطالعه ۵ شاخص زیست‌آشفستگی مطابق با شاخص‌های زیست‌آشفستگی استاندارد و همچنین ۵ ایکنوفابریک متعلق به محیط‌های رسوبی دلتا، جزرومدی و لاگون شناسایی شد. در برش مورد مطالعه به دلیل تأثیر نوسانات امواج و در نتیجه تغییر در بسترهای رسوبی، وضعیت توزیع مواد غذایی، سرعت رسوبگذاری، اکسیژن، دما و شرایط تافونومی موجودات اثرساز و نهایتاً ضرورت سازگاری رفتاری این موجودات با نوسانات، موجب تغییرات زیاد رفتاری جانداران سازنده اثرفسیل‌ها و افزایش تنوع آثار فسیلی شده است. مطالعات محیط زیست دیرینه حاکی از عمق بسیار کم حوضه، فراوانی و در دسترس بودن مواد غذایی و رسوبگذاری پیوسته محیط رسوبی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از سرکار خانم طاهره شجاع به جهت همکاری در انجام تمامی مراحل مطالعه، از آقای دکتر نصرالله عباسی به جهت شناسایی دقیق اثرفسیل‌ها و ایکنوفابریک‌ها و ارسال مقالات مورد نیاز، دکتر حسین محمدخانی به جهت تشخیص ساخت‌ها رسوبی و کمک فراوان در تفسیر محیطی ایکنوفابریک‌ها، استاد احسان اقبال‌پور جهت انتخاب برش مورد مطالعه، دکتر شهرام آورجانی و مهندس رضا سامانی‌زادگان جهت همکاری صمیمانه در انجام این تحقیق سپاسگزاریم. لازم است قدردانی خود را از آقایان احمد قنواتی، ایوب شجاع و هادی قنواتی برای کمک در انجام نمونه‌برداری ابراز نمایم.

منابع

- Abbasi, A (2020) Trace fossil, concepts and Applications, Zanjan University, 399p (in Persian).
 Abbasi, A., Aharipour, R (2021) Circulichnis and other trace fossils from Member 5 of Mila Formation in Tuyeh- Davar section, Eastern Alborz Mountain, North Iran. *Geosciences*, 31: 1-12.
 Abbassi, N., Mirzaei Attabadi, M., Hassanpour, M (2020) Teredolites ichnofaciesband its role in sequence stratigraphic analysis of the upper part of zoiveh Formation, Moghan area, Eastern

در سازند میشان زیست‌آشفستگی با شدت زیاد (BI 4¹) در افق‌های تالاسینوئیدس‌دار می‌تواند به دلیل سرعت رسوبگذاری پایین باشد (مک‌ایکرن و بن، ۲۰۰۸). تالاسینوئیدس‌ها به وفور وابسته به محیط‌های پراکسیژن در زیر لایه‌های نسبتاً چسبنده‌اند (براملی، ۱۹۹۶) و سنگ‌آهک‌های سازند میشان به شدت رسی، نسبتاً چسبنده و دارای اکسیدآهن (پیگمنت‌های اکسیدآهن) فراوان هستند که این موضوع تشکیل این تالاسینوئیدس‌ها در محیط‌های دارای اکسیژن را تایید می‌کند. عدم وجود آثار شیار مانند در تالاسینوئیدس‌های سازند میشان می‌تواند نشان دهنده استحکام رسوبات باشد (مایرو، ۱۹۹۵؛ ال سباغ و همکاران، ۲۰۱۷).

در برش امیدیه باروهای تالاسینوئیدس‌ها با نوع ۵ از باروهای گریفیس و شانک (۱۹۹۱) مطابقت دارد. در باروهای نوع ۵ به نظر می‌رسد تغذیه از طریق فیلتر کردن آب نخستین مکانیزم برای به دست آوردن غذا می‌باشد. باروهای نوع ۵ متشکل از یک یا چند لوله U و T شکل با دهانه‌های جمع شونده منتهی به شیارهای متورم می‌باشند و نیز در رسوبات نرم ایجاد می‌شوند. دیواره (سطح) باروها معمولاً سخت و نرم و متشکل از رسوبات دانه ریز هستند. لوله‌های کوتاه و U شکل نوع ۵ بارو، مسیرهای موثری برای جریان یک سو (هم‌جهت) را فراهم می‌کنند (گریفیس و شانک، ۱۹۹۱). مجموعه اثرفسیل‌های این مطالعه بر پایه شواهد زیر بعنوان شاخص اثررخساره کروزیانا محسوب می‌شوند (مک‌ایکرن و همکاران، ۱۹۹۹، ۲۰۰۷): ۱- تنوع زیاد طبقه‌بندی‌های اتولوژیکی. ۲- فراوانی اثرفسیل‌های ایجاد شده بوسیله موجودات رسوب‌خوار. ۳- حضور فراوان اثرفسیل‌های بوجود آمده بوسیله جانوران متحرک. ۴- تنوع ایکنوفابریکی زیاد و فراوانی اثرفسیل‌ها. ۵- وجود و فراوانی ساختارهای تغذیه‌ای رسوب‌خواری تالاسینوئیدس و پلانولیتس منطبق بر اثررخساره کروزیانا است (بن و فیلدینگ، ۲۰۰۴؛ گیلاردو - ویلگاس و همکاران، ۲۰۱۶). در سازند میشان شاخص‌های زیست‌آشفستگی ۳ و ۴ نشان دهنده شرایط مطلوب و مساعد برای جانوران اثرساز و شاخص زیست‌آشفستگی ۱ منعکس کننده شرایط تقریباً نامساعد برای جانوران اثرساز می‌باشد. مطالعات اثرفسیل‌های سازند میشان در برش امیدیه نشان دهنده یک محیط دریایی خیلی کم عمق همراه با اکسیداسیون بالا می‌باشد.

¹ Bioturbation Index

- sandstone, Buildes Quarry, eastern Kansas, USA. *Journal of Paleontology*, 72: 152-180.
- Carmona, N. B., Mangano, M. G., Buatois, L. A., Ponce, J. J. (2010) Taphonomy and paleoecology of the bivalve trace fossil *Protovirgularia* in deltaic heterolithic facies of the Miocene Chenque Formation, Patagonia, Argentina. *Journal of paleontology*, 84(4): 730-738, <https://doi.org/10.1666/09-119.1>.
- Ehrenberg, K (1944) Ergänzende Bemerkungen zu den seinerzeit aus dem Miozän von Burgschleinitz beschriebenen Gangkernen und Bauten dekapoder Krebse. *Paläontologische Zeitschrift*, 23: 345-359.
- Ekdale, A., Bromley, R., Pemberton, S (1984) Ichnology. The use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 15: 1-317.
- El-Sabbagh, A., El-Hedenya, M., Al-Farraj, S (2017) *Thalassinoides* in the Middle Miocene succession at Siwa Oasis, northwestern Egypt. *Proceedings of the Geologists Association*, 365: 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2017.01.001>.
- Famariani Bozchalouei, M., Abbassi, A., Zohdi, A (2020) Neoproterozoic – Cambrian boundary in Soltanieh Formation by the ichnological studies, Seyedkandi section, Soltanieh Mountains, NW Iran, *Geosciences*, 30:163-174, (in Persian).
- Fanati Rashidi, R., Vaziri, S. H., Khaksar, K., Gholamalain, H (2014) Microfacies and sedimentary environment of the early-middle Miocene deposits (Mishan formation) in south of Iran. *Advances in Environmental Biology*, 8(10): 1031-1039.
- Fathi, N., Esrafil, B (2020) Facies analysis and sequence stratigraphy of Guri limestone in a gas field, SE Zagros belt, Iran. 82nd EAEG (European Association of Geoscientists & Engineers), 1: 1-5.
- Flügel, E (2010), *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application*, Springer-Verlag, Germany, 984p.
- Frey, R., Howard, J., Pryor, W (1978) *Ophiomorpha*: its morphologic, taxonomic, and environmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 23: 199-229.
- Ghanavati, M., Maghfouri Moghaddam, I., Aleali, M., Arian, M (2023) Burdigalian ichnofabric from the Guri Member, Dezful Embayment, southwestern Iran. *Revista Brasileira de Paleontologia* (in press).
- Gingras, M. K., Bann, K. L., MacEachern, J. A., Pemberton, S. G (2007) A conceptual framework for the application of trace fossils. In: MacEachern, J. A., Bann, K. L., Gingras, M. K., Pemberton, S. G. (Eds.), *Applied Ichnology*. *SEPM*, 52: 1-26, <https://doi.org/10.2110/pec.07.52.0001>.
- Giraldo-Villegas, C., Celis, S., Rodríguez-Tovar, F., Pardo-Trujillo, A., Vallejo-Hincapié, D., Trejos-Tamayo, R (2016) Ichnological analysis of the upper Miocene in the ANH-Tumaco-1-ST-P well: Assessing paleoenvironmental conditions at the Azerbaijan Province, Northwest Iran. *Geosciences*, 30: 15-24.
- Amiri Bakhtiar, H., Norainejad, M (2001) *Stratigraphy of Zagros*, Tarava Publications, 1091p (in Persian).
- Alavi, M (2007) Structure of the Zagros Fold-Thrust Belt in Iran. *Am. J. SCI.*, 307: 1064-1095.
- Avarjani, S., Mahboubi, A., Moussavi Harami, R., Amiri Bakhtiar, H., Brenner, R. L (2015) Facies, depositional sequences and biostratigraphy of the Oligo-Miocene Asmari Formation in Marun oil field, North Dezful Embayment, Zagros Basin, SW Iran. *Palaeo world*, 24: 336-358, <http://dx.doi.org/10.1016/j.palwor.2015.04.003>.
- Bayat Gol, A., Abbassi, N (2013) Ichnology on Geirol Formation in the Hangberg Mass extinction event (Turonian- Famenian), Zaygon section, Central Alborz. *Geosciences*, 89: 33-48. <https://doi.org/10.22071/gsj.2013.44016> (in Persian).
- Bayat Gol, A., abbassi, N., Mahboubi, A., moussavi-harami, R., Amin rasouli, H (2012) Facies analysis and environmental interpretation of *planolites* and *palaeophycus* trace fossils from palaeozoic sediments of mid-Iran zone, 83: 185-196. (in Persian).
- Bayet-Goll, A., Monaco, P., Mahmudy-Gharaei, M. H., Nadaf, R (2016) Depositional environments and ichnology of Upper Cretaceous deep-marine deposits in the Sistan Suture Zone, Birjand, Eastern Iran. *Cretaceous Research*, 60: 28-51, <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2015.10.015>.
- Bayet-Goll, A., Nazarian Samani, P., Neto de Carvalho, C., Monaco, P., Khodaie, N., Morad Pour, M., Kazemeini, H., Zareiyan, M. H (2017) Sequence stratigraphy and ichnology of Early Cretaceous reservoirs, Gadvan formation in southwestern Iran. *Mar. Petrol. Geol.*, 81: 294-319, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.11.008>.
- Bann, K. L., Fielding, C. R (2004) An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia. In: McIlroy, D. (Ed.), *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, Special Publication, 228: 273-307.
- Bialik, Or. M., Frank, M., Betzler, c., Zammit, R., Waldmann, N (2019) Two-step closure of the Miocene Indian Ocean Gateway to the Mediterranean. *Scientific Reports*, 8842: 1-12, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45308-7>.
- Bromley, R. G (1996), *Trace fossils: biology, taphonomy and applications*, Chapman and Hall, London, 361p.
- Bromley, R. G., Ekdale, A. A (1986). Composite ichnofabrics and tiering of burrows. *Geological Magazine*, 123: 59-65.
- Buatois, L., Mángano, M. G., Malpes, C. G., Lanier, W. P (1998) Ichnology of an Upper Carboniferous fluvio-estuarine paleovalley: The Tonganoxie

- Mac Eachern, J. A., Gingras, M. K (2007) Recognition of brackish-water trace-fossil suites in the Cretaceous Western Interior Seaway of Alberta, Canada. In: Bromley, R. G., Buatois, L. A., Mángano, M. G., Genise, J. F., Melchor, R. (Eds.), *Sediment-organism interactions: a multifaceted ichnology*. SEPM Special Publication, 89:149-194, <http://doi.org.10.2110/pec.07.88.0149>.
- Mac Eachern, J. A., Zaitlin, B. A., Pemberton, S. G (1999) A sharp-based sandstone of the Viking Formation, Joffre Field, Alberta, Canada: criteria for recognition of transgressively incised shoreface complexes. *Journal of Sedimentary Research*, 69: 876-892.
- Mangano, M. G., Buatois, L. A (2004) Ichnology of Carboniferous tide-influenced environments and tidal flat variability in North American Midcontinent. In: McIlroy, d. (Ed.), *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society of London, Special Publication, 228.
- Mangano, M. G., Droser, M (2004) The ichnologic record of the Ordovician radiation, 369-379.
- M'cov, F (1850) On some genera and species of Silurian Radiata in the collection of the University of Cambridge. *Annals and Magazine of Natural History*, 2: 270-290.
- Metz, R (2022) Cruziana and Helminthopsis in fluvial deposits of the uppermost Stocklin formation (Late Triassic), west-central New Jersey. *Ichnos*, 29:76-83, <http://doi.org.10.1080/10420940.2019.1697259>.
- Miall, A. D (1985) Architectural-elements analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sci. Rev.*, 22: 261-308. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(85\)90001-7](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(85)90001-7).
- Mohammadkhani, H., Hosseini-Barzi, M., Sadeghi, A., Pomar, L (2022) Middle Miocene short-lived Tethyan seaway through the Zagros foreland basin: Facies analysis and paleoenvironmental reconstruction of mixed siliciclastic-carbonate deposits of Mishan Formation, Dezful Embayment, SW Iran. *Marine and Petroleum Geology*, Available online 18 March 2022, 16p, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105649>.
- Mohamadian, H., Mahmudy- Gharai, M., Mahboubi, A., Moussavi- Harami, R., Bayetgol, A (2012) Relation between shell beds and trace fossils of the Albian-Cenomanian Aitamir Formation in Amirabad anticline- northeast Mashhad, *Journal of stratigraphy and sedimentology researches*, 47: 1-24. (in Persian).
- Murchison, R. I (1839) *Founded on geological researchers in the counties of Salop, Hereford, Radnor, Montgomery, Caermarthen, Brecon, Pembroke, Montmouth, Gloucester, Worcester, and Standford, with descriptions of the coal-fields and overlying formations*. Vice-President of the Geological Society, London, 729p.
- Tumaco basin, in the Colombian Pacific, 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.06.008>.
- Griffis, R. B., Chavez, F. L (1988) Effects of sediment type on burrows of *Callianassa californiensis* Dana and *C. gigas* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 117: 239-253.
- Griffis, R., Suchanek, T (1991) A model of burrow architecture and trophic modes in thalassinidean shrimp (Decapoda: Thalassinidea). *Marine Ecology*, 79: 171-183.
- Halfar, J., Mutti, M (2005) Global dominance of coralline red-algal facies: a response to basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241: 193-224, <https://doi.org/10.1130/G21462.1>.
- Han, Y., Pickerill, R (1994) Palichnology of the Lower Devonian Wapske Formation, Perth-Andover Mount Carleton region, northwestern New Brunswick, eastern Canada. *Atlantic Geology*, 30: 37-46.
- Heer, O (1876), *Flora fossilis Helvetiae, Die vorweltliche Flora der Schweiz*, Verlag, Zürich, 182p.
- Heidari, A., Feldmann, R. M., Moussavi Harami, R (2012) Miocene decapod crustacean from the Guri Member of Mishan Formation, Bandar-Abbas, Southern Iran. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, 38:1-7.
- Heidari, K., Amini, A., Aleli, M., Solgi, A., Jafari, J (2020) Distribution pattern of Ahwaz sandstone and Kalhur evaporate members of Asmari Formation in Dezful Embayment and Abadan plain, a basis for stratigraphic traps studies. *Geopersia*, 10 (1): 53-63.
- James, G., Wynd, J (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *American Association Petroleum Geology*, 49: 2182-2245.
- Jensen, S (1997) Trace fossils from the Lower Cambrian Mickwizia sandstone, south-central Sweden. *Fossils and strata*, 42: 3-101.
- Kashfi, M. S (1982) Guri limestone, a new hydrocarbon reservoir in south Iran. *J. Petrol. Geol*, 5: 161-171.
- Knaust, D (2017) *Atlas of trace fossils in well core*. Springer International Publishing. New York, USA, 219p, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49837-9>
- La Croix, A. D., Mac Eachern, J. A., Ayranci, K., Hsieh, A., Dashtgard, S. E (2017) An ichnological assemblage approach to reservoir heterogeneity assessment in bioturbated strata: Insights from the lower cretaceous Viking formation, alberta, Canada. *Mar. Petroleum Geol.*, 86: 636-654, [10.1016/j.ijggc.2022.103762](https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2022.103762).
- Leeder, M. R (1973) Fluvialite fining-upwards cycles and the magnitude of palaeochannels. *Geol. Mag.*, 110: 265-276.
- Löwemark, L., Zheng, Y., Das, S., Yeh, C., Chen, T (2015) A peculiar reworking of Ophiomorpha shafts in the Miocene Nangang Formation, Taiwan. *Geodinamica acta*, 1-15, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26772-0>.

- Neo-Tethys margin, Kopet-Dagh Basin Iran. *International journal of earth sciences*, 111: 103-126.
- Sharafi, M., Rodriguez-Tovar, F. J., Bayet-Goll, A., Richiano, S (2021b) Ichnofabric analysis of shallow to deep marine Carboniferous sediments, from the southern Paleotethys margin, Alborz Basin (northern Iran). *Historical Biology*, 10: 2000-2019. <http://doi.org.10.1080/08912963.2021.1996572>.
- Shinn, E. A (1983) Birdseyes, fenestrate, shrinkage pores and loferites: A reevaluation. *Sediment Petrology*, 53: 619-628.
- Sun, J., Sheykh, M., Ahmadi, N., Cao, M., Zhang, Z., Tian, S., Sha, J., Jian, Z., Windley, B. F., Talebian, M (2021) Permanent closure of the Tethyan Seaway in the northwestern Iranian Plateau driven by cyclic sea-level fluctuations in Miocene. *Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol*, <http://doi.org.564,10.1016/j.palaeo.2020.110172>.
- Taylor, A., Goldring, R (1993) Description and analysis of bioturbation & ichnofabric. *Journal of the Geological Society (London)*, 150: 141-148.
- Uchman, A (1995) Taxonomy and palaeoecology of flysch trace fossils: The Marnoso-arenacea Formation and associated facies (Miocene, Northern Apennines, Italy), *Wfirzburg*, 114p.
- Uchman, A (1998) Taxonomy and ethology of flysch trace fossils: a revision of the Marian Książkiewicz collection and studies of complementary material. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 68: 105-218.
- Yazdi, M., Bahrami, A., Abbasi, P., Sadegi, R., Vegga, F. G (2013) Miocen brachyuran crustacean from Konar-Takhteh and Ahram sections, southwestern Iran. *Boletin de la sociedad geologica Mexicana, Version impresa* ISSN, <https://doi.org/10.18268/BSGM2013V65N2A4>.
- Zohdi, A., Moallemi, S. A., Salehi, M. A (2018) Depositional and post-depositional history of the Guri Member in the souyh, east of Zagros sedimenyrtly basin. *Geosciences*, 27: 129-142, <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.58327> (in persian).
- Motiei, H (1993) Stratigraphy of Zagros, *Treatise on the Geology of Iran*. Geology Survey of Iran, 583p (In Persian).
- Mutti, M., Hallock, P (2003) Carbonate systems along nutrient and temperature gradients: some sedimentological and geochemical constraints. *Int. J. Earth Sci.*, 92: 465-475, <http://doi.org.0.1007/s00531-003-0350-y>.
- Myrow, P (1995) Thalassinoides and enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. *Palaaios*, 10: 58-74.
- Nichols, G (2009) *Sedimentology and Stratigraphy*, Wiley-Blackwell, Oxford, 419p.
- Nicholson, H. A (1873) Contributions to the study of the errant annelides of the older Palaeozoic rocks. *Proceedings of the Royal Society of London*, 21: 288-290.
- Niu, Y., Marshal, J., Song, H., Hu, B (2020) Ichnofabrics and their roles in the modification of petrophysical properties: a case study of the Ordovician Majiagou Formation, northwest Henan Province, China. *Sediment. Geol.*, 409: 1-13, <http://doi.org.10.1016/j.sedgeo.2020.105773>.
- Pak, R., Pemberton, S. G (2003) Ichnology of the Yeoman Formation of southern Saskatchewan - preliminary report. in *Summary of Investigations, Volume 1, Saskatchewan Geological Survey, Sask. Industry Resources, Misc. Rep.*, 1-16.
- Pemberton, S. G., Frey, R. W (1982) Trace fossil nomenclature and the Planolites-Palaeophycus dilemma. *J. Paleont.*, 56: 843-881.
- Pirouz, M., Simpson, G., Castellort, S., Gorin, G., Bahroudi, A (2016) Controls on the sequence stratigraphic architecture of the Neogene Zagros foreland basin. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 25 (12): <http://doi.org.10.1130/2016.2525>.
- Plink-Bjorklund, P (2005) Stacked fluvial and tide-dominated estuarine deposits in high-frequency (fourth-order) sequences of the Eocene Central Basin, Spitsbergen. *Sedimentology*, 52: 391-428. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2005.00703.x>.
- Pomar, L., Brandano, M., Westphal, H (2004) Environmental factors influencing skeletal grain sediment associations: a critical review of Miocene examples from the western Mediterranean. *Sedimentology*, 51: 627-651.
- Rahmani, Z., Vaziri Moghaddam, H., Taheri, A (2010) Facies distribution and paleoecology of the Guri member of the Mishan formation in Lar area, fars province, SW Iran. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A*, 34: 36-48, <http://doi.org.10.22099/IJSTS.2010.2193>.
- Rieth, A (1932) Neue Funde spongeliomorpher Fucoiden aus dem Jura Schwabens. *Geologisch Paläontologisches Abhandlungen Jena*, 19: 257-294.
- Sharafi, M., Rodriguez, F., Janocko, J., Bayet-Goll, A (2021a) Environmental significance of trace fossil assemblages in a tide-wave-dominated shallow marine carbonate system (lower cretaceous, northern

Trace Fossils, Ichnofabrics and Paleoenvironment of the Mishan Formation in the Dezful Embayment, SW Iran

M. Ghanavati¹, I. Maghfouri Moghaddam^{2*}, S. M. Alali³ and M. Arian⁴

1- Ph. D., student. Dept., of Earth sciences, Islamic Azad University (IAU), Science and Research Branch, Tehran, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran

3- Assist. Prof., Dept., of Earth sciences, Islamic Azad University (IAU), Science and Research Branch, Tehran, Iran

4- Prof., Dept., of Earth sciences, Islamic Azad University (IAU), Science and Research Branch, Tehran, Iran

* maghfouri.i@iu.ac.ir

Received: 2023/2/7 Accepted: 2023/7/25

Abstract

In this study, a detailed investigation the trace fossils of Mishan Formation in the Omidieh section has been carried out. The Miocene Mishan Formation has a diverse collection of trace fossils, which includes 4 ichnogenera and 5 ichnospecies. These trace fossils show locomotion, feeding, sheltering and grazing behaviors and include *Protovirgularia cf. pennatus*, *Planolites* isp., *Helminthopsis* isp., *Thalassinoides* isp. and *Thalassinoides suevicus*. The trace fossils of Mishan Formation are in the alternation of massive, medium to thick bedded limestone, medium to thick bedded sandstones, and marl. In this study, 5 bioturbation indexes were identified according to the standard bioturbation indicators, as well as 5 ichnofabrics related to delta, tidal flat and lagoon environments. The great variety of ethological classification including locomotion, feeding, sheltering and grazing, along with the trace fossil record of sediment feeding organisms and, to a lesser extent, suspension feeding animals, confirm very shallow sedimentary environment with a high oxidation content.

Keywords: Trace fossil, Ichnofabric, Miocene, Guri member, Zagros