ایکنوفسیل‌ها و ایکنوفاسیس‌های سازند پابده در شمال غرب ایلام، غرب ایران

رضا بهبهانی[۱]، سعید خدابخش[۱]، حسن محسنی[۱]، زهره آتش مرد[۱]*، عبدالرضا مقدسی[۲]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲- شرکت ملی نفت ایران (اداره اکتشاف و تولید)، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات:- آدرس الکترونیکی: zatashmard@ yahoo.com
(دریافت: ۸۵/۶/۲۶ ؛ پذیرش:۸۵/۱۲/۲۲)

چکیده

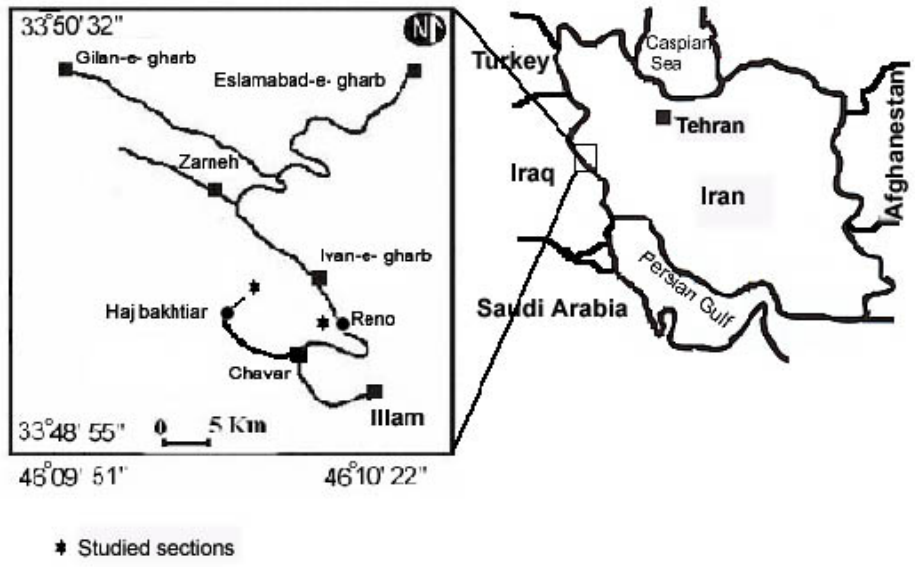
سازند پابده در منطقه ایوانغرب (استان ایلام) از تناوب سنگ آهک‌های نازک لایه تا ضخیم لایه (مادستون، وکستون و پکستون) و شیل‌های خاکستری روشن تا تیره که غنی از فرامینیفرهای پلانکتونیک هستند، تشکیل شده است. در این رسوبات، تعداد ۵ ایکنوجنس در دو مجموعه مجزا تشخیص داده شده اند. مجموعه اول با تنوع ایکنوفونای قابل توجه (*آرنی‌کولیتس*، *کندریتس*، *پلانولیتس* و *تئونریتس*) در رخساره‌های وکستونی، مادستونی و پکستونی حضور دارند. این مجموعه از ایکنوفسیل‌ها، نشانگر ایکنوفاسیس *کروزیانا* بوده که در یک محیط نسبتاً پر انرژی تشکیل شده است. مجموعه دوم با تنوع ایکنوفونای کمتر (*زئوفیکوس* و *کندریتس*) در رخساره‌های شیلی، وکستونی، مادستونی و پکستونی تشکیل شده و معرف ایکنوفاسیس *زئوفیکوس* می باشد که در یک محیط کم انرژی و عمیق تر تشکیل شده است. وجود افق‌هایی از مواد آلی (رخساره‌های حاوی ۲٪< TOC) در بخش‌های میانی و تحتانی سازند پابده که متعلق به ایکنوفاسیس *زئوفیکوس* می‌باشند خود تأییدی بر حاکم بودن شرایط محیطی فقیر از اکسیژن در این ایکنوفاسیس است.

واژه‌های کلیدی: ایکنوفسیل، ایکنوفاسیس، سازند پابده، *زئوفیکوس*، *کروزیانا*.

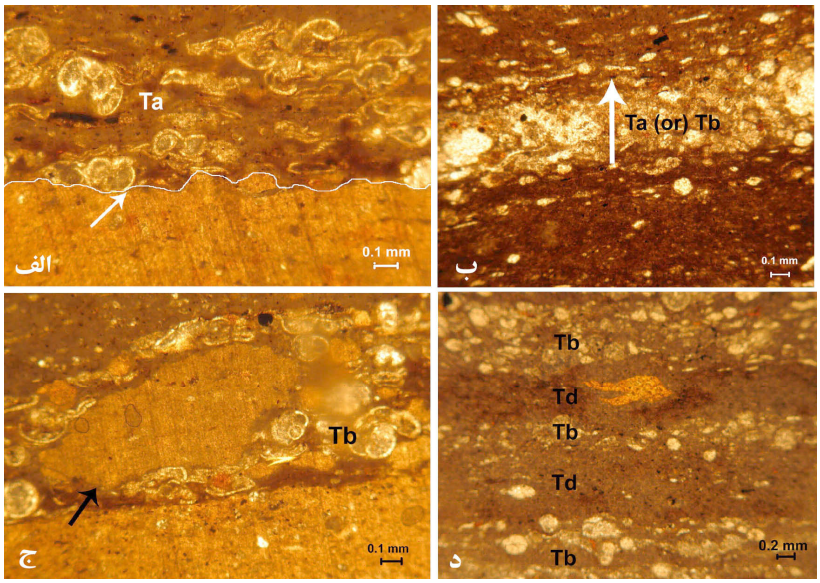
مقدمه

نواحی مورد مطالعه در جنوب– جنوب غرب شهرستان ایوانغرب (برش‌های سطحی رنو و حاج بختیار) در حوضه رسوبی زاگرس قرار دارند (شکل ۱). سازند پابده با سن پالئوسن پسین- الیگوسن پیشین در منطقه مورد مطالعه از تناوب آهک‌های نازک لایه تا ضخیم لایه و شیل‌های خاکستری روشن تا تیره که غنی از فرامینیفرهای پلانکتونیک هستند، تشکیل شده است (بهبهانی ۱۳۸۵). این رخساره‌های سنگی در حوضه زاگرس به عنوان رخساره‌های پلاژیک مشهور هستند و از مادستون، وکستون، پکستون و شیل تشکیل شده است (James & Wynd 1965, Mohseni & Al-Aasm 2004). براساس شواهد پتروگرافی و ایکنولوژی سازند پابده (در نواحی مورد مطالعه) به سه بخش پایینی، میانی و بالایی تقسیم شده است. بخش پایینی از میکروفاسیس ۱ تا میکروفاسیس 4B، بخش میانی از میکروفاسیس 4C (شیل‌های خاکستری متوسط لایه با آشفتگی زیستی) تا میکروفاسیس 6C و بخش بالایی از قسمت بالایی میکروفاسیس 6C {وکستون‌های حاوی قطعات بایوکلاستی تقریباً موازی یکدیگر (parallel alignment)} تا میکروفاسیس 7C در انتهای سازند پابده تشکیل شده است. بخش‌های پایینی و میانی با ایکنوفاسیس *زئوفیکوس* و بخش بالایی با ایکنوفاسیس *کروزیانا* متمایز شده‌اند. براساس مشاهدات صحرایی، مطالعات پتروگرافی و مطالعات ژئوشیمیایی (تعیین درصد پس‌ماندهای نامحلول و کربنات کلسیم) دو گروه رخساره سنگی(Lithofacies) شیلی و آهکی و ۷ گروه رخساره میکروسکوپی (Microfacies) شناسایی گردیدند. توالی قائم رخساره‌های سازند پابده، وجود رخساره‌های میکروسکوپی گوناگون از قبیل رخساره‌های مادستون ـ وکستون و پکستون با فسیل‌های پلانکتونیک، رخساره‌های توربیدایتی {میکروفاسیس‌های 4B (شکل ۲) و 4C}، رسوب رخساره‌های کم‌عمق‌تر مانند وکستون ـ مادستون‌های حاوی قطعات فسیلی بنتیک سالم و شکسته در قسمت‌های فوقانی و آثار فسیلی شواهدی هستند که به بازسازی محیط رسوبی و ارائه مدل رسوبی سازند پابده کمک زیادی نمودند (شکل ۳). بررسی تغییرات عمودی رخساره‌های سازند پابده نشان داده است که رخساره‌های این سازند به صورت یک توالی کم عمق شونده نهشته شده اند. با توجه به ویژگی رخساره‌های میکروسکوپی مطالعه شده {خصوصاً رخساره‌های کلسی‌توربیدایت (آلوداپیک)} و شواهد ایکنوفاسیس، یک رمپ کربناته پر شیب دور از منشأ به عنوان محیط رسوبگذاری سازند پابده در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شده است (بهبهانی ۱۳۸۵). از طرفی دیگر رخساره‌های ناشی از عملکرد فرایندهای متداول در یک محیط پلاتفرم حاشیه‌دار (Rimmed platform) نیز در این سازند به چشم نمی‌خورند. نبود برش و برش‌های بسیار دانه‌درشت، هم‌چنین فقدان یک دریای کم‌عمق حفاظت شده با حاشیه ریف‌های سدی

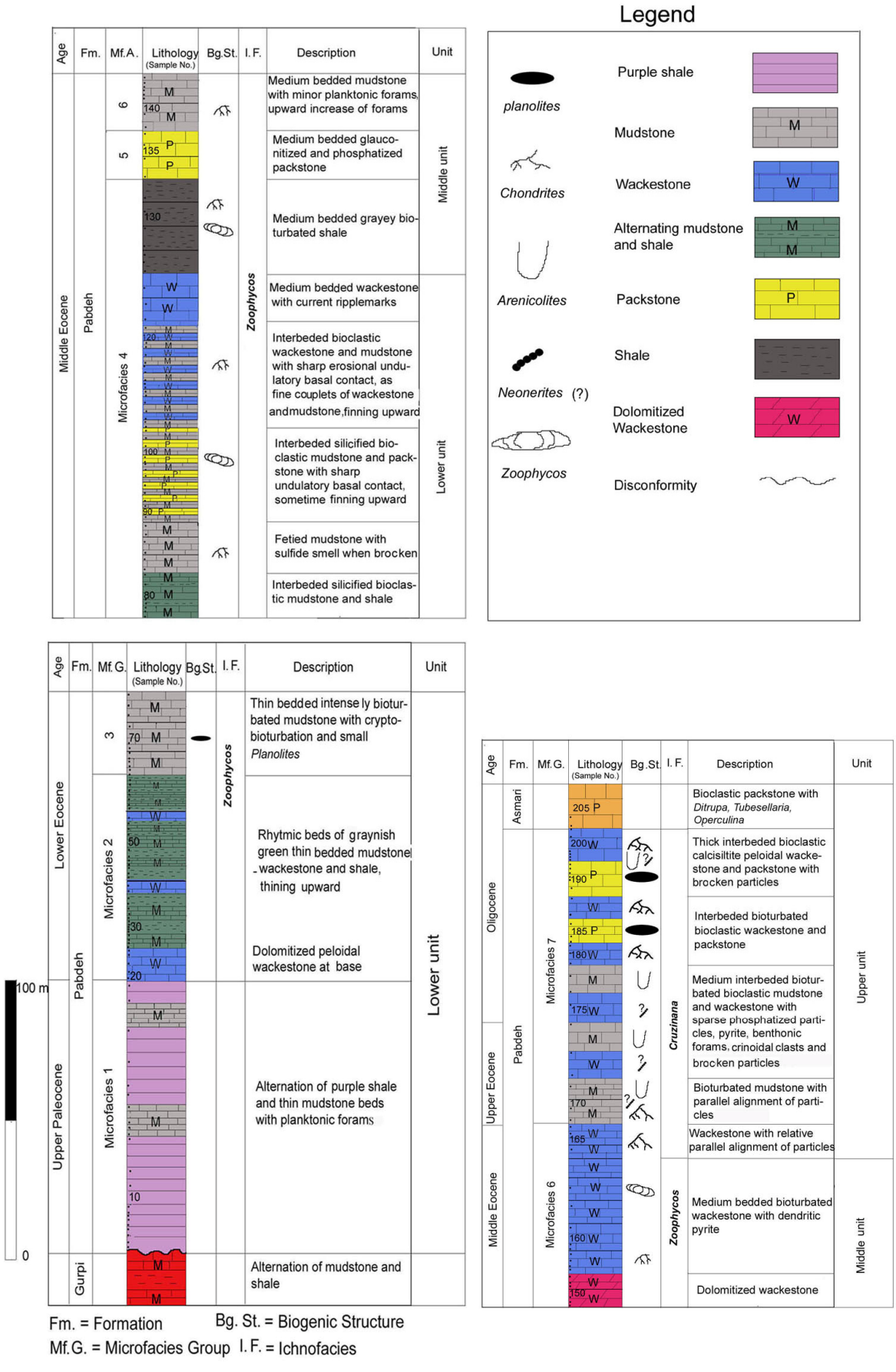
محصورکننده از جمله این دلایل هستند (Wilson 1975, Wright 1986, Burchett *et al.* 1990, Burchett & Wright 1992). مقدار شیب این نوع پلاتفرم کربناته (رمپ پر شیب) از نواحی کم‌عمق به سوی حوضه نسبتاً زیاد و در اکثر موارد بیش از ۲ درجه است (Burchett & Wright 1992). به همین علت، رخساره‌هایی که در اثر جریان‌های ثقلی و در طی حمل رسوب از دریای کم‌عمق به بخشهای عمیق حوضه (رخساره‌های توربیدایتی) تشکیل می‌شوند (Pedley 1998)، در این سازند مشاهده می‌شود. بر این اساس، محیط رسوبی سازند پابده از رمپ بیرونی با رخساره‌های پلاژیک و توربیدایتی و شرایط احیایی تا فقیر از اکسیژن {رخساره‌های حاوی (total organic carbon) TOC < ۰/۲٪} تدریجاً به یک رمپ میانی تحول یافته است که جریانات دریایی نقش بسزایی در فرایندهای حمل و نقل رسوبات و ته‌نشینی آن‌ها ایفا نمودند (شکل ۴).



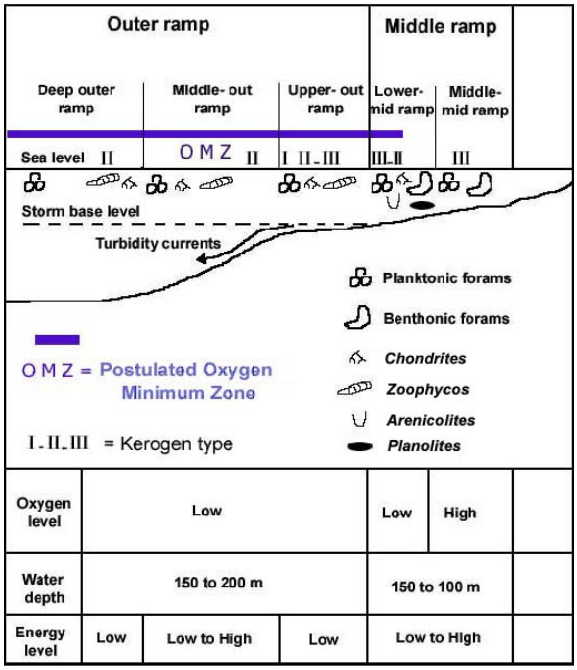
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲- رخساره‌های توربیدایتی میکروفاسیس ۴B با مقیاس میلی‌متری. الف) رخساره پکستون بایوکلاستی با قاعده فرسایشی (علامت پیکان) که نشان‌گر بخش Ta در سکانس بوما است. ب) رخساره پکستون بایوکلاستی دارای دانه‌بندی تدریجی عادی (علامت پیکان) که نشان دهنده بخش Ta یا Tb در سکانس بوما است. ج) قطعات مادستون در رخساره پکستون (علامت پیکان) که نشان دهنده بخش Tb در سکانس بوما است. د) تناوب پکستون تا وکستون- مادستون‌های با آرایش موازی قطعات فسیلی که به تر تیب نشان دهنده بخش Tbو بخش Td سکانس بوما است.



شکل ۳- ستون چینه شناسی سازند پابده در برش گردنه رنو (بهبهانی ۱۳۸۵).



شکل ۴- مدل فرضی محیط رسوبگذاری ایکنوفاسیس‌های سازند پابده در شمال غرب ایلام (بهبهانی ۱۳۸۵).

اهداف و روش‌ها

در این پژوهش ابتداایکنوفابریک،ژئومتری،ایکنوجنس ها و مجموعه های آثار فسیلی ثبت گردید و سپس ایکنو فاسیس‌ها به منظور پی بردن به محیط تشکیل آنان با استفاده از تقسیم‌بندی سیلاخر (Seilacher 1967, in: Bromley 1990) شناسایی شدند. لازم به ذکر است که شاخص آشفتگی زیستی براساس روش تایلر و گلدرینگ (Taylor & Goldring 1993). محاسبه شده است. در این روش، شاخص آشفتگی زیستی براساس میزان حفظ شدگی فابریک‌های رسوبی اولیه، فراوانی و میزان هم‌پوشانی دهلیزها (Burrows) و ارتباط متقابل آثار فسیلی (Cross-cutting relationships) محاسبه می‌شود.

مطالعه سیستماتیک ایکنوفسیل‌ها

در این بخش به توصیف سیستماتیک ایکنوجنس‌های شناسایی شده در برش‌های مطالعه شده سازند پابده پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که به دلیل جلوگیری از حجیم شدن مقاله از ذکر کامل مشخصه و توصیف ایکنوفسیل ها در این تحقیق خودداری شده است. برای دیدن جزئیات بیشتر در مورد هر کدام از ایکنوجنس ها می توانید به هانسل، مقدم و پائول (Hantzschel 1975, Moghadam & Paul 2000) مراجعه کنید.

ایکنوجنس *آرنی کولیتس* (Ichnogenus *Arenicolites* Salter, 1857)

یک لوله U شکل ساده که فاقد لایه بندی هلالی شکل (Spreite) بوده وعمود بر سطح لایه‌بندی قرار می‌گیرد،اندازه، قطر و فاصله شاخه های لوله و عمق حفاری در نمونه‌های مختلف متفاوت است. دیواره به طور معمول صاف ولی گاهی دارای آستر است (Hantzschel 1975, Moghadam & Paul 2000). در منطقه مورد مطالعه قطر لوله ها ۱۰-۵ میلی‌متر (معمولاً ۷-۵ میلی‌متر) و فاصله بین دو بازوی لوله ها ۹-۲ سانتی‌متر (معمولاً ۳-۲/۵ سانتی‌متر) است. این ایکنوجنس توسط موجودات معلق خوار (Suspension-or Filter-Feeder) ایجاد شده است. دهانه در نمونه های مطالعه شده عموماً استوانه‌ای است. در نمونه هایی که دهانه به صورت قیفی شکل می‌باشد، سیستم تغذیه‌ای احتمالاً از نوع رسوب خواری بوده است (Bromley 1990). این ایکنوجنس از محیط‌های کم عمق با انرژی بالا (Frey 1990; Frey and Howard 1990, Frey & Goldring 1992)، از رسوبات آب شیرین و از ماسه‌های برجای گذاشته پس از جریان‌های آشفته (Bromley1990) گزارش شده است (شکل ۵-الف).

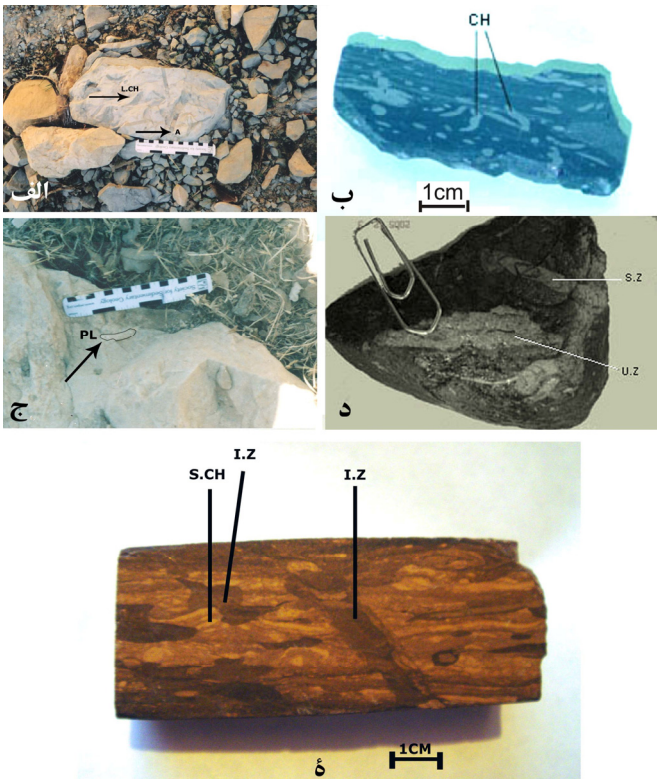
ایکنوجنس *کندریتس* (Ichnogenus *Chondrites* Von Sternberg, 1833)

یک سیستم لوله ای به صورت شاخه درختی با دیواره صاف که اغلب به صورت قائم (نسبت به سطح لایه‌بندی) می‌باشد (Hantzschel 1975)، قطر لوله ها معمولاً ۸-۱ میلی‌متر است. قطر لوله ها در درون هر سیستم ثابت است (شکل های ۵ الف و ب). باروهای کندریتس اغلب با رسوبات لایه بالایی خود پر می‌شوند (Bromley & Ekdale 1984). این نکته نشان می‌دهد که سیستم لوله جهت ارتباط موجود با سطح بستر دریا باز بوده است (Bromley1990, Moghadam & Paul 2000). در منطقه مورد مطالعه این ایکنوجنس اغلب در سه اندازه مشاهده شده است: در بخش تحتانی سازند پابده لوله های کوچک با قطر ۱ میلیمتر، در بخش میانی سازند پابده لوله ها با قطر ۲ میلیمتر و در بخش فوقانی سازند پابده لوله های بزرگ تر با قطر ۷-۵ میلیمتر. این لوله ها اغلب با رسوبات متفاوتی از سنگ میزبان خود پر می شوند.

ایکنوجنس *نئونریتس* (Ichnogenus *Neonereites* Seilacher, 1960)

شامل زنجیره‌ای از دانه‌های پلت که ممکن است در یک، دو یا چند ردیف در کنار هم قرار داشته باشند. فاصله دانه‌ها با یکدیگر ناچیز و در صورت دو یا چند ردیفی بودن فاصله ردیف‌ها بسیار کم است. دانه‌های پلتی کروی جدا از هم و یا در مجاور یکدیگر می‌باشند (وزیری مقدم و طاهری، ۱۳۸۳). شکل کلی آن به صورت مستقیم، با انحنای ملایم و یا زنجیری مئاندری می‌باشد. شکل این ایکنوجنس بستگی به نحوه حفظ شدگی آن دارد. اگر به صورت مقعر(Epirelife) حفظ شود شامل

زنجیره فرورفته، منحنی و نا منظم با دیواره های صاف می باشد. در صورتی که به صورت برجستگی محدب (Hyporelife) حفظ شود به شکل منحنی نامنظم یا مستقیم و یا به ندرت مئاندری قرار می گیرند(Hantzschel 1975, Seilacher 1960). ایکنوجنس فوق به صورت لوله های داخلی پس از رسوبگذاری تفسیر شده و این دانه‌های کروی پلت‌های مدفوعی می‌باشند (Bromley 1990). در مناطق مورد مطالعه این ایکنوجنس شامل دو ردیف دانه های کروی که در کنار یکدیگر با فاصله اندک قرار گرفته اند، می باشد. نمونه های یافت شده به طول ۱۰-۶ و عرض۰/۵-۰/۸ سانتیمتر می باشند.



شکل ۵- الف) مجموعه آثار فسیلی آرنی‌کولیتس وکندریتس در ایکنو فاسیس کروزیانا واقع در بخش بالایی سازند پابده در جنوب غرب ایوان غرب. A، آرنی‌کولیتس L.CH، کندریتس بزرگ. ب) ایکنوفسیل کندریتس در ایکنو فاسیس زئوفیکوس در بخش میانی سازند پابده. قطر لوله ها ۲ mm تقریباً ثابت است، CH،کندریتس. ج) ایکنوجنس پلانولیتس در ایکنو فاسیس کروزیانا دربخش فوقانی سازند پابده. PL، پلانولیتس. د) ایکنوجنس زئوفیکوس با اشکال U شکل و لایه بندی هلالی ریز مربوط به ایکنو فاسیس زئوفیکوس در بخش میانی و تحتانی سازند پابده. U. Z، زئوفیکوس U شکل S. Z، زئوفیکوس دارای لامینه های هلالی شکل. ه) مجموعه زئوفیکوس- کندریتس مربوط به ایکنو فاسیس زئوفیکوس در بخش تحتانی سازند پابده. I. Z، زئوفیکوس نامنظم S. CH، کندریتس کوچک.

ایکنوجنس *پلانولیتس* Ichnogenus *Planolites* Nicholson, (1873)

یک لوله ساده، افقی، کم و بیش مستقیم، استوانه‌ای شکل، غیرمنشعب که فاقدهرگونه آستر وتزئین می‌باشد(Moghadam & Paul 2000). پرشدگی این لوله از نظر رنگ و جنس معمولاً متفاوت از سنگ میزبان می‌باشد (Osgood 1970, Pickerill & Forbes 1979, Pemberton & Frey 1982). در مناطق مورد مطالعه نمونه‌های یافت شده به طور عمده به صورت برجسته و به ندرت فرورفته است. این ایکنوجنس در سازند پابده به صورت لوله های پر شده استوانه ای تا تقریبا" استوانه ای به قطر ۸-۶ میلیمتر بوده که فاقد انشعاب و کم و بیش افقی تا مایل میباشد. این لوله ها مستقیم تا کمی خمیده بوده و گاهی یکدیگر را قطع می نمایند. (شکل ۵ ج).

ایکنوجنس *زئوفیکوس* Ichnogenus *Zoophycos* Seilacher, (1964)

یک لوله قائم را در بیشترآثار *زئوفیکوس* می توان مشاهده کرد. این لوله باید توسط حفرکننده های عمیق ایجاد شود، زیرا کل لوله برای تنفس جاندار حفر کننده تا اعماق رسوب ادامه دارد(Ekdale & Lwis, 1991). در سازند مورد مطالعه این اثر فسیل با اشکال متفاوت استوانه‌ای شکل با لایه بندی هلالی شکل، U شکل (Seilacher, 1964, Simpson, 1970) و نامنظم (Irregular) (Ekdale, 1988, Bromley, 1990 p.199) دیده می‌شود (شکل ۵ د). قطر این بارو برحسب شکل آن ۹-۳ میلی‌متر و طول آن ۳/۵-۲ سانتی‌متر می‌باشد.

مجموعه‌های آثار فسیلی

پس از بررسی سیستماتیک ایکنوفسیل‌های مطالعه شده که شامل تعداد ۵ ایکنوجنس است میتوان آنها را در دو مجموعه (ichnoassemblages) مجزا طبقه بندی می کرد. ایکنوفسیل *کندریتس* با قطرهای متفاوت، تقریباً در تمام طبقات آشفته شده سازند پابده مشاهده می‌شود. این مجموعه‌ها براساس آثار فسیلی غالبشان نامگذاری و مشخص می‌شوند و بر اساس افزایش عمق حوضه رسوبی به ترتیب در ذیل توضیح داده میشوند:

مجموعه آرنی کولیتس ـ کندریتس

این مجموعه در سازند پابده شامل *آرنی کولیتس* و *کندریتس* و به مقدار کمتر در برخی لایه ها دارای ایکنوجنس‌های *پلا نو لیتس* و *نئو نریتس* است{ تنوع (diversity) ۴-۲ }. شاخص آشفتگی زیستی (Bioturbation Index) در این مجموعه بین ۲ تا ۴ (عمدتاً ۴) می‌باشد (Taylor & Goldring 1993). این مجموعه در طبقات فوقانی سازند پابده (در رخساره‌های وکستون، مادستون و پکستون) مشاهده می‌شود.

آرنی کولیتس مانند *کندریتس* یک لوله باز است و توسط رسوبات فوقانی خود پر می‌شود. ایکنوفسیل *آرنی کولیتس* اغلب در سراسر ضخامت لایه نفوذ می‌کند. در این مجموعه عمق نفوذ از ۲ تا ۱۰ سانتی‌متر متفاوت است و حداکثر قطرلوله *آرنی کولیتس* نیز ۱۰ میلی‌متر است. ایکنوفسیل *کندریتس* در این مجموعه از نوع *کندریتس* بزرگ (D'Alessandro *et al.* 1986) (قطرمعادل ۷-۵ میلی‌متر) می‌باشد (شکل ۵ الف). در برخی از نمونه ها. *آرنی کولیتس* و نئو نریتس بوسیله *کندریتس* بزرگ قطع می شوند. همچنین در این مجموعه ایکنوجنس *پلا نولیتس* توسط *کندریتس* بزرگ و *نئو نریتس* قطع می شوند.

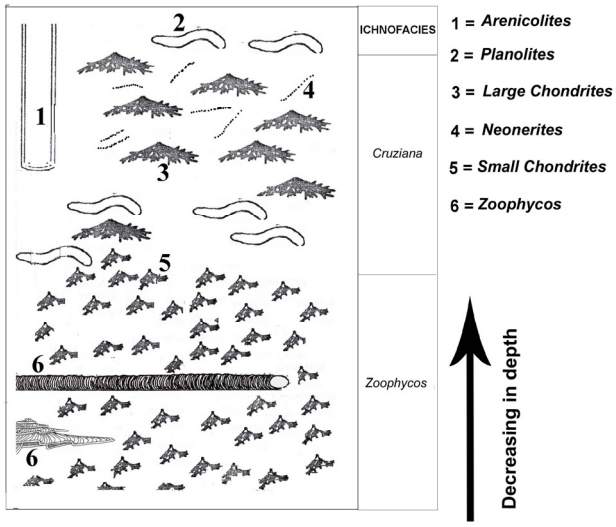
مجموعه *زئوفیکوس ـ کندریتس*

این مجموعه دارای ایکنوجنس‌های *زئوفیکوس* و *کندریتس* بوده و ایکنوفسیل دیگری در این مجموعه دیده نشده است{تنوع (diversity) ۱- ۲}. شاخص آشفتگی زیستی بین ۳ تا ۵ (عمدتاً ۴) می‌باشد (Taylor & Goldring, 1993). برخلاف انتظار که با افزایش عمق و کاهش تمرکز اکسیژن محلول در آبهای عمیق باید از درصد آشفتگی زیستی کاسته شود (Frey & Howard 1990, Moghadam & Paul 2000)، ولی در رسوبات مورد مطالعه عکس این امر دیده می‌شود. با افزایش عمق، تنوع موجودات کاهش می‌یابد (Bromley 1990, Frey & Howard 1990) و دیگر رقابت شدیدی بین موجودات برای مصرف اکسیژن و ادامه حیات وجود ندارد و این موجودات با وجود کم بودن مقدار اکسیژن به فعالیت خود ادامه می‌دهند و موجب آشفتگی نسبتاً بالای رسوبات می‌شوند. نرخ پایین رسوبگذاری و تجمع آرام رسوبات گلی نیز باعث گسترش اجتماع موجودات می‌شود و در نتیجه باعث افزایش آشفتگی رسوبات می‌گردند. این مجموعه در طبقات میانی و تحتانی سازند پابده (در رخساره‌های وکستون، پکستون، مادستون و شیل) دیده می‌شود. این مجموعه با *زئوفیکوس*های U شکل، دارای لایه بندی هلالی (با قطر معادل ۴ تا ۸ میلی‌متر) و *کندریتس*های با قطر ۲ میلی‌متر شروع و به *زئوفیکوس*های نامنظم (Irregular) (با قطر معادل ۳ میلی‌متر) و *کندریتس*های کوچک (D'Alessandro *et al.* 1986) (با قطر معادل ۱ میلی‌متر) ختم می‌شود (شکل ۵ ه). در برخی نمونه ها ایکنو فسیل *زئوفیکوس* بوسیله *کندریتس* های کوچک قطع می شود.

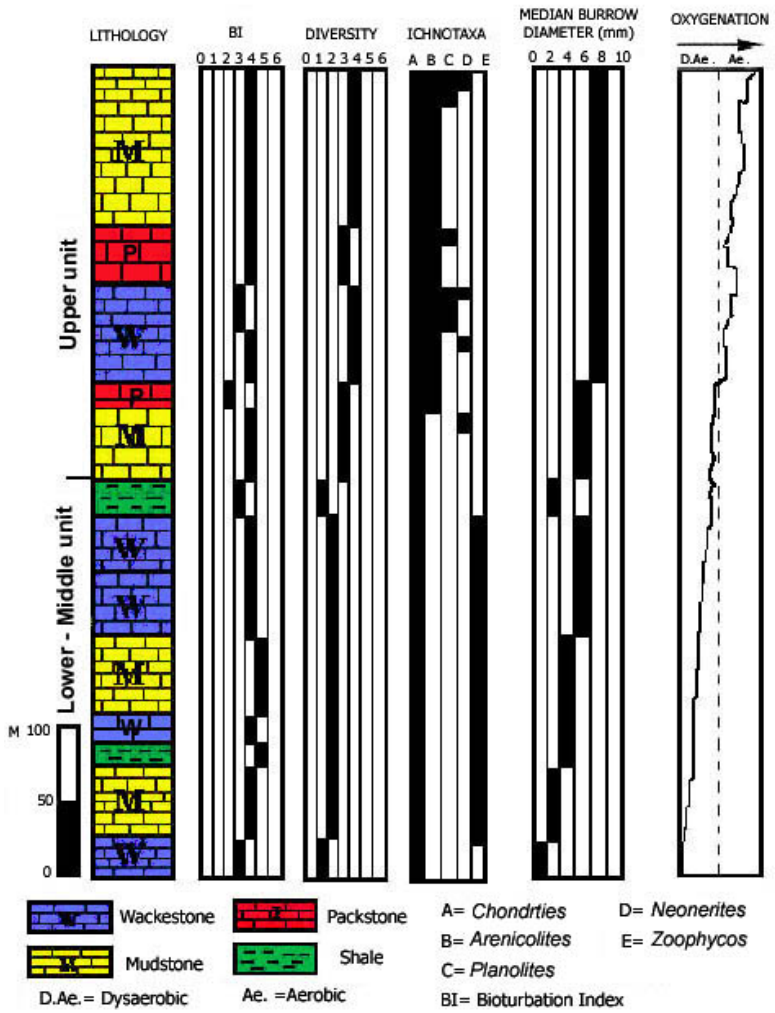
تفسیر مجموعه‌های آثار فسیلی

فعالیتهای زیست آشفتگی در یک روند عمیق شونده (افزایش عمق حوضه رسوبی) باعث می شود که آثار فسیلی تشکیل شده در قسمت های عمیق حوضه رسوبی، ایکنو فسیل های قسمت های کم عمق تر را قطع می کنند (Bromley 1990, Moghadam & Paul 2000).

تغییرات قائم این آثار فسیلی نشان می‌دهد که این آثار در اعماق متفاوتی در رسوبات ایجاد شده‌اند. ارتباطات متقابل آثار فسیلی، قطر و اندازه آثار فسیلی و شرایط اکسیدان یا کم اکسیژن حاکم بر حوضه رسوبی، موقعیت آثار فسیلی را در یک روند قائم نشان می دهد (Savrda 1992). *پلانولیتس* کم عمق‌ترین و اولین اثر فسیل تشکیل شده در این مجموعه است. با افزایش عمق حوضه رسوبی به ترتیب *آرنی کولیتس*، *نئونریتس* و *کندریتس*های بزرگ (با قطر ۷-۵ میلی‌متر) ایجاد می‌شوند و در نهایت *زئوفیکوس* و *کندریتس*های کوچک (با قطر۱ میلی‌متر) تشکیل می‌گردند (شکل ۶). لازم به ذکر است که ایکنوفسیل *کندریتس*، یک سیستم لوله های باز است و این سیستم باز برای ادامه حیات موجودات حفار در آب‌های عمیق فقیر از اکسیژن می‌تواند اکسیژن لازم را تأمین کند (D'Alessandro *et al.* 1986). مجموعه *آرنی کولیتس ـ کندریتس* در آب‌های با اکسیژن بیشتر و مجموعه *زئوفیکوس ـ کندریتس* در محیط‌های با اکسیژن کمتر ایجاد شده‌اند. با افزایش عمق میزان اکسیژن محلول، اندازه، تنوع و عمق نفوذ اثر فسیل هاا کمتر می‌شود. ساوردا و بوتجر (Savrda & Bottjer 1986) بیان کردند که قطر اثر فسیل ها و عمق نفوذ آن‌ها مرتبط با میزان اکسیژن محیط تشکیل آن‌ها می‌باشد. در آب‌های عمیق بدون اکسیژن هیچ اثر فسیلی پدید نمی‌آید(Bioturbation Index = 0) و ساختمان‌های رسوبی اولیه حفظ می‌شوند. هنگامی که غلظت اکسیژن محلول به کمتر از ۰/۱ml/L برسد، رسوبات در برابر آشفتگی زیستی حفظ می‌شوند (Savrda & Bottjer 1986). اکدال (Ekdale 1988)، نشان داد که گرادیان اکسیژن آب‌های عمیق یک فاکتور کنترل‌کننده آثار فسیلی است و مجموعه آثار فسیلی حاضر در محیط‌های عمیق مطابق با سطوح اکسیژن در آب‌های عمیق تغییر می‌کند. طبق نظر ویگنال (Wignal 1993) در یک گرادیان کاهشی اکسیژن تنوع و گوناگونی آثار فسیلی و میکروبنتیک‌ها کاهش می‌یابد. در منطقه مورد مطالعه با افزایش عمق حوضه رسوبی تنوع آثار فسیلی و قطر آثار فسیلی و میزان اکسیژن کاهش می یابد (شکل ۷).



شکل ۶- تغییرات قائم ایکنوفاسیس‌ها و ایکنوجنس‌های مشاهده شده در سازند پابده با کاهش عمق حوضه رسوبی (بهبهانی ۱۳۸۵).



شکل ۷- روند تغییرات شاخص آشفتگی زیستی، تنوع آثار فسیلی، ایکنوجنس‌ها، قطر متوسط آثار فسیلی و منحنی میزان اکسیژن دیرینه برای سازند پابده (بهبهانی ۱۳۸۵).

تغییرات مقدار اکسیژن این حوضه (شرایط هوازی تا بی هوازی) بر اساس آثار فسیلی، ایکنو فاسیس ها و میزان کربن آلی کل (TOC) بدست آمده است (بهبهانی ۱۳۸۵).

ایکنو فاسیس‌ها

ایکنوفونای رسوبات مورد مطالعه شامل آثار قائم (*آرنی کولیتس*، *زئوفیکوس* و *کندریتس*) است که مرتبط با چندین آثار غالباً افقی (*پلانو لیتس* و *نئونریتس*) می‌باشند. در برخی سطوح لایه بندی آثار افقی غالب است، اما عمدتاً آثار قائم (*کندریتس*) در طبقات آشفته شده دیده می‌شود. براساس تقسیم‌بندی سیلاخر (Seilacher 1967) ایکنوفسیل‌های مشاهده شده در دو ایکنو فاسیس *کروزیانا* و *زئوفیکوس* واقع شده‌اند که در زیر به توصیف این دو پرداخته می‌شود.

ایکنوفاسیس *کروزیانا*

این ایکنوفاسیس برای اولین بار توسط سیلاخر (Seilacher 1967) معرفی شده و به طور شاخص در حد فاصل بین سطح اساس امواج عادی و سطح اساس امواج توفانی در فلات‌های قاره یا دریاهای کم‌عمق تشکیل می‌شود. در پژوهش‌های اخیر نشان داده شده است که این رخساره می‌تواند در محیط‌هایی نظیر مرداب و خلیج هم تشکیل شود (Bromley 1990). فرای و همکاران (Frey *et al.* 1990) معتقدند که این ایکنو فاسیس در فلات قاره (Shelf)، زیر سطح امواج و متاثر از امواج توفانی با انرژی متوسط تا اندک و مناطق تحت کرانه ای (Infralittoral) تا محدوده داخلی کرانه های ساحلی (Circalittoral) گسترش دارد و ممکن است در برخی دریاچه ها، مردابهای پشت سدی و پهنه های جزر و مدی نیز گسترش داشته باشد. تنوع گونه‌ها در این ایکنوفاسیس نسبتاً بالاست. در این ایکنوفاسیس مجموعه *زئوفیکوس* ـ *کندریتس* معمولاً دیده نمی‌شود. در رسوبات مورد مطالعه، این ایکنوفاسیس شامل ایکنوجنس‌های *آرنی کولیتس*، *پلانولیتس*، *نئونریتس* و *کندریتس* می‌باشد. معمولاً سرعت رسوبگذاری بالا در این ایکنوفاسیس سبب می‌شود که اجتماعات جانوری به حد بلوغ خود نرسیده و در نتیجه ساختمان‌های بیوژنیک که در ژرفای زیادتر ایجاد می‌گردند (نظیر *کندریتس*) مشاهده نمی‌شود، ولی از آن‌جا که ایکنوجنس *کندرتیس* در رسوبات مورد مطالعه از فراوانی زیادی برخوردار می‌باشد، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که در منطقه مورد مطالعه رسوبگذاری از سرعت نسبتاً بالایی برخوردار نبوده است. در این ایکنوفاسیس تنوع نسبتاً بالای جانوری سبب ایجاد انواع ساختمان‌های بیوژنیک شده که این امر، در اثر تنوع رفتاری موجودات ایجاد گردیده است (Bromley 1990).

ایکنوفاسیس *زئوفیکوس*

این ایکنوفاسیس در شرایط آرام آب، مناطق دور از ساحل، زیر سطح اساس امواج توفانی تا آب‌های نسبتاً عمیق تشکیل می‌گردد (Frey & Pemberton 1985). معمولاً رسوباتی که ایکنوفاسیس *زئوفیکوس* را نشان می‌دهند، شدیداً آشفته شده‌اند. چون تجمع آرام گل و نرخ پایین رسوبگذاری اجازه می‌دهد که اجتماعات جانوری به حد بلوغ خود برسند. در منطقه مورد مطالعه این ایکنوفاسیس به وسیله مجموعه *زئوفیکوس* ـ *کندریتس* و تنوع پایین موجودات مشخص می‌شود. این ایکنو فاسیس نشان دهنده تهی‌شدگی بستر دریا از اکسیژن است (Bromley 1990, Moghadam & Paul 2000) و اکدال (Ekdale 1988) آن را متعلق به دریای عمیق می‌داند.

نتیجه گیری

با مطالعات انجام یافته به نتایج زیر دست یافتیم:

۱- با بررسی سیستماتیک ایکنوفسیل‌های مطالعه شده، تعداد ۵ ایکنوجنس در دو مجموعه مجزا شناسایی گردیدند.

۲- ایکنوجنس‌های *آرنی‌کولیتس*، *پلانولیتس*، *کندریتس* و *نئونریتس* نشان‌گر ایکنوفاسیس *کروزیانا* بوده و ایکنوفسیل‌های *زئوفیکوس* و *کندریتس* نشان دهنده ایکنوفاسیس *زئوفیکوس* هستند.

۳- مجموعه *آرنی‌کولیتس*- *کندریتس* با شاخص آشفتگی زیستی عمدتاً ۴ در بخش فوقانی سازند پابده و مجموعه *زئوفیکوس*- *کندریتس* با شاخص آشفتگی زیستی مشابه آن در بخش‌های میانی- پایینی مناطق مورد مطالعه مشاهده شده است.

۴- مجموعه *آرنی‌کولیتس*- *کندریتس* تحت شرایط آب‌های با اکسیژن بیشتر و مجموعه *زئوفیکوس*- *کندریس* در آب‌های با اکسیژن کمتر ایجاد شده اند.

۵- در مناطق مورد مطالعه، ایکنوفاسیس *کروزیانا* در حدفاصل بین سطح اساس امواج عادی و سطح اساس امواج توفانی در رمپ میانی و ایکنوفاسیس *زئوفیکوس* دربخش خارجی رمپ و زیر سطح اساس امواج توفانی تشکیل شده است.

تشکر و قدردانی

مولفین از پروفسور Ekdale به خاطر کمک در تعیین ایکنوفسیل‌ها و همچنین از آقایان دکتر حسین وزیری مقدم و دکتر بهروز رفیعی به خاطر مساعدت‌های علمی ایشان سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

بهبهانی، ر. ۱۳۸۵: بررسی میکروفاسیس‌ها، ژئوشیمی آلی و محیط رسوبی توالی‌های بیتومین‌دار سازند پابده در ایوان غرب. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی. ۱۴۸ صفحه.

وزیری مقدم، ح.، و طاهری، ع. ۱۳۸۳: برررسی ایکنوفسیل‌ها و ایکنوفاسیس‌های بخش بالایی سازند شمشک در ناحیه طرزه (شمال خاوری دامغان). *نشریه علوم زمین*. **۵۲-۵۱:** ۴۶-۵۵.

Bromley R.G. 1990: Trace Fossils:Biology and Taphonom., Academic Division of Unwin Hyman Ltd. 280p.

Bromley R.G., Ekdale A.A. 1984: Chondrites: a Trace Fossil indicator of anoxia in sediments. Science. **224:** 872-874.

Burchett T.P., Wright V.P. 1992: Carbonate ramp depositional system. *Sedimentary Geology*. **79:** 3-58.

Burchett T.P., Wright, V.P., Faulkner T.J. 1990: Oolitic sand body depositional models and geometries, Mississippian of South west Britain: implications for petroleum exploration in carbonate ramp settings. *Sedimentary Geology*. **68:** 87- 115.

Ekdale A.A. 1988: Pitfalls of paleobathymetric interpretations based on trace fossils assemblages. *Palaios*. **3.** 464-472.

Ekdale A.A., Lewis D.W. 1991: The Newzealand Zoophycos revisited: Morphology, ethology and paleoecology, *Ichnos*. **1:** 183-194.

Frey R.W. 1990: Trace fossil and Hummocky Cross Stratification, Upper Cretaceous of Utah. *Palaios*. **5:** 203-218.

D'Alessandro A., Ekdale,A.A., Sonnino M.1986: Sedimentologic significance of turbidite ichnofacies in the Saraceno Formation (Eocene), Southern Italy. *Journal of Sedimentsry Petrology*. **56:** 294-306.

Frey R.W., Goldring R. 1992: Marine event beds and recolonization surfaces as revealed by trace fossil analysis. *Geological Magazine*. **129:** 325-335.

Frey R.W., Howard J.D. 1990: Trace fossils and depositional sequences in a clastic shelf setting, Upper Cretaceous of Utah. *Journal of Paleontology*. **64:** 803-820.

Frey R.W., Pemberton S.G. 1985: Biogenic structures in outcrops and cores I, Approaches to Ichnology. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. **33:** 72- 115.

Frey R.W., Pemberton S.G., Saunders T.P. 1990: Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship. *Journal of Paleontology*. **64:** 155-158.

Hantzschel W. 1975: Trace Fossils and Problematica, in Teicchert, C. (eds.) Treatise on invertebrate paleontology, Part w, Miscellanea, Supplement 1, Geological Society of America and university of Kansas, New York and Lawrence, Kansas. 269p.

James G.A., Wynd J.G. 1965: Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement area. *AAPG Bulletin*. **49:** 2182-2245.

Moghadam H.V., Paul C.R. 2000: Trace fossils of the Jurassic, Blue Lias, Lyme Regis. *Southern England, Ichnos*. **7 :** 283-306.

Mohseni H., Al-Aasm I.S. 2004: Tempestite deposits on a storm- influenced carbonate ramp: an example from the Pabdeh Formation (Paleogene), Zagros Basin, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*. **27:**163- 178.

Nicholson H.A. 1873: Contributions to the study of the errant annelids of the older paleozoic rocks. *Royal Society of London Proceeding*. **21:** 288-290.

Osgood R.G. 1970: Trace fossils of the Cincinnati area. *Palaeontographica Americana*. **6:** 281- 444.

Pedley M. 1998: A review of sediment distributions and processes in Oligo-Miocene ramps of Southern Italy and Malta (Mediterranean divide) in : Wright, V. P., and Burchette, T. P., (eds.), Carbonate Ramps. *Geol. Soc. London*. **149:** 163-180.

Pemberton S.G., Frey R.W. 1982: Trace fossil nomenclature and the Planolites-Paleophycus dilemma. *Journal of Paleontology*. **56:** 843-881.

Pickerill R.K., Forbes W.H. 1979: Ichnology of the Trenton Group in the Quebec city area. *Canadian Journal of Earth Sciences*. **16:** 2022-2039.

Salter J.W. 1857: On annelid-burrows and surface marking from the Cambrian rocks of the Longmynd. Quaterly Journal of the *Geological Society of London*. **13:**199-206.

Savrda C.E. 1992: Trace Fossils and benthic oxygenation, in: Maples, C. E., West, R. R., (eds.), Trace Fossils. *Paleontological Society Short Course*. **5:**172-196.

Savrda C.E., Bottjer D.J. 1986: Trace fossils model for reconstruction of paleo- oxygenation in bottom waters. Geology. **14:** 3-6.

Seilacher A. 1960: Lebensspuren als Leitofossilien. *Geol, Run*. **49:** 41-50.

Seilacher A. 1964: Biogenic sedimentary structures, in: Imbrie, J. and Newell, N. D. (eds.), Approches to paleoecology. J. Wiley and Sons. NewYork. 296-316.

Simpson S. 1970: Notes on Zoophycos and Spirophyton, in: Crimes, T. P., and Harper, J. C., (eds.), Trace Fossils, Seel House Pren. Liverpool. 505-514.

Sternberg K.M. von. 1833: Versuch einer geognostish-botanischen Darstellungder Flora der Vorwelt, Fleischer- Lopizig, Prague, 80p.

Taylor A.M., Goldring R. 1993: Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society*. **150:** 141-148.

Wignal P.B. 1993: Distinguishing between oxygen and substrate control in fossil benthic assemblages. *Journal of the Geological Society*. **150:** 193-196.

Wilson J.L. 1975: Carbonate Facies in Ggeologic History, Springer- verlag, Berlin, 471p.
Wright V.P. 1986: Facies sequences on a carbonate ramp: the Carboniferous limestone of south Wales. *Sedimentology*. **33:** 221-241.