بهار ۹۱، سال بیست و یکم، شماره ۸۳، صفحه ۱۸۵ تا ۱۹۶

تحلیل رخساره و تفسیر محیطی اثرفسیل‌های پلانولیتس و پالئوفیکوس از رسوبات پالئوزوییک ایران میانی

نارام بایت گل[۱]، نصرالله عباسی[۲]*، اسداله محبوبی[۱]، رضا موسوی حرمی[۱]، هادی امین رسولی[۳]

[۱] گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۲] گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
[۳] گروه زمین‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۱۸

چکیده

در این مطالعه بخش شیلی سازند لالون، بخش پنج سازند میلا و سازندهای شیرگشت و جیرود در زیر پهنه‌های ایران مرکزی و البرز از پهنه ایران میانی، برای تفکیک دو اثرجنس پالئوفیکوس (*Palaeophycus*) و پلانولیتس (*Planolites*) بررسی شدند. هر کدام از این واحدها، حاوی مجموعه اثر فسیل‌های متنوعی است که دو اثرجنس پالئوفیکوس و پلانولیتس از فراوان‌ترین آنهاست. در مطالعه حاضر، ضمن بحث ایکنوتاکسونومی اثرجنس‌های پلانولیتس و پالئوفیکوس، تلاش شد تا معیارهای شناسایی این دو اثرجنس بیان شده و مشکلات احتمالی موجود در تشخیص آنها ارزیابی شوند. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که ویژگی‌های ساختاری پالئوفیکوس دلالت بر پرشدگی غیرفعال یک سیستم حفره‌ای باز ساخته شده توسط جانداران شکارچی یا معلق‌خوار است، درحالی‌که ویژگی‌های پلانولیتس نشان‌دهنده پس‌ریزی رسوب در یک حفره موقتی ساخته شده به‌وسیله جانداران متحرک تغذیه‌کننده از رسوب است. پلانولیتس، حفاری بدون آستر است که پرشدگی حفره‌ها، با ویژگی‌های متفاوت بافتی با رسوب سنگ میزبان است؛ در حالی‌که پالئوفیکوس حفره‌های آستردار پرشده با رسوبات همسان با رسوب اطراف است. همچنین، مجموعه پالئوفیکوس نشان‌دهنده گسترش مجموعه جانداران فرصت طلب با استراتژی انتخابی r (r-selected) در شرایط محیطی ناپایدار است؛ در حالی‌که مجموعه پلانولیتس دلالت بر گسترش مجموعه جانداران کف‌زی (بنتیک) با استراتژی انتخابی k (K-selected) در شرایط پایدار و آرام محیطی می‌باشد. اثرگونه‌های تشخیص داده شده پلانولیتس شامل *P. montanus*، *P. terraenovae*، *P. annularis* و *P. beverleyensis* و اثرگونه‌های پالئوفیکوس شامل *P. heberti*، *P. tubularis*، *P. striatus* و *P. sulcatus* هستند.

کلید واژه‌ها: پالئوزوییک، اثرجنس، اثرگونه، پالئوفیکوس، پلانولیتس، البرز، ایران مرکزی

***نویسنده مسئول:** نصرالله عباسی
E-mail: abbasi@mail.znu.ac.ir

۱- مقدمه

تاکسونومی اثر فسیل‌ها بر اساس ریخت‌شناسی آنها صورت می‌گیرد (Bromley and Ekdale, 1986). توجه به ویژگی‌های دیگر همچون آستربندی حفره‌ها (burrow lining)، نوع دیواره، ساخت‌های پس‌ریز (backfill)، وجود یا نبود انشعاب، ویژگی بافتی رسوبات پر کننده حفرات و مقایسه آن با رسوبات سنگ میزبان، ساختار درونی حفره‌ها و ویژگی‌های سنگ میزبان (Jensen, 1997; Pak and Pemberton,2003) از جمله ویژگی‌هایی هستند که در این تاکسونومی به‌کار می‌آیند. بیشتر اثر فسیل‌های موجود در نهشته‌های تخریبی به علت ویژگی‌های رسوب‌شناختی و تأثیر اندک فرایندهای سنگ‌زایی، به‌طور نسبی از حفظ شدگی بهتری برخوردار هستند.

هدف از ارائه این مقاله، دست‌یابی به راه کار عملی برای تفکیک رخساره‌ای دو اثرجنس پلانولیتس و پالئوفیکوس برپایه یافته‌های در دسترس در برخی از سازندهای پالئوزوییک زیرپهنه‌های ایران مرکزی و البرز از پهنه ایران میانی است. به دلیل اینکه چنین اثر فسیل‌ها ماهیت قطع‌کننده رخساره‌ای (cross-cutting facies) دارند (e.g. MacEachern et al., 1999, 2005;) به تنهایی نمی‌توانند دلالت بر (Buatois et al., 2002, 2003; Bann et al., 2004 محیط رسوبی خاصی باشند. به همین دلیل در چنین مواردی مهم‌ترین نکته در مطالعات صحرایی، برداشت ساختارهای رسوبی فیزیکی و اثر فسیل‌های همراه با پلانولیتس و پالئوفیکوس است. در این جا لازم است محیط رسوبی را برپایه داده‌های ساختارهای رسوبی غیرزیستی، سنگ‌شناسی، ریخت سه‌بعدی لایه‌های رسوبی، جهت جریان دیرینه و مجموعه فسیل‌های پیکره‌ای و اثر فسیل‌های همراه آنها تفسیر کرد. به همین ترتیب، ارتباط رخساره‌های رسوبی را با ژرفای آب، شرایط انرژی حوضه و جریان‌های محیط رسوبی، میزان رسوب‌گذاری، شوری، دما، نوع بستر و میزان مواد غذایی در دسترس جانداران و غیره سنجید. در این راستا دو اثرجنس یاد شده که حاصل سبک الگوی رفتاری کاملاً متفاوت هستند و می‌توانند در شرایط دیرینه‌بوم‌شناختی (پالئواکولوژیکی) متفاوت از هم به‌وجود آیند، مورد توجه هستند. با توجه به تنوع و فراوانی اثر فسیل‌ها، می‌توان همراهی آنها را در رابطه با مفاهیم مرسوم اثرشناسی (مانند assemblages, ichnocoenoses, suites, ichnofabric and ichnofacies) بررسی و همراهی آنها را تفسیر کرد. البته بر اساس نظر بیشتر محققان (Pemberton et al., 2001, 2004; Buatois and Mángano, 2002; Bann et al., 2004; Malpas et al., 2005; MacEachern et al., 2007) استفاده از نوع ایکنوفاسیس و ایکنوفابریک، بهترین روش مطالعه اثر فسیل‌ها است و دیگر مفاهیم ممکن است شرایط دیرینه‌بوم‌شناختی حوضه را کمتر بیان کنند. به نظر می‌رسد رده‌بندی الگوی رفتاری جانداران (ethological classification) بتواند عوامل محیطی مؤثر در الگوی رفتاری جاندار را بهتر توضیح دهد. بنابراین در مطالعه حاضر به هر یک از مفاهیم یاد شده، توجه شده است. لازم به ذکر است که ایکنولوژیست‌ها در مطالعه محیط‌های رسوبی برپایه اثر فسیل‌ها، نتایج به‌دست آمده خود را با مدل‌های ایکنولوژیکی مرسوم ارائه شده در ارتباط با رسوبات نهشته محیط‌های دریایی (MacEachern et al., 1999; Bann and Fielding, 2004) انطباق می‌دهند تا تأییدی بر الگوی پراکندگی اثرفسیل‌ها در زیرمحیط‌های متفاوت دریایی باشد. در این کار نیز سعی شد که از این مدل‌ها به عنوان الگویی برای انطباق دو اثرجنس پلانولیتس و پالئوفیکوس استفاده شود که در ادامه مطلب به بحث در مورد هر کدام از آنها پرداخته می‌شود. به منظور بررسی مقایسه‌ای رخساره‌ای- محیطی دو اثرجنس پلانولیتس و

Archive of SID
www.SID.ir

پالئوفیکوس، توالی‌هایی از سازندهای پالئوزوییک ایران مرکزی و البرز که دارای مجموعه اثرفسیل غنی و همچنین رخساره‌های سنگی متنوع بودند، انتخاب شدند. توالی‌های مورد مطالعه شامل بخش شیلی سازند لالون با سن کامبرین پیشین در برش کالشانه در زیرپهنه ایران مرکزی (کوه‌های درنجال)، سازند شیرگشت با سن اردوویسین زیرین تا میانی در برش کوه عاشقان در ناحیه کلمرد زیرپهنه ایران مرکزی، بخش پنج سازند میلا در برش ده‌ملای دامغان در دامنه‌های جنوبی البرز و سازند جیرود با سن دونین پسین- کربنیفر در برش نزدیکی دهکده زایگان در البرز مرکزی هستند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سازندهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای دسترسی به اطلاعات چینه‌شناسی عمومی هریک از واحدهای فوق در مناطق یادشده، می‌توان به گزارش‌های زمین‌شناسی چهارگوش‌های مربوطه مراجعه کرد.

لازم به یادآوری است که دو اثر فسیل یاد شده، گسترش سنی پرکامبرین- عهد حاضر داشته و در زمان بعد از پالئوزوییک و به‌ویژه در تریاس گسترش قابل توجهی در سازندهای الیکا (اخروی و همکاران، ۱۳۷۸) و سرخ‌شیل (Ruttner et al. ,1991) دارند. چنین گسترشی زمینه مطالعاتی مناسبی را در ادامه مطالعات حاضر فراهم می‌کند. همچنین نمونه‌های برداشت‌شده برپایه نام سازند و تعداد نمونه‌ها یا مشاهدات، شماره‌گذاری شده‌اند. بیشتر نمونه‌های جمع‌آوری شده در آزمایشگاه‌های دانشگاه‌های فردوسی مشهد، زنجان و کردستان نگهداری می‌شوند.

۲- تحلیل رخساره‌ای پالئوفیکوس و پلانولیتس

بررسی اثرفسیل‌های پلانولیتس و پالئوفیکوس و تفاوت آنها با هم از مباحث ایکنوتاکسونومی است (مثلاً Keighley and Pickerill, 1995). در ابتدا نظر بر این بود که این دو اثرجنس با دامنه سنی گسترده از پروتورزوییک تا عهد حاضر (Häntzschel, 1975) را می‌توان بر مبنای وجود یا نبود انشعاب از همدیگر تفکیک کرد، به‌گونه‌ای که پالئوفیکوس اثرات حفره‌ای دارای انشعاب (branched) و پلانولیتس فاقد انشعاب (unbranched) تعریف شدند (Miller, 1979). اما بر اساس نظرات دیگر پژوهشگران (Han & Pickerill, 1994; Keighley & Pickerill, 1995, 1997) این معیار نمی‌تواند برای تفکیک آنها خیلی مفید باشد. زیرا در برخی موارد، ارتباط قطع‌کننده حفره‌ها باعث ایجاد حالت انشعاب کاذب می‌شود و در چنین مواردی تمایز اثرفسیل‌ها با انشعاب واقعی از انشعاب کاذب سخت است. به عقیده این پژوهشگران بهترین معیار برای جدایش این دو اثرجنس، بررسی دیواره و ماهیت پرشدگی داخلی حفره‌ها است. در این مطالعه برای تفکیک این دو اثرجنس به دو عامل بسیار مهم در مطالعات اثر فسیل‌ها توجه زیادی شده است که شامل موارد زیر است.

۲-۱. آستربندی حفرات یا هاله دیاژنتیکی؟

(Burrow Lining or Diagenetic Halo?)

در بررسی اثرفسیل‌ها وجود یا نبود آستربندی دیواره، ویژگی مهمی به شمار می‌آید (Fillion and Pickerill, 1984) اما هاله‌های ناشی از فرایندهای سنگ‌زایی به آسانی می‌توانند با آستربندی حفره‌ها اشتباه شوند. با این وجود، آستربندی حفره‌ها را می‌توان بر اساس تمرکز مواد آلی یا بیتومین و وجود لایه‌بندی ریز هلالی (spreite) در دیواره حفره‌ها تشخیص داد. همچنین افزایش تخلخل در دیواره حفره‌ها می‌تواند نشان‌دهنده انحلال آستر یا مواد آلی قبلی باشد. در دیگر موارد تجمع مواد متفاوت مانند آلوکم‌ها در دیواره حفره‌ها دلالت بر منطقه تغییر شکل ایجاد شده به‌وسیله حرکت جانداران در بسترهای نیمه‌سخت شده دارد و از آستربندی حفره‌ها کاملاً متفاوت است، در چنین دیواره‌هایی میزان گسترش هاله سنگ‌زایی برای تشخیص آستر خیلی مهم است. گسترش هاله در هر دو رسوب سنگ میزبان و پرشدگی حفره‌ها دلالت بر وجود آستر است (Pak & Pemberton,2003).

۲-۲. تعیین ماهیت پرشدگی حفره‌ها

(Determining the Nature of Original Burrow Fill)

ماهیت رسوب‌شناختی پرشدگی حفره‌ها می‌تواند بر اثر فرایندهای سنگ‌زایی مخرب مانند انحلال، دولومیتی‌شدن و تبلور دوباره تغییر یابد و باعث اشتباه در تشخیص اثرجنس‌ها شود. بنابراین سنگ‌نگاری رسوبات پرکننده حفره‌ها با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان یا عدسی (لوپ) دستی در مطالعات صحرایی، در تشخیص ماهیت رسوبات پرکننده حفره‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد.

تفاوت ساختاری دو اثر فسیل پلانولیتس و پالئوفیکوس که ناشی از تمایز رفتاری- محیطی جانوران اثرساز آنهاست و در مقایسه با دیگر اثر فسیل‌ها و ساختارهای رسوبی همراه، می‌تواند بیانگر شرایط دیرینه‌بوم‌شناسی محیط رسوبی باشند (مثلاً Pak and Pemberton, 2003). براساس شواهد به‌دست آمده از توالی‌های مورد مطالعه پلانولیتس حفره‌ها بدون آستر است که پرشدگی حفره‌های آنها دارای ویژگی‌های متفاوت فابریکی و بافتی با رسوب سنگ میزبان دارد، در حالی‌که پالئوفیکوس حفره‌های آستردار پرشده با رسوبات همسان با زمینه (ماتریکس) اطراف است. ویژگی‌های کلی پالئوفیکوس دلالت بر پرشدگی غیرفعال از یک سیستم حفره‌ای باز ساخته شده به‌وسیله جانداران شکارچی یا معلق‌خوار دارد، درحالی‌که ویژگی‌های پلانولیتس نشان‌دهنده پس‌ریزی رسوب در یک حفره موقتی ساخته شده به‌وسیله جانداران محرک تغذیه‌کننده از رسوب است. به طور معمول جانداران در محیط‌های رسوبی نسبت به تغییر عوامل محیطی حساس هستند، چنین عواملی شامل انرژی، تداوم بستر، اکسیژن، میزان رسوب‌گذاری، شوری و دیگر شرایط فیزیکوشیمیایی است که همه در ارتباط با تغییرات ژرفای محیط رسوبی نیز هستند. تغییر چنین عواملی باعث ایجاد تغییر در مجموعه جانداران محیط‌های رسوبی می‌شود، در پی آن تغییرات در مجموعه جانداران باعث ایجاد گروه‌های متفاوت ایکنولوژیکی در محیط‌های رسوبی و تغییر در الگوی رفتاری هرکدام از این گروه‌های ایکنولوژیکی می‌شود (برای مثال چریدن (گریزینگ)، تغذیه‌ای، فراری، معلق‌خوار و...). بنابراین می‌توان اظهار کرد که چنین عواملی محیطی است که باعث الگوی پراکندگی متفاوت پلانولیتس (ساختارهای تغذیه‌ای) در برابر پالئوفیکوس (ساختارهای حفره‌ای) می‌شود.

۳- بحث

جدول ۱، اطلاعات خلاصه شده از پیمایش سازندهای مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اثرفسیل پلانولیتس همراه با اثرفسیل‌های متنوعی است و اغلب در رخساره سنگی رسوبات ریزدانه یافت شده است؛ در حالی که تنوع اثرفسیل‌های همراه پالئوفیکوس اندک و مربوط به رخساره‌های سنگی دانه‌درشت‌تر می‌باشد. ارتباط بین تنوع اثرفسیل‌ها با عوامل محیطی حداقل نشان‌دهنده بالا بودن تنوع رفتاری در شرایط مساعد دیرینه‌بوم‌شناسی (پالئواکولوژی) است. از این رو، می‌توان بیان داشت که در محیط آرام با رسوب‌گذاری ریزدانه، جانوران اثرساز با رفتار تغذیه‌ای از رسوبات مربوط به مجموعه پلانولیتس است. در حالی که در محیط‌های پرانرژی با رسوب‌گذاری ناآرام مانند رخدادهای توفانی، جانوران اثرساز اندکی وجود داشته و اثر فسیل‌ها مربوط به مجموعه پالئوفیکوس گسترش دارند. با توجه به مطالب یاد شده، به وضعیت هر یک از دو اثرجنس پلانولیتس و پالئوفیکوس در هر یک از سازندهای مورد مطالعه می پردازیم.

در بخش شیلی سازند لالون مجموعه اثر فسیل‌ها و ساختارهای رسوبی فیزیکی، دلالت بر تشکیل این واحد از سازند لالون در محیط خلیج دهانه‌ای تحت تأثیر نوسانات امواج در حد بین موجسار هوای توفانی و آرام دارد. چنین محیطی مشابه رخساره‌های ایکنولوژیکی Bann & Fielding (2004) و Buatois & Mángano

Archive of SID

www.SID.ir

(2003) است. به نظر می‌رسد که مهم‌ترین عامل در پراکندگی اثر فسیل‌ها و تغییر در الگوی رفتاری جانداران، به ویژه پلانولیتس و پالئوفیکوس که به فراوانی در نهشته‌های لالون مشاهده شده‌اند، اثرات دوره‌ای نوسانات توفانی است. در چنین محیط‌هایی، پالس‌های توفانی می‌توانند تأمین‌کننده مواد غذایی، اکسیژن و عامل ایجاد بستری مناسب باشند (Gingras et al., 2002). در نتیجه شرایط انرژی را باید عامل کلیدی در ایجاد شرایط زیستی مطلوب برای جانداران دانست و نوسانات آن را عامل تغییر الگوی رفتاری آنها در نظر گرفت (Bromely, 1996). تنوع بالای اثرفسیل‌ها در واحد شیلی سازند لالون نسبت به واحد ماسه‌سنگی پایینی این سازند، دلالت بر بستری مناسب و غنی از مواد آلی برای فعالیت جانداران است، به‌گونه‌ای که با توجه به مدل Reinson (1992) در تقسیم‌بندی محیط‌های خلیج دهانه‌ای؛ یک محیط خلیج دهانه‌ای تحت تأثیر امواج و دارای ارتباط آزاد با آب دریا در سازند لالون، می‌تواند باعث فراهم آمدن شرایط دیرینه‌بوم‌شناسی مناسب برای گسترش جانداران اثرساز و افزایش تنوع اثر فسیل‌ها گردد. در این توالی، فراوانی اثرجنس پلانولیتس همراه با دیگر اثرات تغذیه‌ای و چریدن (گریزینگ) نشان دهنده الگوی رفتاری تغذیه‌کننده از رسوبات در بسترهای نرم گلی در طی کاهش انرژی نوسانات توفانی است. در حالی که اثرجنس پالئوفیکوس در بسترهای ماسه‌ای جورشده همراه با دیگر اثرات معلق‌خوار، نشان‌دهنده سازگاری بیشتر با شرایط سخت محیطی همراه با افزایش انرژی است. در نتیجه این جانوران مجبور به تغییر الگوی رفتاری به حالت درون رسوب‌زی (اینفونال) با حفر سوراخ‌ها در بستر رسوبی شده‌اند.

در سازند شیرگشت ۵ ایکنوفاسیس شناسایی شدند که ۳ نوع ایکنوفاسیس کروزیانا، اسکولایتوس و سیلنیکنوس تحت کنترل بستر و ایکنوفاسیس مخلوط کروزیانا- اسکولایتوس نیز تحت کنترل شرایط رسوبی و شوری محیط تشکیل شده‌اند. گسترش ایکنوفاسیس‌ها اساساً وابسته به شرایط محیط رسوبی از جمله نوع رسوب، مواد غذایی در دسترس، میزان اکسیژن و سطح انرژی است (بایت گل و همکاران، ۱۳۸۹؛ حسینی‌برزی و بایت‌گل، ۱۳۸۹). بر این اساس، نهشته‌های سازند شیرگشت در یک شلف باز سیلیسی- آواری تحت نوسانات موجسار هوای آرام و توفانی در زیرمحیط‌هایی چون حاشیه ساحلی، برون کرانه‌ای (دور از ساحل) و جزایر سدی- کولابی (لاگونی) ته‌نشین شده‌اند. همچنین، سطوح پیشرونده فرسایشی (سطوح دوباره فعال‌شده) مناسب‌ترین نواحی برای گسترش مجموعه ایکنوفاسیس‌های تحت کنترل بستر یعنی ایکنوفاسیس گلوسی‌فانجیتس در این سازند بوده است. بر اساس مطالعات Mángano et al. (2005) در شلف‌های باز سیلیسی- آواری تحت تأثیر توفان دو مجموعه از اثرفسیل‌ها با الگوی رفتاری متفاوت در طی موجسار هوای توفانی و آرام [air-weather wave base (FWWB) و storm wave base (SWB)] می‌توانند وجود داشته باشند. چنین الگویی در سازند شیرگشت در طول موجسار هوای آرام شامل مجموعه اثرفسیل‌های متنوع از جماعت‌های کف‌زی در بسترهای مناسب زیستی غنی از مواد آلی و اکسیژن است این مجموعه آثار فسیل متعلق به ایکنوفاسیس کروزیانا با استراتژی انتخاب شده K و الگوی رفتاری تغذیه‌کننده از رسوبات هستند. فراوانی اثرجنس پلانولیتس همراه با دیگر اثرات تغذیه‌ای و چریدن در ایکنوفاسیس کروزیانا موجود در این سازند نشان‌دهنده گسترش این اثرجنس در طول موجسار هوای آرام با استراتژی انتخاب شده K است. در مقابل، مجموعه اثرات و ساختارهای مرتبط با توفان (شواهدی مانند ایجاد لایه‌بندی مورب پشته‌ای) در نهشته‌های سازند شیرگشت نشان‌دهنده کلنی‌شدن جانداران پس از توفان (SWB) است که مجموعه اثرات مرتبط با آنها در بسترهای زیستی ناپایدار و تحت کنترل شرایط فیزیکی محیط با استراتژی انتخاب شده r و الگوی رفتاری معلق‌خوار یا فرصت‌طلب (opportunistic community) متعلق به ایکنوفاسیس اسکولایتوس و سیلنیکنوس هستند که وجود اثرجنس پالئوفیکوس در آنها نشان‌دهنده گسترش این اثرجنس در طول موجسار هوای آرام با استراتژی انتخاب‌شده r است.

در بخش پنجم سازند میلا بر پایه مطالعات ساختارهای زیست‌زادی و فیزیکی به نظر می‌رسد که این بخش حاصل جریان‌های توفانی است. ادغام داده‌های ایکنولوژیکی با الگوی ساختارهای رسوبی فیزیکی برای تشخیص نهشته‌های توفانی (Tempestites) مهم تلقی می‌شود (Pemberton et al.,1992a). بر اساس شواهد صحرایی لایه‌های ماسه‌سنگی توفانی در این بخش، در طول چند ساعت تا چند روز رسوب کرده‌اند، ویژگی‌های آنها شبیه رسوبات توربیدیتی است، با این تفاوت که در آنها ساختارهای رسوبی حاصل از جریان‌های مرکب (combined flow) یا امواج (Dott & Bourgeois, 1982) دیده می‌شود. بر پایه مطالعات صحرایی توالی‌های رسوبی توفانی در این بخش دارای این ویژگی‌ها است: ۱) سطح قاعده‌ای فرسایشی حاصل از توفان، در بعضی موارد به صورت موجی همراه با اینترکلاست‌هایی از گلسنگ‌ها یا پبل‌ها. ۲) ساختارهای حاصل از توفان همانند وجود چینه‌بندی مورب پشته‌ای و در بعضی موارد همراه با لامیناسیون موازی. ۳) شواهد حاصل از کاهش شدت توفان (waning flow) مانند ریپل‌های موجی یا لامیناسیون ریپلی موجی و ۴)شواهد ناپدید شدن توفان یا پس از توفان (post storm) در طول موجسار هوای آرام همراه با ته‌نشینی رسوبات دانه‌ریز معلق در آب. همچنین بر اساس مطالعات ایکنولوژیست‌ها (Pemberton et al., 1992 a, b; Mángano et al., 2005; MacEachern et al., 1999, 2007) در بررسی اثرفسیل‌های رسوبات توربیدیتی و توفانی آنها را می‌توان به دو مجموعه پیش و پس از رسوب‌گذاری (pre/post depositional) تفکیک کرد. در مطالعه حاضر نیز آثار فسیل پلانولیتس و پالئوفیکوس به همراه دیگر مجموعه اثرفسیل‌ها و شواهد فیزیکی موجود در بخش ۵ سازند میلا به دو مجموعه پیش و پس از رسوب‌گذاری توفانی قابل تفکیک است که شامل: ۱) اثرات مرتبط با شرایط تعادلی و پایدار در موجسار هوای آرام، که به صورت مجموعه پیش از رسوب‌گذاری تفسیر می‌شوند و دارای استراتژی انتخاب‌شده K یا آثار فسیل تعادلی هستند. این مجموعه همان مجموعه پلانولیتس است و ۲) اثرات مرتبط با شرایط ناپایدار در موجسار هوای توفانی که به صورت مجموعه‌های پس از رسوب‌گذاری تفسیر می‌شوند و دارای استراتژی انتخاب‌شده r یا فرصت‌طلب (opportunistic) با فراوانی بالا هستند. این مجموعه مربوط به مجموعه پالئوفیکوس است. در سازند جیرود با وجود تنوع و فراوانی کم اثرفسیل‌ها می‌توان با ادغام داده‌های ایکنولوژیکی و رسوب‌شناختی، رخساره‌های رسوبی آن را تشخیص داد. این رخساره‌ها نشان می‌دهند که نهشته‌های سازند جیرود در یک محیط دلتایی حاشیه شلف (shelf margin delta) نهشته شده‌اند. در مطالعه حاضر نهشته‌های آواری این سازند به‌دلیل داشتن اثرفسیل مورد توجه‌اند و رسوبات کربناتی‌بالایی آن به علت نبود آثار فسیل مد نظر نیستند. رخساره‌های شناسایی شده، نشان‌دهنده محیط‌های رسوبی مختلف از شلف تا دشت ساحلی است. رخساره‌های جلوی دلتا (delta front) با وجود ساختارهای تغذیه‌ای رسوب‌خوار (deposit feeding) با تنوع و فراوانی کم هستند که به ترتیب فراوانی شامل *Thalassinoides*، *Planolites*، *Rhizocorallium irregular* و *Asterosoma* است و منطبق بر ایکنوفاسیس کروزیانا است (Bann &d Fielding, 2004). این مجموعه در محیط‌های با آهنگ رسوب‌گذاری بالا (Gilbert & Martinell, 1998) و شرایط انرژی بالا (Mcilroy, 2004) دیده می‌شود. وجود ساختارهای رسوبی مانند رده‌بندی مورب پشته‌ای، رده‌بندی مورب مسطح تا کم زاویه در لایه‌های با قاعده فرسایشی، همراه با میان‌لایه‌های شیلی حاکی از وجود یک محیط پرانرژی تحت تأثیر نوسانات امواج در هنگام رسوب‌گذاری این لایه‌هاست. این در حالی است

Archive of SID

www.SID.ir

که آثار فسیل مشاهده شده دارای الگوی رفتاری رسوب‌خواری در یک بستر آرام هستند. چنین تناقضی به دلیل میزان بالای آهنگ رسوب‌گذاری در رخساره‌های جلوی دلتا و پاشنه دلتا و افزایش بیش از حد مواد معلق گل آلود در آب است. به‌طوریکه افزایش آشفتگی و گل‌آلود شدن آب در سطح مشترک آب-رسوب باعث ایجاد شرایطی نامناسب برای فعالیت جانداران تغذیه‌کننده از مواد معلق (منطبق بر ایکنوفاسیس اسکولایتوس) و ایجاد بسترهای ماسه‌ای با ساختارهای رسوب‌خواری می‌شود (MacEachern et al., 2005). در کل، عدم تشکیل عناصر ایکنوفاسیس اسکولایتوس و فراوانی ساختارهای تغذیه‌ای رسوب‌خواری (ایکنوفاسیس کروزیانا) در شرایط جریانی آشفته (turbid) می‌تواند معیاری برای تشخیص شرایط دلتایی باشد (Moslow and Pemberton, 1988; Gingras et al., 1998).

در رخساره‌های شیلی و سیلتی سیاه رنگ این سازند که مربوط به پاشنه دلتا (prodelta) و دور از ساحل/شلف هستند، اثرفسیل‌های کمی مشاهده شدند. این رخساره حاوی میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی و سیلتی با لامیناسیون موازی تا کم زاویه، توده‌ای و چینه‌بندی مورب پشته‌ای در مقیاس کوچک‌تر (micro hummocky cross- stratification or mHCS) هستند. اثرفسیل‌های مشاهده شده شامل *Planolites*، *Chondrites* و *Zoophycos* است. بر اساس نظر Malpas et al. (2005) چنین مجموعه‌ای به عنوان جزئی از ایکنوفاسیس کروزیانا دلالت بر محیط‌های کم‌انرژی زیر موجسار هوای توفانی با آهنگ رسوب‌گذاری کم را دارد. تغییر رنگ موجود در این شیل‌ها می‌تواند به دلیل نوسانات در میزان اکسیژن محیط باشد، به‌گونه‌ای فعالیت جاندار سازنده در سطح مشترک آب-رسوب برای کسب غذا در شرایط اکسیژن بالا (fully oxygenated) باعث ایجاد پلانولیتس شده است، در حالی‌که ساختارهای کندریتس و زئوفیکوس می‌توانند نشان‌دهنده فعالیت جاندار سازنده زیر سطح مشترک آب- رسوب با شرایط نیمه اکسیژنی (ساب‌اکسیک) هستند. در رخساره‌های بالایی برون‌کرانه‌ای (offshore transition) دارای لایه‌های ماسه‌سنگی، سیلتستونی با سطح زیرین فرسایشی، به سمت بالا ریزشو دارای لایه‌بندی مورب پشته‌ای در تناوب با شیل‌های تیره با لامیناسیون موازی و پیکره‌های فسیلی دریای باز (ارتوسراس و براکیوپود) هستند. شواهد ساختارهای رسوبی دلالت بر نوسان‌های امواج در این رخساره را دارد، اما شیل‌های تیره رنگ در زمان آرامش پس از توفان نهشته شده‌اند. آثار فسیل مشاهده شده دلالت بر نوسانات انرژی در این محیط است، به‌گونه‌ای که انرژی بالای جریان و ایجاد بسترهای ماسه‌ای سبب گسترش آرنیکولایتس (*Arenicolites*) می‌شود در حالی‌که کاهش انرژی جریان باعث ایجاد ساختارهای تغذیه‌کننده از رسوب تانیدیم (*Taenidium*) می‌شود. ساختارهای موجود در لایه‌های ماسه‌سنگی از قاعده به طرف بالا الگوی منطبق بر افزایش انرژی را نشان می‌دهند، به‌گونه‌ای که از ساختارهای لایه‌بندی مورب مسطح کم زاویه و لامیناسیون ریپلی موجی موجود در قسمت پایینی حاشیه ساحلی به لایه‌بندی مورب تراف، مسطح و لایه‌بندی موازی قسمت‌های بالایی حاشیه ساحل/پیش ساحل (upper shoreface/foreshore) تبدیل می‌شوند. با توجه به اثر فسیل‌های موجود، دو نوع مجموعه در این رخساره قابل تشخیص می‌باشد که شامل مجموعه پلانولیتس و مجموعه اسکولایتوس است. مجموعه پلانولیتس در بخش‌های پایینی این رخساره که دارای میان‌لایه‌های از شیل هستند و بر طبق نظر Mcilroy (2004) وجود این ایکنوفاسیس دلالت بر فعالیت جاندار سازنده همزمان با رسوب‌گذاری در محیط‌های کم انرژی است. ایکنوفاسیس اسکولایتوس (در بردارنده اثرات معلق خوار) در محیط‌های پرانرژی بخش‌های بالایی این رخساره دیده می‌شود. وجود این ایکنوفاسیس به همراه لامیناسیون‌های موازی مسطح تا کم‌زاویه دلالت بر فعالیت جاندار سازنده پس از رسوب‌گذاری در یک محیط پرانرژی است (Gilbert and Martinell, 1998). ادغام داده‌های ایکنولوژیکی و رسوب‌شناختی در این برش مشابه مدل‌های ایکنولوژیکی رسوبات دلتایی-دریایی معرفی شده می‌باشد (Bann and Fielding, 2004 ;MacEachern et al., 2005).

۴- ایکنولوژی سیستماتیک

در این بخش به معرفی سیستماتیک نمونه های یافت شده از دو اثرجنس پلانولیتوس و پالئوفیکوس پرداخته می‌شود. برای جلوگیری از افزایش حجم مقاله و عدم ارائه مطالب غیر ضروری، از بیان مباحث سیستماتیک در سطح اثرگونه‌ها خودداری می‌شود. در این زمینه پیشنهاد می‌شود به منابع مربوطه، به‌ویژه Pemberton & Frey (1982) و Fillion & Pickerill (1984) مراجعه شود.

Ichnogenus *Palaeophycus* Hall, 1847

گونه الگو (type spices): *Palaeophycus tubularis* Hall 1847 براساس تعیین بعدی توسط Bassler (1915).

ویژگی (diagnosis): حفاری‌های انشعابی یا غیرانشعابی، صاف یا با تزئینات (ornamented)، آستردار، اساساً سیلندری و اغلب افقی هستند که با قطر متغیر پرشدگی فاقد ساختار از جنس رسوبات سنگ میزبان دارند (توسط Pemberton & Frey, 1982).

بحث (discussion): پالئوفیکوس حفاری‌های دارای انشعاب یا بدون آن، آستردار با حالت مستقیم تا انحنادار و برش عرضی استوانه‌ای تا بیضوی هستند. آرایش آنها نسبت به سطح لایه به‌صورت افقی تا نیمه‌افقی و دارای رسوبات همسان از نظر بافتی با رسوب زمینه (ماتریکس) سنگ میزبان است. ماهیت پرشدگی، دلالت بر نداشتن تأثیر جاندار اثرساز (trace-maker) در تغییر رسوبات وارد شده به حفره و بازماندن حفره بعد از ایجاد آن است. به همین دلیل، به این گونه پرشدگی حفره‌ها با چنین ماهیت رسوب‌گذاری غیرفعال (passive sedimentation) گفته می‌شود. در بیشتر موارد، چنین آثار آستردار، دارای دیواره نامنظم و مناطق ریزشی در دیواره حفره است که به نظر بسیاری از محققان (مانند Bhattacharya & Bhattacharya, 2007; Sarkar et al., 2009) چنین ویژگی‌هایی دلالت بر بازماندن حفره‌ها و تغییر شکل آن در نتیجه فشردگی و پرشدگی غیرفعال حفرات به‌وسیله رسوبات (بدون تأثیر جاندار) در مرحله بعدی رسوب‌گذاری دارد. پالئوفیکوس را به عنوان سوراخ‌های حفرشده توسط جانداران تغذیه کننده از مواد معلق نسبت می‌دهند (Fillion and Pickerill, 1984). اثرگونه‌های شناخته شده پالئوفیکوس در این مطالعه شامل *P. alternatus*، *P. heberti*، *P. striatus*، *P. sulcatus* و *P. tubularis* است.

Ichnospices *Palaeophycus alternatus* Pemberton and Frey, 1982

تابلو۱ شکل a

نمونه: ۳ نمونه، M837 (سازند میلا)، همراه با مشاهدات صحرایی.

ویژگی: حفاری‌های دارای آثار شیار (striate) و حلقه (annulate)، متناوب و با قطر متغیر هستند.

توصیف (description): حفره‌های هیپورلیف محدب با آستر نازک، استوانه‌ای تا نیمه استوانه‌ای، مستقیم تا کمی انحنادار هستند. به‌ندرت به‌صورت شاخه‌ای و با الگوی موازی تا نیمه‌موازی با سطوح چینه‌بندی دیده می‌شوند. دیواره حفره‌ها عموماً صاف و تا حدی آثار شیار طولی ضعیفی را نشان می‌دهند. سنگ‌شناسی رسوبات پرکننده حفره‌ها مشابه با سنگ میزبان است. از مهم‌ترین ویژگی این نوع

Archive of SID

www.SID.ir

اثرگونه، وجود آثار شیاری و حلقوی متناوب در حفره‌هاست (Pemberton and Frey, 1982). با این وجود، در جایی که حلقه‌ها (annulations) گسترش بهتری دارند، قطر حفره‌ها کاهش می‌یابد و شیارهای طولی از بین می‌روند. اثرگونه *P. alternatus* گسترش سنی کمتری نسبت به دیگر اثرگونه‌های پالئوفیکوس دارد و بیشتر در رسوبات اردوویسین و سیلورین مشاهده می‌شود (Walter et al., 1989).

Ichnospices *Palaeophycus heberti* (de Saporta, 1872)

تابلو ۱ شکل b، c

نمونه: ۱۱ نمونه، Sh1445 (سازند شیرگشت) و L1083 (سازند لالون) همراه با مشاهدات صحرایی.

ویژگی اصلاح‌شده (emended dianosis): حفاری‌های لوله‌ای (cylindrical) صاف، فاقد تزئینات با آستربندی ستبر (توسط Pemberton and Frey, 1982).

توصیف: حفره‌های استوانه‌ای دارای انشعاب یا بدون آن با حالت مستقیم تا انحنادار و دیواره صاف بدون تزئینات، حفظ شده به صورت هیپورلیف محدب هستند. قطر حفره‌ها در آن به طور غالب ثابت است. آستر در *P. heberti* دارای ستبرای بیشتری نسبت به *P. tubularis* است. پرشدگی حفره‌ها همسان با رسوب سنگ میزبان است و غالباً به صورت توده‌ای دیده می‌شود. در بعضی از نمونه‌ها حفره‌ها آثار ریزشی در دیواره خود یا شیاری در بخش مرکزی با دو دیواره باریک و مشخص دارند. نبود هر گونه تزئینات خارجی در *P. heberti* باعث تفکیک آن از دیگر گونه‌های پالئوفیکوس می‌شود (Frey and Pemberton, 1991). آستر در این گونه به طور غالب شامل رسوبات آگلوتینه است که اندازه دانه درشت‌تر و جورشدگی بهتری نسبت به سنگ میزبان دارد.

Ichnospices *Palaeophycus striatus* Hall, 1852

تابلو ۱، شکل d

نمونه: ۷ نمونه، M731 (سازند میلا) همراه با مشاهدات صحرایی.

ویژگی: حفاری‌ها با آستربندی ستبر دارای شیارهای ریز، پیوسته، موازی و طولی است.

توصیف: حفره‌های افقی بدون انشعاب، مستقیم یا کمی انحنادار با تزئینات خاص، شامل شیارهای طولی موازی متعدد بر روی دیواره حفره‌ها و حفظ شده به صورت هیپورلیف محدب هستند. مهم‌ترین ویژگی این اثرگونه، وجود آثار شیاری طولی (longitudinal striae) و موازی بر روی حفاری‌هاست. این شیارها قطر خیلی نازکی دارند که در بعضی موارد آثار نقطه‌ای از دانه‌های سیلت و ماسه ریز بر روی آنها دیده می‌شود. همانند *P. heberti* پرشدگی حفره‌ها به صورت توده‌ای و همسان با سنگ میزبان است. مقطع عرضی آنها به صورت استوانه‌ای می‌باشد و قطر حفره‌ها در امتداد طول آنها پهنای ثابتی دارد، اما در بعضی موارد ممکن است به دلیل تأثیر رسوبات سطح بالایی دارای تغییراتی باشد.

Ichnospices *Palaeophycus sulcatus* (Miller & Dyer, 1878)

تابلو ۱ ، شکل e

نمونه: ۶ نمونه، J271 (سازند جیرود)، همراه با مشاهدات صحرایی.

ویژگی اصلاح‌شده (emended dianosis): حفاری‌های نیمه‌استوانه‌ای نامنظم با آستر نازک است. دارای خطواره‌های (striations) واضح و بندکفشی (آناستوموسینگ) (توسط Pemberton and Frey, 1982).

توصیف: این گونه دارای آثار و ویژگی‌های مشابه با *P. striatus* است، به‌گونه‌ای که به صورت حفره‌های افقی آستردار نازک و بدون انشعاب، مستقیم یا کمی انحنادار هستند که آثار شیاری نیز بر روی حفره‌های خود دارند. *P. sulcatus* برخلاف *P. striatus* دارای آثار شیاری نامنظم‌تر می‌باشند، همچنین آثار شیاری در آنها به صورت مواج و تا حدی قطع‌کننده یکدیگر دیده می‌شود. *P. sulcatus* بر خلاف *P. heberti* و *P. tubularis* فاقد ساختارهای ریزشی (collapse features) در دیواره خود هستند. در بیشتر موارد، این اثرگونه به صورت اپی‌رلیف بر روی سطح ماسه‌سنگ‌های ریپلی دیده می‌شوند.

Ichnospeices *Palaeophycus tubularis* Hall, 1847

تابلو ۱، شکل f

نمونه: ۸ نمونه، M436 (سازند میلا)، همراه با مشاهدات صحرایی.

ویژگی: حفاری‌های صاف فاقد تزئینات با قطر متغیر هستند که دارای آستر نازک ولی مشخص می باشند.

توصیف: حفره‌های استوانه‌ای تا نیمه استوانه‌ای، صاف و بدون تزئینات با قطر متغیر هستند با مسیرهای مستقیم تا کمی مواج و به‌ندرت با حالت منشعب نامنظم دیده می‌شوند. آستر در *P. tubularis* دارای ستبرای کمتری نسبت به *P. heberti* است و به‌صورت موازی تا نیمه‌موازی نسبت به سطح طبقه‌بندی دیده می‌شود. پرشدگی حفره‌ها بدون ساختار است، با این وجود، گاهی لامیناسیون یا اثرات فشردگی دارد. سنگ‌شناسی پرشدگی حفره‌ها همسان با سنگ میزبان است ولی در مواردی که اختلاف سنگ‌شناسی رسوبات لایه زیرین با لایه بالایی وجود داشته باشد، پرشدگی حفره‌های پالئوفیکوس متفاوت از سنگ میزبان می‌شود (Pemberton and Frey, 1982). چنین حالتی را می‌توان به تغییر در شرایط محیط رسوبی از لایه زیرین (حاوی جاندار سازنده آثار فسیل) به لایه بالایی (منشأ رسوب پرکننده حفره‌های لایه زیرین) مرتبط دانست که موجب اختلاف در جنس رسوبات لایه‌های زیرین و بالایی و در نهایت تفاوت سنگ‌شناسی در رسوبات پرکننده حفره‌ها با سنگ میزبان می‌شود. این آثار به صورت هیپورلیف محدب (convex hyporelief) یا شیارهای اپی‌کینال (epichnial concave epirelief) دیده می‌شود.

Ichnogenus *Planolites* Nicholson, 1873

گونه الگو: *Planolites vulgaris* Nicholson and Hinde 1875 براساس تعیین بعدی توسط Alpert(1975).

ویژگی: حفاری‌های فاقد آستر، به‌ندرت انشعابی، مستقیم تا پیچ و خم‌دار، صاف تا با دیواره نامنظم یا حلقه‌دار. در برش عرضی گرد تا بیضوی است. ابعاد و شکل متغیر دارند و اساساً مواد رسوبی پرکننده حفاری، فاقد ساختار و متفاوت از سنگ میزبان هستند (توسط Pemberton and Frey, 1982).

بحث: نیکلسون، پلانولیتس را به‌صورت حفره‌های پرشده از ماسه یا گل حاصل از فعالیت جاندارانی که از حفره ایجاد شده به عنوان منبع تغذیه استفاده کرده‌اند، معرفی نمود (Nicholson,1873). به‌همین دلیل ایکنولوژیست‌ها چنین حفره‌هایی را به عنوان پس‌ریزی حاصل از فعالیت جانوران محرک رسوب‌خوار در نظر می‌گیرند. مهم‌ترین ویژگی پلانولیتس در مطالعات صحرایی به عمل‌آمده از سازندهای یاد شده، ماهیت متفاوت پرشدگی حفره‌ها با زمینه (ماتریکس) سنگ میزبان است. رسوبات پرکننده این حفره‌ها با اندازه ذرات درشت‌تر، میزان فشردگی و سختی بیشتری نسبت به زمینه سنگ میزبان دارند. بر اساس نظر محققان (Han and Pickerill, 1994; Keighley and Pickerill, 1995, Pak and Pemberton, 2003) بر خلاف پالئوفیکوس ماهیت رسوبات پرکننده حفره‌ها دلالت بر تأثیر جاندار سازنده (trace-maker) در تغییر بافت و ساختار رسوبات موجود در حفره و پس‌ریزی فعال در طی عمل حفاری است، به‌گونه‌ای که حفره پلانولیتس در طی ساخته شدن به‌وسیله پس‌ریزی و عمل فشرده‌سازی رسوبات توسط جاندار پر می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین ویژگی‌های ریخت‌شناسی مانند دیواره غالب صاف و بدون تزئینات، عدم تشکیل آستر و ساختارهای ریزشی (collapse features) دلالت بر حفره‌های تغذیه‌ای فعال دارد. اثرگونه‌های پلانولیتس شناخته شده در مطالعات حاضر شامل *P. annularius*، *P. beverleyensis*، *P. montanus* و *P. terraenovae* هستند.

Ichnospices *Planolites beverleyensis* (Billings, 1862)

تابلو ۲ ، شکل a

نمونه: ۱۳ نمونه، L775 (سازند لالون)، همراه با مشاهدات صحرایی فراوان.

ویژگی اصلاح‌شده: حفاری نسبتاً بزرگ، با سطح صاف، مستقیم تا اندکی خمیده یا موج‌دار (توسط Pemberton and Frey, 1982).

توصیف: حفرات استوانه‌ای، بدون آستر، مستقیم تا کمی انحنادار با قطر ثابت هستند. دیواره حفره‌ها فاقد تزئینات و به صورت صاف دیده می‌شود. آرایشی موازی تا نیمه‌موازی با سطح لایه دارند. رسوبات پرکننده حفره‌ها بدون ساختار و به‌صورت توده‌ای و به‌ندرت لامینه‌های موازی را نشان می‌دهند. حفظ‌شدگی نمونه‌ها به صورت‌های متفاوت اپی‌رلیف تا هیپورلیف است. در این اثرگونه، اندازه حفره‌ها در موقعیت‌های گوناگون حفظ‌شدگی، متفاوت است و به‌صورت‌های مختلف از منفرد تا کلنی‌های متراکم و قطع‌کننده همدیگر دیده شده‌اند. بر اساس نظر Pemberton and Frey(1982) اگرچه اندازه و انحنای حفره‌ها نمی‌تواند معیار مفیدی در تاکسونومی آثار فسیل باشد ولی در تفکیک گونه‌های پلانولیتس می‌توانند مفید واقع شوند (Pemberton and Frey, 1982). در مطالعات صحرایی بر روی اثرگونه‌های مختلف پلانولیتس مشخص شد که *P. beverleyensis* نسبت به *P. montanus* انحنای کمتری دارد اما اندازه آن نمی‌تواند معیار مفیدی برای تفکیک باشد. حالت انشعاب کاذب در این اثرگونه زیاد دیده می‌شود.

Ichnospices *Planolites montanus* Richter, 1937

تابلو ۲، شکل b

نمونه: ۱ نمونه، Sh203 (سازند شیرگشت).

ویژگی: پلانولیتس است با اندازه نسبی کوچک، خمیده تا کج شده (contorted).

توصیف: حفره‌های پیچ و خم‌دار (tortuous) تا انحنادار نسبتاً کوچک هستند که حفره‌های آنها طول و قطر کمتری نسبت به *P. beverleyensis* دارند، ولی انحنای بیشتری دارند. غالباً به صورت حفره‌های صاف، نامنظم و بدون تزئینات با مقطع عرضی استوانه‌ای دیده می‌شوند. رسوبات پرکننده حفره‌ها بدون ساختار و به ندرت لامینه‌های موازی را نشان می‌دهد و ویژگی‌های بافتی متفاوت با زمینه سنگ دارند. حفظ‌شدگی نمونه‌ها اغلب به‌صورت اپی‌رلیف است، با این وجود به صورت هیپورلیف محدب نیز دیده شده‌اند. *P. montanus* در این مطالعه در سنگ‌های متفاوتی مشاهده شده است.

Ichnospices *Planolites annularius* Walcott, 1890

تابلو ۲، شکل c, d

نمونه: ۵ نمونه، M916 (سازند میلا) و L762 (سازند لالون) همراه با مشاهدات صحرایی.

ویژگی: حفاری‌های نیمه‌استوانه‌ای با حلقه‌های مشخص.

توصیف: حفره‌های افقی با مقطع عرضی استوانه‌ای تا بیضوی هستند که به‌صورت مستقیم تا سینوسی با تزئینات غالب حلقوی در سطح دیواره دیده می‌شوند. مهم‌ترین ویژگی آنها وجود تزئینات به صورت حلقه‌های خیلی کوچک است که به‌صورت اندازه‌های متفاوت بر روی دیواره حفره‌ها ایجاد می‌شوند. حلقه‌ها فاصله‌های تقریباً منظم از هم دارند. بر اساس نظر Pemberton and Frey(1982) وجود حلقه‌ها در این اثرگونه مرتبط با الگوی حرکتی- تغذیه‌ای جانور اثرساز است، زیرا موجود از این مسیر حرکتی به عنوان کانال تغذیه‌ای استفاده کرده (Bhattacharya and Bhattacharya, 2007) و دارای حرکات دودی (peristalsis) حین حرکت است.

Ichnospices *Planolites terraenovae* Fillion and Pickerill, 1990

تابلو ۲ ، شکل e, f

نمونه: ۲ نمونه، Sh336 (سازند شیرگشت) و L817 (سازند لالون).

ویژگی: پلانولیتسی است که کل سطح آن شیار یا برجستگی‌های طولی موازی و پیوسته دارد.

توصیف: حفره‌های استوانه‌ای بدون آستر با ساختار صفحه‌ای (tubular) و حفظ‌شدگی هیپورلیف محدب برروی سطح زیرین لایه هستند. ساختار کلی حفره به‌صورت لوله‌های نامتقارن U شکل است. مهم‌ترین ویژگی این اثرگونه از پلانولیتس وجود شیارهای نامنظم در سطح حفاری است. *P. terraenovae* شباهت زیادی با *Palaeophycus striatus* دارد، با این وجود، نبود آستر در *P. terraenovae* باعث تفکیک آن از *Plaeophycus striatus* می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

بررسی رخساره‌ای اثرجنس‌های پالئوفیکوس و پلانولیتس در نهشته‌های رسوبی مورد نظر نشان می‌دهد که این دو اثر فسیل حاصل الگوی رفتاری کاملاً متفاوت از هم هستند و بررسی و مطالعه آنها می‌تواند هم در تفکیک رخساره‌های رسوبی و هم در تحلیل حوضه رسوبی بر اساس شرایط دیرینه‌بوم‌شناسی کارآ و مفید باشد. نتیجه مطالعات حاضر نشان می‌دهد که پالئوفیکوس جزو اثر فسیل‌های جانوران معلق‌خوار است و منطبق بر الگوی رفتاری حفاری بسترهای رسوبی (Domichnia or dwelling traces) است، در حالی‌که اثر فسیل پلانولیتس حاصل فعالیت جانوران رسوب‌خوار و دارای الگوی رفتاری تغذیه‌ای (Fodinichnia = feeding traces) است. با توجه به چنین الگوهای رفتاری انتظار می‌رود که این دو ایکنوجنس در محیط‌های رسوبی متفاوت از لحاظ نوع بستر، وضعیت توزیع مواد غذایی، شرایط انرژی و میزان رسوب‌گذاری ایجاد شوند. زیرا جاندار سازنده پلانولیتس به همراه دیگر اثرات رسوب‌خواری مانند کروزیانا (*Cruziana*)، روسلیا (*Rosselia*) و تیچینیوس (*Teichichnus*) به شرایط متعادل از نظر شوری، اکسیژن، انرژی، میزان کم رسوب‌گذاری و بسترهای نرم گلی با میزان بالای مواد آلی نیاز دارند، چنین شرایط را می‌توان محیط‌های پایینی ساحلی تا داخلی شلف (lower shoreface to inner shelf) در شلف آواری تحت تأثیر امواج و محیط‌های پهنه مخلوط (mixed flat) در شلف‌های آواری تحت تأثیر کشند یافت. اما پالئوفیکوس برخلاف پلانولیتس با توجه به سبک تغذیه‌ای جانور ایجاد کننده آن (معلق‌خوار) سازگاری بیشتری با محیط‌های پرانرژی و بسترهای ماسه‌ای جورشده و میزان آهنگ رسوب‌گذاری بالاتر دارد، در نتیجه انتظار می‌رود پالئوفیکوس به همراه دیگر ساخت‌های زیست‌زادی معلق‌خواری همانند اسکولایتوس (*Skolithos*) و دیپلوکراتریون (*Diplocraterion*) در محیط‌های پرانرژی همچون قسمت‌های بالایی و میانی حاشیه ساحلی (middle/upper shoreface) و پیش‌ساحل (Foreshore)، در شلف آواری تحت تاثیر امواج عادی یا امواج توفانی یا در پهنه‌های ماسه‌ای (sand flat) شلف‌های آواری تحت تأثیر کشند یافت شود.

با عنایت به دست‌آوردهای یاد شده، محیط رسوبی بخش شیلی سازند لالون، محیط خلیج دهانه‌ای تحت تأثیر امواج و دارای ارتباط آزاد با آب

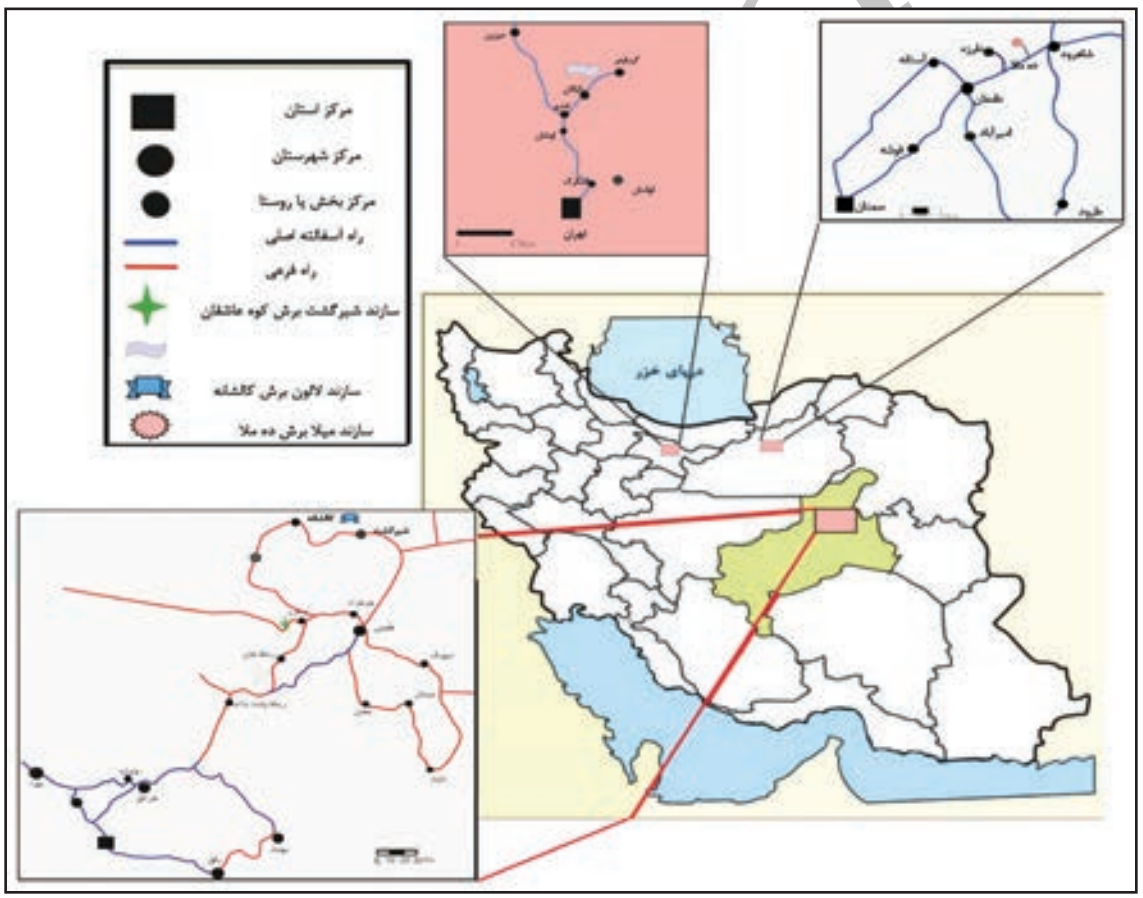
Archive of SID

www.SID.ir

دریا، محیط تحت نوسانات امواج در حد بین موجسار هوای توفانی و آرام تفسیر می‌شود. همچنین برای سازند شیرگشت محیط‌های موجسار هوای آرام در بسترهای نرم دانه‌ریز، زیر محیط‌های برون کرانه‌ای و پایینی حاشیه ساحلی تا نواحی برون کرانه–حاشیه ساحلی موجسار هوای توفانی و شرایط پرانرژی ساحلی و برای بخش پنج سازند میلا محیطی با جریانات توفانی یا تمپستایت (Tempestites) مجموعه پیش از توفان شامل مجموعه پلانولیتس با استراتژی انتخاب شده K. و مجموعه ناپایدار توفانی شامل مجموعه پالئوفیکوس با استراتژی انتخاب شده r. و بالاخره سازند جیرود در یک محیط محیط دلتایی حاشیه شلف (shelf margin delta) ته‌نشست شده است.

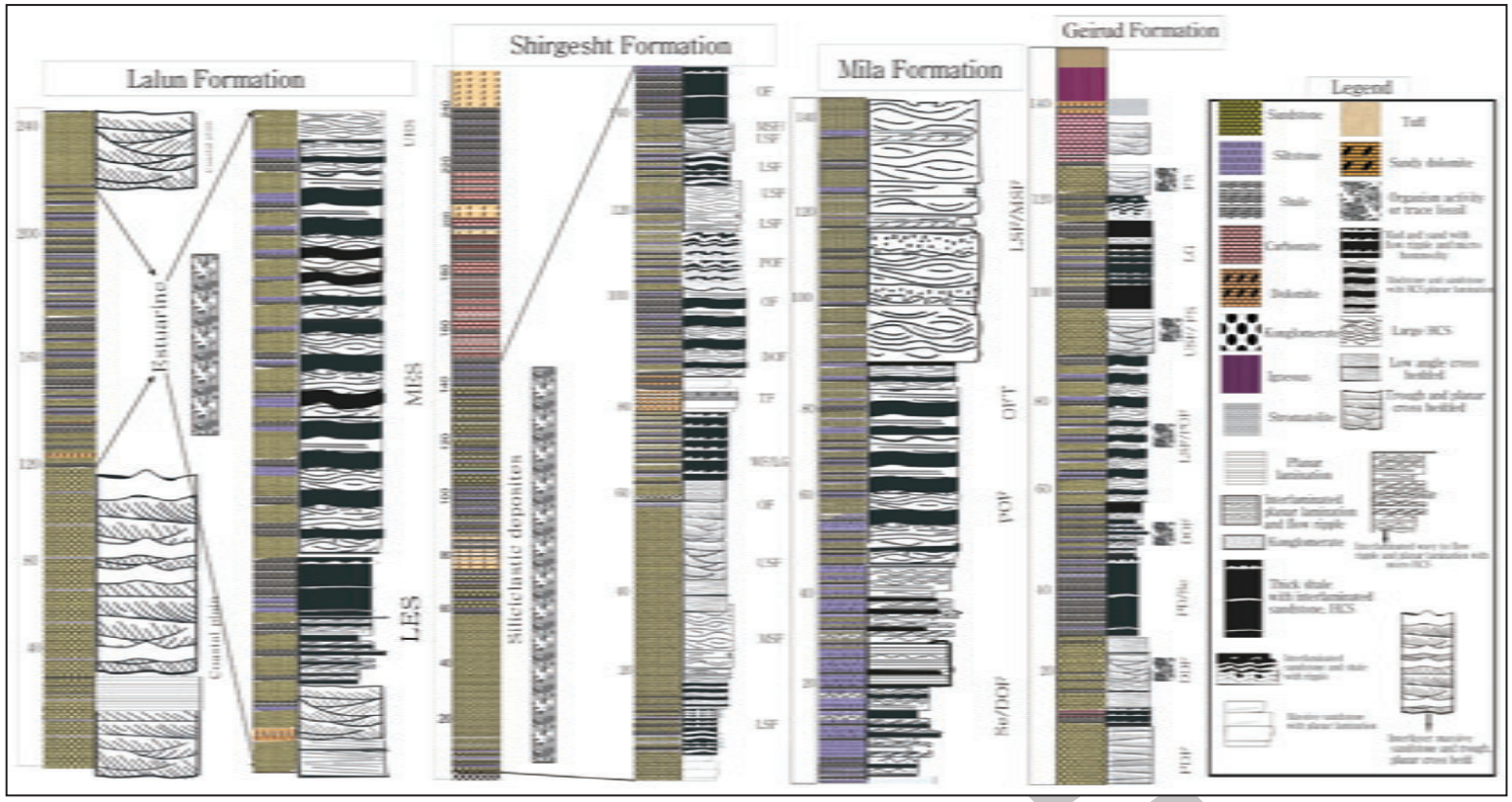
سپاسگزاری

بدینوسیله از مدیر محترم گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات برای مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی سپاسگزاریم. از همکاری آقایان مهدی شادان و اسد عبدی به خاطر همراهی در جمع‌آوری نمونه‌ها و مطالعات صحرایی سازند شیرگشت تشکر می‌شود. از همکاری آقای دکتر مصدق از دانشگاه علوم پایه دامغان به خاطر همراهی و معرفی بخش ۵ سازند میلا و دکتر عاشوری از گروه زمین شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی به خاطر راهنمایی درباره برش مورد مطالعه سازند لالون تشکر و قدردانی می گردد.



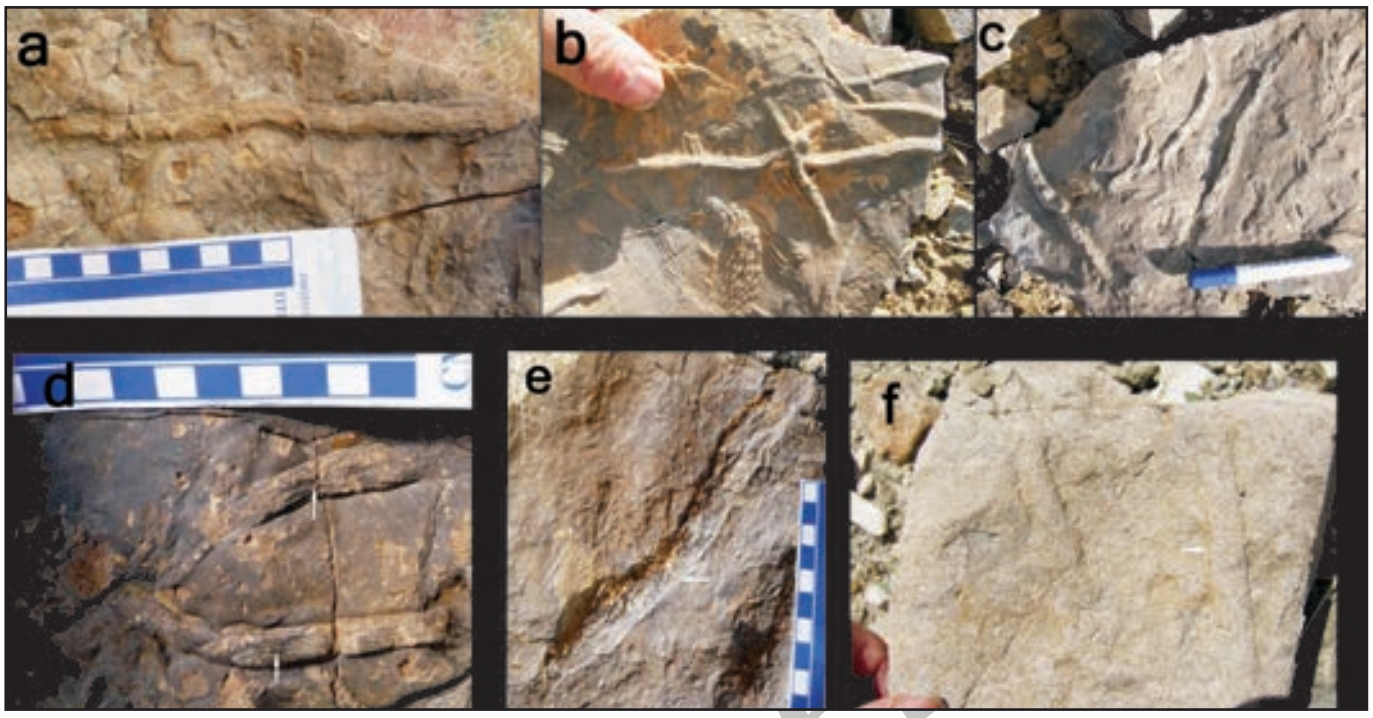
شکل ۱– نقشه موقعیت جغرافیایی برش‌های چینه شناسی از سازندهای لالون، شیرگشت، میلا و جیرود.

www.SID.ir

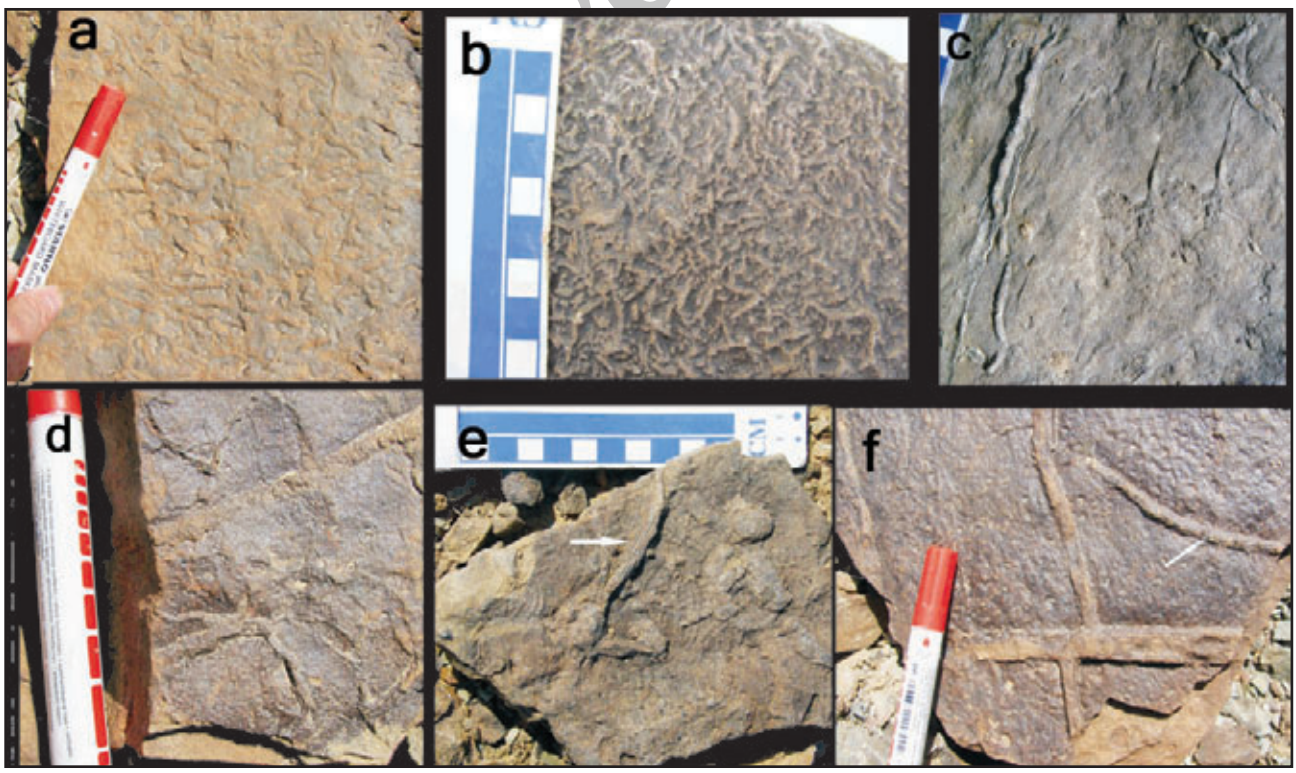


شکل ۲- ستون چینه‌شناسی سازندهای مورد مطالعه با توجه به محل فعالیت جانداران ایجاد کننده آثار فسیل و ساختارهای رسوبی غیرزیستی همراه آنها. در سازند شیرگشت و بخش ۵ سازند میلا اثر فعالیت جانداران در طول تمام ستون مشاهده شده است. مخفف‌های به کار رفته عبارتند از:, LSE=Lower estuarine, MSE=Middle estuarine, USE= Upper estuarine, LSF=Lower shorface, MSF=Middle shorface, USF=Upper shorface, OF=Offshore, WF=Washover fan, LG=lagoon, TF=Tidal flat, DOF=distal lower shorface, POF=proximal lower shorface, Se=Shelf, OFT=Offshore transition, FS=Foreshore, PDF=Proximal delta front, DDF=Distal delta front, PD=Prodelta.

www.SID.ir



تابلوی ۱- a) *Palaeophycus alternatus* در نهشته‌های طوفانی سازند میلا با آثار شیاری و حلقوی متناوب بر روی دیواره حفره‌ها. b) ماهیت پرشدگی توده‌ای و همسان حفره‌ها *P. heberti* همراه با گسترش شیار در قسمت مرکزی حفره‌ها و تقسیم آنها به دو دیواره نازک (سازند شیرگشت). c) وجود آثار ریزشی در دیواره *P. heberti* (سازند لالون). d) گسترش آثار شیاری طویل (longitudinal striae) و موازی بر روی حفرات *P. striatus* سازند میلا، پیکان‌ها. e) گسترش آثار شیاری نامنظم، موجی تا قطع‌کننده همدیگر در *P. sulcatus* سازند جیـــرود، f) آستر در *P. tubularis* و ماهیت همسان پرشدگی رسوب حفرات با سنگ میزبان (عضو ۵ سازند میلا). مقیاس‌ها به سانتی‌متر هستند و پهنای ماژیک ۱۵ میلی‌متر است.



تابلوی ۲-a) گسترش *Planolites beverleyensis* به تعداد فراوان و پرشدگی حفره‌ها از رسوبات گلی متفاوت با زمینه ماسه‌ای سنگ میزبان (سازند لالون). b) گسترش اثرات پیچ‌خورده و انحنادار کوچک *P. montanus* (سازند شیرگشت). c و d) گسترش آثار حلقه‌ای با اندازه متفاوت و تا حدی فاصله منظم *P. annularius* سازند میلا (c) و سازند لالون (d). e و f) گسترش آثار شیاری طویل (longitudinal striae) و موازی تا نیمه موازی در حفره‌ها *P. terraenovae* (پیکان‌ها) بدون آستر سازند شیرگشت (e) و سازند لالون (f) همراه با آثار ترک‌های گلی. مقیاس‌ها به سانتی‌متر می‌باشند و پهنای ماژیک ۱۵ میلی‌متر است.

www.SID.ir

جدول ۱- رخساره‌ها و تحلیل محیطی اثرفسیل‌های *Planolites* و *Palaeophycus* در رسوبات مورد مطالعه.

تحلیل محیط رسوبی در این مقاله	پیشینه تعیین محیط رسوبی	اثرفسیل *Palaeophycus*			اثر فسیل *Planolites*			واحد چینه نگاری
		رخساره اثرفسیلی	رخساره سنگی	اثر فسیل های همراه	رخساره اثرفسیلی	رخساره سنگی	اثر فسیل های همراه	
محیط خلیج دهانه‌ای تحت تأثیر امواج و دارای ارتباط آزاد با آب دریا، محیط تحت نوسانات امواج در حد بین موجسار هوای طوفانی و آرام	ساحلی تا بخش انتهایی رودخانه (طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۶)، ساحلی- کشندی (اعتماد سعید و حسینی، ۱۳۸۹)، پلاتفرم رمپ آمیخته تخریبی-کربناته با خلیج دهانه‌ای میکروتاید (لاسمی و امین رسولی، ۱۳۸۲)	ایکنوفاسیس اسکولایتوس	لایه‌های ماسه‌سنگی با ساخت‌های رسوبی توفانی و اثرات معلق خوار	*Bergaueria, Diplocraterion, Skolithos*	کروزیانا	لایه‌های سیلتستونی و ماسه سنگ سیلتی همراه با با آثار گریزینگ و تغذیه‌ای	*Aulichnites, Cruziana, Diplichnnites, Gordia, Monomorphichnus, Phycosiphon*	واحد شیلی سازند لالون
موجسار هوای آرام در بسترهای نرم دانه‌ریز، زیر محیط‌های دور از ساحل و پایینی حاشیه ساحلی تا نواحی دوراز ساحل-حاشیه ساحلی موجسار هوای توفانی و شرایط پرانرژی ساحلی	شلف باز سیلیسی آواری تحت نوسانات موجسار هوای آرام و توفانی در زیر محیط‌های چون حاشیه ساحلی، برون کرانه‌ای (دور از ساحل) و جزایر سدی- کولابی (لاگون) بایت‌گل و همکاران (۱۳۸۹) و برزی و بایت گل (۱۳۸۹)	ایکنوفاسیس اسکولایتوس	بسترهای ماسه‌ای جورشده به همراه آثار معلق خوار	*Skolithos, Bergaueria, Diplocraterion, Rosselia, Arenicolites, Psilonichnus, Lockeia, Asterosoma Monocraterion,*	ایکنوفاسیس کروزیانا	بسترهای نرم گلی همراه با آثار گریزینگ و تغذیه‌ای	*Rusophycus, Cruziana, Thalassinoides, Chondrites, Rosselia, Lockeia, Bergaueria, Diplichnnites, Asterosoma, Teichichnus, Phycodes, Helminthopsis,Gordia, Cylindrichnus, Zoophycos, Psammichnites*	سازند شیرگشت
حاصل جریانات توفانی یا تمپستایت (Tempestites): مجموعه قبل از توفان شامل مجموعه پلانولیتس با استراتژی K-selected. مجموعه ناپایدار توفانی شامل مجموعه پالئوفیکوس با استراتژی r-selected.	بخش‌های ژرف دریا در زیر محیط های بادزن‌های زیر دریایی و دشت حوضه‌ای ، فاقد نهشته‌های توربیدیتی، سرداری و لاسمی (۱۳۷۹)	ایکنوفاسیس اسکولایتوس	رسوبات توفانی	*Diplocraterion, Arenicolites Skolithos, Palaeophycus,*	ایکنوفاسیس کروزیانا	رسوبات ریزدانه و نرم همراه با با آثار گریزینگ و تغذیه‌ای	*Rusophycus, Cruziana Helminthopsis, Psammichnites, Rosselia Diplichnnites, Aulichnites, Gordia, Paleodictyon, Treptichnus, Thalassinoides, Circulichnis, Zoophycos*	بخش ۵ سازند میلا
محیط دلتایی حاشیه شلف (shelf margin delta)	حدواسط (دلتایی، سد و خلیج دهانه‌ای) تا دریایی (لاسمی و همکاران ۱۳۸۳، محمد خانی و خزایی ۱۳۸۴)	تناوب رخساره کم انرژی *Planolites* دریایی و *Skolithos* دلتایی	لایه‌های ماسه‌سنگی نازک تا ستبرلایه و شیل‌های دریایی	*Planolites, Skolithos, Diplocraterion*	اسکولایتوس با محیط گل آلود	رسوبات دانه درشت با با میان لایه‌های شیلی	*Thalassinoides, Rhizocorallium irregular, Asterosoma,*	سازند جیرود
					رخساره کروزیانا	شیلی و سیلتی سیاه رنگ با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و سیلتی با لامینا‌سیون موازی تا کم زاویه، توده‌ای و چینه بندی مورب پشته‌ای در مقیاس کوچک‌تر	*Chondrites, Zoophycos*	

Archive of SID

کتابنگاری

اخروی، ر.، عباسی، ن. و ربانی. ا. ، ۱۳۷۸- استفاده از داده‌های میکروفاسیسی در ایکنولوژی آهک ورمیکوله سازند الیکا (تریاس زیرین) در برش سربندان. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۲۵، شماره ۲، صفحات ۱۵۴-۱۳۷.

اعتماد سعید، ن. و حسینی برزی، م.، ۱۳۸۹- رخساره‌های سنگی، محیط رسوبی و تغییرات نسبی سطح آب در نهشته‌های منتسب به سازند لالون، برش باهمو، بلوک پشت بادام. فصلنامه علوم زمین، تابستان ۸۹ سال نوزدهم، شماره ۷۶.

حسینی برزی، م. و بایت گل، آ.، ۱۳۸۹- تحلیل رخساره‌ای و محیط رسوبی نهشته‌های سیلیسی آواری- کربناته سازند شیرگشت در بلوک کلمرد ایران مرکزی. رخساره‌های رسوبی. جلد ۲، شماره ۱. ص ۱-۲۴.

بایت گل، آ.، محبوبی، ا.، حسینی برزی، م. و موسوی حرمی، ر.، ۱۳۸۹- مدل ایکنولوژیکی نهشته‌های آواری سازند شیرگشت در زیر پهنه کلمرد ایران مرکزی. مجله چینه‌نگاری و رسوب دانشگاه اصفهان. دوره ۲۶ شماره ۱، ص. ۶۸-۴۳.

سرداری، ا. و لاسمی، ی.، ۱۳۷۹- بررسی میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی عضو ۵ سازند میلا در البرز شرقی. چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. فشرده مقالات، ص. ۶۴۶.

طباطبایی، و.، حسینی برزی، م. و قدسی،ع.، ۱۳۸۶- محیط رسوبی و برخاستگاه زمین ساختی سازند لالون در مقاطع مسکین و شورگل آذربایجان غربی. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

لاسمی، ی.، امین رسولی، ه.، ۱۳۸۲- چینه نگاری سکانسی واحدهای شیلی و کوارتزیتی بالایی سازند لالون در ناحیه تویه-دروار (جنوب باختری دامغان). فصلنامه علوم زمین. سال یازدهم. شماره ۴۸-۴۷. ص ۶۷-۴۸.

لاسمی.ی.، قوچی اصل، ا. و امین رسولی، ه.، ۱۳۸۳- نهشته‌های طوفانی آواری و کربناته سازند جیرود در ناحیه تویه-دروار (جنوب باختر دامغان). هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

محمدخانی، ح. و خزایی، م.، ۱۳۸۴- محیط رسوبی و چینه نگاری سکانسی سازند جیرود در دره مبارک آباد و شمال شرق روستای زایگون، (البرز مرکزی). بیست و چهارمین همایش سازمان زمین شناسی کشور.

References

Bhattacharya, B., Bhattacharya, H.N., 2007- Implications of trace fossil assemblages from late Paleozoic glaciomarine Talchir Formation, Raniganj basin, India. Gondwana Research 12: 509 –524.

Bann, K.L. and 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, Lyell Meeting 2003, The Geological Society of London, 228: 273-307.

Bann, K.L., Fielding, C.R., MaCeachern, J.A., S.C., Tye, S.C., 2004- Differentiation of estuarine and offshore marine deposits using integrated ichnology and sedimentology: Permian Pebbley Beach Formation, Sydney Basin, Australia in McIlroy, D. (ed), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis, Lyell Meeting 2003, The Geological Society of London, v. 228, p. 179-211.

Bassler, R. S., 1915- Bibliographic index of American Ordovician and Silurian fossils. U. S. Natl. Museum, Bull. 92 (1): 718 pp.

Billings, E., 1862- New species of fossils from different parts of the Lower, Middle and Upper Silurian rocks of Canada. In: Palaeozoic Fossils, Geological Survey of Canada, 1: 96-168.

Bromley, R.G., 1996 - Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications. Chapman & Hall, London. 361 pp.

Bromley, R.G. and Ekdale, A.A.,1986- Composite ichnofabrics and tiering of burrows. Geological Magazine, 123, 59-65.

Buatois, L.A. and Mángano, M.G.,2002 - Trace fossils from Carboniferous floodplain deposits in western Argentina: Implications for ichnofacies models of continental environments. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 183: 71–86.

Buatois, L.A. and Mángano, M.G.,2003 - Sedimentary facies, depositional evolution of the Upper Cambrian–Lower Ordovician Santa Rosita formation in northwest Argentina. Journal of South American Earth Sciences 16: 343–363.

Dott, R.H., Jr. and Bourgeois, J., 1982- Hummocky stratification: significance of his variable bedding sequences. Geological Society of America, Bulletin 93: 663-680.

Fillion, D. and Pickerill, R.K., 1984- Systematic ichnology of the Middle Ordovician Trenton Group, St, Lawrence Lowland, eastern Canada. Maritime Sediments and Atlantic Geology. 20(1): 1-41.

Gilbert, J.M. and Martinell, J., 1998- Ichnofacies of the Pliocene marginal marine basins of the northwestern Mediterranean. Rev.Soc.Geol. Espana, 11(1-2): 43-56.

Gingras, M.K., MacEachern, J.A., Pemberton, S.G., 1998- A comparative analysis of the ichnology of wave-and river- dominated allomembers of the Upper Cretaceous Dunvegan Formation. Bulletin of Canadian Petroleum Geology 46: 51 – 73.

Gingras, M.K., Räsänen, M.E., Pemberton, S.G., Romero, L.P., 2002- Ichnology and sedimentology reveal depositional characteristics of baymargin parasequences in the Miocene Amazonian foreland basin. Journal of Sedimentary Research 72: 871–883.

Hall, J., 1847- Palaeontology of New York, State of New York (Albany, N. Y.), v 1. 338. pp.

Han, Y. and 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.

Häntzschel, W., 1975- Trace fossil and Problematica. In: C.Teichert, (ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology, PartW, miscellanea, Supplement I, Geological Society of America and University of Kansas Press, 269 pp.

Jensen, S., 1997- Trace fossils from the Lower Cambrian Mickwizia sandstone, south-central Sweden. Fossils and strata. 42: 3-101.

Keighley, D.G. and Pickerill, R.K., 1995- The ichnotaxa *Palaeophycus* and *Planolites*: Historical perspectives and recommendations. Ichnos, 3: 301–309.

Archive of SID

www.SID.ir

Keighley, D.G. and Pickerill, R.K., 1997- Systematic ichnology of the Mabou and Cumberland groups (Carboniferous) of Western Cape Breton Island, eastern Canada, 1: burrows, pits, trails and coprolites. Altantic Geology, 33: 181-215.

MacEachern, 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, Section B 69: 876 – 892.

MacEachern, J.A., Bann, K.L., Bhattacharya, J.P., Howell, C.D., 2005- Ichnology of deltas: organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storm and tides. In: Giosan, L., Bhattacharya, J.P. (Eds.), River Deltas Concepts, Models and Examples: SEPM special Publication, No. 83: 49 –85.

MacEachern, J.A., Pemberton, S.G., Gingras, M.K. and Bann, K.L., 2007- The ichnofacies paradigm: a fifty-year retrospective.. In: Miller, W. (ed.), Trace Fossils. Concepts, Problems, Prospects. Elsevier, Amsterdam. pp. 52–77.

Malpas , J.A. Gawthorpe, R.L. Pollard, J.E. and Sharp, I.R., 2005- Ichnofabric analysis of the shallow marine Nukhul Formation (Miocene), Suez Rift, Egypt: implications for depositional processes and sequence stratigraphic evolution. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 215: 239 – 264.

Mángano, M.G., Buatois, L.A., Guinea, M., 2005- Ichnology of the Alfarcito Member (Santa Rosita Formation) of northwestern Argentina: animal–substrate interactions in a lower Paleozoic wave-dominated shallow sea. Ameghiniana 42: 641 – 668.

Mcilroy, D., 2004- Ichnofabrics and sedimentary facies of a tide-dominated delta: Jurassic Ile Formation of Kristin Field, Haltenbanken, Offshore Mid-Norway, in McIlroy, D., (ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Lyell Meeting 2003, The Geological Society of London, Special Publication 228: 237–272.

Miller, M.F., 1979- Paleoenvironmental distribution of trace fossils in the Catskill deltaic complex, New York State. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 28: 117 – 141.

Miller, S.A. and Dyer, C. B. , 1878- Contribution to paleontology, n 1. Journal of Cincinnati Society of Natural History, 1:24–39.

Moslow, T.F. and Pemberton, S.G. , 1988- An integrated approach to the sedimentological analysis of some Lower Cretaceous shoreface and delta front sandstone sequences, in D.P. James and D.A. Leckie, (eds.), Sequences, Stratigraphy, and Sedimentology: Surface and Subsurface. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 15: 337–386.

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.

Pak, R. and Pemberton, S.G., 2003- Ichnology of the Yeoman Formation of southern Saskatchewan – preliminary report; in Summary of Investigations 2003, Volume 1, Saskatchewan Geological Survey, Sask. Industry Resources, Misc. Rep. 2003-4.1, Paper A-3, 16p.

Pemberton, S.G. and Frey, R.W., 1982- Trace fossil nomenclature and the *Planolites-Palaeophycus* dilemma; J. Paleont., v. 56: 843-881.

Pemberton, S.G. and MacEachern, J.A., 1995- The sequence stratigraphic significance of trace fossils: examples from the Cretaceous foreland basin of Alberta, in Van Wagoner, J.C., and Bertram, G., eds., Sequence Stratigraphy of Foreland Basin Deposits- outcrop and subsurface examples from the Cretaceous of North America: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 64, p. 429-470.

Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. and Ranger, M. J., 1992a- Ichnology and event stratigraphy: the use of trace fossils in recognizing tempestites. In: Pem-Berton, S. G. (ed.) Applications of Ichnology to Petroleum Exploration: A Core Workshop. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshops, Tulsa, Oklahoma, 17: 85-118.

Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. and Frey, R. W., 1992b- Trace fossil facies models environmental and allostratigraphic significance. In: Walker, R. G. & James, N. P. (eds) Facies Models: Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada, St Johns Newfoundland: 47-72.

Pemberton, S.G., Spila, M., Pulman, A.J., Saunders, T., MacEachern, J.A., Robins, D. and Sinclair, I.K., 2001- Ichnology and sedimentology o f shallow to marginal marine systems: Ben Nevis and Avalon Reservoirs, jeanne D'Arc Basin. Geol. Assoc. Can.. Short Course Notes, 15: 353.

Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. and Saunders, T., 2004- Stratigraphic applications of substrate-specific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record, in McIlroy, D., (ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Geological Society of London, Special Publication 228: 29-62.

Ritcher, R., 1937- Marken und Spuren aus alten Zeiten I-II. Senckenbergiana, 19: 150-169.

Ruttner, A., Nabavi, M.H. and Hajian, J., 1991- Geology of the Shirgesht area (Tabas area, east Iran). Geological Survey of Iran, Geol. Rep. No. 4, 133p.

Saporta, G. de., 1872-1873- Paléontologie française ou description des fossiles de la France (commenée par Alcide d'Orbigny et) continuée par une réunion de paléontologisttes sous la direction d'un comité special. Série 2.. Végétaux. Plantes Jurassique, 1. G. Masson, Paris: 506 pp. [1872=pp. 1-432, pls. 1-60 ; 1873=pp. 433-506, pls. 61-70].

Sarkar. S . and Kumar, S. G. and Chakraborty, C., 2009- Ichnology of a Late Palaeozoic ice-marginal shallow marine succession: Talchir Formation, Satpura Gondwana basin, central India. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 283. 28 –45.

Walcott, C.D., 1890- Descriptive notes of new genera and species from the Lower Cambrian or *Olenellus* zone of North America. Proceedings of the United States National Museum, 12 (for 1889): 33-46.

Walter M. R., Elphinstone R and Heys, G. R., 1989- Proterozoic and Early Cambrian trace fossils from the Amadeus and Georgina Basins, Central Australia. Ichnos 3: 209- 256.

Archive of SID

www.SID.ir

Petrography and Geochemistry of Boket Residual Ores, NE Ajabshir, East-Azarbaijan Province, Iran

H. Khalilzadeh[1], A. A. Calagari[2*], A. Abedini[3] & H. Rahimpour-Bonab[1]

[1]Geology Faculty, College of Science , Tehran University, Tehran , Iran.
[2]Geology Department, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz , Iran.
[3]Geology Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: 2010 June 22 Accepted: 2011 February 19

Abstract

Boket residual horizon is located in ~15 km northeast of Ajabshir, East-Azarbaijan province. This horizon was developed as stratiform lenses along the contact of Ruteh (middle-upper Permian) and Elika (Triassic) carbonate formations. The ores within this horizon display pelitomorphic, micro-granular, micro-ooidic, pseudo-porphyritic, ooidic, pisoidic, pseudo-breccia, and nodular textures. Based on geochemical data, the ores within this horizon are divided into five types, (1) ferritic laterite, (2) bauxitic laterite, (3) kaolinitic laterite, (4) ferritic kaolinite, and (5) laterite. Comparison of distribution patterns of elements across a selected profile indicates the effective role of Al and Ti in distributing and concentrating of Zr, Ga, Nb, Th, V, and HREEs within the ores. Incorporation of data obtained from petrographical and geochemical studies shows that the ores have authigenic origin. Furthermore, factors such as chemical variations of weathering solutions, fixation in neomorphic phases, existing in resistant minerals, heterogeneity of protolith, differences in the degree of weathering intensity, and adsorption processes coupled with weak drainage, diagenesis, dynamic pressures, and fluctuation of underground water table played crucial roles in distribution and development of ores within this horizon. The most notable geochemical characteristics of the ores (except in kaolinitic laterite) is the greater mobility of LREEs relative to HREEs during weathering processes. This abnormal behavior within the horizon could be related to factors such as differences in stability of primary minerals containing REEs, the pH variation (from 6.7 to 7.8) of weathering solutions, and moderate degree of evolution of the profile.

Keywords: Ajabshir, Boket, Laterite, Distribution of Elements, Residual Horizon.

For Persian Version see pages 175 to 184

*Corresponding author: A. A. Calagari; E-mail: calagari@tabrizu.ac.ir

Facies Analysis and Environmental Interpretation of *Planolites* and *Palaeophycus* Trace Fossils from Paleozoic Sediments of Mid-Iran Zone

A. Bayat Gol[1], N. Abbassi[2*], A. Mahboubi[1], R. Moussavi-Harami[1], H. Amin Rasouli[3]

[1]Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[2] Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[3]Department of Geology, Natural Resources Faculty, Kordestan University, Sanandaj, Iran

Received: 2010 September 18 Accepted: 2011 January 08

Abstract

Some of Paleozoic sediments from Alborz and Central Iran subzones from Mid-Iran zone evaluated for distinction of *Palaeophycus* and *Planolites* ichnofossils. These sediments include Shale Member of Lalun Formation, Shirgesht Formation, member 5 of Mila Formation and Geiroud Formation. A diverse ichnofauna has been found in these Formations, so *Planolites* and *Palaeophycus* are abundant between them. Ichnotaxa diagnosis and some determination problems of these ichnogenera was discussed here. Overall characteristics of *Palaeophycus* suggest dwelling structure made by predator or suspension-feeder and passive sedimentation in the open burrow. *Planolites*, on the other hand imply active backfilling structure in ephemeral burrows, which constructed by a mobile deposite-feeder. *Planolites* include unlined burrows with infilled sediments differ texturally from host rock. Whereas *Palaeophycus* is lined burrow filled by same sediments of surrounding matrix. Accordingly, Palaeophycus assemblage members made by opportunistic communities with r-selected population strategies in physically-controlled and unstable environment, whereas ichnofossils of Planolites assemblage are related to benthic communities with displaying K-selected or climax strategies in the stable environments and rather predictable conditions. Recognized ichnospecies of *Planolites* are

Archive of SID
www.SID.ir

P. montanus, P. annularis, P. terraenovae and *P.beverleyensis*. and ichnospecies of *Palaeophycus* include *P. heberti, P. tubularis, P. striatus. P. sulcatus and P. alternates.*

Keywords: Paleozoic, Ichnogeneus, Ichnospecie, *Palaeophycus*, *Planolites*, Alborz, Central Iran.

For Persian Version see pages 185 to 196

*Corresponding author: N. Abbassi ; E-mail: abbasi@mail.znu.ac.ir

Trophic Habitats and Paleoecology of Marine Gastropods from the Bakhtiari Succession (Shalamzar Area, Central-Western Iran)

A. H. Rahiminejad[1*], M. Yazdi[2] and A. R. Ashouri[1]

[1] Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran,
[2] Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran,

Received: 2010 December 20 Accepted: 2011 April 10

Abstract

Shallow marine gastropod assemblages of the recently discovered marine sequence of the Bakhtiari clastic succession in the Zagros Basin are studied in the Shalamzar area. The systematic studies of the fauna yielded 21 genera and 9 species of gastropods from 20 families distributed in 7 facies. The molluscs are from the following families: Turritellidae, Cerithiidae,Volutidae, Ranellidae, Strombidae, Muricidae, Conidae, Naticidae, Mitridae(?), Olividae, Cancellariidae, Triforidae, Melongenidae, Aclididae, Plesiotrochidae, Cypredae, Sorbeoconcha, Trochidae, Turbinidae and Buccinidae (?)indet. The abundant species and genera belong to the families of Cerithiidae, Strombidae, Turritellidae and Turbinidae. Detailed paleoecology interpretation was made based on the trophic habitats of the gastropods. The habitats are distinguished as four types of trophic categories including Carnivores, Herbivores, Omnivores and facultative mobile suspension feeders. The herbivorous gastropods dominate the faunal assemblages due to the high accumulation of detritus and plant organic matters within the sediments. The distribution of the gastropods is controlled by their trophic habitats that directly depend on the environmental changes such as water turbulence, sedimentation and suspension rates, detritus input, and water energy. The gastropod assemblages describe an environment ranging from the higher energy intertidal zone to the deeper and lower stage of an oligophotic zone within a middle ramp. The test size of the molluscs was also controlled by the ecological factors. Abundant nutrients as well as deeper basin conditions decreased the shell size of some groups of gastropods. The larger shells appeared in the shallower depth zones with a lack of nutrients. The occurrence of the mentioned gastropod taxa and Miocene faunistic relationship with adjacent bioprovinces represent a faunal exchange between the Zagros basin and Mediterranean and Parathethys seaway by a shallow pathway trough. A weak marine connectivity with Caribbean Sea and Indian Ocean is also reflected by the faunal groups.

Keywords: Bakhtiari Succession, Shalamzar Area, Gastropod, Trophic Habitate, Paleoecology, Faunistic Relationship

For Persian Version see pages 197 to 210

*Corresponding author: A. H. Rahiminejad; E-mail:mrrahiminejad7@gmail.com

Estimation of Tectonic Slip Rate of Northern Band of Tehran by using GPS

Y. Djamour [1*], S. Hashemi Tabatabaei [2], M. Sedighi [3] & H. R. Nankali [3]

[1] Geomatics College, National Cartographic Center, Tehran, Iran
[2] Building and Housing Research Center, Tehran, Iran
[3] Geodetic Departments, National Cartographic Center, Tehran, Iran

Received: 2010 June 30 Accepted: 2010 December 07

Abstract

In previous decades, using traditional geodetic observations such as distance and angle measurements was prevalent in the earth surface displacement studies. After accessing to satellite positioning systems with a high precision ability such as GPS, we encountered to an upheaval

Archive of SID
www.SID.ir