

# اثرشناسی سازند جیرود در رخدادهای هانگبرگ (فامنین - تورنژین)، برش زایگون، البرز مرکزی

نارام بایت گل<sup>۱</sup> و نصرالله عباسی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۸/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۰۵

## چکیده

در این مقاله بررسی دقیق اثرشناسی (Ichnology) نهشت‌های سازند جیرود به سن دونین پسین در برش شمال روستای زایگون در البرز مرکزی انجام شده است. سازند جیرود در این برش چینه‌شناسی مجموعه گوناگونی از اثر فسیل‌ها دارد که در بردارنده ۱۴ اثر جنس با ۲۳ اثرگونه است. این اثر فسیل‌ها نشان‌دهنده رفتارهای پناه‌گاهی، تغذیه‌ی، گریزینگ، تعادلی و فراری هستند و شامل: *Chondrites isp.*, *Chondrites targionii*, *Arenicolites isp.*, *Asterosoma isp.*, *Chondrites intricate*, *Palaeophycus heberti*, *Palaeophycus tubularis*, *Helminthopsis isp.*, *Diplocraterion parallelum*, *Helminthoidichnites isp.*, *Helminthopsis abeli*, *Rosselia soccialis*, *Rhizocorallium jenense*, *Rhizocorallium irregular*, *Planolites beverleyensis*, *Planolites isp.*, *Phycodes cf. palmatus*, *Zoophycos isp.*, *Thalassinoides paradoxicus*, *Thalassinoides suevicus*, *Taenidium satanassi*, *Talassinoides horizontalis*, *Taenidium serpentinum* می‌باشند. لایه‌های دربردارنده این اثر فسیل‌ها شامل تناوب گل‌سنگ و سیلتستون ریزلایه‌ای همراه با ماسه‌سنگ‌ها متوسط تا سبتر لایه با ریزلایه‌بندی (لامیناسیون) موجی، چینه‌بندی مورب پشته‌ای، تراف و مسطح تا کم زاویه است، محیط ته‌نشست این لایه‌ها محیط دلتایی-دریایی باز تفسیر می‌شناسایی شده، ویژه محیط‌های دریایی به نسبت کم‌ژرفا با شرایط پراثرژی است. همچنین یک مجموعه اثر فسیلی تیره رنگ در مرز دونین-کربنیفر در بالاترین افق شیلی سیاه‌رنگ سازند جیرود بررسی شد. این مجموعه شامل *Chondrites targionii* و *Zoophycos isp.* است. این دو اثر جنس تحت تأثیر رخداد هانگبرگ در مرز دونین-کربونیفر بوده‌اند. وجود چنین رخدادی در حوضه البرز برای اولین بار برپایه مطالعات اثرشناسی در این مقاله گزارش می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** اثرشناسی، سازند جیرود، البرز، رخداد هانگبرگ

\*نویسنده مسئول: نصرالله عباسی

E-mail: abbasi@znu.ac.ir

## ۱- پیش‌گفتار

هستند. این سازند در برش الگو با ستبرای ۷۶۰ متر در شمال روستای جیرود (شمال خاوری تهران) با ناپیوستگی فرسایشی روی سنگ‌های اردوویسین قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳).

Assereto & Gaetani (1964) سازند جیرود را به ۴ عضو A، B، C و D بخش کردند. اما در مطالعات بعدی نهشته‌های تخریبی عضو A با سن دونین پسین به عنوان سازند جیرود در نظر گرفته شد (Bozorgnia, 1973). برپایه مطالعات Gaetani (1965) سن سازند جیرود در بخش نخست فراژین تا فامنین پیشین و بخش بالایی آن در لایه‌ای تخریبی بالای توده بازالتی فامنین پسین-تورنژین پیشین است. در بررسی‌های صحرایی انجام شده روی سازند جیرود در برش زایگون، اثر فسیل‌های گوناگونی یافت شدند که زمینه مناسبی را برای مطالعه اثرشناسی فراهم کرده‌اند. این گوناگونی می‌تواند در بازسازی شرایط دیرین‌بوم‌شناسی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانتسی-موضوعات اصلی بحث این مقاله-سودمند باشند. همچنین با توجه به رخداد هانگبرگ (Hangenberg) در مرز دونین-کربنیفر از اهداف دیگر این مطالعه، بررسی اثر فسیل‌های موجود در واحد شیلی سیاه‌رنگ مرز فامنین بالایی-تورنژین سازند جیرود و نوع الگوی رفتاری اثر فسیل‌های این واحد و انطباق آن با رخداد یادشده است.

لازم به یادآوری است که مطالعه حاضر با استفاده از امکانات پژوهشی دانشگاه زنجان انجام پذیرفته است. بیشتر نمونه‌های بررسی شده غیرقابل برداشت بوده و شماره‌گذاری نمونه‌ها در متن مقاله بر پایه مشاهدات صحرایی صورت گرفته است. تعدادی نمونه‌های گردآوری شده در آزمایشگاه دانشگاه‌های فردوسی مشهد و زنجان نگهداری می‌شوند.

چرخه کوهزایی هرسینین در حوضه البرز معمولاً به صورت حرکات‌های خشکی‌زایی رفتار کرده است، برای نمونه در پایان دونین حرکت خشکی‌زایی مثبت کوچکی در البرز مرکزی رخ داده است که با وجود کنگلومرا در قاعده رسوبات کربنیفر مشخص می‌شود (Bozorgnia, 1973). در آغاز دونین شرایط جغرافیای دیرینه ایران‌زمین به گونه‌ای بوده که در شمال و شمال باختری ایران خشکی کالدونی قرار داشته است و خاور آن با دریای کم‌ژرفایی پوشیده می‌شد که تحت تأثیر حرکت‌های شاغولی و رو به بالای رخداد کالدونی قرار داشته است. به همین دلیل، سنگ‌های دونین پایین در بخش بزرگی از ایران‌زمین دیده نمی‌شود و سنگ‌های دونین میانی به طور پیش‌رونده و با ناپیوستگی روی سنگ‌های کهن‌تر قرار دارند. در دونین پسین، از گسترش خشکی کالدونی کاسته شده است و در نتیجه نهشته‌های دونین بالایی با گستردگی زیاد و پس از یک ایست رسوبی، در نواحی زیادی از ایران نهشته شده‌اند. با این حال، در پاره‌ای نقاط ایران مرکزی (طبس، کرمان، اردکان و ۱۰۰۰) و البرز خاوری (خوش‌یلاق، بجنورد و ۱۰۰۰) ردیف‌های آواری سرخ‌رنگی (سازند پادها) وجود دارد که بیشتر به دلیل جایگاه چینه‌شناسی، به سن دونین پیشین دانسته شده‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳). همزمان با بالاآمدگی جهانی سطح آب دریا در دونین پسین، از گسترش خشکی پدید آمده در طی فازهای کالدونین کاسته شده و رسوبات دونین پسین البرز با گستردگی زیاد در دریای حاشیه قاره‌ای کم‌ژرفا با رسوبات تخریبی شروع می‌شوند (Alavi-Naini, 1993; Wendt et al., 2005). در البرز مرکزی، رسوبات دونین پسین با نام سازند جیرود معرفی شده‌اند (Assereto, 1963) که شامل کوارتزارنایت در قاعده توالی، ماسه‌سنگ‌ها آهکی، آهک‌های ماسه‌ای فسیل‌دار، شیل، بازالت و کنگلومرا

## ۲- رخدادهای هانگنبرگ (Hangenberg)

- لایه‌های متوالی ماسه‌سنگ و شیل؛ به طرف بالا بر ستبرای و میزان لایه‌ای ماسه‌سنگی افزوده می‌شود. این لایه‌ها اثر فسیل‌های گوناگونی دارند که اثر فسیل‌های آرنیکولیتس، دیپلوکراتیون و پالئوفیکوس از مهم‌ترین آنها هستند.

- لایه‌های شیل تیره‌رنگ با میان لایه‌های ماسه‌سنگ همراه با فسیل‌های گیاهی و آثار فسفات، دارای آثار فسیل گوناگون.

- لایه‌های ستبرالایه ماسه‌سنگی که به طرف بالا به ماسه‌سنگ‌های آهکی و آهک ماسه‌ای ستبرالایه تبدیل می‌شود. در این لایه‌ها اثر فسیل‌های تالاسینویدس، دیپلوکراتیون و پالئوفیکوس دیده می‌شود.

- واحد بازالتی

- توالی لایه‌های تخریبی و شیل‌های تیره‌رنگ دارای آثار فسیل کندریتس و زئوفیکوس.

## ۴- پراکندگی محیطی اثر فسیل‌ها

لاسی برپایه رخساره‌های شناسایی شده در سازند جیروود، محیط رسوبی کم‌ژرفای حاشیه ساحلی (فلات قاره (شلف) باز سیلیسی-آواری) را برای این نهشته‌ها معرفی می‌کند (لاسی، ۱۳۷۹). در مطالعه کنونی نیز بر پایه شواهد صحرایی همچون سطوح لایه‌بندی، ساختارهای رسوبی، نوع و پراکندگی آثار فسیل و تغییرات اندازه دانه‌ها، ارتباط لایه‌ها و پراکندگی محیطی آثار فسیلی، دو مجموعه رخساره‌ای در توالی‌های رسوبی سازند جیروود شناسایی شد (۱) مجموعه رخساره‌ای دلتایی و (۲) مجموعه رخساره‌ای غیر دلتایی- ساحلی. پراکندگی چینه‌شناسی اثر فسیل‌ها، ساختارهای فیزیکی همراه آنها و ارتباط رخساره‌ای، در ستون چینه‌شناسی شکل ۲ و جدول ۱ به‌طور خلاصه نشان داده شده‌اند. مجموعه اول شامل واحدهای ماسه‌سنگی و شیل متوسط تا ستبرالایه در بخش‌های جلوی دلتا (Proximal/distal delta front) و پاشنه دلتا- فلات قاره (Prodelta-shelf) است (شکل ۲) که اثرهای تغذیه‌ای شامل تالاسینویدس، پلاتولیتس، ریزو کورالیوم ایرگولار، روسلیا و آستروسوما در رخساره‌های جلوی دلتا و اثرهای گریزینگ شامل کندریتس، زئوفیکوس، پلاتولیتس و هلمنتوپسیس در رخساره‌های پاشنه دلتا را دارد. مجموعه رخساره‌ای دوم شامل رخساره‌های دور از ساحل (Proximal/distal Offshore)، حاشیه ساحلی (Lower/upper Shoreface)، پیش ساحل (Foreshore) و لاگون است. توالی رسوبات رخساره‌های دور از ساحل تا حاشیه ساحلی از تناوب ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل تشکیل شده است که دارای مجموعه اثر فعالیت جانوران تغذیه‌کننده از رسوبات و مواد معلق در آب و به ترتیب فراوانی شامل تالاسینویدس، پلانولیتس، پالئوفیکوس، دیپلوکراتیون، تانیدیم، ریزو کورالیوم جنز، ریزو کورالیوم ایرگولار، روسلیا، آستروسوما، کندریتس، هلمنتوپسیس، آرنیکولیتس و هلمینتودچنایس است.

مقایسه ویژگی‌های رفتارشناسی، ابعاد حفرات، گوناگونی و شدت زیست‌آشفستگی مجموعه اثر فسیل‌های شناسایی شده در نهشته‌های سازند جیروود با دیگر مطالعات اثرشناسی مشابه انجام‌شده به‌وسیله دیگر پژوهشگران نشان می‌دهد که نوسانات انرژی محیطی بیشترین تأثیر را روی جانداران سازنده اثر فسیل‌ها داشته است (برای نمونه Bann et al., 2004). با توجه به شکل ۲ و تغییر ویژگی‌های ساختارهای رسوبی فیزیکی و زیستی در طول توالی، انرژی هیدرودینامیکی در حوضه و تغییرات در موجسار هوای آرام (FWB, Fair-weather Base) و موجسار هوای توفانی (SWB, Storm weather Base) بیشترین تأثیر را روی ویژگی‌های ساختاری نهشته‌های سازند جیروود دارد. از مهم‌ترین ساختارهای رسوبی نشان‌دهنده تأثیر نوسانات موجسار هوای آرام و توفانی در نهشته‌های مورد مطالعه وجود چینه‌بندی مورب هوموکی در مقیاس بزرگ و کوچک (Micro/macro Hummocky) و ریزلایه‌بندی رپلی

یکی از رخدادهای مهم در مرز دونین-کربنیفر (D-Ca)، رخدادهای هانگنبرگ است و تحت تأثیر این رخداد جانداران دریایی فراوانی منقرض شده‌اند (Sepkoski, 1996). مرز میان سیستم / پرئود دونین-کربنیفر به‌طور دقیق در بالای شیل هانگنبرگ قرار دارد و چینه‌شناسان استراتوتایپ مرز دونین-کربنیفر را در منطقه مُنتیه نوآق (Montagne Noire) در جنوب کشور فرانسه قرار داده‌اند (Korn, 1992). شیل هانگنبرگ در بخش زیرین روی نهشته‌های دارای آمونویدهایی به سن فامنین پسین قرار دارد در حالی که نهشته‌های بالایی این افق دارای آمونویدهایی به سن کربونیفر پیشین هستند (Korn, 1992). این رخ داد در سازند جیروود میان دو اشکوب فامنین پسین و تورنژین رخ داده است که در شیل‌های تیره لایه‌های تخریبی بالای توده بازالتی قرار دارد (لاسی، ۱۳۷۹) و بر پایه مطالعات کونودونتی صورت گرفته به وسیله تیموری (۱۳۸۸) مرز زیرین و بالایی این شیل، میان دو زیست‌زون کونودونتی Praesulcata به سن فامنین پسین و Duplicata به سن تورنژین پیشین قرار می‌گیرد.

نظرات بسیاری برای بیان عوامل پدیده انقراض در مرز فامنین- تورنژین ارائه شده است. مهم‌ترین عوامل ایجاد این انقراض پدیده‌هایی همچون فعالیت آتشفشانی گسترده (Wang et al. 1993)، نوسان‌های سطح آب دریا، شرایط اکسیژن اقیانوسی (oceanic anoxia) (Becker et al., 1984 و Buggisch, 1991)، تغییرات آب‌وهوایی گسترده (Stree et al., 2000) و تغییر در نوع چرخش جریان‌ات اقیانوسی (Holser et al., 1996) در نظر گرفته شده‌اند. مورد توجه‌ترین فرضیه در میان این نظریات پدیده نوسان‌های سطح آب دریا و ایجاد شرایط اکسیژن اقیانوسی است. از مهم‌ترین شواهدی که در مطالعات همه پژوهشگران طرفدار این نظریه دیده می‌شود، می‌توان به افزایش از بین رفتن آشیانه‌های بوم‌شناختی (اکولوژیکی)، کاهش گوناگونی زیستی، کاهش زیست‌آشفستگی، افزایش کربن آلی (C<sub>org</sub>) و نهشت شیل‌های سیاه‌رنگ اشاره کرد. وجود اثر فسیل‌های گوناگون در طول توالی سازند جیروود و تغییرات در گوناگونی، فراوانی و الگوی رفتاری آنها از قاعده به سمت بالای سازند در طول عبور از مرز دونین-کربنیفر، شرایط ویژه‌ای در بررسی پدیده علت انقراض در مرز فامنین-تورنژین فراهم کرده است.

## ۳- چینه‌نگاری

سازند جیروود در شمال خاوری روستای زایگون در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال خاوری تهران با مختصات جغرافیایی "۳' ۱۰' ۴۷" عرض شمالی و "۲۰' ۲۸' ۳۶" طول خاوری رخنمون دارد. این برش به دلیل داشتن اثر فسیل‌های گوناگون، رخنمون کامل و دسترسی آسان برای انجام پژوهش کنونی انتخاب شد (شکل ۱). سازند جیروود در برش یادشده از تناوب ماسه‌سنگ کوارتزیتی، ماسه‌سنگ سیلتی، سیلتستون، شیل، آهک براکیوپوددار، آهک ماسه‌ای و ماسه‌سنگ آهکی ساخته شده است (شکل ۲). ساخت‌های رسوبی مانند لایه‌بندی مورب پشته‌ای، لایه‌بندی مورب مسطح تا کم‌زاویه، لایه‌بندی مورب تراف، ریزلایه‌بندی موازی و رپیلی موجی در لایه‌های رسوبی، همراه با میان‌لایه‌های شیلی دیده می‌شوند. در برش زایگون، سازند جیروود به سن دونین پسین با ناپوستگی فرسایشی روی سازند میلا (کامبرین پسین-۹ اردووسین پیشین) جای دارد و مرز بالایی آن با سازند مبارک (کربنیفر پیشین) پیوسته است.

توالی پیمایش از پایین به بالا شامل واحدهای سنگی زیر است (شکل ۲):

- ماسه‌سنگ کوارتزیتی سفیدرنگ با یک میان‌لایه شیلی. در این لایه‌ها اثر فسیل‌های تالاسینویدس، پلاتولیتس، روسلیا، آستروسوما و ریزو کورالیوم یافت می‌شوند.

- لایه‌های شیلی تیره‌رنگ با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی همراه با اثر فسیل‌های زئوفیکوس، کندریتس، پلاتولیتس و هلمینتوپسیس.

و به نسبت فاز پایانی طول دوره زمانی خیلی کمتری دارد. چنین شرایطی موجب می‌شود فراوانی اثرفسیل‌ها با استراتژی رفتاری گریزینگ و تغذیه‌ای (پلانولیتس)، ریزوکورالیوم ایرگولار، روسلیا، آستروستوما، هلمنتوپسیس، هلمنتودچنایس) کاهش یابد و در برابر آن، فراوانی اثرفسیل‌های با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (تالاسینوییدس، پالئوفیکوس، دیپلوکراتریون، ریزوکورالیوم جنز و آرنیکولایتس) افزایش یابد. همراه با تغییرات یادشده در اثرفسیل‌ها دامنه و طول موج هوموکی‌ها به دلیل افزایش طول دوره زمانی فاز آغازین، گسترش بیشتری می‌یابد.

زیرمحیط‌های بالایی حاشیه ساحل (Upper Shoreface) و پیش ساحل (Foreshore) تحت تأثیر موجسار هوای توفانی قرار نمی‌گیرند و به طور چیره این بخش‌ها تحت تأثیر موجسار هوای آرام و جریان‌های ثانویه همچون‌های جریان‌های موازی ساحل (Longshore) و جریان‌های حاصل از بار رسوبی رودخانه قرار می‌گیرند. چنین شرایطی موجب می‌شود که نوع ساختارهای رسوبی فیزیکی به ساختارهای پراثرژی چینه‌بندی مورب تراف و مسطح و ریزلایه‌بندی‌های موازی تغییر پیدا کند. چینه‌بندی مورب هوموکی در چنین محیط‌هایی وجود ندارد. در نتیجه تأثیر نداشتن نوسان‌های موجسار هوای توفانی روی بستر، جانداران موجود در این محیط‌ها در شرایطی بدون تغییر زندگی می‌کنند، به گونه‌ای که در این محیط، بستر پراثرژی و دانه‌درشت با میزان مواد غذایی کم و رسوب‌گذاری سریع در نتیجه این شرایط، حاکم است. به موجب چنین عواملی تغییر استراتژی رفتاری در این محیط‌ها صورت نمی‌گیرد و جانداران به طور چیره یک نوع استراتژی رفتاری نشان می‌دهند، این شرایط، موجب گوناگونی کم اثرفسیل‌ها با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (پالئوفیکوس، دیپلوکراتریون، ریزوکورالیوم جنز و آرنیکولایتس) در نهشته‌های سازند جیروود می‌شود.

## ۵- اثرشناسی سیستماتیک

در این بخش نمونه‌های اثرفسیل‌های سازند جیروود توصیف می‌شوند. برای پرهیز از افزایش حجم نوشتار، تنها به شرح نمونه و در موارد مورد نیاز به بحث کوتاه سیستماتیک پرداخته می‌شود.

### *Ichnogenus Arenicolites* Salter, 1857

#### *Ichnospices Arenicolites* isp.

تابلوی ۱، شکل های A, B

۳ نمونه برداشت‌شده به همراه مشاهدات صحرایی فراوان شامل حفاری بدون آستر (Lining) و U شکل قائم در برش طولی و مدور در برش عرضی است. در برش قائم لب‌های آن موازی و در بیشتر موارد بخش قاعده‌ای آن دیده نمی‌شود. در برش عرضی این آثار به صورت منفذهای مزدوج بدون لایه‌بندی ریز هلالی با حالت برجسته یا فرورفته در سطح بالایی رسوب (Concave/convex Epirelief) دیده می‌شوند. حفرات قطر متغیر میان ۲ تا ۶ میلی‌متر دارند و فاصله مجراهای (tubes) عمودی از ۸ تا ۱۵ میلی‌متر متغیر است. حفرات از ماسه‌های ریز پر شده و قابل جدایش از رسوبات دانه‌درشت تر سنگ میزبان هستند. آرنیکولایتس اثر اقامتی (Dwelling Trace) (Bromley, 1996) جانور(ان) تغذیه‌کننده از مواد معلق در آب (Suspension-feeding) (Fillion & Pickerill, 1984) است و جزو اثرفسیل‌های آب‌های کم ژرفای ساحلی (Bromley & Asgaard, 1979) در نظر گرفته می‌شود.

### *Ichnogenus Asterosoma* Otto 1854

#### *Ichnospices Asterosoma* isp.

تابلوی ۱، شکل C

۲ نمونه در سطح بالایی طبقات ماسه‌سنگی یافت شدند که به صورت حفرات قائم با ساختار پیازی شکل (Bulb-like) از ریزلایه‌های هم‌مرکز در پیرامون یک مجرای مرکزی هستند. از ویژگی‌های آستروستوما باریک شدن به سمت ناحیه زیرین مجرا

جریانی و موجی است. با افزایش ژرفای محیط رسوبی از رخساره‌های پایینی حاشیه ساحلی به سمت رخساره‌های دور از ساحل دامنه و طول موج چینه‌بندی مورب هوموکی کاهش می‌یابد. انطباق خاصی در محیط‌های حاشیه ساحلی و دور از ساحل میان توزیع اثرفسیل‌ها و ساختارهای هوموکی وجود دارد، به گونه‌ای که با افزایش شمار هوموکی‌ها و کاهش دامنه و طول موج آنها به سوی نواحی ژرف‌تر حوضه میزان زیست‌آشفستگی و گوناگونی اثرفسیل‌ها افزایش می‌یابد. در مقابل، آن با از میان رفتن هوموکی‌ها به سوی نواحی ساحلی کم ژرفا میزان زیست‌آشفستگی و گوناگونی اثرفسیل‌ها کاهش می‌یابد. در طول نوسانات موجسارها دو فاز رسوبی مشاهده می‌شود که شامل (۱) فاز آغازین (Initial phase)؛ ته‌نشینی سریع همراه با آشفستگی آب و ناپایداری بستر. (۲) فاز پایانی (Waning phase) و پایداری بستر است. تغییرات این دو فاز در هر حوضه‌ای سبب ایجاد گوناگونی اثرفسیل‌ها می‌شود، به گونه‌ای که فاز اولیه ته‌نشینی سریع به دلیل شرایط ناپایدار محیطی (انرژی بالا، رسوب‌گذاری سریع، گل‌آلود بودن ستون آب، پراکندگی مواد غذایی از سطح بستر به ستون آب) همراه با اثرفسیل‌هایی با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (Domichnia) است. در برابر آن، فاز پایانی ته‌نشینی آرام همراه با استراتژی رفتاری گریزینگ (Pascichnia) و تغذیه‌ای (Fodinichnia) است. دامنه زمانی این دو فاز در طول افزایش ژرفای حوضه تغییر می‌کند، به گونه‌ای که در زیرمحیط‌های حاشیه ساحلی و بخش‌های بالایی دور از ساحل (Distal Offshore) نهشته‌های سازند جیروود فاز آغازین دوره تکرار کم و دامنه زمانی بالایی دارند ولی به سوی نواحی دور از ساحل، فاز آغازین دوره تکرار بالا و دامنه زمانی کم و فاز پایانی گسترش زمانی بالا دارند. چنین تغییراتی در طول ژرفای حوضه در نهشته‌های سازند جیروود روی توزیع ساختارهای رسوبی فیزیکی و زیستی تأثیر گذاشته است.

در بخش‌های دور از ساحل و پاشنه دلتا که تحت تأثیر نوسان‌های موجسار هوای توفانی هستند، به دلیل ژرفای زیاد محیط رسوبی، تأثیر موجسار هوای آرام به این محیط نمی‌رسد، همچنین موجسار هوای توفانی تأثیر دوره‌ای (نه مداوم) روی بستر دارد، در نتیجه دامنه و طول موج هوموکی‌ها در این محیط‌ها کمتر است، ولی تأثیر دوره‌ای در موجسار هوای توفانی سبب می‌شود شمار زیادی هوموکی با طول موج کوتاه و ریزلایه‌بندی ریلی موجی و جریانی ایجاد شود. در این محیط‌ها فاز آغازین تغییرات موجسار کم ولی با دامنه تکرار بالایی است، در برابر آن فاز پایانی (شرایط پایدار) گسترش زمانی بیشتری دارد. در نتیجه چنین شرایطی نوع استراتژی رفتاری اثرفسیل‌ها در طول دوره زمانی خیلی کم تغییرات زیادی دارد، چنین تغییرات زیادی در استراتژی رفتاری اثرفسیل‌ها سبب ایجاد گوناگونی بالای اثرفسیل‌ها در بخش‌های دور از ساحل و پاشنه دلتا می‌شود که شامل اثرات تغذیه‌ای و گریزینگ تالاسینوییدس، زئوفیکوس، پلانولیتس، تانیدیم، ریزوکورالیوم ایرگولار، روسلیا، آستروستوما، کندریتس، هلمنتوپسیس، هلمنتودچنایس در لایه‌های رسوبی دانه‌ریز در طول فاز پایانی و اثرات معلق‌خوار تالاسینوییدس، پالئوفیکوس، دیپلوکراتریون، ریزوکورالیوم جنز و آرنیکولایتس در لایه‌های رسوبی دانه‌درشت با ساخت‌های پراثرژی (میکروهوموکی با طول موج کمتر از ۱۵ سانتی‌متر) در طول این فاز است. در بالای موجسار هوای توفانی محیط‌های حاشیه ساحلی (Shoreface) و بخش‌های بالایی دور از ساحل تحت تأثیر نوسانات هر دو موجسار هوای توفانی و آرام قرار می‌گیرد. ژرفای کم و انرژی بالا همراه با حمل زیاد رسوب نسبت به محیط‌های پایینی دور از ساحل در این محیط موجب شده است که ماسه‌سنگ‌ها سبتر لایه با چینه‌بندی مورب هوموکی (طول موج بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر) بستری مناسب برای زیست جانداران با استراتژی رفتاری گریزینگ و تغذیه‌ای نباشند، ولی جاندارانی با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (Domichnia) در برابر جریانات اشاره‌شده، توانایی سازگاری بیشتری را با حفر بستر و ایجاد پناهگاه ژرف‌تر (تیرینگ ژرف‌تر) دارند. در چنین محیط‌هایی طول دوره زمانی فاز اولیه ته‌نشینی به سرعت افزایش می‌یابد

همین پژوهشگران، الگوی نفوذ ژرف تر در چنین آثاری نیز می تواند سبب قطع شدگی تا حذف کامل اثرهای فسیل قبلی شود. چنین الگویی در شیل سیاه‌رنگ بالایی سازند جیروود دیده می شود به گونه‌ای که فراوان ترین اثر فسیلی مشاهده شده در آن *Chondrites targionii* است.

#### Ichnogenus *Diplocraterion* Torell 1870

##### Ichnospices *Diplocraterion parallelum* Torell 1870

تابلوی ۲، شکل های C، B و D

۹ نمونه به همراه مشاهدات صحرایی فراوان از اثرگونه *D. parallelum* یافت شدند که به‌عنوان حفرات U شکل استوانه‌ای قائم در برش طولی و مدور در برش عرضی با لایه‌بندی‌های ریز هلالی مرتبط‌کننده لب‌های حاشیه‌ای مشخص می‌شوند. لایه‌بندی ریز هلالی در آنها به‌صورت پیش‌رونده (Protrusive) یا به عبارتی دیگر الگوی روند دورشدگی از دهانه (Distalward) دیده می‌شود. لب‌های کناری این اثرها به‌طور چیره به‌صورت عمود بر سطح لایه‌بندی دیده می‌شوند. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که *D. parallelum* در نهشته‌های سازند جیروود به صورت سه الگوی متفاوت به ترتیب فراوانی دیده می‌شوند. ۱- حفرات U شکل استوانه‌ای قائم دارای لایه‌بندی ریزه‌لالی یک سویه با مواد رسوبی پرکننده تیره‌تر از سنگ میزبان. عرض این ساختار ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر و قطر لب‌های کناری ساختار U شکل ۲ تا ۷ میلی‌متر است. ژرفای نفوذ این اثرها از ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر متغیر است. ۲- اثرهای برجسته روی سطح بالایی (Concave Epirelief) لایه‌های ماسه‌سنگ‌ها به صورت ساختارهای دمبلی شکل (Dumbbell-shaped)، متشکل از دو برجستگی مدور (به‌عنوان برش افقی از لب‌های U شکل کناری پر شده با ماسه) با لایه‌بندی ریز هلالی مرتبط‌کننده آنها. عرض ساختار از ۵ تا ۱۰ میلی‌متر متغیر است. ۳- ساختارهای با برجستگی کامل در سطح زیرین (Hyporelief concave) لایه‌های ماسه‌سنگ‌ها به عنوان بخش قاعده‌ای ساختار U شکل. الگوی کلی آنها به صورت پشته‌های نیمه استوانه‌ای است. *D. parallelum* به‌طور چیره در محیط‌های پارانژی آب‌های کم‌ژرفا (Fürsich, 1974) یا همراه با سطوح فرسایشی (Bromley & Hanken, 1991) به عنوان اثرات اثرساز جانداران تغذیه‌کننده از مواد معلق در آب تعریف می‌شود. برخی از پژوهشگران به دلیل وجود آنها در شرایط پارانژی و سازگاری با چنین شرایط پر تنش محیطی آنها را به‌عنوان ساختارهای تعادلی (Equilibrium Structure) (مانند Bromley, 1996) نام گذاری می‌کنند. وجود لایه‌بندی ریز هلالی در حد فاصل لب‌های حاشیه‌ای *D. parallelum* یا به عبارتی ریزلایه‌های رسوبی حاصل از حمل دوباره در واکنش به الگوی رفتاری جاندار نسبت به شرایط محیطی ایجاد می‌شود که می‌تواند نتیجه فرایندهای زیر باشد: ۱- الگوی رفتاری تغذیه‌کننده از مواد معلق در آب (MacEachern et al., 2007). ۲- رشد درجا جانداران اثرساز (Fürsich, 1974). ۳- واکنش جاندار نسبت به فرسایش و رسوب گذاری در محیط‌های پارانژی که از دید Seilacher (2007) به عنوان حرکات یویو مانند (yoyo-like) تعریف می‌شود. از دید چینه‌نگاری سکانسی نیز، چنین اثر فسیل‌هایی با سطوح پیش‌رونده، سیلابی و مرزهای سکانسی دیده می‌شوند (مانند Catuneanu, 2006).

#### Ichnogenus *Helminthoidichnites* Fitch 1850

##### Ichnospices *Helminthoidichnites* isp.

تابلوی ۲، شکل های E و F

یک نمونه با گستردگی زیاد روی سطح بالایی ماسه‌سنگ‌ها ریبلی یافت شد. حفرات انحادار افقی با دیواره صاف و بدون تزیینات است که روی سطح بالایی لایه‌ها به صورت اپی‌رلیف مقعر دیده می‌شود. حفرات به‌طور عموم هم‌دیگر را قطع می‌کنند و الگوی مسیر حرکتی جاندار اثرساز این حفرات بدون هیچ نظم و ترتیب و به‌طور کاملاً اتفاقی است که این ویژگی معیار مهمی برای تشخیص این

در برش قائم است. در برش عرضی به‌صورت ساخت درون رسوبی (Endichnial) و ساختارهای هم‌مرکز از ریزلایه‌های متناوب ماسه ریز و ذرات ریزتر در حد سیلت و رس تشکیل می‌شوند. قطر بخش پیزی میان ۱۵ تا ۲۵ میلی‌متر است. ریزلایه‌های هم‌مرکز این اثر فسیل در سطح لایه‌ها ریخت کلی تخم‌مرغی یا بیضوی شکل دارند که می‌تواند معیاری مفید برای تشخیص آنها باشد. آستروستوما را به عنوان حفرات تغذیه‌کننده از رسوب (Deposit-feeding) (Vossler & Pemberton, 1989) در بسترهای ماسه‌ای و سیلتی محیط‌های ساحلی کم ژرفا تا دور از ساحل (Frey, 1970) در نظر می‌گیرند.

#### Ichnogenus *Chondrites* Sternberg 1833

##### Ichnospices *Chondrites* isp.

تابلوی ۱، شکل D

۴ نمونه در واحدهای سیلتستونی دانه‌ریز به شکل شبکه دندرتی نامنظم و کوچک یافت شدند. در برخی نمونه‌ها سیستم حفاری کوچک با تراکم زیاد هم‌دیگر را قطع می‌کنند. قطر حفرات از ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر و زاویه انشعاب نیز از ۲۰ تا ۵۰ درجه متغیر است. هر لوله حفاری در طول خود قطر ثابتی دارد. در اینجا نیز حفرات پرشدگی متفاوت از رسوبات سنگ میزبان دارند و با رسوبات دارای رنگ روشن‌تر پر شده‌اند. این گونه با وجود شباهت زیاد از دید اندازه با اثرگونه *C. intricatus* به دلیل نبود حفره سرشاخه اصلی (Master Shaft) و سیستم حفاری کم‌تراکم از آن قابل جدایش است. همچنین به دلیل زاویه انشعاب بزرگ‌تر و قطر کمتر حفاری متفاوت از *C. targionii* است. به همین ترتیب از دید اندازه زاویه حفرات و الگوی انشعاب سامانه شبکه حفاری نیز متفاوت از اثرگونه‌های *C. recurvus* و *C. patulus* است.

##### Ichnospices *Chondrites intricatus* (Brongniart, 1823)

تابلوی ۱، شکل E

۳ نمونه از این گونه یافت شدند که حفراتی افقی تا نیمه افقی با مسیری مستقیم تا انحادار و شبکه‌ای منشعب دارند و حفرات در طول مسیر خود قطر ثابتی از ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر دارند. زاویه انشعاب شاخه‌ها دارای زاویه بیشتری نسبت به *C. targionii* بوده و از ۲۵ تا ۵۰ درجه در تغییر است. قطر حفرات، دامنه اندازه‌های میان ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر دارد. حفرات در طول مسیر خود قطر ثابتی دارند. حفرات، پرشدگی متفاوتی با رسوبات سنگ میزبان دارند و پرشدگی حفرات دارای رنگ روشن‌تری نسبت به رسوب سنگ میزبان است. در بیشتر نمونه‌ها حفره‌های منشعب شاخه‌ای رده دوم دیده می‌شود و سیستم حفاری منشعب رده سوم (third-order branching) در آنها کمتر دیده می‌شود. برای مطالعه بیشتر درباره شناسایی گونه‌های اثر فسیل کندریتس به منابع مربوط (Fu, 1991) و (Uchman, 1999) مراجعه شود.

##### Ichnospices *Chondrites targionii* (Brongniart 1828)

تابلوی ۱، شکل F و تابلوی ۲ شکل A

شامل ۷ نمونه به همراه ۲ تخته‌سنگ دارای مجموعه‌ای متراکمی از اثر فسیل‌ها است. این اثرگونه سیستم حفاری منشعب با مسیر به نسبت مستقیم تا کمی مایل دارد و لوله‌های حفاری در آن نسبت به *C. intricatus* قطر و انحای مسیری بیشتری دارند. رسوبات پرکننده حفرات متفاوت از رسوبات سنگ میزبان می‌باشد و دارای رنگ تیره‌تری هستند. میزان تراکم آنها در برخی از نمونه‌ها بالاست، اما قطع شدگی حفرات به‌وسیله هم دیده نمی‌شود. شاخه‌ها زاویه انشعاب کمتری نسبت به *C. patulus* دارند. سیستم حفره‌ای منشعب رده سوم نیز در آنها کمتر دیده می‌شود. کندریتس به‌عنوان اثر فسیل با ساختار انشعابی و با ژرفای نفوذ بیشتر در رسوبات (Deep-tier) به‌وسیله جاندارانی که کار تغذیه و هضم (Ingestors) را روی رسوبات غنی از مواد آلی انجام می‌دهند، ایجاد می‌شود. این اثر فسیل بیشترین فراوانی را در محیط‌های بدون اکسیژن دارد، به همین دلیل در بیشتر موارد به صورت دسته تک گونه‌ای (Monospecific Suite) (Bromley & Ekdale, 1984) یافت می‌شوند. به باور

گونه است. قطر حفرات در طول مسیر حرکتی ثابت می ماند و دارای محدوده‌ای از ۰/۱ تا ۰/۲ میلی متر است. این گونه در محیط‌های متفاوت دریایی کم ژرفا، ژرف و محیط‌های غیر دریایی دیده می شود (Buatois et al., 1998) به همین دلیل چنین اثر فسیل‌هایی می توانند به عنوان اثرهای قطع کننده رخساره‌ای (Facies-crossing) تعریف شوند. *Helminthoidichnites* به عنوان اثرهای تغذیه کننده از رسوب با سبک رفتاری گریزینگ یا Pascichnia تعریف می شود.

#### ***Ichnospices Palaeophycus tubularis* Hall 1847**

تابلو ۳ شکل C

دو نمونه از این اثر گونه به شکل استوانه‌ای تا نیمه استوانه‌ای، صاف و بدون تزیینات با قطر متغیر یافت شد. در این اثرها، حفاری در مسیر مستقیم تا کمی پیچ و خم دار و کمتر با حالت منشعب نامنظم است. آستر در *P. tubularis* ستبرای کمتری نسبت به *P. heberti* دارد و به صورت موازی تا نیمه موازی نسبت به سطح چینه بندی دیده می شود. پرشدگی حفرات بدون ساختمان است با این وجود، گاه ریز لایه بندی یا اثرات فشردگی دارد. سنگ شناسی پرشدگی حفرات همسان با سنگ میزبان است این آثار برجسته در سطح زیرین لایه بندی (Convex Hyporelief) دیده می شوند.

#### ***Ichnogenus Planolites* Nicholson 1873**

##### ***Ichnospices Planolites beverleyensis* (Billings 1862)**

تابلو ۳، شکل D

۲ نمونه یافت شده از این اثر فسیل به شکل حفاری استوانه‌ای، بدون آستر، مستقیم تا کمی انحنادار با قطر ثابت است. دیواره حفرات بدون تزیینات و به صورت صاف دیده می شود. موقعیتی موازی تا نیمه موازی با سطوح لایه بندی و حفظ شدگی برجسته تا فرورفته دارند. رسوبات پرکننده حفرات بدون ساختار و به صورت توده‌ای و کمتر به صورت ریز لایه‌های موازی دیده می شوند. در بیشتر موارد پرشدگی حفرات درشت تر از سنگ میزبان و رنگ آن متفاوت است. در این اثر گونه، اندازه حفرات در موقعیت‌های گوناگون حفظ شدگی، متفاوت است و به صورت‌های مختلف از منفرد تا متراکم و یا قطع کننده همدیگر دیده شده‌اند. حفرات اندازه متفاوت با قطری متغیر از ۵ تا ۲۰ میلی متر و طول ۲ تا ۱۵ سانتی متر دارند. *P. beverleyensis* نسبت به *P. montanus* انحنا کمتری دارد اما اندازه آن نمی تواند معیار مفیدی برای جدایش باشد.

#### ***Ichnospices Planolites* isp.**

تابلو ۳، شکل E

در ۶ نمونه گردآوری شده به همراه مشاهدات صحرایی، اثر حفاری به صورت افقی مستقیم تا کمی پیچ و خم دار، بدون آستر با حفرات لوله‌ای نامنظم است. دیواره حفرات صاف و گاه دارای تزیینات خیلی ریز است. حفرات در این گونه قطری با دامنه ۲ تا ۱۵ میلی متر و طولی میان ۱ تا ۷ سانتی متر دارند. پرشدگی حفرات به طور مشخص به صورت توده‌ای و متفاوت از سنگ میزبان دیده می شود. بسته به موقعیت‌های مختلف (در میان رخساره‌ها) اندازه رسوبات پرکننده حفرات درشت تر یا ریزتر از رسوب سنگ میزبان است. با این وجود در بیشتر موارد اختلاف رنگ میان این رسوبات مشخص است. حفظ شدگی نمونه‌ها به صورت‌های متفاوت در سطح بالایی یا پایینی لایه‌هاست.

#### ***Ichnogenus Phycodes* Richter 1850**

##### ***Ichnospices Phycodes* cf. *palmatus* (Hall 1847)**

تابلو ۳ شکل F

این گونه شامل سیستم حفاری افقی با ریخت نخلی شکل (Palmate) و برجسته در سطح زیرین لایه بندی است. حفاری‌ها از یک نقطه مشترک انشعاب دارند و از چند شاخه مدور و تا حدی ستر و مستقیم تا کمی انحنادار تشکیل شده‌اند. سطح حفرات آثار شیارهای منظم موازی دارد و قطر حفرات منشعب در حدود ۱۳ تا ۱۴ میلی متر است. بافت رسوب پرکننده حفرات نسبت به رسوب سنگ میزبان ریزتر است. یک

گونه است. قطر حفرات در طول مسیر حرکتی ثابت می ماند و دارای محدوده‌ای از ۰/۱ تا ۰/۲ میلی متر است. این گونه در محیط‌های متفاوت دریایی کم ژرفا، ژرف و محیط‌های غیر دریایی دیده می شود (Buatois et al., 1998) به همین دلیل چنین اثر فسیل‌هایی می توانند به عنوان اثرهای قطع کننده رخساره‌ای (Facies-crossing) تعریف شوند. *Helminthoidichnites* به عنوان اثرهای تغذیه کننده از رسوب با سبک رفتاری گریزینگ یا Pascichnia تعریف می شود.

#### ***Ichnogenus Helminthopsis* Heer 1876**

##### ***Ichnospices Helminthopsis* isp.**

تابلو ۲، شکل G

۲ نمونه از این اثر گونه به صورت اثر خزشی برجسته روی سطح زیرین لایه بندی ماسه سنگ‌ها دیده می شوند. پیچش این اثرها به شکل نامنظم تا کمی منادری است. دیواره حفرات صاف و در برش عرضی بیضوی است. ذرات رسوبی پرکننده حفرات اندازه کوچک تر نسبت به رسوب سنگ میزبان دارند. قطر حفاری در طول اثر ثابت و در حدود ۱۰ میلی متر است. بیشینه طول مشاهده شده در حدود ۲۰ سانتی متر است. هلمنتوپسیس به طور چیره در محیط‌های دریایی ژرف دیده می شود، با این وجود چنین اثر فسیل‌هایی در محیط‌های دریایی کم ژرفا و محیط‌های غیر دریایی نیز دیده می شود (Buatois et al. 1998). هلمنتوپسیس به عنوان اثر جانور تغذیه کننده از رسوب با سبک رفتار گریزینگ یا Pascichnia تعریف می شود (Buatois et al., 1998).

#### ***Ichnospices Helminthopsis abeli* Książkiewicz 1977**

تابلو ۲، شکل H

۳ نمونه روی سطح بالایی یک ماسه سنگ ریبلی به صورت حفرات استوانه‌ای بدون انشعاب و اپی رلیف مقرر دیده می شود. متاندرهای این گونه به صورت نامنظم و متغیر در اندازه است. حفرات در طول مسیر خود در هر گونه قطر ثابت دارند اما ۳ گونه مشاهده شده از دید شکل و پیچش حفرات، با هم متفاوت هستند. سطح محوری-فرضی متاندرها متوالی، موازی هم نیستند. متاندرها در طول مسیر خود انحنا شدیدی دارند و بدون عضو مستقیم (Straight Sections) هستند. نبود تقارن در متاندرهای متوالی گونه *H. abeli*، مسیر C شکل (C-shaped) و نبود بخش‌های قائم در طول مسیر C شکل از معیارهای مفید برای شناسایی این گونه است. در *H. abeli* در محیط‌های متفاوت دریایی کم ژرفا، ژرف و محیط‌های غیر دریایی دیده می شود (Han & Pickerill, 1994) به همین دلیل چنین اثر فسیل‌هایی می توانند به عنوان اثر فسیل‌های قطع کننده رخساره‌ای تعریف شوند.

#### ***Ichnogenus Palaeophycus*, Hall 1847**

##### ***Ichnospices Palaeophycus heberti* (de Saporta 1872)**

تابلو ۳، شکل A

۱ نمونه از این اثر گونه یافت شد که به صورت حفاری استوانه‌ای دارای انشعاب یا بدون آن با حالت مستقیم تا انحنادار و دیواره صاف بدون تزیینات و با قطر ثابت است. این اثر در سطح زیرین لایه بندی به طور برجسته حفظ شده است. آستر در *P. heberti* ستبرای بیشتری نسبت به *P. tubularis* دارد. پرشدگی حفرات همسان با رسوب سنگ میزبان است. در برخی از نمونه‌ها، حفرات، آثار ریزشی در دیواره خود یا شیار در بخش مرکزی با دو دیواره باریک و مشخص دارند. نبود هر گونه تزیینات بیرونی در *P. heberti* سبب جدایش آن از دیگر گونه‌های پالئوفیکوس می شود (Frey & Pemberton, 1984). آستر در این گونه به طور چیره شامل رسوبات آگلوتینه است که اندازه دانه درشت تر و جورشدگی بهتری نسبت به سنگ میزبان دارند.

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

تابلو ۳، شکل B

یک نمونه یافت شده از این اثر، آثار و ویژگی‌های مشابهی با *P. striatus* دارد به گونه‌ای که به صورت حفرات افقی آستر دار نازک و بدون انشعاب، مستقیم یا

محیط‌های رسوبی مختلف از لاگون تا محیط ژرف تر دور از ساحل گزارش شده است (Vossler & Pemberton, 1989). به طور چیره *R. socialis* با ساختارهای حفره‌ای تغذیه‌کننده از رسوبات و الگوی تیرینگ ژرف (Deep-tier) در بسترهای نرم دانه‌ریز غنی از مواد غذایی و کم‌انرژی دیده می‌شود.

#### Ichnogenus *Taenidium* Heer 1876

##### Ichnospices *Taenidium serpentinum* Heer 1876

تابلوی ۴، شکل F

در ابتدا لازم به یادآوری است که در مطالعه حاضر برای شناسایی اثرگونه‌های اثرجنس تاینیدیوم از روش (Keighley & Pickerill, 1994) استفاده شده است برای مطالعه بیشتر در ارتباط با اثرگونه‌های این اثرجنس به منابع مربوط (مانند Keighley & Pickerill, 1994 و D'Alessandro, & Bromley, 1987) مراجعه شود. در یک نمونه یافت شده از این اثرگونه حفاری، مرز کاملاً مشخصی با سنگ میزبان دارد و بدون آستر است. حفاری‌ها بیشتر افقی و برخی با انحنای کم دیده می‌شوند. مواد رسوبی پرکننده دیواره متفاوت از جنس رسوب سنگ میزبان هستند و از رسوبات ریزتر و روشن‌تر تشکیل شده‌اند. حفره اصلی پهنای ثابتی (در حدود ۱۳ تا ۱۵ میلی‌متر) در طول مسیر خود دارد. با این وجود ساختمان دیواره سبب ایجاد گرهک‌های کوچک روی سطح خارجی حفاری شده است. دیواره ساختمان کماتی شکل (Arcuate Menisci) با فاصله متغیر میان کمان‌های متوالی دارد. این فاصله کم و بیش برابر با بخش درونی حفاری است. اثرفسیل‌های تاینیدیوم با ساختمان کماتی شکل در محیط‌های دریایی کم ژرفای ساحلی تا نواحی پایینی حاشیه ساحلی بیشترین گسترش را دارند (D'Alessandro & Bromley, 1987).

##### Ichnospices *Taenidium satanassi* D'Alessandro & Bromley 1987

تابلوی ۵، شکل A

در دو نمونه یافت‌شده اثرفسیل‌ها به صورت حفرات افقی تا کمی مایل نسبت به سطح لایه‌بندی و با مرز مشخص با رسوب سنگ میزبان و بدون آستر هستند. دیواره با لایه‌های غشایی در این اثرگونه همانند *T. serpentinum* اندازه کمتری نسبت به پهنای اثر دارند، اما گستردگی و تعداد آنها بیشتر است. همین مسئله سبب می‌شود که شکل کلی آنها به صورت پاکت‌های متوالی (Packets) باشد که تا حدی انحنای کمی در بخش پایانی نشان می‌دهند. اندازه دیواره در این اثرگونه در طول خود متغیر است، اما در بیشتر موارد سترای بیشتری نسبت به پهنای حفره اصلی دارد. همچنین رسوب پرکننده دیواره متفاوت از سنگ میزبان است و محل برخورد دیواره با لایه‌بندی‌های هلالی شکل سبب ایجاد گرهک‌های کوچک پراکنده در سطح خارجی حفاری می‌شود. این گونه بر خلاف *T. barrettii* که دارای دیواره متوالی نازک و کماتی باریک تا به شدت انحنادار است، لایه‌های غشایی پهن‌تر و با انحنای کمتری دارد.

#### Ichnogenus *Thalassinoides* Ehrenberg 1944

##### Ichnospices *Thalassinoides horizontalis* Myrow 1995

تابلوی ۵، شکل B

در یک نمونه موجود در سطح زیرین سیلتستون ماسه‌ای این گونه حفرات منشعب شاخه‌ای با الگوی Y شکل طولی، با حالت هیپورلیف محذب دیده می‌شود. دیواره حفرات در این گونه صاف و بدون تزیینات است. حفرات بدون آستر هستند و قطر تقریباً ثابتی در مسیر خود دارند. قطر حفرات از ۱۲ تا ۱۵ میلی‌متر متغیر است و طول آنها در حدود ۲۰ سانتی‌متر است. جنس پرشدگی حفرات مشابه با رسوب سنگ میزبان است اما فشرده‌گی بافتی بیشتری نسبت به رسوب سنگ میزبان دارد. روند حفرات در این گونه نسبت به *T. paradoxicus* منظم‌تر و زاویه انشعاب حفرات در حدود ۱۲۰ درجه است. نبود تورم و برآمدگی در نقطه انشعاب و الگوی منظم

نمونه از این اثرگونه در سطح زیرین لایه‌های سیلتستونی یافت شد. این اثرگونه، بیشتر در محیط‌های دریایی کم ژرفا دیده می‌شود و جزو ایکنوفاسیس کروزیانا است. به باور Han & Pickerill (1994) این اثرفسیل‌ها در محیط‌های دریایی ژرف و قاره‌ای کمتر دیده می‌شوند.

#### Ichnogenus *Rhizocorallium* Zenker 1836

##### Ichnospices *Rhizocorallium jenense* Zenker 1836

تابلوی ۳، شکل های H, G و H، تابلوی ۴، شکل A

۴ نمونه برداشت و همراه با نمونه‌های فراوان سر زمین مطالعه شدند. این اثرگونه به صورت حفاری U شکل مستقیم تا به نسبت سینوسی با لایه‌بندی ریزهلالی با روند پیش‌رونده (Protrusive) نسبت به دهانه با لب‌های کناری موازی هم است. در نمونه‌های پیدا شده طول و پهنای گونه و نوع حفظ‌شدگی لب‌های کناری متغیر است. نمونه‌ها طول متغیری از ۷ تا ۱۶ سانتی‌متر و پهنای ۳ تا ۱۰ سانتی‌متر دارند. قطر لایه‌بندی ریزهلالی نیز در نمونه‌های یافت‌شده متغیر و میان ۵ تا ۱۵ میلی‌متر است همچنین لب‌های کناری در نمونه‌هایی که حفظ‌شدگی بهتری دارند، دارای قطر ۴ تا ۹ میلی‌متری هستند. روند قرارگیری بیشتر نمونه‌ها نسبت به سطح لایه‌بندی مایل است. تعدادی آثار خراش روی لایه‌بندی‌های ریزهلالی دیده می‌شود. اندازه رسوبات تشکیل‌دهنده لب‌های کناری و لایه‌بندی‌های ریزهلالی متفاوت از هم هستند، به گونه‌ای که رسوبات موجود در لب‌های کناری فشرده‌گی بیشتری دارند، با این وجود هر دو دارای اندازه ذرات ریزتری نسبت به سنگ میزبان هستند. ریزوکورالیوم در محیط‌های رسوبی متفاوتی از نزدیک ساحل تا بخش‌های دور از ساحل دیده می‌شود، با این وجود نوع الگوی رفتاری و نوع بستر تغذیه‌ای جانداران می‌تواند بیشترین تأثیر را در چگونگی توزیع این اثرفسیل‌ها در محیط‌های دریایی داشته باشد. الگوی رفتاری تغذیه‌کننده از مواد معلق در آب در بسترهای پرانرژی جور شده موجب ایجاد گونه *R. jenense* می‌شود.

##### Ichnospices *Rhizocorallium irregular* Mayer 1954

تابلوی ۴، شکل B و C

در ۲ نمونه یافت‌شده از این اثرگونه، حفاری جانور به صورت افقی طولی با پیچش پلانسیپال روی سطح بالایی ماسه‌سنگ‌هاست. قرارگیری آنها به صورت افقی و با حفظ‌شدگی فرورفته در سطح بالایی لایه‌بندی است. پهنای اثر در حدود ۱۵ میلی‌متر و طول آن از ۶ تا ۱۰ سانتی‌متر متغیر است. حفظ‌شدگی لایه‌بندی ریزهلالی در آن ضعیف و دیواره حفرات صاف و دارای پرشدگی همسان با رسوب سنگ میزبان است. الگوی رفتاری تغذیه‌کننده از رسوبات در بسترهای نرم دانه‌ریز و کم‌انرژی موجب ایجاد گونه *R. irregular* می‌شود.

#### Ichnogenus *Rosselia* Dahmer 1937

##### Ichnospices *Rosselia socialis* Dahmer 1937

تابلوی ۴، شکل D و E

چهار نمونه از این اثرفسیل یافت شد که به شکل حفاری پیازی تا مخروطی شکل نامنظم با سطح پهن و تا حدی برجسته روی سطح بالایی ماسه‌سنگ‌ها و آرایش قائم نسبت به سطح لایه‌بندی هستند. این گونه از یک مجرای مرکزی کوچک تشکیل شده است که به وسیله ریزلایه‌های هم‌مرکز در برگرفته شده است. در برش عرضی، حفره *R. socialis* با میزان بالاتر مواد رسی از رسوب پیرامون جدا می‌شود. ریزلایه‌های هم‌مرکز در پیرامون حفره مرکزی با حفظ‌شدگی ضعیفی هستند. در برخی از نمونه‌ها، *R. socialis* به صورت حفرات مخروطی شکل برجسته با الگوی اپی‌رلیف محذب و حفره مرکزی دربرگرفته شده به وسیله ریزلایه‌های هم‌مرکز حفظ‌شده ضعیف دیده می‌شود. پهنای حفره در این گونه در حدود ۱۰ تا ۱۲ میلی‌متر و ابعاد حفره مرکزی در حدود ۲ تا ۳ میلی‌متر است. در نمونه‌های مخروطی شکل برجسته ارتفاع مخروط تا حدود ۱۵ میلی‌متر می‌رسد. روسلیا در

که تشخیص اثرفسیل‌ها غیر ممکن می‌شود. این لایه‌ها بر پایه معیارهای درجه زیست‌آشفته‌گی (BI) (Taylor et al., 2003) بالاترین درجه آشفته‌گی زیستی یعنی ۶ را دارند. اثرفسیل‌های یادشده ۴ نوع الگوی رفتاری نشان می‌دهند. گروه ۱ شامل اثرفسیل‌های حاصل جانداران با سبک رفتاری رسوب‌خواری یا fodinichnia است که شامل اثرهای تغذیه‌ای کم‌ژرفا و ژرف (Deposit Feeding Shallow/deep) است. در نهشته‌های سازند جیروند اثرهای تغذیه‌ای ژرف شامل ریزوکورالیوم ایرگولار، کندریتس، تالاسینوئیدس سووکیوس، آستروسوما و زئوفیکوس و اثرهای تغذیه‌ای کم ژرفا شامل پلانولیتس، تاینیدیوم، تالاسینوئیدس پارادوکسیدس، فیکودس هستند. گروه دوم شامل ساختارهای حفره‌ای - پناهگاهی (Domichnia) دایمی تا موقتی هستند که به وسیله جانداران تغذیه‌کننده از مواد معلق در آب و شکارچیان ایجاد می‌شوند. اثرفسیل‌های پناهگاهی در بیشتر موارد با تشکیل آستر در دیواره حفرات همراه است. در نهشته‌های سازند جیروند اثر فعالیت معلق‌خوران شامل پائوفیکوس، روسلیا، ریزوکورالیوم جزو و تالاسینوئیدس است. در مکان‌هایی که اثر فعالیت جانداران سازنده اثرفسیل‌ها برای کسب غذا همراه با مسیرهای منحنی یا منادری شکل است به آن اثرهای گریزینگ گفته می‌شود. در نهشته‌های سازند جیروند این اثرها شامل هلمنتوپسیس، هلمنتودچنایس و پلانولیتس هستند. گروه چهارم شامل اثرهای تعادلی (Equilibrichnia) هستند که حفره ساخته‌شده توسط آنها در نواحی پراترزی، با ایجاد ساخت‌های ریزبندی هلالی، خود را با میزان فرسایش و رسوب‌گذاری متعادل می‌کنند. جاندار سازنده این اثرها برای کسب غذا با ایجاد حفرات بالارونده (Upwards)، موقعیت خود را در تماس با سطح مشترک آب- رسوب حفظ می‌کنند. در نهشته‌های سازند جیروند این اثرها شامل دیپلوکراتیون پارالیوم با ساخت‌های ریزبندی هلالی شکل هستند که در بسترهای ماسه‌ای جورشده و پراترزی همراه با مواد غذایی فراوان در ستون آب ایجاد می‌شوند. لازم به یادآوری است که هر یک از رفتارهای یاد شده می‌تواند در گروه چهارم نیز باشد. برای نمونه همان گونه که اشاره شده دیپلوکراتیون مربوط به یک رفتار تغذیه‌ای می‌باشد و همین رفتار تغذیه‌ای به شدت تحت تأثیر فرایندهای تعادلی (Equilibrichnia) است.

آثار فسیل سازند جیروند بیشتر سبک رفتار تغذیه‌کننده از رسوبات دارد که در محیط‌های دریایی با میزان بالای مواد غذایی و شوری پایدار، بهتر گسترش می‌یابند (Bann et al., 2004). افزون بر این، وجود صدف‌های دو کفه‌ای، براکیوپودها و گاستروپودها همراه با ساخت‌های رسوبی همانند چینه‌بندی مورب پشته‌ای و تراف دلالت بر محیط رسوبی دریایی سازند جیروند دارند. در این مطالعه، بررسی اثرفسیل‌ها نشان می‌دهد که بیشتر آنها مختص محیط‌های دریایی باز هستند. به گونه‌ای که وجود اثرفسیل‌های چیره دریایی همانند زئوفیکوس، فیکودس، تاینیدیوم و تا حد کمتری روسلیا، ریزوکورالیوم و آستروسوما و نبود اثرفسیل‌های شاخص محیط‌های قاره‌ای تأییدی دیگر بر محیط دریایی باز در لایه‌های دارای این آثار فسیل است. مجموعه اثرفسیل‌های سازند جیروند دارای ویژگی‌های زیر هستند: ۱- تنوع بالا، ۲- اثرفسیل‌های شاخص محیط‌های دریایی، ۳- اثرهای مختلفی از جانداران با سبک زندگی ایپی‌فونال و این‌فونال، ۴- مخلوطی از اثرفسیل‌های قائم و افقی از ایکتوفاسیس‌های مختلف کروزیانا، اسکولایتوس و زئوفیکوس و ۵- فراوانی برخی از اثرجنس‌ها همانند کندریتس به صورت تک اثرفسیل در برخی لایه‌ها.

نتایج مطالعه اثرشناسی اثرفسیل‌های سازند جیروند نشان می‌دهد که تنوع زیستی بالای جانداران و شرایط زیستی مطلوب برای گسترش جانداران در طول دوره دونین پسین در البرزمرکزی وجود داشته است. به گونه‌ای که گوناگونی و آشفته‌گی زیستی بالا در سازند جیروند نشان‌دهنده اوج فعالیت موجودات دریایی بوده است. مطالعات اثرشناسی اثرفسیل‌ها به وسیله (Abbassi 2007) در منطقه زفره به سن دونین پسین نیز نشان‌دهنده گوناگونی زیستی بالای جانداران در طول دوره دونین پسین است.

در روند حفرات با قطر ثابت نیز سبب جدایش *T. horizontalis* از *T. suevicus* می‌شود. تالاسینوئیدس از اثرفسیل‌های قطع‌کننده رخساره‌ای است که به طور چیره در محیط‌های دریایی کم‌ژرفا به عنوان حفرات تغذیه‌ای (Fodinichial) در بسترهای نرم و به نسبت چسبنده و اکسیژن‌دار بیشترین گستردگی را دارد.

#### **Ichnospices *Thalassinoides paradoxicus* (Woodward 1830)**

تابلوی ۵، شکل C

در ۴ نمونه یافت‌شده روی سطح زیرین ماسه‌سنگ‌ها سبک لایه، سیستم حفاری سه‌بعدی نیمه‌استوانه‌ای و پیچیده‌ای مشاهده می‌شود که حفراتش دارای دیواره صاف و بدون آستر هستند. هر کدام از انشعابات آن با زاویه مختلفی نسبت به سطح لایه‌بندی قرار می‌گیرند. قطر حفرات از ۵ تا ۲۰ میلی‌متر متغیر است. الگوی تقاطع Y شکل در آن بیشتر است و پرشدگی حفرات، سنگ‌شناسی مشابهی با رسوب سنگ میزبان دارد.

#### **Ichnospices *Thalassinoides suevicus* Rietch 1932**

تابلوی ۵، شکل D

در ۴ نمونه یافت‌شده روی سطح زیرین ماسه‌سنگ‌ها سبک لایه، سیستم حفاری سه‌بعدی نیمه‌استوانه‌ای و پیچیده‌ای مشاهده می‌شود که حفراتش دارای دیواره صاف و بدون آستر هستند. هر کدام از انشعابات آن با زاویه مختلفی نسبت به سطح لایه‌بندی قرار می‌گیرند. قطر حفرات از ۵ تا ۲۰ میلی‌متر متغیر است. الگوی تقاطع Y شکل در آن بیشتر است و پرشدگی حفرات سنگ‌شناسی مشابهی با رسوب سنگ میزبان دارد.

#### **Ichnogenus *Zoophycos* Massalongo 1855**

##### **Ichnospecies *Zoophycos* isp.**

تابلوی ۵، شکل‌های F و E

دو نمونه از این جنس یافت‌شد که به شکل لایه‌بندی‌های ریز هلالی بزرگ و با ساختمان پیچشی هستند. این دو اثرفسیل به شکل مارپیچی لب‌دار (Helicoidal Lobate) تا شکل مارپیچی پهن و ساده هستند. لایه‌بندی‌های ریز هلالی در نوع لب‌دار به صورت پشته‌های S شکلی دیده می‌شود که پهنای متفاوتی از ۲ تا ۵ میلی‌متر دارند. در این نوع پرشدگی لایه‌بندی‌های ریز هلالی همسان با سنگ میزبان هستند و پهنای حفره در امتداد طولش ثابت است. لایه‌بندی‌های ریز هلالی در نوع مارپیچی پهن و ساده به شکل مارپیچی با رشد به سوی بالا بر طبق مدل Gaillard et al. (1999) دیده می‌شوند. در این نوع، لایه‌بندی‌های ریز هلالی نامنظم به صورت کماتی شکل دارای پهنای از ۲ تا ۵ میلی‌متر متغیر هستند. در این نوع پرشدگی لایه‌بندی‌های ریز هلالی متفاوت با سنگ میزبان هستند و از لایه‌ای متناوب رسی و سیلتی تشکیل شده‌اند. زئوفیکوس مختص محیط‌های ژرف دریایی همچون دور از ساحل (زیر خط اثر امواج) و جزو ایکتوفاسیس زئوفیکوس است.

## **۶- بحث**

مجموعه‌ای از اثرفسیل‌های گوناگون شامل ساختارهای تغذیه‌ای، گریزینگ، اقامتی و پناهگاهی در سازند جیروند مشاهده شد که شامل *Arenicolites*، *Asterosoma*، *Chondrites*، *Chondrites intricatus*، *Chondrites targionii*، *Diplocraterion parallellum*، *Helminthopsis abeli*، *Helminthoidichnites*، *Planolites beverleyensis*، *Planolites*، *Palaeophycus tubularis*، *Palaeophycus heberti*، *Rhizocorallium jenense*، *Phycodes cf. palmatus*، *Rhizocorallium irregular*، *Taenidium serpentinum*، *Rosselia soccialis*، *Rhizocorallium irregular*، *Thalassinoides suevicus*، *Talassinoides horizontalis*، *Taenidium satanassi*، *Zoophycos*، *Thalassinoides paradoxicus* است. این مجموعه شامل ۱۴ اثر جنس و ۲۳ اثر گونه است. در سازند جیروند افزون بر اثرفسیل‌های نام‌برده شماری زیادی لایه‌های رسوبی وجود دارند که میزان آشفته‌گی زیستی در آنها به حدی می‌رسد

رسوب‌خواری ژرف (Deposit Feeding Depth) و گریزینگ در واحد شیلی سیاه‌رنگ.

- قرارگیری ایکونوفاسیس زئوفیکوس بخش‌های ژرف‌تر روی ایکونوفاسیس‌های کروزیانا و اسکولایتوس بخش‌های کم‌ژرف‌تر. این تغییر با تغییرات رخساره‌ای نیز همراه است (جدول ۱ و شکل ۲).

- تغییر اثرفسیل‌ها ویژه مناطق کم‌ژرفا با بستری غنی از مواد غذایی و اکسیژن (همانند تالاسینوئیدس، دیپلوکراتیون و ریزوکورالیوم) به اثرفسیل‌های نواحی زیر خط اثر امواج در بسترهای احیایی غنی از مواد آلی با الگوی رفتاری همزیستی شیمیایی (کندریتس و زئوفیکوس).

- تغییر در نوع رسوبات دربردارنده اثرفسیل‌ها از رسوبات ماسه‌ای، سیلتی و رسی به رسوبات شیلی سیاه‌رنگ غنی از کربن آلی.

در بررسی بالاآمدگی سطح آب دریا به عنوان پدیده انقراض باید احتیاط کامل را به کار برد. در مواردی که بالا آمدگی سطح آب دریا همراه با نبود رسوب‌گذاری (Starvation) و تشکیل افق‌های چگالیده (Condensation of Marine Deposits) است، شرایط زیستی مناسب برای حفظ‌شدگی فسیل‌ها وجود ندارد و حفظ‌نشدن فسیل‌ها در طول پیش‌روی ممکن است موجب اغراق در برآورد شدت انقراض شود. در مواردی دیگر نیز مهاجرت جانداران به نواحی کم‌ژرفای ساحلی در طول پیش‌روی موجب عدم انقراض کلی جانداران می‌شود. بر همین پایه Bond et al. (2004) پدیده انقراض مرز دونین-کربنیفر را به‌عنوان پدیده‌ای فراگیر در نظر نمی‌گیرند و تأثیر آن را بیشتر روی موجودات محیط‌های ژرف‌تر می‌دانند. چگونگی پراکندگی اثرفسیل‌ها در سازند جیروود دلالت بر کاهش شدید گوناگونی و فعالیت موجودات دریایی به سمت مرز دونین-کربنیفر یا فامنین-تورنیزین است، به گونه‌ای که کمترین گوناگونی اثرفسیلی را می‌توان در این افق شیلی که منطبق بر رخداد هانگنبرگ است، مشاهده کرد. در پایان، می‌توان مرز بالایی سازند جیروود را بر پایه اثرفسیل‌های موجود در لایه شیلی سیاه‌رنگ، در افق شیلی دارای کندریتس و زئوفیکوس قرار داد.

یکی از عوامل مهم که بیشتر پژوهشگران آن را به عنوان عامل پدیده انقراض در مرز دونین-کربنیفر به همراه با بالا آمدگی جهانی سطح آب دریا در نظر می‌گیرند، ایجاد شرایط اکسیژن اقیانوسی (OAEs یا Oceanwide Anoxic Events) است (مانند Bond et al., 2004). چنین شرایطی سبب از میان رفتن محیط رسوبی مناسب برای زیست جانداران می‌شود. در این رابطه اثرفسیل‌ها می‌توانند شواهد بی‌مانندی برای اثبات یا رد این نظریه باشند. زیرا کاهش اکسیژن سبب تغییرات در مجموعه اثرفسیل‌ها و الگوی رفتاری آنها می‌شود. این تغییرات با کاهش در میزان زیست‌آشفته‌گی و اندازه حفرات و افزایش در ژرفای نفوذ اثرفسیل‌ها همراه است. این تغییرات در مدل گراداینت اکسیژن-قطر در شکل ۳ برای نهشته‌های سازند جیروود نشان داده شده است که شامل از میان رفتن اثرفسیل‌های تالاسینوئیدس، ریزوکورالیوم، دیپلوکراتیون، آرنيکولایتس، روسلیا و تانیدیم با ژرفای کم نفوذ در رسوبات و الگوی رفتاری تغذیه‌ای-معلق‌خوار در شرایط پراکسیژن به اثرفسیل‌های کندریتس، زئوفیکوس و پلانولیتس‌های کوچک در افق شیلی سیاه‌رنگ است. مجموعه دوم در افق شیلی سیاه‌رنگ دارای الگوی تغذیه‌ای رسوب‌خواری ژرف (Deposit Feeding Depth) و گریزینگ در شرایط کاهش اکسیژن و منطبق بر ایکونوفاسیس زئوفیکوس است که در محیط‌های ژرف دریایی با شرایط آرام رسوبی، مواد آلی بالا و میزان کم اکسیژن گسترش می‌یابد. همراه با تغییر در عامل‌های بالا اندازه قطر حفرات نیز به سمت افق شیلی سیاه‌رنگ به شدت کاهش می‌یابد. چنین شواهدی دلالت بر وجود شرایط اکسیژن اقیانوسی همراه با بالاآمدگی سطح آب دریا در مرز دونین-کربنیفر سازند جیروود و ایجاد پدیده انقراض در این مرز است. ایکونوفاسیس‌های شناسایی شده در نهشته‌های سازند جیروود بر پایه گوناگونی،

گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها و میزان زیست‌آشفته‌گی در توالی‌های رسوبی سازند جیروود در جدول ۱ و ستون چینه‌شناسی آن در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها در رخساره‌های دلتایی میزان خیلی کمتری نسبت به رخساره‌های دیگر دارد که نشان‌دهنده توزیع غیر یکنواخت غذا و تغییر عواملی همانند بستر رسوبی، شوری و اکسیژن است. تأثیر عوامل یادشده به همراه تأمین بالای رسوبات وارد شده از رودخانه به دلتا (نرخ رسوب‌گذاری بالا) سبب می‌شود جانداران فرصت کافی برای تجمع زیستی بسترهای رسوبی نداشته باشند، در نتیجه پنجره تجمع زیستی (Colonization Window) در چنین رخساره‌هایی کاهش می‌یابد. به سوی نواحی تحت تأثیر فرایندهای دریایی، افزایش گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها (جدول ۱) در رخساره‌های دور از ساحل و بخش‌های پایینی حاشیه ساحلی نسبت به رخساره‌های دلتایی نشان از شرایط دریایی باز و تأثیر نداشتن فرایندهای رودخانه‌ای دارد. بررسی ساخت‌های فیزیکی در این رخساره‌ها نیز نشان‌دهنده تأثیر نوسان‌های امواج است. در بسترهای نرم و چسبنده نواحی دریایی باز کاهش انرژی جریان، میزان کمتر نرخ رسوب‌گذاری و تأمین بالایی مواد غذایی موجب افزایش میزان گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها و تشکیل پنجره تجمع زیستی گسترده‌تر می‌شود. یکی از نکات مهمی که در ارتباط با پراکندگی اثرفسیل‌های سازند جیروود می‌توان به آن اشاره کرد، نوع اثرها در لایه شیلی سیاه‌رنگ افق بالایی این سازند است که از آن به عنوان رخداد هانگنبرگ در مرز دونین-کربنیفر یاد می‌شود (مصدق و همکاران، ۱۳۸۴). رنگ تیره‌تر مجموعه آثار فسیل موجود در این مرز و الگوی رفتاری آنها (الگوی تیرینگ ژرف‌تر) آن را از دیگر مجموعه اثرفسیل‌های سازند جیروود متمایز می‌کند. بررسی مطالعات اثرشناسی اثرفسیل‌های این افق شیلی نشان می‌دهد که اثر فسیلی چیره در این واحد *Chondrites targionii* است. تنها اثرفسیلی مشاهده شده با آن، اثرجنس زئوفیکوس و در برخی موارد پلانولیتس است. به گونه‌ای که حتی در برخی موارد می‌توان با توجه به فراوانی بالای *C. targionii* آن را به‌عنوان مجموعه‌های تک جنسی (Monospecific Suite) معرفی کرد. وجود چنین اثراتی با توجه به نتایج بالا، نشان از محیط‌های بدون اکسیژن و ژرف دریایی (زیر خط اثر امواج)، در بستری رسی با میزان بالای مواد آلی دارند. این شرایط نشان‌دهنده فعالیت جاندار موجود در این بستر به‌صورت همزیستی شیمیایی است. چنین شرایطی بر وجود ایکونوفاسیس زئوفیکوس در این افق، بالا بودن سطح آب و وجود شرایط احیایی تأکید دارد. به همین دلیل می‌توان حداقل پدیده انقراض رفتارهای زیستی را در این افق با توجه به نوع آثار فسیل و سبک رفتار آنها اثبات کرد. در بررسی عوامل انقراض در مرز دونین-کربنیفر در نهشته‌های سازند جیروود شواهد اثرشناسی و تغییرات رخساره‌ای منطبق با آنها دلالت بر تأثیر پدیده نوسان‌های سطح آب دریا، شرایط اکسیژن اقیانوسی (Oceanic Anoxia) منطبق بر نظریه (Becker et al. 1984) و Buggisch (1991) دارد. در بررسی نهشته‌های سازند جیروود شواهدی از افزایش شدید ژرفای آب دریا از رخساره‌های لاگونی-ساحلی زیر توده بازالتی به رخساره‌های ژرف دور از ساحل زیر خط اثر امواج (بالای توده بازالتی) دیده می‌شود (جدول ۱). همزمان با تغییرات رخساره‌ای، تغییراتی آشکاری نیز در مجموعه اثرفسیل‌ها دیده می‌شود که شامل افزایش از میان رفتن آشیانه‌های بوم‌شناختی، کاهش گوناگونی زیستی، کاهش زیست‌آشفته‌گی، افزایش کربن آلی ( $C_{org}$ ) و نهشت شیل‌های سیاه‌رنگ (به‌عنوان میزبان اثرفسیل‌ها) در شرایط احیایی است. در نهشته‌های سازند جیروود شواهد بالاآمدگی سطح آب دریا و قرارگیری آب‌های بدون اکسیژن روی آب‌های کم‌ژرفا بر پایه اثرفسیل‌ها شامل موارد زیر است: - روند کاهش گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها از رسوبات پیش از توده بازالتی به سوی بالای توالی یا لایه شیلی سیاه‌رنگ منطبق بر رخداد هانگنبرگ.

- تغییر الگوی رفتاری اثرفسیل‌ها از الگوی رفتاری معلق‌خواری و رسوب‌خواری کم‌ژرفا (Deposit Feeding Shallow) در واحدهای پیش از توده بازالتی به



نشان‌دهنده موقعیت حدواسط میان ایکونوفاسیس‌های دور از ساحل کروزیانا و اسکولایتوس است. ایکونوفاسیس اسکولایتوس در نهشته‌های سازند جیروود به صورت آثار ناشی از فعالیت جانداران به‌صورت حفرات قائم، استوانه‌ای و U شکل در میان ماسه‌سنگ‌های متوسط‌دانه با جورشدگی بالا دیده می‌شود. ایکونوفاسیس اسکولایتوس نشان‌دهنده انرژی بالای امواج و جریان است و در بسترهای ماسه‌ای جورشده محیط‌های دریایی ایجاد می‌شود. این ایکونوفاسیس در محیط‌های بالایی و پیش ساحل سازند جیروود که تغییرات ناگهانی در میزان رسوب‌گذاری، فرسایش و انتقال دوباره رسوبات متداول است، تشکیل می‌شود. به سمت نواحی نزدیک به لاگون تغییر شرایط از پراترزی به کم‌انرژی موجب می‌شود نسبت عناصر ایکونوفاسیس اسکولایتوس کاهش یابد، در نتیجه، این ناحیه به‌وسیله ایکونوفاسیس اسکولایتوس محدود شده با گوناگونی کم جاندارانی با استراتژی رفتاری معلق‌خوار همراه است. نوسانات در شرایط شوری و اکسیژن در محیط‌های لاگون رایج است، این شرایط موجب می‌شود که ایکونوفاسیس اسکولایتوس محدودشده (ریزوکورالیوم جنز پلانولیتس، پالئوفیکوس، کندریتس، تانیدیم و فیکودس) با اثرفسیل‌هایی دارای استراتژی رفتاری گریزینگ، تغذیه‌ای و همزیستی شیمیایی، دیده شود. در پایان با توجه به پراکندگی ایکونوجنس‌های ایکونوفاسیس‌ها و مطالعه ساختارهای رسوبی غیرزیستی، مدل ایکنولوژیکی نهشته‌های سازند جیروود در تصویر شکل ۴ ارائه شده است.

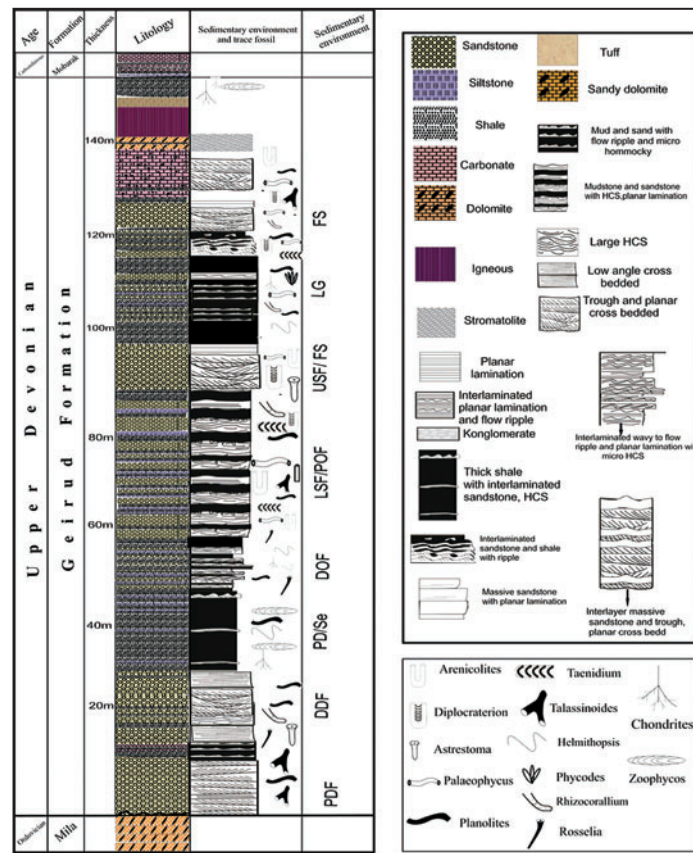
#### ۷- نتیجه‌گیری

بررسی مطالعات ایکنوتاکسونومیک سازند جیروود در البرز مرکزی در برش زایگون دلالت بر وجود مجموعه‌ای با گوناگونی بالا از آثار فسیل دارد و شامل ۱۶ اثرجنس با ۲۵ اثرگونه است. اثرجنس‌های شناسایی‌شده به‌طور چیره سبک رفتاری تغذیه‌کننده از رسوبات و اثرفسیل‌های شاخص محیط‌های دریایی دارند. چگونگی پراکندگی اثرفسیل‌ها و وجود اثرجنس‌های ویژه ایکونوفاسیس زئوفیکوس در واحد شیلی بالایی این سازند دلالت بر محیط اکسیدان بدون اکسیژن دارد که تحت تأثیر پدیده انقراض در مرز دونین-کربنیفر بوده است.

فراوانی و استراتژی رفتاری اثرفسیل‌ها در طول ژرفای حوضه شامل: ایکونوفاسیس زئوفیکوس، ایکونوفاسیس دور از ساحل کروزیانا، ایکونوفاسیس کروزیانا، ایکونوفاسیس نزدیک به ساحل کروزیانا، ایکونوفاسیس اسکولایتوس و ایکونوفاسیس اسکولایتوس محدود شده است (جدول ۱). ایکونوفاسیس زئوفیکوس در محیط‌های پایینی دور از ساحل - فلات‌قاره که شیل‌های سیاه‌رنگ ستر دارند، گسترش دارد. این ایکونوفاسیس در محیط‌های بدون تأثیر نوسان‌های موجسار هوای توفانی و میزان رسوب‌گذاری آرام با سطح بستری پراترزی و غنی از مواد آلی گسترش می‌یابد. چنین شرایطی موجب گسترش استراتژی رفتاری گریزینگ با تیرینگ ژرف (*Zoophycos* و *Chondrites targionii*) در نهشته‌های سازند جیروود شده است. ایکونوفاسیس کروزیانا در نهشته‌های سازند جیروود به صورت مجموعه آثاری از ساختارهای افقی، قائم و انحدار با گوناگونی بالا است. این آثار بیشتر علانم تغذیه‌ای، استراحت و گریزینگ موجودات تغذیه‌کننده از رسوبات هستند و دارای آثاری است که به‌وسیله موجودات متحرک و خزنده ساخته شده‌اند. ایکونوفاسیس کروزیانا نشان‌دهنده فعالیت جانوران تغذیه‌کننده از رسوبات و شکارچی در محیط‌های حاشیه ساحلی، به‌ویژه حاشیه ساحلی پایینی و دور از ساحل در حد میان موجسار هوای آرام و توفانی در یک بستر نرم با نرخ رسوب‌گذاری بالاست. تأثیر نوسان‌های موجسار هوای توفانی و آرام در نهشته‌های سازند جیروود موجب شده است که اثرفسیل‌ها در این ایکونوفاسیس تغییرات استراتژی رفتاری زیادی را از خود نشان دهند، به‌گونه‌ای که در طول افزایش ژرفای حوضه نسبت اثرات گریزینگ و همزیست شیمیایی (کندریتس، هلمنتوپسیس و ریزوکورالیوم ایرگولار) افزایش می‌یابد، در برابر آن به سمت نواحی کم ژرفا نسبت اثرات معلق‌خوار (پالئوفیکوس و ریزوکورالیوم جنز) افزایش پیدا می‌کند. به سوی بخش‌های پایینی دور از ساحل که شرایط آرام کم‌انرژی و رسوب‌گذاری آهسته حاکم است ایکونوفاسیس دور از ساحل کروزیانا دیده می‌شوند. این ایکونوفاسیس نشان‌دهنده موقعیت حدواسط میان ایکونوفاسیس‌های دور از ساحل کروزیانا و زئوفیکوس است. همچنین به سوی نواحی حاشیه ساحلی کم ژرفا به دلیل شرایط پراترزی و رسوب‌گذاری سریع ایکونوفاسیس نزدیک به ساحل کروزیانا دیده می‌شود. این ایکونوفاسیس

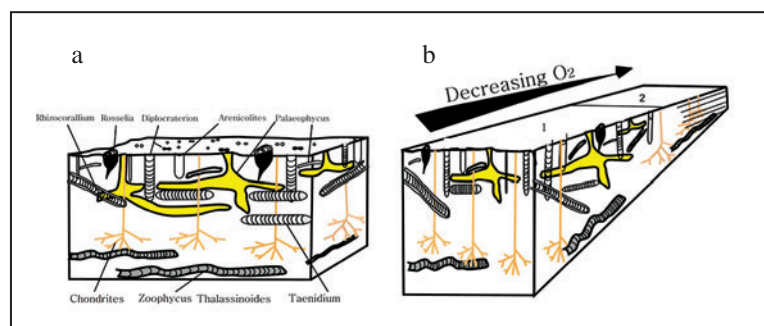


شکل ۱- نقشه جغرافیایی برش چینه‌شناسی مورد مطالعه در شمال خاوری تهران (علامت \*).

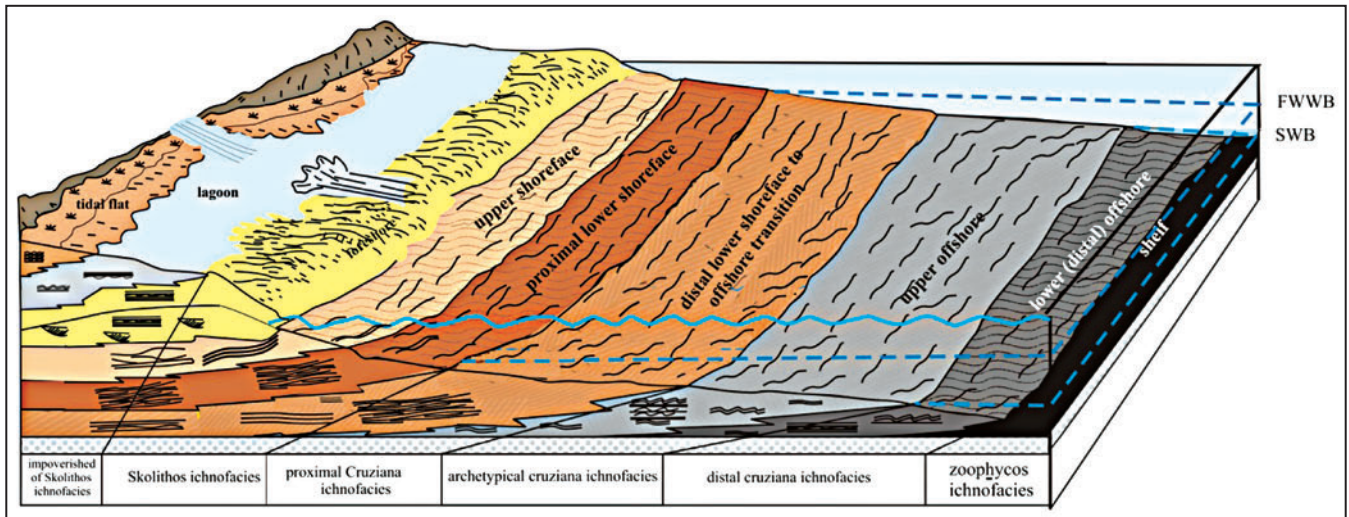


شکل ۲- ستون چینه‌شناسی سازند جیروود در برش زایگون همراه با توزیع آثار فسیل و ساخت‌های رسوبی موجود در لایه‌ها.

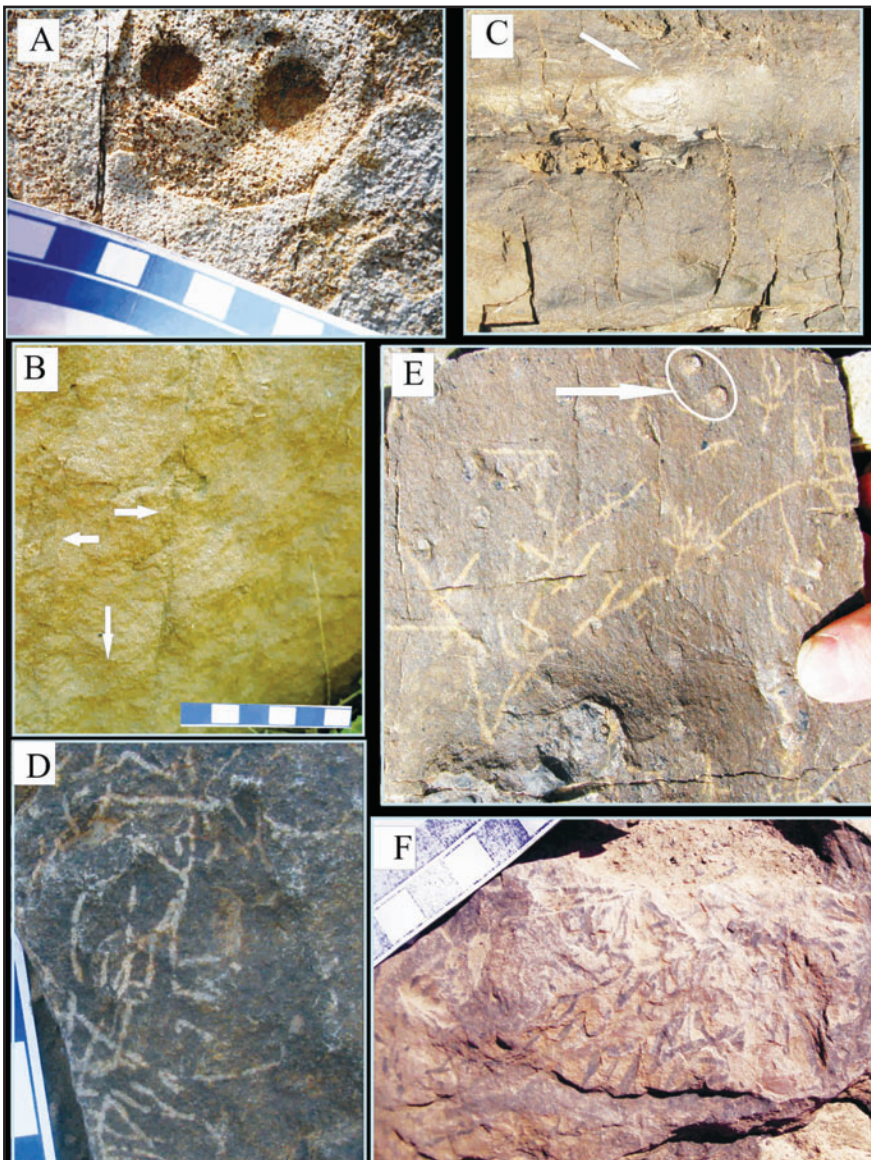
LSF=Lower shorface, USF=Upper shorface, OF=Offshore, Lg=lagoon, TF=Tidal flat, DOF=distal lower shorface, POF=proximal lower shorface, Se=Self, FS=Foreshore, PDF, Proximal delta front, DDF=Distal delta front, PD=Prodelta.



شکل ۳- مدل گرادینانت اکسیژن- قطر در نهشته‌های سازند جیروود. (a) اثر فسیل‌های تالاسینوئیدس، ریزوکورالیوم، دیپلوکراتیون، آرنیکولایتس، روسلیا و تانیدیدیم با ژرفای کم نفوذ در رسوبات و الگوی رفتاری تغذیه‌ای- معلق‌خوار در شرایط پراکسیژن و اثر فسیل‌های کندریتس، زئوفیکوس دارای الگوی تغذیه‌ای رسوب‌خواری ژرف (Deposit Feeding Depth) در شرایط کاهش اکسیژن و (b) کاهش اکسیژن و قطر اثر فسیل‌های بخش نخست با ایکنوفاسیس‌های کروزبانا و اسکولایتوس (۱) به سوی افق شیلی سیاه‌رنگ منطبق بر ایکنوفاسیس زئوفیکوس (۲) که در محیط‌های ژرف دریایی با شرایط آرام رسوبی، مواد آلی بالا و میزان کم اکسیژن گسترش می‌یابد.



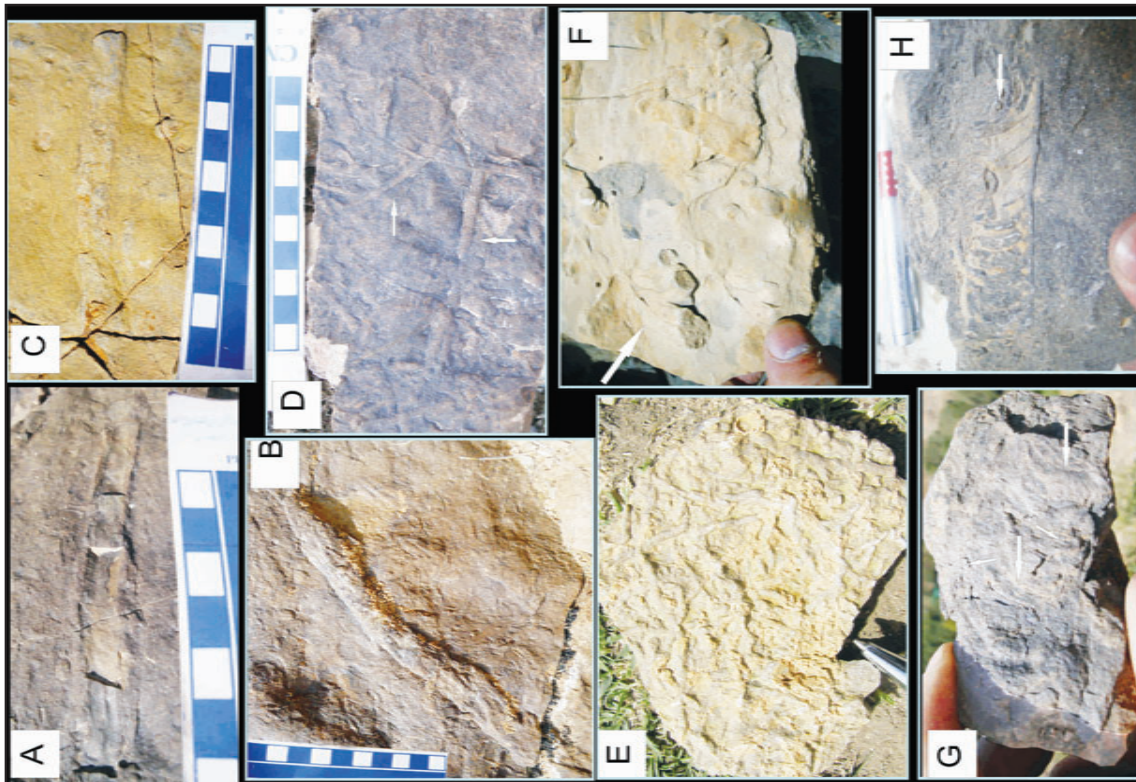
شکل ۴- مدل محیط رسوبی پیشنهادی برای رسوبات آواری سازند جبرود بر پایه گسترش اثر فسیل‌ها و ایکنوفاسیس‌های شناسایی شده. (ساختارهای فیزیکی نشان داده شده بر پایه داده‌های ستون چینه‌شناسی است).



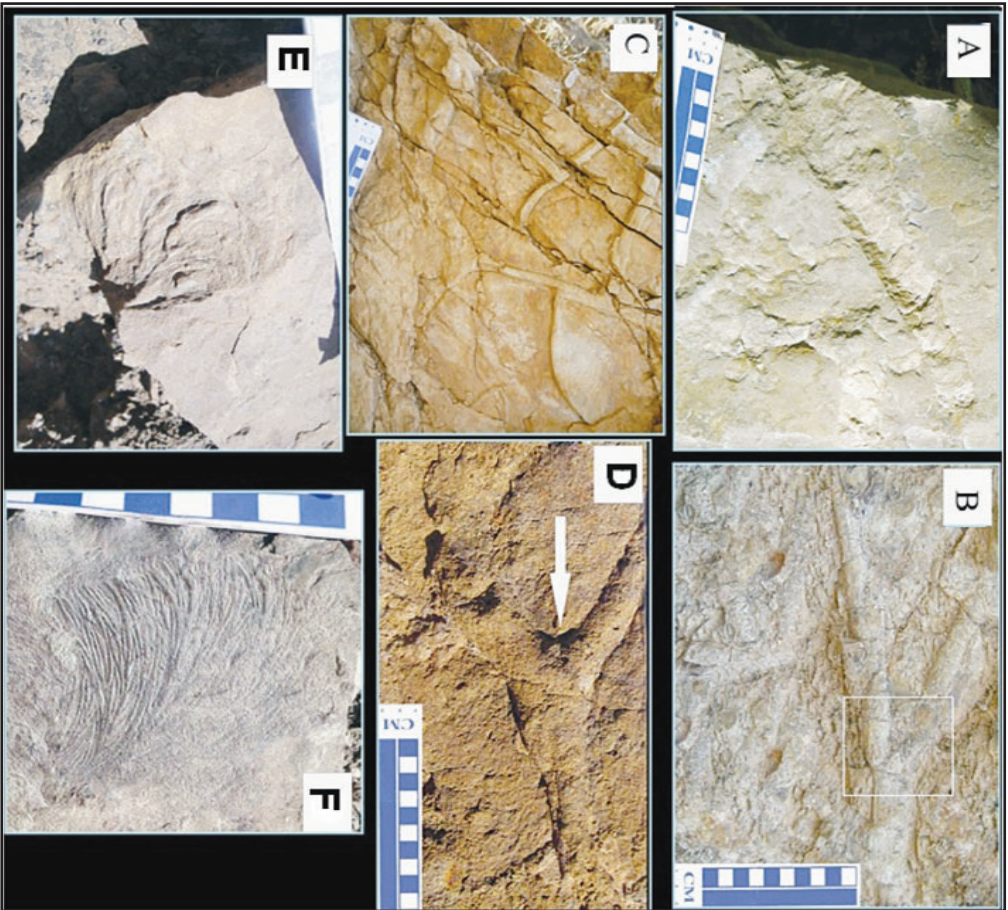
تابلوی ۱- (A) *Arenicolites isp.* منذهای مزدوج بدون لایه‌بندی ریزه‌لالی به صورت اپی‌رلیف مقعر روی سطح بالایی ماسه‌سنگ‌ها، (B) *Arenicolites isp.* به حفرات بدون آستر باریخت U شکل قائم در برش طولی (پیکان‌های سفید) توجه نمایید، (C) *Asterosoma isp.* با ساختار پیازی شکل از ریزلایه‌های هم‌مرکز در پیرامون یک مجرای مرکزی (پیکان سفید)، (D) *Chondrites isp.* تراکم زیاد شبکه دندریتی نامنظم از سیستم حفره‌ای استوانه‌ای کوچک و *Arenicolites isp.* با منذهای مزدوج بدون لایه‌بندی ریزه‌لالی (پیکان سفید)، (E) *Chondrites intricatus* و (F) *Chondrites targionii*. مقیاس‌ها به سانتی‌متر است.



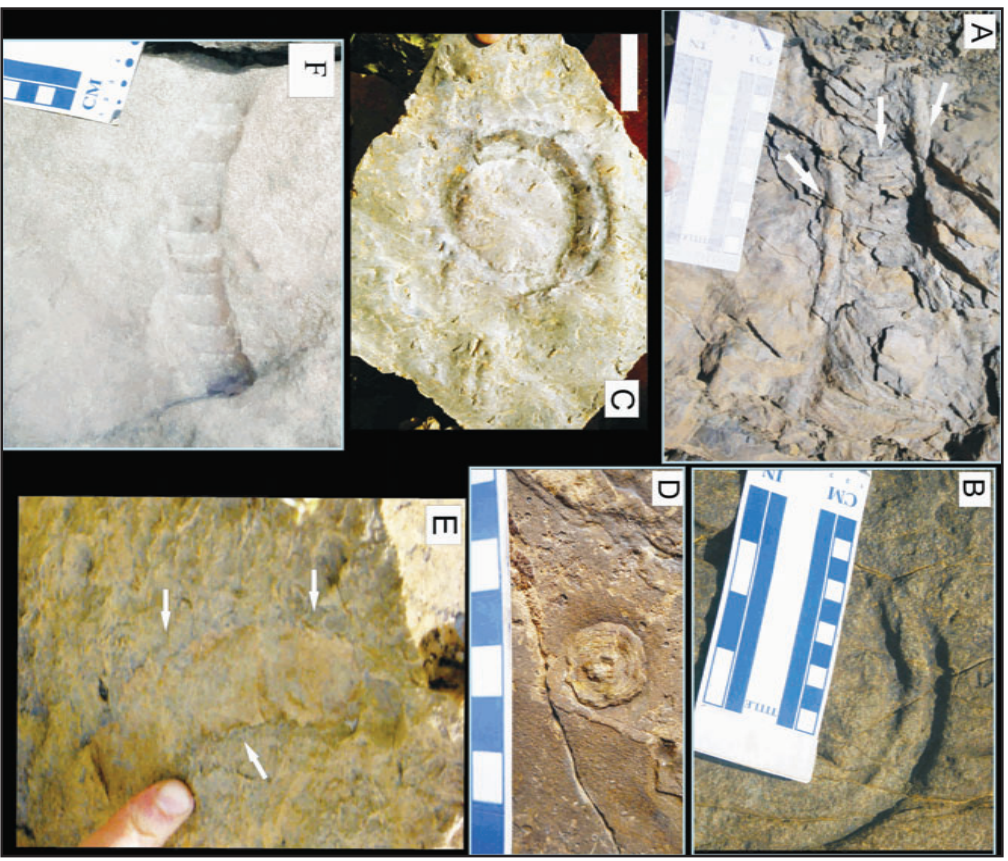
تابلوی ۲- (A) *Diplocraterion parallelum* ، (B و C) *Diplocraterion parallelum* حفرات U شکل استوانه‌ای قائم دارای لایه‌بندی ریزه‌حالی یک سویه، (D) *D. parallelum* ساختارهای دمی‌شکل دارای لایه‌بندی ریزه‌حالی (پیکان‌های سفید)، (E و F) *Helminthoichnites isp.* با دیواره صاف و مسیری نامنظم (پیکان نامنظم) روی سطح بالایی ماسه‌سنگ‌های ریلی، (G) *Helminthopsis abelti* حفرات افقی منظم و بدون انشعاب نامنظم و (H) *Helminthopsis abelti* با مسیر حرکتی c-شکل به سانتی‌متر و طول مقیاس در شکل H برابر ۵ سانتی‌متر است.



تابلوی ۳- (A) *Palaeophycus heberti* با آستر ستبره، (B) *Palaeophycus sulcatus* دارای آثار شیارهای نامنظم، (C) *Palaeophycus tubularis* ، (D) *Palaeophycus tubularis* حفرات بدون آستر (پیکان‌های سفید)، (E) *Planolites isp.* ، (F) *Planolites isp.* ، (G) *Rhizocorallium jenense* پیکان‌های سفید نشان‌دهنده لب‌های کناری و لایه‌بندی ریزه‌حالی و مقیاس‌ها به سانتی‌متر هستند.



تابلوی ۵- *Thalassinoides satanasi* (A) تا *Taenidium satanasi* با *Taenidium satanasi* به صورت پکت‌های موالی، (B) *Thalassinoides horizontalis* (C) *Thalassinoides paradveticus*، با زاویه مختلف انحنایات حفره‌های نسبت به سطح لایه‌بندی، (D) *Thalassinoides stuevicius* به صورت پشته‌های S سیستم حفره‌های Y شکل با قطر بین ۳ در نقطه انحنای (بیگان)، (E) *Zoophycos* با لایه‌بندی‌های ریزحالی به صورت پشته‌های S شکل، (F) *Zoophycos* با لایه‌بندی‌های ریزحالی در نوع مارپیچی بین و ساده به صورت الگوی مارپیچی با رشد به سمت بالا.



تابلوی ۴- *Rhizoecorallium jenense* (A) و *Rhizoecorallium irregular* (C) با پیش‌پیش پلانی اسپایرال، *Rossetia soccioidis* (B) و *Rossetia soccioidis* با مرکز هم‌مرکز در پیرامون یک مجرای مرکزی، (E) *Rossetia soccioidis* در برش قائم با باریک‌شدگی به سوی ناحیه پایانی، (F) *Rhizoecorallium irregular* با *Taenidium serpentinum*، (F) *Rhizoecorallium irregular* با *Taenidium serpentinum* کمانی شکل.

جدول ۱- تلفیق داده‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی سازند جیروود در برش مورد مطالعه. ایکونوفاسیس‌های پیشنهادی برپایه پراکندگی و نوع رفتار اثرسازها در سازند جیروود و الگوی ارائه‌شده توسط (MacEachern et al. (2007).

Facies	Subfacies	Lithology	Primary structure	Ichnofossil	Ichnofacies	Interpretation
<b>Facies Association 1 (shoreface/offshore)</b>	Sporadically bioturbated interbedded clayey siltstone and sandstone	Siltstone and claystone with minor of interlaminated sandstone. moderately bioturbated	contain low-angle parallel lamination, small- scale hummocky cross-stratification (HCS), wave ripples, and current ripple cross-lamination	ichnogenera are uniformly distributed throughout the facies. <i>Helminthopsis</i> , <i>Chondrites</i> , <i>Zoophycos</i> , <i>Planolites</i> , <i>Asterosoma</i> , <i>Helminthoidichnites</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Rosselia</i> , <i>fugichnia</i>	Distal Cruziana ichnofacies	Reworking of the substrate by diminutive deposit-feeding and small grazing/foraging organisms, and is typical of open marine environments lying below storm wavebase Distal offshore.
	Bioturbated interbedded sandstone, sandy siltstone and shale	Siltstone with interlaminated sandstone, intensely to moderately bioturbated, discrete sandstone beds with 10-100 cm thick, sharp bounded, locally fossiliferous	small- scale hummocky cross-stratification (HCS), oscillation ripple lamination or parallel lamination, sharp and erosive base.	The dominant ichnogenera are uniformly distributed throughout the facies, subordinate elements occur sporadically. <i>Rosselia</i> , <i>Planolites</i> , <i>Palaeophycus heberti</i> , and <i>Rhizocorallium irregular</i> , <i>Thalassinoides suevicus</i> , <i>Taenidium</i> , <i>Chondrites</i> , <i>Arenicolites</i> . Subordinate and elements are <i>Diplocraterion</i> <i>fugichnia</i> in sandstone layer	Diverse archetypal Cruziana ichnofacies with Skolithos ichnofacies in the sandstone beds	Structures of deposit-feeding and vertical burrows of opportunistic suspension in layer sandstone indicative of the recurring juxtaposition of <i>Cruziana</i> and <i>Skolithos</i> ichnofacies and is typical of environment below fair-weather wavebase. Upper offshore.
	Sporadically bioturbated coarsening-upward sandstone facies interbedded with sandy siltstone and shale	Comprises a coarsening-upward succession from Siltstone with interlaminated sandstone, moderately bioturbated. locally fossiliferous	Low-angle and macro HCS with sharp and erosive base.	ichnogenera are uniformly distributed throughout the facies, <i>Diplocraterion</i> , <i>Rhizocorallium jenense</i> , <i>Planolites</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Taenidium</i> , <i>Thalassinoides paradoxicus</i> <i>Asterosoma</i> , <i>Rosselia</i> , <i>fugichnia</i>	Proximal Cruziana ichnofacies with Skolithos ichnofacies in the clean sandstone	Macro HCS indicate storm influence on the environment during fair-weather assemblage reworked the substrate. fair-weather trace fossil suite with mixture of robust, structures of deposit- feeding, (typical of proximal expression of the <i>Cruziana</i> ichnofacies) with component of the <i>Skolithos</i> ichnofacies indicate deposition in storm-influenced lower shoreface
	Amalgamated laminated and cross-bedded sandstone	Coarsening-upward facies from well sorted sandstone without shale, un- to lowly bioturbated.	Trough cross-stratification and low-angle planar cross-bedded sets and Plane parallel-laminated sandstones with sets of wave -ripple capping towards the top of the layer.	Trace fossils are rarely abundant, and assemblage diversity is low. <i>Diplocraterion</i> , <i>Arenicolites</i> , <i>Rhizocorallium jenense</i> , <i>Palaeophycus</i> and <i>fugichnia</i> .	Skolithos ichnofacies	Trace fossils are vertical to subvertical, and represent the domiciles of deeply burrowing suspension-feeding organisms with withstand the continually migrating bed-forms with structures typical of upper shoreface/foreshore deposits.
	Mudstones and fissile shales interbedded with sandstone	Medium beds of un- to lowly bioturbated sandstone. with variations in silt content, fossil content, and color	Bioturbation is highly variable, ranging from homogenous mudstone to well-laminated shale. Upper and lower bed surfaces are sharp with Planar to wavy lamination. locally Synaeresis cracks	Trace fossils are rarely abundant, and assemblage diversity and abundant is low. <i>Diplocraterion</i> , <i>Rhizocorallium jenense</i> , <i>Planolites</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Chondrites</i> , <i>Taenidium</i> , <i>Phycodes</i>	Impoverished elements Cruziana ichnofacies in the mudstone layer with Skolithos ichnofacies in the sandstone beds	Low- diversity and abundant trace fossil assemblage is dominated by trophic generalists, consistent with deposition in a setting subject to periodic salinity and oxygenation stresses. Lagoon.
	<b>Facies Association 2 (delta front/prodelta)</b>	Interbedded tabular sandstone and un- to little bioturbated sandstone.	Medium to thick beds of un- to lowly bioturbated sandstone. Scattered, burrows, and interbedded tabular intervals of sandstone with sharp-bounded and rhythmic bedding style.	Sets of laminated sandstones, planar to low angle cross bedding and trough cross-stratification, associated with sets of wave -ripple capping towards the top of the layer and soft-sediment deformation structures.	Suite displays robust burrows passively filled with laminated muddy sandstone with low- diversity and abundant. <i>Planolites</i> , <i>Thalassinoides suevicus</i> , <i>Rhizocorallium irregular</i> , <i>Rosselia</i> , <i>Asterosoma</i> .	Proximal Cruziana ichnofacies
Sparsely bioturbated interbedded shale, siltstone and silty sandstone facies		siltstone and clayey siltstone interbedded with silty sandstone, bases are sharp and erosive, contain mudstone or siltstone rip-up clasts	Sandstone beds with Oscillation ripple-lamination or wavy parallel lamination. Siltstone and clayey siltstone beds display horizontal laminations. rare synaeresis cracks	Low- diversity and abundant trace fossil assemblage with deposit-feeding and grazing structures. <i>Helminthopsis</i> , <i>Chondrites</i> , <i>Zoophycos</i> , <i>Planolites</i>	Distal Cruziana ichnofacies	Dominance of deposit-feeding structures, and impoverishment of Skolithos Ichnofacies elements, despite the availability of sandy substrates, indicative of high water turbidity and of deltaic conditions. Prodelta.

### کتابنگاری

- آفانیاتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- تیموری، ر.، ۱۳۸۸- بیواستراتیگرافی سازند جیروود در برش دره جیروود واقع در شمال خاوری تهران با نگرشی ویژه بر کونودونت‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۳۰ ص.
- لاسمی، ی.، ۱۳۷۹- رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالئوزویک ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۸۰ ص.
- مصدق، ح.، کبریایی‌زاده، م. و حسینی‌نژاد، م.، ۱۳۸۴- ویژگی‌های زیست‌چینه‌ای و رسوب‌شناسی گذر دونین- کربنیفر (سازندهای جیروود و مبارک) در البرز شرقی: معرفی حادثه زیستی هنگنبرگ (Hangenberg bioevent). مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص. ۲۹۷-۲۸۵.

## References

- Abbassi, N., 2007- Shallow Marine Trace fossils from Upper Devonian sediments of the Kuh-E Zard, Zefreh area, central Iran. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A*, Vol. 31, No. A1: 23-33.
- Alavi-Naini, M., 1993- Paleozoic stratigraphy of Iran. *Treatise on the geology of Iran*. Tehran: Geological Survey of Iran.
- Assereto, R., 1963- The Paleozoic formations in Central Elburz (Iran) (preliminary note). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 69: 503–543.
- Assereto, R. & Gaetani, M., 1964- Nuovi dati sul Devoniano della catena dell, Imam Zadeh Hashim (Elburz Central). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 70: 631-636.
- Bann, K. L., Fielding, C. R., MaCeachern, J. A. & Tye, S. C., 2004- Differentiation of estuarine and offshore marine deposits using integrated ichnology and sedimentology: Permian Pebble 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.
- Becker, R. T., 1993- Analysis of ammonoid palaeobiogeography in relation to the global Hangenberg (terminal Devonian) and Lower Alum Shale (Middle Tournaisian) events. *Ann. Soc. Géol. Belg.* 115, 459–473.
- Becker, R. T., Bless, M. J. M., Brauckmann, C., Friman, L., Higgs, K., Keupp, H., Korn, D., Langer, W., Papproth, E., Racheboeuf, P., Stoppel, D., Streel, M. & Zakowa, H., 1984- Hasselbachtal, the section best displaying the Devonian-Carboniferous boundary beds in the Rhenish Massif (Rheinisches Schiefergebirge). *Cour. Forschungsinst. Senckenberg* 67, 23–28.
- 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.
- Bond, D., Wignall, P. & Racki, G., 2004- Extent and duration of marine anoxia during the Frasnian– Famennian (Late Devonian) mass extinction in Poland, Germany, Austria and France. *Geol. Mag.* 141 (2), pp. 173–193.
- Bozorgnia, F., 1973- Paleozoic foraminiferal biostratigraphy of central and east Alborz Mountains, Iran. *National Iranian Oil Company, Geological Laboratories* 4: 1–185.
- Bromley, R. G. & Asgaard, U., 1991- Ichnofacies: a mixture of taphofacies and biofacies. *Lethaia*, 24: 153-163.
- Bromley, R. G. & Asgaard, U., 1979- Triassic freshwater ichnocoenoses from Carlsberg fjord, east Greenland. *Palaeo - geography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 28, 39–80.
- Bromley, R. G., 1996- *Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications*. Chapman and Hall, London.
- Bromley, R. G. & Ekdale, A. A., 1984- Chondrites: a trace fossil indicator of anoxia in sediments. *Science* 224, 872–874.
- Bromley, R. G. & Hanken, N. M., 1991- The growth vector in trace fossils: examples from the Lower Cambrian of Norway. *Ichnos* 1, 261–276.
- Brongniart, A. T., 1823- Observations sur les Fucoides. *Société d’Histoire Naturelle de Paris, Mémoire*, 1: 301-320.
- Brongniart, A. T., 1828- Histoire des végétaux fossiles ou recherches botanique et géologique sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe, 1. G. Dufour & E. D’Ocagne, Paris: 136 pp.
- Buatois, L. A., Mángano, M. G., Malpes, C. G. & Lanier, W. P., 1998- Ichnology of an Upper Carboniferous fluvio-estuarine paleovalley: The Tonganoxie sandstone, Buildes Quarry, eastern Kansas, USA. *Journal of Paleontology* 72, 152–180.
- Buggisch, W., 1991- The global Frasnian–Famennian “Kell- wasser Event”. *Geologische Rundschau* 80, 49–72.
- Catuneanu, O., 2006- *Principles of Sequence Stratigraphy*, The Boulevard Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK. 387P.
- D’Alessandro, A. & Bromley, R. G., 1987- Meniscate trace fossils and the Muensteria-Taenidium problem. *Palaeontology*, 30: 743-763.
- Dahmer, G., 1937- Lebensspuren aus dem Taunusquarzit und den Siegener Schichten (Unterdevon). *Preussischen Geologisches Landesanstalt, Jahrbuch*, (1936), 57: 523- 539.
- Ehrenberg, K., 1944- Ergänzende Bemerkungen zu den seinerzeit aus dem Miozän von Burgschleinitz beschriebenen Gangkernen und Bauten dekapoder Krebse. *Paläontologische Zeitschrift*, 23: 345-359.
- Fillion, D. & Pickerill, R. K., 1984- Systematic ichnology of the middle Ordovician Trenton Group, St. Lawrence Lowland, eastern Canada. *Maritime Sediments and Atlantic Geology*, 20: 1-41.
- Fitch, A., 1850 - A historical, topographical and agricultural survey of the County of Washington. Part 2-5. *New York Agriculture Society, Transactions*, 9: 753–944.
- Frey, R.W., 1970- Trace fossils of Fort Hays Limestone Member of Niobrara Chalk (Upper Cretaceous), west-central Kansas. *University of Kansas Paleontological Contributions, Article*, 53 (Cretaceous 2): 1-41.
- Frey, R.W. & Pemberton, S. G., 1984- Trace fossil facies models. In Walker, R.G. (ed.) *Facies Models*. Geological Association of Canada. 189–207
- Fu, S., 1991- Funktion, Verhalten und Einteilung fucioder und lophocteniider lebensspuren. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 135: 1-79.
- Fürsich, F. T., 1974- On Diplocraterion Torell 1870 and the significance of morphological features in vertical, spreiten-bearing, U-shaped trace fossils. *Journal of Paleontology* 48, 952–962.

- Gaetani, M., 1965- The geology of the Upper Djadjerud and Lar Valleys (north Iran); II Paleontology; Brachiopods and molluscs from Geirud Formation, Member A (Upper Devonian and Tournaisian). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 71: 679–755.
- Gaillard, C., Hennebert, M. & Olivero, D., 1999- Palaeoenvironmental significance of the trace fossil *Zoophycos* in the Upper Tournaisian Limestone of Tournai (Lower Carboniferous, Belgium). *Geobios*, 32:513–524.
- Hall, J., 1847- Palaeontology of New York, State of New York (Albany, N. Y.), v 1. 338. pp.
- Han, Y. & Pickerill, R. K., 1994- *Phycodes templis* isp. nov. from the Lower Devonian of northwestern New Brunswick, eastern Canada. *Atlantic Geology* 30, 37–46.
- Heer, O., 1876-1877- Flora fossilis Helvetiae. Die vorweltliche Flora der Schweiz. Verlag von J. Würster, Zürich: 182 pp.
- Holser, W., Ma garitz, M. & Ripperdan, R. L., 1996- Global isotopic events. In: Walliser, O. H. (Ed.), *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. *Lect. Notes Earth Sci.*, vol. 30, pp. 63–88.
- Keighley, D. G. & Pickerill, R. K., 1994- The ichnogenus *Beaconites* and its distinction from *Ancorichnus* and *Taenidium*. *Palaeontology*, 37: 305-337.
- Korn, D., 1992- Ammonoideen vom Devon/Karbon-Grenzprofilan der Grünen Schneid (Karnische Alpen, Österreich). *Jb. Geol. B. - A.* 135, 7–19.
- Książkiewicz, M., 1977- Trace fossils in the Flysch of the Polish Carpathians. *Palaeontol og a Polonica* 36, 1–208.
- MacEachern, J. A., Bann, K. L., Pemberton, S. G. & Gingras, M. K., 2007- The ichnofacies paradigm: High-resolution paleoenvironmental interpretation of the rock record. In: McIlroy, D. (ed.), *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*, Geological Society, London, Special Publication, v 228, p. 179-212.
- Massalongo, A., 1855- *Zoophycos, novum genus plantorum fossilium*. *Typis Antonellianis, Verona* 44–52.
- Miller, S. A. & Dyer, C. B., 1878- Contribution to paleontology, no. 1. *Journal of Cincinnati Society of Natural History*, 1:24–39.
- Myer, G., 1954- Neue Beobachtungen an Lebenspuren aus dem untern Hauptmuschelkalk von Wielsolch. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 99, 223-229.
- Myrow, P. M., 1995- Thalassinoides and enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. *Palaios*, 10: 58-74.
- 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.
- Otto, E. Von., 1854- Additamenta zur Flora des Quadergebirges in Sachsen. II. Heft, enthaltend meist noch oder wenig bekannte fossile Pflanzen. G. Mayer, Leipzig, Part 2, 53p.
- Richter, R., 1850- Aus der thüringischen Grauwacke. *Deutsche Geologische Gesellschaft, Zeitschrift*, 2, 198-206.
- Rieth, A., 1932- Neue Funde spongeliomorpher Fucoiden aus dem Jura Schwabens. *Geologisch Paläontologisches Abhandlungen, Jena*, 19: 257-294.
- Salter, J. W., 1857- On annelide-burrows and surface markings from the Cambrian rocks of the Longmynd. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 13, 199-206.
- Saporta, G. de., 1872-1873- *Paléontologie française ou description des fossiles de la France (commencée par Alcide d'Orbigny et) continuée par une réunion de paléontologists*. 2 sér. *Végétaux. Plantes jurassiques*, 1. G. Masson, Paris: 506 pp.
- Seilacher, A., 2007- *Trace Fossil Analysis*. Springer, Berlin Heidelberg New York. 226.
- Sepkoski, Jr. J. J., 1996- Patterns of Phanerozoic extinction: a perspective from global data bases. In: Walliser, O.H. (Ed.), *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. Springer, Berlin, pp. 35 –51.
- Sternberg, K. M. Von, 1833- Versuch einer geognostisch-botanischen Darstellung der Flora der Vorwelt. 5, 6 Johann Spurny, Prague, 80 p.
- Streel, M., Caputo, M.V., Loboziak, S. & Melo, J. H. G., 2000- Late Frasnian–Famennian climates based on palynomorph analyses and the question of the Late Devonian glaciations. *Earth-Sci. Rev.* 52, 121–173.
- Taylor, A. M., Goldring, R. & Gowland, S., 2003- Analysis and application of ichnofabrics. *Earth Science Reviews* 60, 227–259.
- Torell, O. M., 1870- *Petrificata Suecana Formationis Cambriacae*. *Lunds Universitets Årsskrift* 6, 1–14.
- Uchman, A., 1999- Ichnology of the Rhenodanubian flysch (Lower Cretaceous–Eocene) in Austria and Germany. *Beringeria* 25, 65– 171.
- Vossler, S. M. & Pemberton, S. G., 1989- Ichnology and paleoecology of offshore siliciclastic deposits in the Cardium Formation (Turonian, Alberta, Canada). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 74, 217-239.
- Wang, K., Attrep, Jr. M. & Orth, C. J., 1993- Global iridium anomaly, mass extinction, and redox change at the Devonian– Carboniferous boundary. *Geology* 19, 776 –779.
- Wendt, J., Kaufmann, B., Belka, Z., Farsan, N. & Bavandpur, A. K., 2005- Devonian/Lower carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran. Part P. North and central Iran. *Acta Geologica Polonica* 55(1): 31–97.
- Woodward, S., 1830- *A Synoptic Table of British Organic Remains*. Longman, Rees, Orme, Brown and Green, London and Norwich: 50 pp.
- Zenker, J. C., 1836- *Historisch-topographisches Taschenbuch von Jena und seiner Umgebung besonders in naturwissenschaftlicher und medicinischer Beziehung*. Wackenholder, Jena, 338 p.



# Ichnology on Geirud Formation in the Hangenberg Mass Extinction Event (Famennian-Tournaisian), Zaygon Section, Central Alborz

A. Bayat Gol<sup>1</sup> & N. Abbasi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Ph. D. Student, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2010 December 26

Accepted: 2011 October 25

## Abstract

A detailed ichnological study on the Geirud Formation (Late Devonian-Early Carboniferous) from the Zaygon area, central Alborz shows a diverse trace fossils, which include 14 ichnogenera represented by 23 ichnospecies. These trace fossils contains various ethological patterns, such as domichnia, fodinichnia, grazing, equilibrichnia, and fugichnia. These trace fossils are: *Arenicolites*, *Asterosoma*, *Chondrites intricate*, *Chondrites targionii*, *Diplocraterion parallelum*, *Arenicolites* isp., *Asterosoma* isp., *Chondrites intricate*, *Chondrites targionii*, *Chondrites* isp., *Diplocraterion parallelum*, *Helminthoidichnites* isp., *Helminthopsis abeli*, *Helminthopsis* isp., *Palaeophycus heberti*, *Palaeophycus tubularis*, *Planolites beverleyensis*, *Planolites* isp., *Phycodes* cf. *palmatus*, *Rhizocorallium jenense*, *Rhizocorallium irregular*, *Rosselia socialis*, *Taenidium serpentinum*, *Taenidium satanassi*, *Talassinoides horizontalis*, *Thalassinoides suevicus*, *Thalassinoides paradoxicus*, *Zoophycos* isp. Studied beds consist by alternations of laminated mudstones and siltstones, and thick- to medium-bedded sandstones with wavy lamination. Hummocky, trough and low angle to planar cross-bedding are common in layers. It seems that these beds were deposited in the delta to open marine environments. Determined ichno-assemblage represents characteristic of a moderately shallow-marine environment, which effected occasionally by high-energy conditions. A trace fossil assemblage has been examined from the uppermost dark-colored shale layers of the Geirud Formation in the Devonian/Carboniferous (D-Ca) boundary. This assemblage include *Chondrites targionii*, *Zoophycos* isp., which involved by Hangenberg event.

**Keywords:** Ichnology, Geirud Formation, Alborz, Hangenberg event.

For Persian Version see pages 33 to 48

\*Corresponding author: N. Abbasi; E-mail: [abbasi@znu.ac.ir](mailto:abbasi@znu.ac.ir)