

## اثر مجموعه‌ها و اهمیت محیطی آن‌ها در سازند جیروود، جنوب غرب شاهرود و شمال شهمیرزاد، البرز مرکزی

محمود شرفی<sup>۱\*</sup>، اسدالله محبوبی<sup>۲</sup>، سید رضا موسوی حرمی<sup>۲</sup>، حسین مصدق<sup>۳</sup>

۱- دکتری رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

\*پست الکترونیک: sharafi2262@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۸

### چکیده

سازند جیروود (فرازمین - فامنین) در حوضه البرز مرکزی در شمال ایران گسترش داشته و از رسوبات سیلیسی - آواری در پایین و کربناته در بالا تشکیل شده است. بررسی اثر فسیل‌های سازند جیروود به شناسایی ۹ اثر مجموعه منجر گردیده که یک روند کلی عمیق شونده را نشان می‌دهند. اثر مجموعه‌های *Skolithos-Arenicolites*، *Thalassinoides-Rhizocorallium* و *Helminthopsis-Chondrites* در ماسه‌سنگ‌های سفید تا قرمز با طبقه‌بندی مورب مسطح دو جهتی، ریپل‌های جریان‌ی و موجی بیانگر تشکیل در یک محیط پر استرس و بستر ناپایدار با شاخص رسوب گذاری بالا از نوع خلیج دهانه‌ای است. اثر مجموعه‌های *Thalassinoides-Arenicolites*، *Rhizocorallium-Palaeophycus* و *Arenicolites-Thalassinoides* در ماسه‌سنگ‌های فسیل دار با طبقه‌بندی مورب تراف و مسطح و HCS نشان دهنده تشکیل در یک موقعیت متوسط - پراثری حاشیه ساحلی با گردش آب و سطح اکسیژن مناسب و مواد غذایی کافی در بستر رسوبی است. اثر مجموعه‌های *Thalassinoides-Rhizocorallium*، *Arenicolites-Diplocraterion*، *Palaeophycus*، *Arenicolites-Protovirgularia* و *Protovirgularia* با تنوع بالای اثر فسیل‌ها در سنگ آهک‌های نازک - متوسط لایه تیره رنگ با پوسته‌های فسیلی فراوان بیانگر برقراری شرایط نرمال دریایی با میزان مواد غذایی و اکسیژن کافی در یک موقعیت فلات کم عمق است.

**واژه‌های کلیدی:** جیروود؛ اثر مجموعه؛ اثر رخساره؛ حاشیه ساحلی؛ فلات؛ خلیج دهانه‌ای.

### مقدمه

(ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه سفید رنگ با طبقه‌بندی عمدتاً مورب مسطح دو تا چند جهتی و درهم)، حاشیه ساحلی (تناوب ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه با طبقه‌بندی مورب تراف، صفحه‌ای و HCS و شیل‌های خاکستری - تیره) و فلات کم عمق و یا دور از ساحل (سنگ آهک‌های

سازند جیروود به سن دونین بالایی در حوضه البرز مرکزی در شمال ایران از رسوبات سیلیسی - آواری و کربناته تشکیل شده است. به طور کلی این رسوبات در چهار سیستم رسوبی شامل رودخانه‌ای (تناوب رسوبات شیل و ماسه‌سنگ - کنگلومرای قرمز)، خلیج دهانه‌ای

هدف از این پژوهش معرفی اثر فسیل‌ها، تفسیر اثر مجموعه‌ها، بررسی اهمیت محیطی و بوم‌شناسی آن‌ها در رسوبات سیلیسی - آواری و کربناته سازند جیروود در البرز مرکزی است.

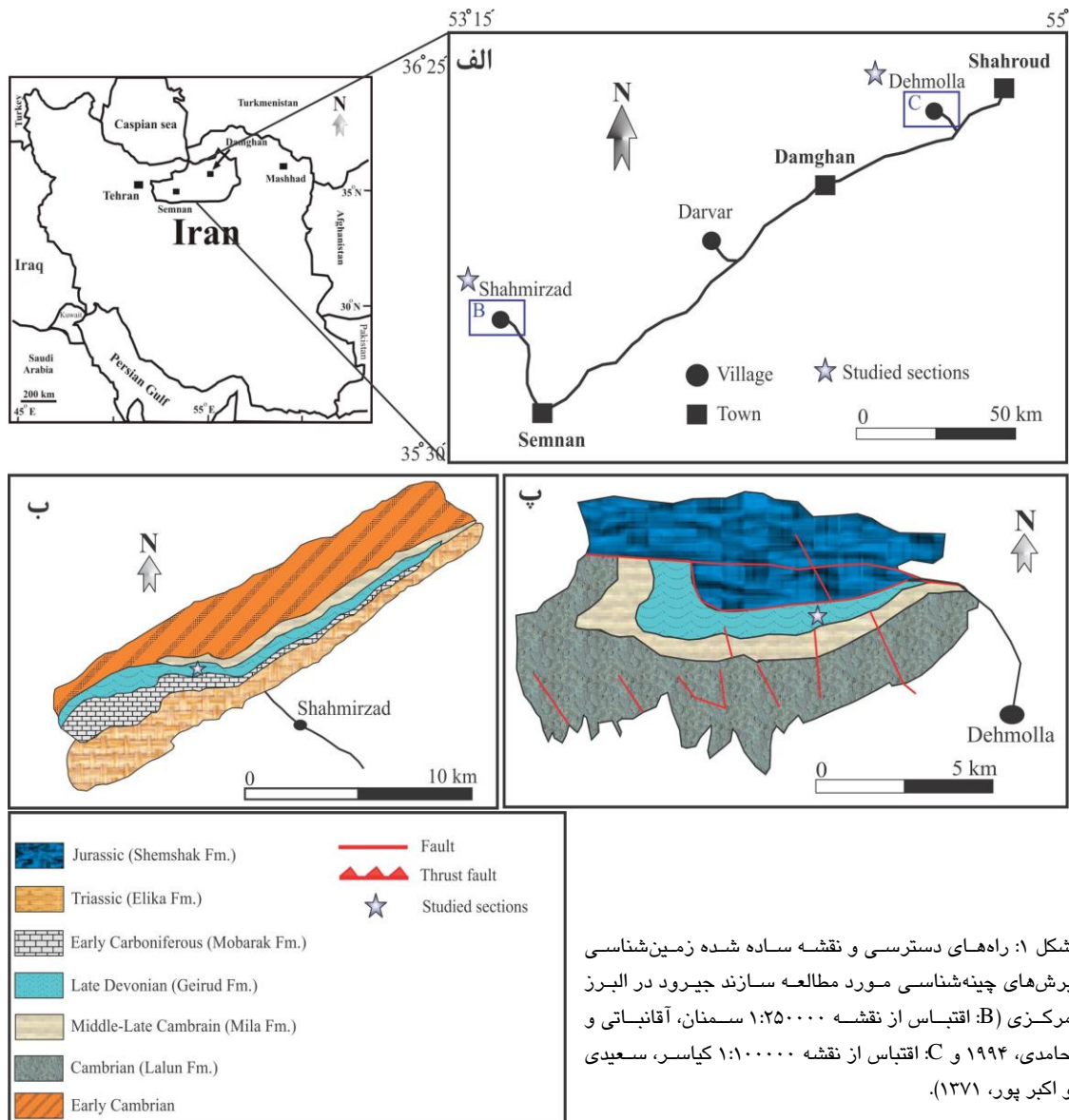
### موقعیت زمین‌شناسی و چینه‌نگاری

رشته کوه‌های البرز با روند کلی شرقی - غربی یکی از پهنه‌های ساختاری در شمال ایران است (Stöcklin, 1968). این پهنه ساختاری به سه بخش خاوری، مرکزی و باختری تقسیم می‌شود و حوضه مورد مطالعه در بخش مرکزی قرار گرفته است. سازند جیروود در ۲ برش ده‌ملا با مختصات جغرافیایی  $36^{\circ} 21' 53''$  طول شرقی و  $45^{\circ} 28' 1''$  عرض شمالی و ضخامت ۱۸۵ متر و برش شه‌میرزاد با مختصات  $35^{\circ} 46' 12''$  طول شرقی و  $19^{\circ} 25' 4''$  عرض شمالی و ضخامت ۱۴۳ متر در مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱). در ناحیه مورد مطالعه، سازند جیروود با ناپوستگی فرسایشی بر روی شیل‌های سبز رنگ سازند میلا (کامبرین بالایی) قرار گرفته و مرز بالایی آن با سنگ آهک‌های سازند مبارک (کربنیفر زیرین) تدریجی است. بر مبنای مطالعات مختلف چینه‌شناسی و دیرینه‌شناسی بر روی بازوپایان (Bozorgnia, 1964)، پالینومورف‌ها (Ghavidel-Syooki, 1995) و هاشمی و تابع، (۱۳۸۴) و گونیاتیت‌ها (دشتیان، ۱۳۷۳) سن سازند جیروود فرازین - فامنین تعیین شده است.

### روش مطالعه

در این مطالعه دو برش ده‌ملا و شه‌میرزاد به ترتیب با ضخامت ۱۸۵ و ۱۴۳ متر در حوضه البرز مرکزی در شمال ایران مورد مطالعه قرار گرفت (شکل‌های ۲-۴).

فسیل‌دار با رخساره‌های طوفانی و HCS و شیل تیره) ته نشست یافته و یک روند عمودی عمیق شونده را نشان می‌دهند (شرفی، ۱۳۹۳). حاکمیت شرایط بیشتر پرتنش و نامساعد از نظر درجه شوری به حفظ شدگی اثر فسیل‌ها با تنوع پایین و اندازه عمدتاً کوچک در این رسوبات منجر گردیده است (Gingras et al., 2008). این رسوبات که مؤید وجود یک محیط حد واسط در زمان دونین بالایی است بیانگر تغییرات مشخص در میزان رسوب‌گذاری، گردش آب و درجه شوری است. به طور کلی، این پهنه‌های انتقالی با یک روند ثابت کاهش انرژی موازی با افزایش عمق مشخص می‌شوند (Dalrymple & Choi, 2007). در نتیجه این روند کاهش در سطح انرژی هیدرولیکی، یک روند افزایش قابل پیش بینی میان عمق آب و رخساره‌ها وجود دارد. روند عمودی این توالی‌ها با تناوب شیل‌های ضخیم و ماسه‌سنگ‌های نازک لایه (پایین حاشیه ساحلی)، تناوب ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم لایه با طبقه‌بندی مورب صفحه‌ای و طبقه‌بندی مورب پشته‌ای (HCS) (میانه و بالای حاشیه ساحلی) و در نهایت شیل و سنگ آهک‌های نازک لایه (فلات و دور از ساحل) مشخص می‌شود (برای مثال Walker & Plint, 1992). بررسی اثر فسیل‌ها به عنوان ابزاری مفید جهت تفسیر آنالیز حوضه به ویژه برای شناسایی و تفسیر توالی‌های رسوبی مرتبط از لحاظ ژنتیکی کاربرد بسیار وسیعی یافته است (برای مثال Tovar et al., 2007; Sharafi et al., 2012, In press). میزان مواد غذایی، انرژی هیدرولیکی، درجه شوری، میزان رسوب‌گذاری و سطح اکسیژن ستون آب کنترل‌کننده‌های اصلی بر روی توزیع اثر فسیل‌ها و سبک زندگی فونای موجود در محیط رسوبی هستند (Bromley & Ekdale, 1984; Pemberton & Wightman, 1992; MacEachern & Burton, 2000; Pollard et al., 1993; Gingras et al., 2008, 2012).



شکل ۱: راه‌های دسترسی و نقشه ساده شده زمین‌شناسی برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه سازند جیروود در البرز مرکزی (B: اکتباس از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان، آقانباتی و حامدی، ۱۹۹۴ و C: اکتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر، سعیدی و اکبر پور، ۱۳۷۱).

گلدرینگ (Taylor & Goldring, 1993) تعیین گردید. در این طبقه‌بندی، آشفستگی زیستی (BI) از صفر (بدون آشفستگی) تا ۶ (آشفستگی کامل و یکنواخت شدن زیستی رسوبات) در تغییر است. علاوه بر این، نام‌گذاری اثر مجموعه‌ها بر مبنای اثر فسیل‌های غالب در هر مجموعه به طور نسبی، صورت گرفت (Tovar *et al.*, 2007؛ Gingras *et al.*, 2012؛ Dashtgard *et al.*, 2010؛ Sharafi *et al.*, 2012, 2013, 2014, In press).

۲۸۰ مقطع نازک جهت بررسی ویژگی‌های میکروسکوپی (محتوای فسیلی و ترکیب کانی‌شناسی) تهیه گردید و ویژگی‌های سنگ‌شناسی، اندازه دانه و ساختارهای رسوبی در توالی مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. اثر فسیل‌ها در سطوح تازه و هوازده و با مقایسه با منابع موجود مورد شناسایی قرار گرفته و شواهد رسوب‌شناسی از جمله ساختارهای رسوبی همراه با آن‌ها جهت تفسیر شرایط محیطی، ثبت شده است. درجه آشفستگی زیستی توسط جدول‌های مقایسه‌ای و بر مبنای طبقه‌بندی تیلور و

## توصیف رسوب شناسی









































**برش ده‌ملا:** سازند جیرود در برش ده‌ملا با ماسه‌سنگ نازک تا متوسط لایه با طبقه‌بندی مورب صفحه‌ای قرمز تا سفید رنگ و شیل سیلتی قرمز رنگ به ضخامت ۱۵ متر شروع می‌شود (شکل ۳). در این بخش توالی از تناوب ماسه‌سنگ و شیل معمولاً سیکل‌های ریزشونده به طرف بالا تشکیل می‌شود. اثر فسیل‌ها اساساً در این بخش وجود ندارد ( $BI=0$ ). در بالای این بخش، ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم لایه با میان لایه‌های اندک از شیل سبز رنگ با ضخامت ۳۰ متر وجود دارد که حاوی طبقه‌بندی مورب مسطح با جهت گیری متقابل و لامیناسیون مسطح است. درجه آشفستگی زیستی در این بخش عمدتاً صفر بوده اگرچه به صورت محلی تا ۵ و ۶ نیز می‌رسد. در ادامه، مجدداً ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ با طبقه‌بندی مورب تراف و مسطح و لامیناسیون موازی با میان لایه‌های شیل قرمز رنگ به ضخامت ۲۵ متر ظاهر می‌گردد. از مجموعه کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل سیکل‌های ریزشونده به طرف بالا تشکیل می‌شود. در این بخش نیز درجه آشفستگی زیستی پایین است ( $BI=0-1$ ). ماسه‌سنگ‌های نازک تا متوسط لایه سفید رنگ با میان لایه‌های شیل سبز رنگ به ضخامت ۳۱ متر ادامه توالی را تشکیل می‌دهد. طبقه‌بندی مورب مسطح با جهت گیری‌های تداخلی<sup>۲</sup>، ریپل‌های موجی و تداخلی و لامیناسیون مسطح از ساختارهای عمده در این بخش است. اثر فسیل‌ها در این بخش از فراوانی بیشتری برخوردار بوده و درجه آشفستگی زیستی بین صفر تا ۶ در تغییر است. پوسته‌های فسیلی پراکنده از جمله دوکفه‌ای و بازوپایان در این بخش شناسایی شد. ادامه توالی در برش ده‌ملا از تناوب ماسه‌سنگ‌های نازک تا ضخیم لایه فسیل‌دار (خارپوستان، بازوپایان و دوکفه‌ای) و شیل‌های تیره نازک لایه به

ضخامت ۲۷ متر تشکیل شده است. طبقه‌بندی مورب مسطح و لامیناسیون موازی و تجمعات فسیلی محلی با الگوی ریزشونده به طرف بالا از سیماهای این بخش است. تنوع و فراوانی اثر فسیل‌ها در این بخش افزایش یافته و درجه آشفستگی زیستی به طور میانگین ۲ تا ۵ است. سازند جیرود در برش ده‌ملا با سنگ آهک‌های فسیل‌دار (بازوپایان، خارپوستان، دوکفه‌ای، شکم‌پایان و گونیاتیت) با میان لایه‌های شیل تیره به ضخامت ۵۷ متر خاتمه می‌یابد. درجه آشفستگی زیستی در این بخش ۴ تا ۶ است.

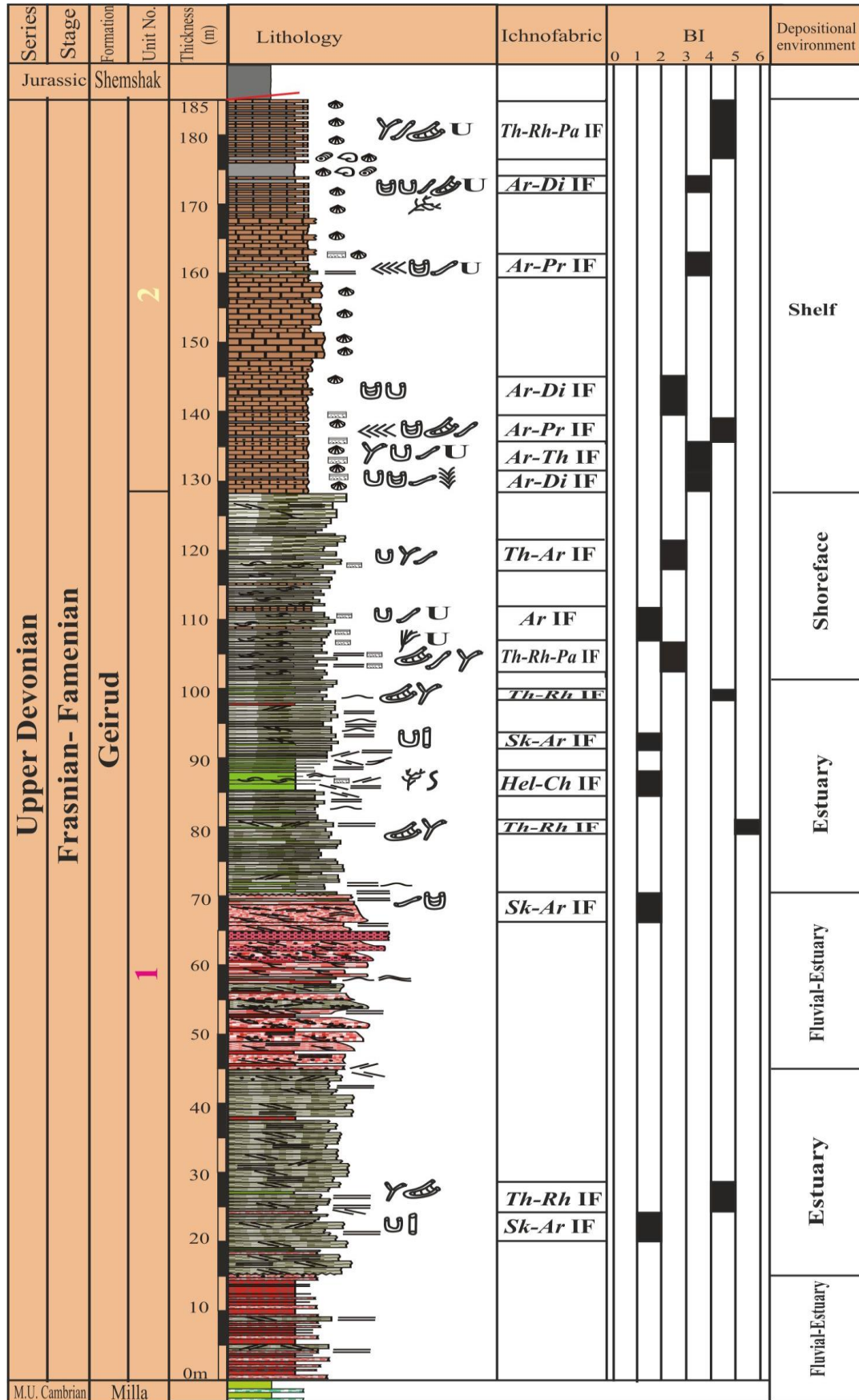
**برش شه‌میرزاد:** سازند جیرود در برش شه‌میرزاد با ماسه‌سنگ و کنگلومرای ضخیم لایه با طبقه‌بندی مورب تراف و مسطح و شیل قرمز رنگ به ضخامت ۲۹ متر که تشکیل سیکل‌های ریزشونده به طرف بالا را می‌دهد، شروع می‌شود (شکل ۴). در این بخش اثر فسیل شناسایی نشده است. در بالای این بخش، ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه تا توده‌ای سفید رنگ فسیل‌دار (بازوپایان و خارپوستان) با میان لایه‌های اندک شیل سبز رنگ به ضخامت ۲۵ متر وجود دارد. طبقه‌بندی مورب دو جهتی و لامیناسیون مسطح عمده ساختارهای این بخش است. درجه آشفستگی زیستی در این بخش صفر تا ۱ است. تناوب ماسه‌سنگ‌های فسیل‌دار (بازوپایان و خارپوستان) نازک تا ضخیم لایه با طبقه‌بندی مورب مسطح و تراف، HCS و لامیناسیون مسطح با میان لایه‌های شیل تیره به ضخامت ۵۰ متر ادامه توالی را تشکیل می‌دهد. درجه آشفستگی زیستی در این بخش عمدتاً ۱ تا ۳ است. بخش انتهایی سازند جیرود در برش شه‌میرزاد شامل سنگ آهک‌های نازک تا ضخیم لایه تیره رنگ حاوی فسیل (بازوپایان، خارپوستان، مرجان‌های منفرد و تجمعی، گونیاتیت و دوکفه‌ای) و اثر فسیل‌های فراوان ( $BI=2-6$ ) و HCS با میان لایه‌های اندک از شیل تیره (به ضخامت ۳۹ متر) است.

خلیج دهانه‌ای را نشان می‌دهد (Nouidar & Challai, 2001؛ محمد خانی و خزایی، ۱۳۸۴؛ Fabuel-Perez et al., 2009؛ Wehrmann et al., 2010؛ Longhitano et al., 2012). تنوع و فراوانی پایین اثر فسیل‌ها که عمدتاً از انواع عمودی هستند و خرده‌های فسیلی پراکنده در این بخش بیانگر برقراری شرایط لب‌شور و پر استرس در یک موقعیت خلیج دهانه‌ای است که بستر ناپایدار و تغییرات مکرر شوری در آن‌ها از پدیده‌های معمول است (Frey & Buatois, 1986؛ Nouidar & Challai, 2001؛ Howard, 2002؛ et al., 2012؛ Gingras et al., 2012). بخش بالایی سازند جیروود که از تناوب ماسه‌سنگ‌های فسیل‌دار نازک تا ضخیم لایه با طبقه‌بندی مورب تراف و مسطح، HCS و لامیناسیون‌های موازی و شیل‌های تیره تشکیل شده است بیانگر برقراری شرایط نرمال دریایی با گردش آب مناسب در یک موقعیت پر انرژی حاشیه ساحلی است (Walker & Plint, 1992؛ لاسمی و همکاران، ۱۳۸۳؛ Uroza & Steel, 2008؛ Sharafi et al., 2012, 2013, In press). افزایش فراوانی و تنوع اثر فسیل‌ها و پوسته‌های فسیلی دریایی (بازوپایان و خارپوستان) این تفسیر را تأیید می‌کند (شرفی و همکاران، ۱۳۸۸، ۱۳۹۰؛ Sharafi et al., 2012; 2013).

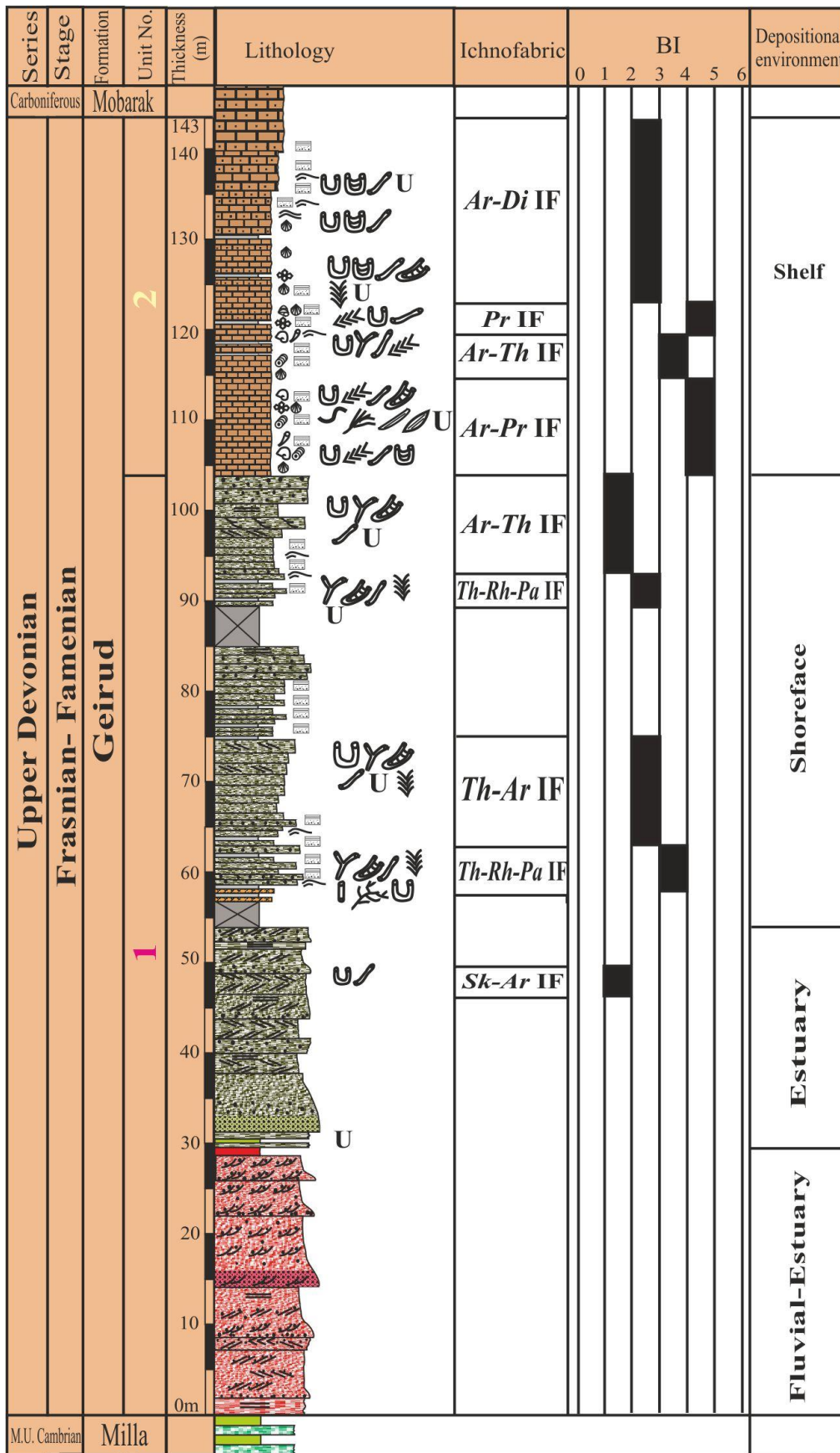
تفسیر: تناوب کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ با طبقه‌بندی مورب تراف و مسطح تا لامیناسیون مسطح و شیل‌های قرمز رنگ که فاقد پوسته‌های فسیلی و اثر فسیل‌ها بوده و تشکیل سیکل‌های ریزشونده به طرف بالا را می‌دهند (۰ تا ۱۵ و ۴۵ تا ۷۰ متری در برش ده‌ملا و صفر تا ۲۹ متر در برش شهمیرزاد) بیانگر تشکیل سیستم رودخانه‌ای است (Fabuel-perez et al., 2009). در مطالعاتی که توسط محمد خانی و خزایی (۱۳۸۴) صورت گرفته است این بخش از رسوبات سازند جیروود به عنوان رسوبات بخش ابتدایی خلیج دهانه‌ای در نظر گرفته شده است. در چنین سیستم‌هایی معمولاً سنگ‌های گراولی به صورت فرسایشی بر روی رخساره‌های شیل زیرین قرار گرفته و به تدریج به طرف بالا به ماسه‌سنگ تبدیل می‌شوند (Miall, 1996؛ Fabuel-Perez et al., 2001؛ Nouidar & Challai, 2009؛ Sharafi et al., In Fröhlich et al., 2010). ماسه‌سنگ‌های نازک تا ضخیم لایه سفید رنگ در بخش میانی سازند جیروود در هر دو برش (۱۵ تا ۴۵ و ۷۰ تا ۱۰۱ متر در برش ده‌ملا و ۲۹ تا ۵۴ متر در برش شهمیرزاد) که دارای طبقه‌بندی مورب مسطح با جهت‌گیری‌های متقابل و ریپل‌های موجی تا تداخلی هستند تشکیل سیستم

 White conglomerate	 Tempestitic	 Palaeophycus	Sk-Ar: Skolithos-Arenicolites
 Red conglomerate	 Ammonite	 Chondrites	Th-Rh: Thalassinoides-Rhizocorallium
 white-gray sandstone	 Brachiopod	 Protovirgularia	Hel-Ch: Helminthopsis-Chondrites
 Red sandstone	 Solitary coral	 Helminthopsis	Ar-Th: Arenicolites-Thalassinoides
 Gravelly sandstone	 Colony coral	 Skolithos	Rh-Th-Pa: Rhizocorallium-Thalassinoides-Palaeophycus
 Limestone	 Crinoid	 Phycodes	Ar-Pr: Arenicolites-Protovirgularia
 Sandy limestone	 Gastropod	 Fughichnia	Ar-Di: Arenicolites-Diplocraterion
 Sandy dolomitized limestone	 Fragmented shell	 Astrosoma	Ar: Arenicolites
 Green shale	 Thalassinoides	 Halopoa	Pr: Protovirgularia
 Gray-black shale	 Arenicolites	 General marine bioturbation	
 Red shale	 Diplocraterion		
 Trough cross bed	 Rhizocorallium		
 Planar cross bed			
 Herringbone			
 Hummocky cross bed			
 Current ripple			
 Wave ripple			
 Horizontal lamination			

شکل ۲: علائم اختصاری استفاده شده برای ستون‌های چینه‌نگاری



شکل ۳: ستون چین‌نگاری سازند جیروود در برش ده‌ملا به همراه اثر مجموعه‌های شناسایی شده در آن.



شکل ۴: ستون چین‌نگاری سازند جیروود در برش شهمیرزاد به همراه اثر ساخت‌های شناسایی شده در آن.

نازک تا متوسط لایه، دانه ریز تا متوسط سفید تا قرمز رنگ با طبقه‌بندی مورب مسطح دو جهتی، ریپل‌های موجی و لامیناسیون‌های مسطح شناسایی شده‌اند (شکل ۵الف). خرده‌های فسیلی پراکنده از جمله دو کفه‌ای و خارپوستان در این ماسه‌سنگ‌ها شناسایی شده است. این مجموعه در زیرمجموعه *Th-Rh* و یا *Ar-Th* و بالای مجموعه *Ar-Pr* قرار دارد.

**تفسیر:** این مجموعه مرتبط با فعالیت موجودات حفار در یک محیط جزر و مدی با میزان رسوب‌گذاری بالا در بالای حد اثر امواج معمولی<sup>۴</sup> است که توسط طبقه‌بندی مورب دو جهتی و ریپل‌های موجی مشخص می‌شود (Fabuel-Perez *et al.*, 2001؛ Nouidar & Challai, 2001). اثر فسیل‌ها و پوسته‌های فسیلی پراکنده در این اثر مجموعه یک موقعیت پر انرژی را نشان می‌دهد (Malpas *et al.*, 2001؛ Zonneveld *et al.*, 2001). ساختارهای رسوبی و پوسته‌های فسیلی و اثر فسیل‌های پراکنده که عمدتاً از نوع عمودی و معلق خوار<sup>۵</sup> هستند بیانگر حاکمیت شرایط پر استرس و لب‌شور و یک بستر ناپایدار با میزان رسوب‌گذاری بالا در موقعیت خلیج دهانه‌ای است جایی که عملکرد ثابت امواج و جریان‌های مواد غذایی را به صورت معلق در آورده و موجودات حفار به معلق خواری روی می‌آورند (Buatois *et al.*, 2002؛ Zonneveld *et al.*, 2001). (Sharafi *et al.*, 2012, 2014؛ Dashtgard *et al.*, 2010). با توجه به فراوانی اثر فسیل‌های عمودی، این اثر مجموعه با اثر رخساره *Skolithos* در نوشته Seilacher (1967) معادل است.

در نهایت، بالاترین بخش سازند جیروود در برش‌های مورد مطالعه که از سنگ آهک‌های نازک تا ضخیم لایه حاوی اثر فسیل‌ها و فسیل‌های فراوان و متنوع مانند بازوپایان، خارپوستان، گونیاتیت، مرجان‌های منفرد و تجمعی و دو کفه‌ای تشکیل شده است شرایط نرمال دریایی در یک موقعیت فلات کم عمق با میزان مطلوب مواد غذایی و گردش آب را نشان می‌دهد (Fursich & Pandey, 2003؛ Wehrmann *et al.*, 2010؛ Sharafi *et al.*, 2012).

## بحث

### اثر مجموعه

اثر مجموعه در واقع ایجاد یک چهارچوب مشخص در روند توزیع و حفظ شدگی اثر فسیل‌ها در توالی‌های رسوبی است. اثر مجموعه‌های شناسایی شده در سازند جیروود بر اساس انطباق با سایر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه است (Fursich, 1998؛ Taylor & Goldring, 1993؛ Buatois *et al.*, 2002؛ Zonneveld *et al.*, 2001؛ Rodriguez-Tovar *et al.*, 2007؛ Taylor *et al.*, 2003؛ Gingras *et al.*, 2012؛ Dashtgard *et al.*, 2010؛ Sharafi *et al.*, 2012). بر این مبنا ۹ اثر مجموعه در سازند جیروود شناسایی شده است (جدول ۱).

### اثر مجموعه *Skolithos-Arenicolites*: *Skolithos* با قطر

۱-۲ میلی‌متر و *Arenicolites* با قطر لوله حفاری ۱۰ میلی‌متر و قطر دهانه حفاری ۳۳ میلی‌متر اثر فسیل‌های اصلی این اثر مجموعه هستند (شکل ۵A,B). *Palaeophycus* با قطر ۵ میلی‌متر به صورت لوله‌های ساده و مستقیم تا کمی انحنادار و *Diplocraterion* با قطر لوله حفاری ۶ میلی‌متر و قطر دهانه حفاری ۱۰ میلی‌متر به صورت پراکنده در این اثر مجموعه وجود دارد. رسوبات پرکننده حفاری‌ها مشابه سنگ میزبان است. درجه آشفستگی زیستی در این اثر فابریک ۱-۲ است. این اثر فسیل‌ها در رسوبات ماسه‌سنگی

4- Fair weather wave base (FWWB)

5- suspension feeding



جدول ۱: اثر مجموعه‌های شناسایی شده در برش‌های مورد مطالعه سازند جیرود

Ichno-assemblages	Description	Thick (m)	Trace fossils	Body fossils	Sedimentary structures	Processes	Environmental interpretation
<i>Skolithos-Arenicolites</i>	Predominantly vertical <i>Sk.-Ar.</i> and slightly inclined <i>Pa.</i> and <i>Dip.</i> in white to red, sparse bioclastic, fine-medium-grained sandstone	0.5-3	<i>Sk., Arenicolites, Pa., Di.</i>	Scarce, predominantly fragmented bivalves, ostracods, trilobites and echinoderms	Sp, Cr, HI, Hering-bone, wave ripple, St and scour surface	High energy, high sedimentation rate, softground substrate	Shallow marine above FWWB: tide-dominated beach
<i>Thalassinoides-Rhizocorallium</i>	Predominantly sub-vertical, large, positive hypo-relief, <i>Rh.</i> and <i>Th.</i> in white to gray, fine-grained sandstone	0.1-0.4	<i>Rh., Th., Pa. tubularis</i>	Predominantly fragmented brachiopods, echinoderms	Sp, HI	Slow sedimentation rate during minor omission phase, production related, softground substrate	Below <i>Hel-Ch</i> I above <i>Sk-Ar</i> I. shallow marine moderately low energy above FWWB: tide dominated beach
<i>Helminthopsis-Chondrites</i>	Predominantly horizontal, negative epirelief, <i>Hel</i> and <i>Ch.</i> with shell debris in buff to yellow, fine-grained sandstone	3	<i>Hel. Ch.</i>	Brachiopods and echinoderms	Sp, HI, Cr	Low energy, low-sedimentation rate, softground substrate	Above <i>Th-Rh</i> I, below <i>Sk-Ar</i> I. shallow marine low energy above FWWB: tide-dominated beach
<i>Rhizocorallium-Thalassinoides-Palaeophycus</i>	Predominantly horizontal to vertical negative-positive epirelief <i>Rh., Th, Pa</i> with shell debris in buff to yellow, fine-grained sandstone and thin-bedded limestone	2-5	<i>Th., Pa., Rh., Di., Ch., Hel., fugichnia</i>	Predominantly fragmented brachiopods and echinoderms as well as bivalves, corals	Tempestite, HCS, HI (sandstone)	Low-medium energy, medium sedimentation rate, softground substrate	Above <i>Th-Rh</i> I, below <i>Th-Ar</i> I. shallow marine low energy between FWWB-SWWB (sandstone), below SWWB(limestone): shoreface (sandstone), shelf (limestone)
<i>Arenicolites</i>	Vertical <i>Ar.</i> , in thin-medium-bedded, fine-medium-grained sandstone	2	<i>Ar., Pa.</i>	Predominantly fragmented brachiopods and echinoderms as well as bivalves, gastropod	Tempestite	Medium-high sedimentation rate, high-energy shallow water, occasionally storm-affected	Above <i>Th-Rh-Pa</i> I, below <i>Th-Ar</i> I. shallow marine, medium-high energy between FWWB-SWWB: storm-affected shoreface
<i>Arenicolites-Thalassinoides</i>	Vertical to horizontal, burrow structures in thin-medium-bedded, fine-medium grained sandstone and gray-black, thin-bedded limestone	1-5	<i>Ar., Th., Di., Pa. tubularis, Pr., Rh., fugichnia</i>	Fragmented to whole brachiopods, echinoderms, corals, goniatites, bivalves, bryozoans, trilobites, gastropods	Tempestite, HCS	Medium-high sedimentation rate, high-energy shallow water, occasionally storm-affected	Above <i>Ar</i> and <i>Ar-Di</i> I below <i>Ar-Di</i> I. open marine, medium-high energy between FWWB-SWWB: storm-affected shoreface (sandstone) and shelf (limestone)
<i>Arenicolites-Diplocraterion</i>	Vertical to horizontal, burrow structures in gray-black, thin-medium-bedded, limestone	1-7	<i>Ar., Di., Pa. tubularis, Pr., Hel, Ch., Rh.</i>	Fragmented brachiopods, echinoderms, bivalves, bryozoans, corals, trilobites	Tempestite, HCS, Cr	High sedimentation rate, low bioturbation rate, high-energy shallow water, occasionally storm-affected	Above <i>Ar-Pr</i> I below <i>Ar-Pr</i> I. open marine, high energy above-close to SWWB: occasionally storm-affected shelf
<i>Arenicolites-Protovirgularia</i>	Vertical to horizontal, simple to slight meandering burrows in gray-black, thin-bedded, limestone	0.5-6	<i>Ar., Pr., Pa. tubularis, Rh., Phycodes, Astrosoma</i>	Fragmented to whole brachiopods, echinoderms, bivalves, gastropods, corals, goniatites	Tempestite, HCS	Low-medium sedimentation rate, low-medium energy deeper water	Above <i>Ar-Th</i> I below <i>Ar-Di</i> I. open marine, low-medium energy above-close to SWWB: shelf
<i>Protovirgularia</i>	Horizontal, simple to slight meandering burrows in gray-black, thin-bedded, limestone	1.5	<i>Pr., Pa., Ar.</i>	Fragmented to whole brachiopods and echinoderms, bivalves, gastropods, corals	Tempestite	Low sedimentation rate, low energy deeper water	Above <i>Ar-Th</i> I below <i>Ar-Di</i> I. open marine, low- energy above-close to SWWB: shelf

**اثر مجموعه *Thalassinoides-Rhizocorallium***

*Rhizocorallium* به صورت حفاری‌های مایل U شکل با قطر لوله حفاری ۱۲ میلی‌متر و دهانه حفاری ۳۰ تا ۵۲ میلی‌متر و *Thalassinoides* با قطر ۱۳ میلی‌متر اثر فسیل‌های اصلی تشکیل دهنده این اثر مجموعه هستند (شکل ۵پ - ت).  
*Palaeophycus* با قطر ۸ میلی‌متر به صورت لوله‌های ساده و دیواره حفاری نازک نیز به صورت پراکنده وجود دارد. ساختارهای حاصل از پس‌ریزی رسوبات (اسپیریت) در مواردی در اثر فسیل‌های *Rhizocorallium* قابل مشاهده است (شکل ۵پ). رسوبات پرکننده حفاری‌ها در تمامی اثر فسیل‌ها مشابه سنگ میزبان است. درجه آشفستگی زیستی در این اثر فابریک ۵-۶ است. این اثر فسیل‌ها در بخش زیرین ماسه‌سنگ‌های دانه ریز تا متوسط، متوسط تا ضخیم لایه و سفید رنگ با جورشدگی متوسط تا خوب شناسایی شد. ساختارهای رسوبی در ماسه‌سنگ‌های همراه این اثر رخساره شامل طبقه‌بندی مورب صفحه‌ای دو جهتی و لامیناسیون مسطح است. این مجموعه در زیر مجموعه *Ch-Hel* و بالای *Sk-Ar* قرار دارد.

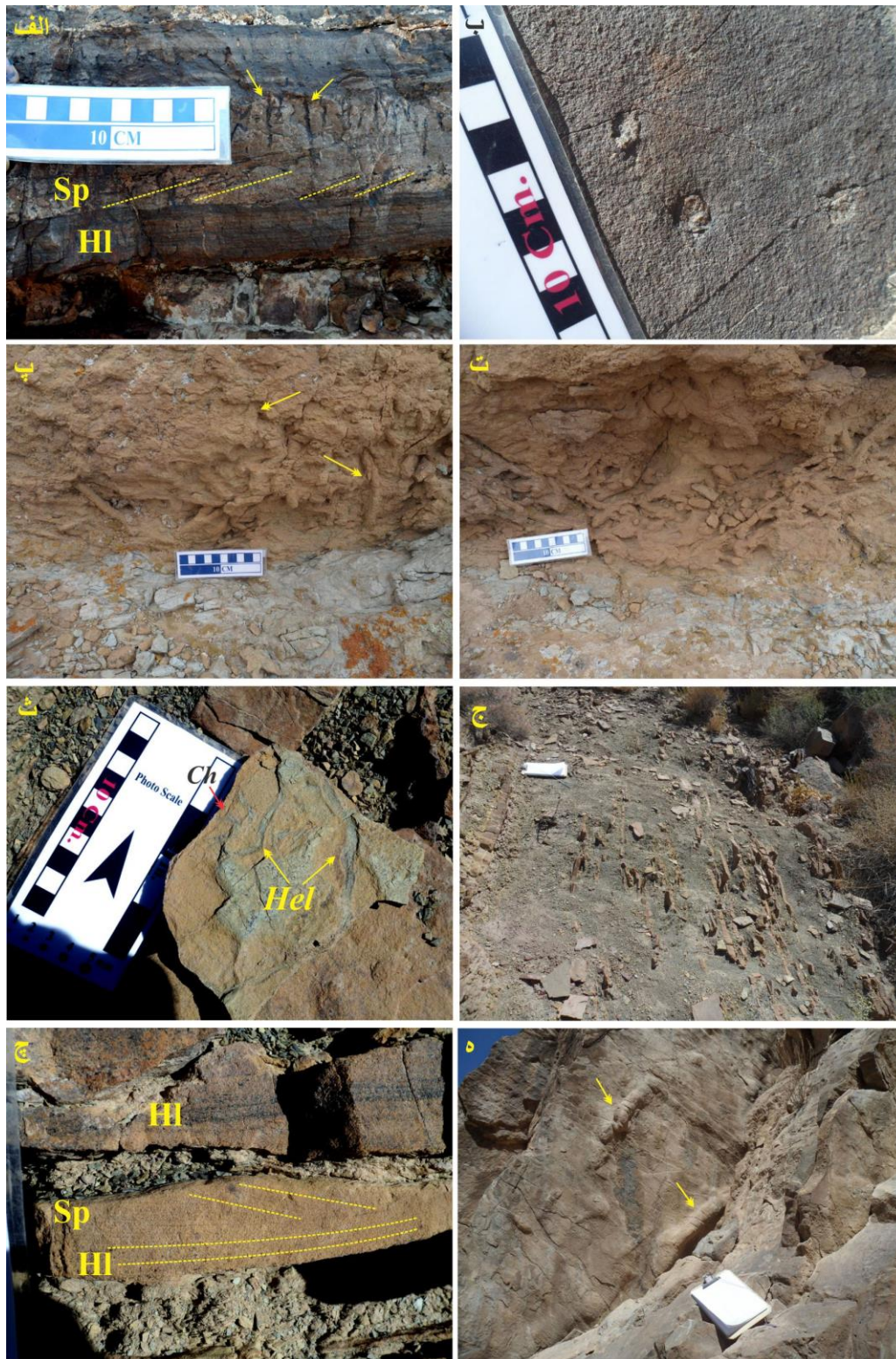
**تفسیر:** تشابه مواد پرکننده حفاری‌ها با سنگ میزبان و وجود ساختارهای حاصل از پس‌ریزی رسوبات بیانگر فعالیت موجودات حفار در یک بستر سست<sup>۶</sup> است (Malpas et al., 2005; Zonneveld et al., 2001; Sharafi et al., 2012, 2013). این اثر مجموعه به طور غالب از اثر فسیل‌های ایجاد شده از فعالیت موجودات رسوب‌خوار<sup>۷</sup> (*Thalassinoides*, *Rhizocorallium*) و *fodichnia* تشکیل شده است. اندازه دانه‌ها، ساختارهای رسوبی و جورشدگی ماسه‌سنگ‌های همراه این اثر مجموعه بیانگر تأثیر جریان‌ات کششی پر انرژی در ته‌نشینی رسوبات است (Malpas et al., 2005; Uroza & Steel, 2008).

تشکیل این اثر فسیل‌ها در مرحله نسبتاً آرام بین عملکرد امواج و جریان‌ات صورت گرفته است به طوری که این اثرها در سطح زیرین طبقات ماسه‌سنگی حفظ شده‌اند (Sharafi et al.; Dashtgard et al., 2010; Fursich, 1998).  
 درجه بالای آشفستگی زیستی در این اثر مجموعه تأیید کننده شرایط نسبتاً آرام و ایجاد وقفه یا کاهش میزان رسوب‌گذاری در زمان تشکیل این اثر فسیل‌ها است (Malpas et al., 2005; Sharafi et al., 2012).  
 تنوع پایین در این اثر مجموعه نشان دهنده شرایط اکولوژیکی نامناسب مانند تغییرات مکرر در میزان شوری در یک موقعیت ساحلی است که با وجود ماسه‌سنگ‌های سفید رنگ با طبقه‌بندی مورب مسطح دو جهتی تأیید می‌شود (Nouidar & Chellaï, 2001; Buatois et al., 2002; Bhattacharya & Bhattacharya, 2006, 2010).  
 این اثر مجموعه با اثر رخساره *Cruziana* نزدیک به منشأ<sup>۸</sup> در نوشته Seilacher (1967) معادل است.

**اثر مجموعه *Helminthopsis-Chondrites***

اثر فسیل *Helminthopsis* با قطر ۵ میلی‌متر به صورت حفاری‌های افقی، انحنادار و بدون شاخه و *Chondrites* با قطر ۲ میلی‌متر به صورت شاخه‌ای اثر فسیل‌های تشکیل دهنده این اثر مجموعه هستند (شکل ۵ث). رسوبات پرکننده این حفاری‌ها متفاوت با سنگ میزبان هستند. درجه آشفستگی زیستی در این اثر مجموعه ۱-۲ است. این اثر مجموعه در سطح ماسه‌سنگ‌های نازک لایه دانه ریز متناوب با شیل‌های متورق سبز رنگ ضخیم شناسایی شده‌اند (شکل ۵ج). در مواردی حفاری‌های *Chondrites* اثر فسیل‌های *Helminthopsis* را قطع کرده است. ساختارهای رسوبی لامیناسیون مسطح و مورب و ریپل‌های جریان‌ی در ماسه‌سنگ‌ها وجود دارد (شکل ۵چ).

6- Loose  
 7- deposit feeders



شکل ۵: الف، ب) اثر فسیل‌های *Skolithos* و *Arenicolites* از اثر مجموعه *Skolithos-Arenicolites* که همراه با طبقه بندی مورب مسطح (Sp) دیده می‌شود. پ-ت) اثر فسیل‌های *Rhizocorallium* (پ) با ساختارهای حاصل از پس‌ریزی (پیکان) و *Thalassinoides* از اثر مجموعه *Thalassinoides-Rhizocorallium* (ث) اثر فسیل‌های *Helminthopsis* (*Hel*) و *Chondrites* (*Ch*) از اثر مجموعه *Helminthopsis-Chondrites* (ج) تناوب ماسه-سنگ‌های نازک لایه و شیل‌های ضخیم سبز رنگ که اثر مجموعه *Helminthopsis-Chondrites* در آن‌ها شناسایی شده است. چ) ساختارهای رسوبی طبقه بندی مورب مسطح (Sp) و لامیناسیون مسطح (HI) همراه با اثر مجموعه *Helminthopsis-Chondrites* (ه) اثر فسیل‌های *Thalassinoides* (فلش) از اثر مجموعه *Arenicolites-Thalassinoides* در سطح زیرین طبقات ماسه‌سنگی ضخیم لایه.

دیواره نازک و حفاری‌های ساده تا کمی انحنادار با قطر ۵ تا ۱۶ میلی‌متر سومین اثر فسیل از نظر فراوانی در این اثر مجموعه است (شکل ۶ب). *Diplocraterion* isp. با قطر لوله حفاری ۱۰ میلی‌متر و دهانه حفاری ۱۹ میلی‌متر (شکل ۶پ)، *Protovirgularia* با قطر ۷ میلی‌متر به صورت حفاری‌های ساده، مستقیم تا کمی انحنادار، *Rhizocorallium* با قطر حفاری ۴ میلی‌متر و دهانه حفاری ۱۲ میلی‌متر و اثرهای فراری<sup>۱</sup> به صورت عمودی به صورت پراکنده در این اثر مجموعه مشاهده می‌شوند. بیشتر اثر فسیل‌ها در این اثر مجموعه به صورت افقی در زیر سطح لایه‌ها حفظ شده‌اند (به استثنای *Diplocraterion* و *Arenicolites*). درجه حفاری در این اثر مجموعه بین ۲ تا ۵ در تغییر است. این اثر مجموعه در سنگ آهک‌های نازک لایه تیره رنگ حاوی پوسته‌های فسیلی فراوان مانند بازوپایان، خارپوستان، گونیاتیت، مرجان‌های منفرد و تجمعی و دوکفه‌ای و ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم لایه دانه ریز تا متوسط با ساختارهای طبقه‌بندی مورب تراف و مسطح و HCS و پوسته‌های فسیلی بازوپایان و خارپوستان شناسایی شد. ساختار HCS و تجمعات فسیلی محلی ریزشونده به طرف بالا در سنگ آهک‌های این اثر مجموعه معمول است (شکل ۶ت). این اثر مجموعه بالای مجموعه‌های *Ar* و *Ar-Di* و در زیر *Ar-Di* قرار داشته و در هر دو برش سهمیرزاد و ده‌ملا شناسایی شد.

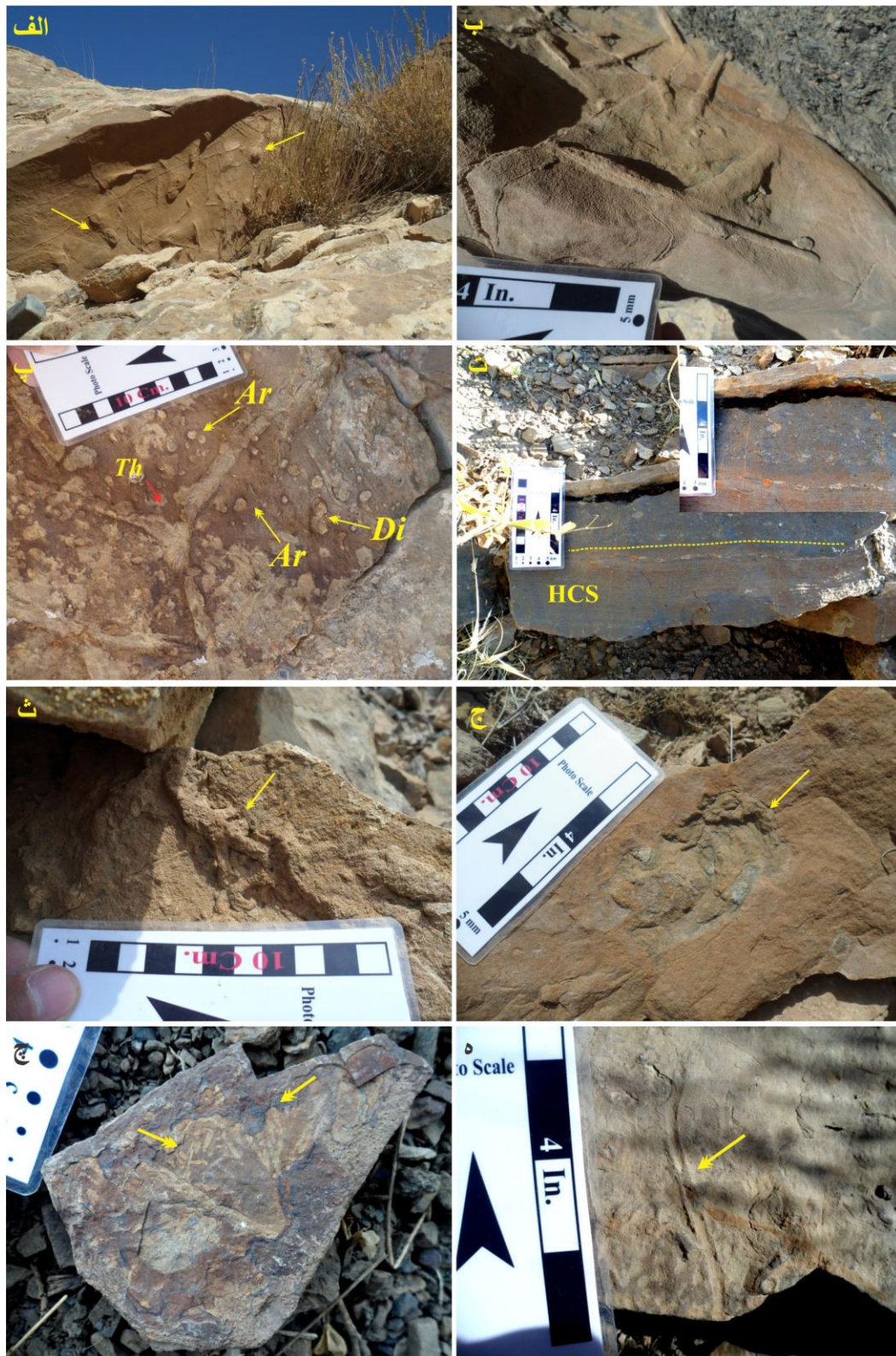
**تفسیر:** افزایش تنوع و فراوانی اثر فسیل‌ها در این اثر مجموعه (در هر دو مجموعه کربناته و سیلیسی - آواری) بیانگر وجود شرایط عادی دریایی با گردش آب مناسب و مواد غذایی کافی است (Uchman & Kremnayr, 2004؛ Rodriguez-Tovar et al., 2007؛ Malpas et al., 2005؛ Sharafi et al., 2012).

خرده‌های فسیلی پراکنده مانند بازوپایان و دوکفه‌ای به صورت پراکنده نیز در این رسوبات شناسایی شده است. این اثر مجموعه در بالای مجموعه *Th-Rh* و زیر *Sk-Ar* و تنها در برش ده‌ملا شناسایی شد.

**تفسیر:** فراوانی اثر فسیل‌های حاصل فعالیت جانداران تغذیه کننده از درون رسوب به صورت افقی بیانگر شرایط نسبتاً آرام و بستر پایدار در محیط رسوبی است (Uchman & Aguirre et al., 2004؛ Malpas et al., 2005؛ Krenmayr, 2004؛ Sharafi et al., 2012, 2014؛ al., 2010). این شرایط آرام به صورت پراکنده تحت تأثیر جریان‌ات کششی قرار گرفته که با وجود ساختارهای رسوبی لامیناسیون مسطح و مورب و ریپل‌های جریان‌ی مشخص می‌شود (Bhattacharya & Bhattacharya, 2006). تنوع پایین اثر فسیل‌ها، درجه پایین آشفستگی زیستی و پوسته‌های فسیلی اندک نشان دهنده شرایط پر استرس در اثر تغییرات مکرر درجه شوری در بخش مرکزی خلیج دهانه‌ای است (Buatois et al., 2002؛ Nouidar & Chellai, 2001؛ Gingras et al., 2012). این اثر مجموعه معادل اثر رخساره *Cruziana* در نوشته Seilacher (1967) است. همچنین تنوع پایین اثر فسیل‌ها در این اثر مجموعه نشان دهنده یک اثر رخساره ضعیف شده<sup>۹</sup> *Cruziana* در اثر وجود شرایط ناپایدار و پر استرس با گردش اندک آب دریایی است (Buatois et al., 2002؛ Zonneveld et al., 2001).

#### اثر مجموعه *Arenicolites-Thalassinoides*

*Thalassinoides* با قطر حفاری بین ۱ تا ۱۵ سانتی‌متر و *Arenicolites* با قطر لوله حفاری ۰/۴ تا ۱۲ سانتی‌متر و دهانه حفاری ۱/۳ تا ۳۰ سانتی‌متر اثر فسیل‌های اصلی این اثر مجموعه هستند (شکل ۵ و ۶الف - پ). *Palaeophycus* *tubularis* و *Palaeophycus* *isp.*



شکل ۶: الف، ب) اثر فسیل *Arenicolites* و *Palaeophycus* (ب) از اثر مجموعه *Arenicolites-Thalassinoides*؛ پ) اثر فسیل‌های *Thalassinoides* (*Th*)، *Arenicolites* (*Ar*) و *Diplocraterion* (*Di*) از اثر مجموعه *Arenicolites-Thalassinoides* در سطح زیرین سنگ آهک‌های نازک لایه؛ ت) تجعات فسیلی محلی در ارتباط با HCS در اثر مجموعه *Arenicolites-Thalassinoides*؛ ث - ه) اثر فسیل‌های *Thalassinoides* (بیکان ث)، *Rhizocorallium* (ج)، *Chondrites* (چ) و *Palaeophycus* (د) از اثر مجموعه *Thalassinoides-Rhizocorallium-Palaeophycus*

دهانه حفاری ۳۵ تا ۴۳ میلی‌متر و *Palaeophycus* با قطر ۵ تا ۱۲ میلی‌متر و به صورت حفاری‌های ساده و مستقیم تا کمی انحنا دار تشکیل شده است (شکل ۶ - ه). اثرفسیل‌های پراکنده از *Chondrites Helminthopsis*، *Diplocraterion* و *Fugichnia* نیز در این اثرمجموعه وجود دارند. عمده اثرفسیل‌های این اثرمجموعه به صورت افقی در سطح زیرین طبقات حفظ شده‌اند و رسوبات پرکننده حفاری‌ها مشابه سنگ میزبان است. این اثرمجموعه در ماسه‌سنگ‌های نازک لایه، خیلی دانه ریز تا ریز حاوی طبقه‌بندی مسطح، لامیناسیون مسطح و HCS و بعضاً تجمعات فسیلی محلی (بازوپایان و خارپوستان) که در ارتباط نزدیک با HCS هستند، شناسایی شد (شکل ۷ الف). شیل‌های تیره متورق در تناوب با این ماسه‌سنگ‌ها هستند. درجه آشفستگی زیستی در این اثر فابریک ۱-۴ است. این مجموعه در بالای *Th-Rh* و در پایین *Th-Ar* قرار دارد.

**تفسیر:** این اثرمجموعه نیز از فراوانی و تنوع بالای اثرفسیل‌ها و پوسته‌های فسیلی دریایی برخوردار بوده و بنابراین بیانگر شرایط عادی دریایی با میزان مواد غذایی کافی و یک بستر نسبتاً پایدار است (Uchman & Kremnayr, 2004؛ Malpas et al., 2005؛ Aguirre et al., 2010؛ Sharafi et al., 2012, 2013). وجود شرایط نسبتاً آرام که با وجود اثرات فسیلی عمدتاً افقی و میزان بالای شیل‌های تیره متورق مشخص است، باعث گردیده اکثر جانداران حفار به رفتار تغذیه‌ای رسوب‌خواری روی آورند (Fursich, 1998؛ Dashtgard et al., 2010). اگر چه این شرایط عمدتاً آرام توسط عملکرد امواج و جریان‌ات طوفانی کوتاه مدت آشفته شده که با تشکیل ساختارهای HCS، لامیناسیون و طبقات مسطح و تجمعات فسیلی محلی مشخص می‌شود. در این مرحله پر انرژی جانداران به معلق‌خواری روی آورده که حاصل فعالیت آن‌ها ایجاد

این موضوع با تنوع بالای پوسته‌های فسیلی شاخص محیط دریایی تأیید می‌گردد (شرفی و همکاران، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰). حالت حفظ شدگی بیشتر اثرفسیل‌ها به صورت افقی در سطح زیرین لایه‌های کربناته و ماسه‌سنگی مؤید وجود شرایط پر انرژی و عملکرد ثابت امواج و جریان‌ات در یک موقعیت حاشیه ساحلی (رسوبات ماسه‌سنگی) تا فلات کم عمق (رسوبات کربناته) است (Fursich, 1998؛ Buatois et al., 2002؛ Zonneveld et al., 2001). ساختارهای رسوبی طبقه‌بندی مورب تراف و مسطح و HCS و تجمعات فسیلی محلی که در ارتباط نزدیک با ساختارهای HCS هستند و به عنوان رسوبات طوفانی تفسیر می‌شوند (Dashtgard et al., 2010) این تفسیر را تأیید می‌کند (Aguirre et al., 2010؛ Uroza & Steel, 2008). این اثرمجموعه مخلوطی از جانوران معلق خوار (*Arenicolites*, *Diplocraterion*) و تغذیه کننده از درون رسوبات (*Fugichnia*, *Thalassinoides*, *Rhizocorallium*) را نشان می‌دهد. بنابراین اثرفسیل‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- اثرفسیل‌های حاصل از معلق‌خواری مرتبط با مرحله پر انرژی غالب در زمان تشکیل آن‌ها.
- ۲- اثرفسیل‌های افقی که حاصل فعالیت جانوران رسوب‌خوار مربوط به مرحله آرام‌ترین عملکرد امواج و جریان‌ات هستند (Fursich, 1998؛ Dashtgard et al., 2010). این اثرمجموعه معادل اثرخساره‌های *Cruziana - Skolithos* در نوشته Seilacher (1967) است.

#### اثرمجموعه *Rhizocorallium-Thalassinoides-Palaeophycus*

این اثرمجموعه از *Thalassinoides* با قطر حفاری ۸ تا ۲۷ میلی‌متر به صورت حفاری‌های Y و T شکل، *Rhizocorallium* با قطر لوله حفاری ۶ تا ۱۰ میلی‌متر و

اثر فسیل‌های عمودی مانند *Diplocraterion* و *Fugichnia* است (Dashtgard et al., 2010؛ Sharafi et al., 2014). این اثر مجموعه غالباً از اثر فسیل‌های عمودی تشکیل شده و بنابراین معادل اثر رخساره *Skolithos* در نوشته Seilacher (1967) است.

#### اثر مجموعه *Arenicolites-Diplocraterion*

*Arenicolites* به صورت حفاری‌های U شکل با قطر لوله حفاری ۳ تا ۱۱ میلی‌متر و دهانه حفاری ۲ تا ۸ سانتی‌متر و به میزان کمتر *Diplocraterion* با قطر لوله ۰/۸-۲ سانتی‌متر و دهانه حفاری ۲-۴ سانتی‌متر اثر فسیل‌های اصلی این اثر مجموعه هستند (شکل ۷ ت - ث). *Palaeophycus tubularis* به صورت حفاری‌های ساده، کمی انحنادار و افقی با قطر ۰/۶ میلی‌متر، *Planolites* به صورت حفاری‌های کمی انحنادار، *Chondrites*، *Protovirgularia*، *Helminthopsis* (شکل ۷ ت)، *Rhizocorallium* و *Scolicia*؟ نیز در این اثر مجموعه وجود دارند. این اثر مجموعه در سنگ آهک‌های نازک تا ضخیم لایه تیره رنگ حاوی پوسته‌های فسیلی بازوپایان، خارپوستان، دوکفه‌ای، مرجان منفرد و تجمعی و شکم‌پایان که عمدتاً به شدت خرد شده‌اند و ساختارهای HCS و به صورت محلی طبقه‌بندی مورب ترف کوچک مقیاس و لامیناسیون رپیلی جریانی شناسایی شده است (شکل ۷ ج). درجه آشفستگی زیستی ۲-۵ است. این مجموعه در بالای *Ar-Pr* و در زیر *Ar-Pr* و *Ar-Th* قرار دارد.

**تفسیر:** غلبه اثر فسیل‌های عمودی (*Arenicolites* و *Diplocraterion*) در این اثر مجموعه به خوبی شرایط پر انرژی، بستر متحرک و وجود جریانات آشفته را در اثر عملکرد ثابت امواج و جریانات طوفانی را در یک موقعیت فلات کم عمق نشان می‌دهد جایی که مواد غذایی عمدتاً به صورت معلق درآمده‌اند و بنابراین رفتار معلق‌خواری را ایجاد می‌کند (Fursich, 1998؛ Dashtgard et al.,

اثر فسیل‌های عمودی مانند *Diplocraterion* و *Fugichnia* است (Dashtgard et al., 2010). این مجموعه به بخش پایینی حاشیه ساحلی مربوط است (Sharafi et al., 2012, 2013). با توجه به غلبه اثر فسیل‌های حاصل از رسوب‌خواری این اثر مجموعه با اثر رخساره *Cruziana* در نوشته Seilacher (1967) معادل است.

#### اثر مجموعه *Arenicolites*

این اثر مجموعه تقریباً به تنهایی از *Arenicolites* با قطر لوله حفاری ۵-۱۸ میلی‌متر و دهانه حفاری تا ۲/۵ تا ۱۲ سانتی‌متر تشکیل شده است (شکل ۷ ب). این اثرها به صورت حفره‌های تو خالی در سطح ماسه‌سنگ‌های نازک تا متوسط لایه دانه ریز تا متوسط شناسایی شده‌اند. تجمعات فسیلی از پوسته‌های فسیل خارپوستان و بازوپایان که به شدت خرد شده‌اند نیز در این ماسه‌سنگ‌ها وجود دارند (شکل ۷ پ). *Palaeophycus* به صورت حفاری‌های ساده و کمی انحنادار با قطر ۵ میلی‌متر در سطح لایه‌ها به صورت پراکنده وجود دارد. درجه آشفستگی زیستی در این اثر مجموعه ۱-۲ است. این مجموعه در بالای *Th-Rh-Pa* و در زیر *Ar-Th* قرار دارد.

**تفسیر:** نوع پایین اثر فسیل‌ها، درجه آشفستگی زیستی پایین، غلبه اثر فسیل‌های عمودی، اندازه دانه و ضخامت ماسه‌سنگ‌ها و پوسته‌های فسیلی دریایی به شدت خرد شده بیانگر وجود شرایط پر انرژی با بستر ناپایدار و شرایط آشفته با شاخص رسوب‌گذاری بالا در یک موقعیت کم عمق دریایی است (Fursich et al.; Zonneveld et al., 2001؛ Sharafi et al., 2009؛ Dashtgard et al., 2010؛ Sharafi et al., 2013, In press). در چنین موقعیت‌های پر انرژی، مواد مغذی در اثر عملکرد ثابت امواج و جریانات به صورت معلق درآمده و بنابراین تنها جانداران معلق‌خوار قادر به ادامه زندگی در چنین شرایطی بوده‌اند (Fursich, 1998؛

و تجمعی و دوکفه‌ای شناسایی شد. پوسته‌های فسیل معمولاً تجمعات فسیلی محلی تشکیل داده است. میان لایه‌های شیل تیره متورق نیز همراه با این سنگ آهک‌ها هستند. این مجموعه در بالای *Ar-Th* و در زیر *Ar-Di* قرار گرفته است.

**تفسیر:** این اثرمجموعه شامل مخلوطی از اثرفسیل‌های حاصل فعالیت جانوران معلق خوار و مرتبط با شرایط ناپایدار و بستر متحرک (*Arenicolites*) و اثرهای حاصل از فعالیت رسوب‌خواری (*Protovirgularia* و *Rhizocorallium*) و مرتبط با شرایط آرام‌تر میان طوفانی است (Fursich, 1998؛ Uchman & Krenmayr, 2004؛ Aguirre et al., 2010؛ Malpas et al., 2005؛ Dashtgard et al., 2010؛ Sharafi et al., 2014).

تجمعات محلی فسیل‌های به شدت خرد شده و مرتبط با HCS بیانگر غلبه شرایط طوفانی و پراورزی در زمان تهنشینی سنگ آهک‌ها بوده که در چنین زمانی تنها موجودات معلق خوار قادر به فعالیت بوده‌اند. در مرحله بعد با برقراری شرایط نسبی آرام‌تر و کاهش نرخ رسوب‌گذاری و رخنمونی بستر در سطح بین آب - رسوب<sup>۱۱</sup>، فعالیت موجودات مختلف منجر به ایجاد اثرفسیل‌های عمدتاً افقی گردیده است که این مرحله به عنوان پنجره زیستی نامیده می‌شود (Fursich, 1998؛ Zonneveld et al., 2001). درجه بالای آشفستگی زیستی و تنوع بالای اثرفسیل‌ها و پوسته‌های فسیل نیز بیانگر شرایط نرمال دریایی در یک موقعیت فلات کم عمق است (Buatois et al., 2002؛ Zonneveld et al., 2001؛ Fursich & Pandey, 2003؛ Fursich et al., 2009؛ Sharafi et al., 2012, 2013, 2014). این اثرمجموعه معادل اثررخساره‌های *Skolithos - Cruziana* در نوشته Seilacher (1967) است.

وجود ساختارهای HCS، ریپل‌های جریان و طبقه‌بندی مورب تراف و خرده‌های فسیل به شدت خرد شده این تفسیر را تأیید می‌کند (Fursich et al., 2009؛ Zonneveld et al., 2001؛ Dashtgard et al., 2010؛ Sharafi et al., 2013).

رسوبات در مرحله آرامش بین طوفان و عملکرد امواج و جریانات توسط موجودات تغذیه کننده از درون رسوب مانند *Rhizocorallium*، *Chondrites*، *Helminthopsis* حفاری می‌شوند (Fursich, 1998؛ Dashtgard et al., 2010؛ Sharafi et al., 2014). تنوع نسبی اثرفسیل‌ها و پوسته‌های فسیل بیانگر شرایط عادی دریایی و مواد مغذی کافی در یک فلات کم عمق است (Fursich & Pandey, 2003؛ Fursich et al., 2009؛ Sharafi et al., 2012, 2013, 2014). این اثرمجموعه معادل اثررخساره *Skolithos* در نوشته Seilacher (1967) است.

#### اثرمجموعه *Arenicolites-Protovirgularia*

این اثرمجموعه از *Arenicolites* به صورت حفاری‌های U شکل با قطر لوله حفاری ۲-۱۲ میلی‌متر و دهانه حفاری ۱۲-۳۰ میلی‌متر و *Protovirgularia* با قطر ۵ تا ۱۱ میلی‌متر به صورت حفاری‌های مستقیم تا کمی انحنا دار افقی تشکیل شده است (شکل ۷ج). *Palaeophycus* به صورت حفاری‌های ساده و افقی با قطر ۲-۴ میلی‌متر، *Phycodes*، *Rhizocorallium* asp. با قطر حفاری ۲۲ میلی‌متر (شکل ۷ه)، *Astrosoma* و *Halopoa*؟ از دیگر اثرفسیل‌های این اثرمجموعه است. عمده این اثرفسیل‌ها (به استثنای *Arenicolites*) به صورت افقی در زیر یا بالای طبقات حفظ شده‌اند. درجه آشفستگی زیستی در این اثر فابریک ۳-۵ است. این اثرفسیل‌ها در طبقات سنگ آهک نازک لایه تیره رنگ حاوی پوسته‌های فسیلی به شدت خرد شده حاوی بازوپایان، خارپوستان، گونیاتیت، مرجان‌های منفرد





شکل ۷- الف) ساختار HCS همراه اثر مجموعه *Thalassinoides-Rhizocorallium-Palaeophycus*; ب) اثر فسیل *Arenicolites* (فلش) از مجموعه *Arenicolites*؛ پ) پوسته‌های فسیلی به شدت خرد شده همراه با اثر مجموعه *Arenicolites*؛ ت و ث) اثر فسیل‌های *Arenicolites* (در ت) و *Protovirgularia* (در ت) و *Diplocraterion* (ث) از اثر مجموعه *Arenicolites-Diplocraterion*؛ ج) ساختار HCS در اثر مجموعه *Arenicolites-Palaeophycus tubularis*؛ د) اثر فسیل‌های *Protovirgularia* (در چ)، *Arenicolites* (در چ)، *Rhizocorallium* (در ه) و *Diplocraterion*؛ ه) اثر فسیل‌های *Arenicolites-Protovirgularia* در سنگ آهک‌های نازک لایه.

### اثر مجموعه *Protovirgularia*

این اثر مجموعه تقریباً به طور کامل از *Protovirgularia* به صورت حفاری‌های افقی، ساده، مستقیم تا کمی انحنادار و با قطر ۴ تا ۸ میلی‌متر تشکیل شده است (شکل ۸). این اثر فسیل‌ها به صورت برجستگی در سطح زیرین<sup>۱۲</sup> طبقات سنگ آهک نازک لایه تیره رنگ حفظ شده است. *Arenicolites* (شکل ۸) و *Palaeophycus* به صورت حفاری‌های ساده و افقی به صورت پراکنده در این اثر مجموعه شناسایی شده است. درجه آشفستگی زیستی در این اثر فابریک ۴-۶ است. پوسته‌های فسیل بازوپایان، خارپوستان، شکم‌پایان و دوکفه‌ای در این سنگ آهک‌ها وجود دارد که عمدتاً به صورت تجمعات ریزشونده به طرف بالا مشاهده می‌شوند. این اثر مجموعه در زیر *Ar-Di* و در بالای *Ar-Th* قرار داشته و تنها در برش شه‌میرزاد شناسایی شد

تفسیر: درجه آشفستگی زیستی بالا و فراوانی و تنوع پوسته‌های فسیلی شاخص دریایی بیانگر تشکیل این اثر مجموعه در یک محیط دریایی عادی با انرژی پایین، بستر پایدار، سطح اکسیژن مناسب و مواد غذایی کافی در موقعیت فلات کم عمق است (Buatois et al., 2002؛ Parras & Casadio, 2005؛ Fursich & Pandey, 2003؛ Sharafi, Gingras et al., 2012؛ Fursich et al., 2009 et al., 2012, 2013, 2014). درجه بالای آشفستگی زیستی و غلبه آثار افقی در این اثر مجموعه بیانگر حداکثر فعالیت جانداران حفار تغذیه کننده از داخل رسوبات در زمان کاهش میزان رسوب گذاری و برقراری آرامش نسبی در بستر رسوبی است (Buatois et al., 2002). در چنین موقعیت‌هایی رخنونی بستر رسوبی در سطح بین آب - رسوب و کاهش شدید در میزان رسوب گذاری باعث تجمع موجودات حفار و ایجاد آشفستگی شدید در

بستر رسوبی گردیده که به عنوان پنجره کلونی شدن نامیده می‌شوند (Zonneveld et al., 2001). با شروع ته‌نشینی لایه آهکی تنها تعداد اندکی از موجودات حفار معلق‌خوار که با شرایط پراثری تر انطباق می‌یابند، در بستر رسوبی باقی مانده که با اثر فسیل‌های *Arenicolites* و *Palaeophycus* مشخص می‌شوند. این اثر مجموعه معادل اثر رخساره *Cruziana* در نوشته Seilacher (1967) است (MacEachern & Bann, 2008).

### نتیجه گیری

رسوبات سیلیسی - آواری و کربناته سازند جیرود در برش‌های مورد مطالعه یک روند کلی عمیق شوندگی شامل محیط‌های رودخانه‌ای، خلیج دهانه‌ای، حاشیه ساحلی و فلات کم عمق و یا دور از ساحل را نشان می‌دهند که منطبق با روند کلی عمودی مجموعه‌های اثر فسیل در این رسوبات است.

تناوب ماسه‌سنگ - کنگلومرای ضخیم لایه و شیل قرمز سیستم رودخانه‌ای در بخش ابتدایی سازند با درجه آشفستگی زیستی و تنوع پایین اثر فسیل‌ها با آرایش عمودی (مجموعه *Skolithos-Arenicolites*) بیانگر نرخ بالای تأمین رسوبات سیلیسی - آواری و محیط پراثری و بستر ناپایدار است. ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم لایه سفید رنگ در بخش پایینی سازند با پوسته‌های فسیل اندک و اثر مجموعه‌های *Thalassinoides-* و *Skolithos-Arenicolites* با *Rhizocorallium* درجه آشفستگی زیستی عمدتاً پایین و اثر فسیل‌های عمودی بیانگر شرایط پراثری، بستر متحرک و گردش دوره‌ای آب دریا در یک موقعیت ساحلی با شاخص رسوب گذاری بالا را نشان می‌دهد. در بخش میانی توالی‌های مورد مطالعه ماسه‌سنگ‌های فسیل دار نازک تا متوسط لایه با طبقه‌بندی مورب تراف و صفحه‌ای و HCS و اثر مجموعه‌های



شکل ۸: اثر فسیل *Protovirgularia* از اثر مجموعه *Protovirgularia* در سطح زیرین سنگ آهک‌های نازک لایه

*Thalassinoides- Arenicolites-Diplocraterion*

*Arenicolites- Rhicorallium-Palaeophycus*

*Protovirgularia* و *Protovirgularia* شناسایی شده در سنگ آهک‌های نازک لایه بخش انتهایی سازند جیرود، شرایط مناسب حداکثری از نظر درجه شوری، گردش آب، مواد غذایی و سطح اکسیژن را در یک موقعیت فلات کم عمق نشان می‌دهد.

### سپاس‌گزاری

نویسندگان بدین ترتیب مراتب قدردانی و سپاس خود را از راهنمایی‌های ارزنده داوران محترم که باعث انسجام بیشتر روند مقاله و پربارتر شدن آن شده است اعلام می‌دارند.

*Thalassinoides-Rhizocorallium-Palaeophycus*

*Arenicolites-Thalassinoides* با درجه آشفستگی متوسط، شامل مخلوطی از اثر فسیل‌های عمودی (معلق خوار) و افقی (رسوب خوار) است که بیانگر تغییر الگوی رفتاری و تغذیه‌ای موجودات حفار با مرحله پر انرژی با شاخص بالای رسوب‌گذاری و بستر رسوبی متحرک (اثرهای عمودی) و کم انرژی با توقف یا کاهش قابل توجه در شاخص رسوب‌گذاری (اثر فسیل‌های افقی) در یک موقعیت حاشیه ساحلی است. تنوع و فراوانی نسبی اثر فسیل‌ها و پوسته‌های فسیلی شناسایی شده در رسوبات این بخش وجود شرایط مناسب دریایی مانند درجه شوری، نور و گردش آب را نشان می‌دهد. تنوع و فراوانی بالای اثر فسیل‌ها و پوسته‌های فسیل در اثر مجموعه‌های

### منابع

آقاباتی، ع.، حامدی، ا.ر.، ۱۳۷۳. نقشه زمین شناسی چهار گوش ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

دشتبان، ح.، ۱۳۷۳. گونیاتیت‌های دونین بالایی (فامنین) از البرز مرکزی. فصلنامه علوم زمین، ۱۴: ۴۳-۳۶.

سعیدی، ا.، اکبر پور، م.ر.، ۱۳۷۱. نقشه زمین شناسی چهار گوش ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

شرفی، م.، ۱۳۹۳. چینه نگاری سکانسی و دیاژنز سازند جیرود (دونین بالایی) در البرز مرکزی. پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۰۳ ص.

شرفی، م.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، نجفی، م.، ۱۳۹۰. کاربرد لایه های پرفسیل در تفسیر چینه نگاری سکانسی سازند آیتامیر در ناودیس های شیخ و بی بهره- باختر کپه داغ. فصلنامه زمین شناسی ایران، ۱۷: ۳۱-۴۷.

شرفی، م.، عاشوری، م.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، نجفی، م.، ۱۳۸۸. چینه نگاری سکانسی سازند آیتامیر (آلبین- سنوماین) در ناودیس های شیخ و بی بهره غرب حوضه رسوبی کپه داغ. مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۵: ۲۱۱-۲۰۱.

لاسمی، ی.، قوچی اصل، ا.، امین رسولی، ه.، ۱۳۸۳. نهشته های طوفانی آواری و کربناته سازند جیرود در ناحیه تویه - دروار (جنوب باختر دامغان). هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ۱۸۳-۱۸۹.

محمد خانی، 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 گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۱۲-۲۰۷.

هاشمی، س.ح.، و تابع، ف.، ۱۳۸۴. پالینولوژی سازند جیرود در برش چینه شناسی غرب گرمابدر، شمال شرق تهران. نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ۲۹۵-۳۰۸.

Aguirre, J., Gibert, J.M., & Puga-Bernabéu, A., 2010. Proximal–distal ichnofabric changes in a siliciclastic shelf, Early Pliocene, Guadalquivir Basin, southwest Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291: 328–337.

Bhattacharya, H.N., & Bhattacharya, B., 2006. A Permo-Carboniferous tide-storm interactive system: Talchir formation, Raniganj Basin, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27: 303-311.

Bhattacharya, H.N., & Bhattacharya, B., 2010. Soft-sediment deformation structures from an ice-marginal storm-tide interactive system, Permo-Carboniferous Talchir Formation, Talchir Coalbasin, India. *Sedimentary Geology*, 223: 380-389.

Bozorgnia, F., 1964. Microfacies and microorganisms of Paleozoic through Tertiary sediments of some parts of Iran. With collaboration of S. Banafti. *National Iranian Oil Company Tehran-Iran*, 1-22, 158 p.

Bromley, R.G., & Ekdale, A.A., 1984. Trace fossil preservation in flint in the European chalk. *Journal of Paleontology*, 58: 298-311.

Buatois, L.A., Mangano, M.G., Alissa, A., & Carr, T.R., 2002. Sequence stratigraphic and sedimentologic significance of biogenic structures from a Late Paleozoic marginal- to open-marine reservoir, Morrow Sandstone, subsurface of southwest Kansas, USA. *Sedimentary Geology*, 152: 99-132.

Dalrymple, R.W., & Choi, K., 2007. Morphology and facies trends through the fluvial marine- transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence stratigraphic interpretation. *Earth Science Reviews*, 81: 135-174.

Dashtgard, S.E., MacEachern, J.A., Frey, S.E., & Gingras, M.K., 2010. Tidal effects on the shoreface: Towards a conceptual framework. *Sedimentary Geology*, 279: 42-61.

Fabuel-Perez, I., Redfern, J., & Hodgetts, D., 2009. Sedimentology of an intra-montane rift-controlled fluvial dominated succession: The Upper Triassic Oukaimeden Sandstone Formation, Central High Atlas, Morocco. *Sedimentary Geology*, 218: 103-140.

Frey, R.W., & Howard, J.D., 1986. Mesotidal estuary sequences: A perspective from the Georgia Bight. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 911-924.

Fröhlich, S., Petitpierre, L., Redfern, J., Grech, P., Bodin, S., & Lang, S., 2010. Sedimentological and sequence stratigraphic analysis of Carboniferous deposits in western Libya: Recording the sedimentary response of the northern Gondwana margin to climate and sea-level changes. *Journal of African Earth Sciences*, 57: 279-296.

- Fursich, F.T., 1998. Environmental distribution of trace fossils in the Jurassic of Kachchh (Western India). *Facies*, 39: 46–53.
- Fursich, F.T., & Pandey, D.K., 2003. Sequence stratigraphic significance of sedimentary cycles and shell concentrations in the Upper Jurassic–Lower Cretaceous of Kachchh, western India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 285–309.
- Fursich, F.T., Werner, W., & Schneider, S., 2009. Autochthonous to parautochthonous bivalve concentrations within transgressive marginal marine strata of the Upper Jurassic of Portugal. *Palaeobiology, Palaeoenvironment*, 89: 161–190.
- Ghavidel-Syooki, M., 1995. Palynostratigraphy and palaeogeography of a Palaeozoic sequence in the Hassanakdar area, Central Alborz Range, northern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 86: 91–109.
- Gingras, M.K., MacEachern, J.A., & Dashtgard, S.E., 2012. The potential of trace fossils as tidal indicators in bays and estuaries. In: Modern and ancient depositional systems: perspectives, models and signatures (Eds. S.G. Longhitano, D. Mellere and R.B. Ainsworth). *Sedimentary Geology, Special Issue*, 279: 97–106.
- Gingras, M.K., Pemberton, S.G., MacEachern, J.A., & Bann, K.L., 2008. A conceptual framework for the application of trace fossils. In: MacEachern, J.A., Bann, K.L., Gingras, M.K., & Pemberton, S.G. (eds.), Applied Ichnology. *SEPM Short Course Notes*, 52: 1–27.
- Longhitano, S.G., Mellere, D., Steel, R.J., & Ainsworth, R.B., 2012. Tidal depositional systems in the rock record: A review and new insights. *Sedimentary Geology*, 279: 2–22.
- MacEachern, J.A., & Bann, K.L., 2008. The role of ichnology in refining shallow marine facies models. In: Hampson, G.J., Steel, R.J., Burgess, P.B., & Dalrymple, R.W. (eds.), Recent Advances in Models of Siliciclastic Shallow-Marine Stratigraphy, 90. *Society for Sedimentary Geology (SEPM)*, Tulsa, USA: 73–116.
- MacEachern, J.A., & Burton, J.A., 2000. Firmground *Zoophycos* in the Lower Cretaceous Viking Formation, Alberta: a distal expression of the *Glossifungites* ichnofacies. *Palaios*, 15: 387–398.
- Malpas, J.A., Gawthorpe, R.L., Pollard, J.E., & 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.
- Miall, A.D., 1996. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. *Springer*, Berlin, 582 p.
- Nouidar, M., & Chellai, E.H., 2001. Facies and sequence stratigraphy of an estuarine incised-valley fill: Lower Aptian Bouzergoun Formation, Agadir Basin, Morocco. *Cretaceous Research*, 22: 93–104.
- Parras, A., & Casadio, S., 2005. Taphonomy and sequence stratigraphic significance of oyster-dominated concentrations from the San Julian formation, Oligocene of Patagonia, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 217: 47–66.
- Pemberton, S.G., & Wightman, D.M., 1992. Ichnological characteristics of brackish water deposits. In: Pemberton, S.G. (ed.), Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. *SEPM Core Workshop Notes*, 17: 141–169.
- Pollard, J.E., Goldring, R., & Buck, S.G., 1993. Ichnofabrics containing *Ophiomorpha*: significance in shallow-water facies interpretations. *Journal of the Geological Society*, 150: 149–164.
- Rudriguez-Tovar, F.J., Perez-Valera, F., & Perez-López, A., 2007. Ichnological analysis in high-resolution sequence stratigraphy: The *Glossifungites* ichnofacies in Triassic successions from the Betic Cordillera (southern Spain). *Sedimentary Geology*, 198: 293–307.
- Seilacher, A., 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, 5: 413–428.
- Sharafi, M., Ashuri, M., Mahboubi, A., & Moussavi-Harami, R., 2012. Stratigraphic application of Thalassinoides ichnofabric in delineating sequence stratigraphic surfaces (Mid-Cretaceous), Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran. *Palaeoworld*, 21: 202–216.
- Sharafi, M., Longhitano, S.G., Mosaddegh, H., Mahboubi, A., & Moussavi-Harami, R., 2016. Sedimentology of a transgressive mixed-energy (wave/tide-dominated) estuary, Upper Devonian, Geirud Formation (Alborz Basin, northern Iran). IAS Special publications, *Wiley Blackwell*, In press.

- Sharafi, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Ashuri, M., & Rahimi, B., 2013. Sequence stratigraphic significance of sedimentary cycles and shell concentrations in the Aitamir Formation (Albian–Cenomanian), Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 67-68: 171-186.
- Sharafi, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Mosaddegh, H., & Gharaie, M.H.M., 2014. Trace fossils analysis of fluvial to open marine transitional sediments: Example from the Upper Devonian (Geirud Formation), Central Alborz, Iran. *Palaeoworld*, 23: 50–68.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52: 1229-1258.
- Taylor, A.M., & Goldring, R., 1993. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society*, 150: 141–148.
- Taylor, A.M., Goldring, R., & Gowland, S., 2003. Analysis and application of ichnofabric. *Earth-Science Reviews*, 60: 227–259.
- Uchman, A., & Krenmayr, H.G., 2004. Trace fossils, ichnofabrics and sedimentary facies in the shallow marine Lower Miocene Molasse of Upper Austria. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 144: 233–251.
- Uroza, C.A., & Steel, R.J., 2008. A highstand shelf-margin delta system from the Eocene of West Spitsbergen, Norway. *Sedimentary Geology*, 203: 229–245.
- Wehrmann, A., Yılmaz, I., Yalcın, M.N., Wilde, V., Schindler, E., Weddige, K., Saydam Demirtas, G., Özkan, R., Nazik, A., Nalcioğlu, G., Kozlu, H., Karshoğlu, Ö., Jansen, U., Ertuğ, K., Brocke, R., & Bozdoğan, N., 2010. Devonian shallow-water sequences from the North Gondwana coastal margin (Central and Eastern Taurides, Turkey): Sedimentology, facies and global events. *Gondwana Research*, 17: 546–560.
- Walker, R.G., & Plint, A.G., 1992. Wave- and storm-dominated shallow marine systems. In: Walker, R.G., James, N.P. (eds.), *Facies Models: Response to Sea Level Changes*. Geological Association of Canada, Newfoundland, 219-238.
- Zonneveld, J.P., Gingras, M.K., & Pemberton, S.G., 2001. Trace fossil assemblages in a Middle Triassic mixed siliciclastic-carbonate marginal marine depositional system, British Columbia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 166: 249-276.

## The Ichnoassemblages and their environmental Importance in Geirud Formation, SW Shahroud and north Shahmirad, Central Alborz

Sharafi, M.<sup>1\*</sup>, Mahboubi, A.<sup>2</sup>, Moussavi-Harami, R.<sup>2</sup>, Mosaddegh, H.<sup>3</sup>

1- Ph.D. in Sedimentology and Sedimentary Petrology, Department of Geology, Faculty of Science, Zanjan University, Zanjan, Iran

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

3- Associate professor, Department of Geology, Faculty of Science, Kharazmi University, Karaj, Iran

\*E-mail: sharafi2262@gmail.com

### Introduction

The siliciclastic-carbonate sediments of the Geirud formation (Upper Devonian) are deposited in the Central Alborz Basin, northern Iran. Generally, these sediments display four depositional systems as follow: fluvial (alternation of red-purple shale, sandstone and conglomerate), estuary (thick-bedded, white sandstone with bi- to multiple-directional planar cross bed and herringbone), shoreface (alternation of thin to thick-bedded sandstone with trough and planar cross bed and HCS and gray-black, fissile shale) and shallow shelf or offshore (fossiliferous limestone with HCS and tempestite and black, fissil shale) that indicate a deepening up-ward trend. A prevailed stressful and unsuitable condition with respect to salinity led to preservation of the ichnoassemblages with low diversity and small size of the trace fossils in the studied sediments (Gingras *et al.*, 2008). The studied sediments indicate remarkable changes in sedimentation rate, water circulation and salinity level during the Late Devonian time. Ichnological analysis has become a valuable tool in basin analysis, especially for recognizing and interpreting genetically related sedimentary packages (e.g., Tovar *et al.*, 2007; Sharafi *et al.*, 2012 & 2014). The primary controls on the distribution of different burrowing behaviors and lifestyle of the existing fauna and the trace markers in the marine realm are nutrient supply, hydrodynamic energy, salinity, sedimentation rate, oxygen level, water turbidity (Seilacher, 1967; Bromley & Ekdale, 1984; Pemberton & Wightman, 1992; MacEachern & Burton, 2000; Gingrass *et al.*, 2008, 2012; Sharafi *et al.*, 2014).

### Geological setting and stratigraphy

The Alborz Mountains with a E-W trend is one of the structural zones in the northern Iran (Stöcklin, 1968). This structural zone is sub-divided into the east, central, and west parts and the study area is located in the central part. The Geirud Formation crops out at the Dehmolla, and the Shahmirad sections, geographical coordinates are 36° 21' 53" N and 54° 45' 28" E and 35° 46' 12" N and 53° 19' 25" E, respectively. In the studied areas, the Geirud Formation disconformably overlies the marine shale of the Milla Formation (Ordovician) and is conformably overlain by the black limestone-shale of the Mobarak Formation (Lower Carboniferous). Various paleontological studies on brachiopods (Bozorgnia, 1964), Palynomorphs (Ghavidel-Syooki, 1995) and Goniatites (Dashtban, 1995) indicate the age of the Geirud Formation is Late Devonian (Frasnian–Famennian).

### Material and methods

Tow stratigraphic sections measured in the Alborz mountain north of Iran for the purpose of this research. Tow hundreds and Eighty thin sections were examined to identify fine-scale sedimentological and textural characteristics such as grain size and sedimentary structures that are recorded in the studied successions. Both sedimentological and trace fossils features were examined on fresh and weathered surfaces in the field. Degree of bioturbation is assessed according to Taylor and Goldring (1993) and is done with using of comparative charts. The bioturbation index (BI) aims to relate the degree of bioturbation to the preservation of primary bedding features (Taylor & Gawthorpe, 1993). In this scheme, a BI is defined, ranging from 0 (no bioturbation) to 6 (complete bioturbation, total biogenic homogenization of sediments).

## Discussion

Nine ichnoassemblages are identified in the studied successions that indicate considerable environmental changes (e.g. salinity, nutrient supply, hydrodynamic energy, sedimentation rate, oxygen level) within a generally deepening up-ward sequence from fluvial-estuary depositional setting to open marine environment (shoreface, shallow shelf). Alternation of the red-purple, thick-bedded sandstone-conglomerate and red shale of the fluvial system in the lower part of the formation with low diversity of vertical trace fossils and low bioturbation index (B.I.= 0-1) (*Skolithos-Arenicolites* ichnoassemblage) indicate high sedimentation rate of the siliciclastic sediments in a high energy and agitated setting with unstable and mobile substrate. White, medium-thick bedded sandstone in the lower part of the successions with a few shell fragments and *Skolithos-Arenicolites* and *Thalassinoides-Rhizocorallium* ichnoassemblages displayed by mainly vertical burrow elements and low B.I. (1-4) indicate high energy, unstable substrate and periodically water circulation in a beach setting with high sedimentation rate. In the middle part of the studied successions thin-medium bedded fossiliferous sandstone with planar and trough cross beds and HCS and *Thalassinoides-Rhizocorallium-Palaeophycus*, *Arenicolites-Thalassinoides* and *Arenicolites* ichnoassemblages with medium B.I. (3-4) and a mixed vertical (suspension feeders) and horizontal (deposit feeders) burrow elements, display the various life style of the trace markers from suspension feeding during high energy phase with high sedimentation rate and deposit feeding during low energy periods with low sedimentation rate and more stable substrate, in a shoreface setting. Diversity and abundance of the trace fossils and shells in these sediments indicate a suitable marine condition with respect to salinity, light and water circulation. The High diversity and abundance of the trace fossils and the skeletal elements of the *Arenicolites-Diplocraterion*, *Thalassinoides-Rhizocorallium-Palaeophycus*, *Arenicolites-Protovirgularia* and *Protovirgularia* ichnoassemblages within the black, thin bedded fossiliferous limestone in the upper part of the formation display establishment a fully marine condition (e.g., light, water circulation, and salinity) along with a decrease in hydrodynamic level and turbulence in a shelf setting

**Keyword:** Geirud Formation; ichnoassemblages; ichnofacies; shoreface; shelf; estuary.

## Reference

- Aguirre, J., Gibert, J.M. & Puga-Bernabéu, A., 2010. Proximal–distal ichnofabric changes in a siliciclastic shelf, Early Pliocene, Guadalquivir Basin, southwest Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291: 328–337.
- Buatois, L.A., Mangano, M.G., Alissa, A., & Carr, T.R., 2002. Sequence stratigraphic and sedimentologic significance of biogenic structures from a Late Paleozoic marginal- to open-marine reservoir, Morrow Sandstone, subsurface of southwest Kansas, USA. *Sedimentary Geology*, 152: 99-132.
- Dalrymple, R.W., & Choi, K., 2007. Morphology and facies trends through the fluvial marine- transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence stratigraphic interpretation. *Earth Science Reviews*, 81: 135-174.
- Gingras, M.K., MacEachern, J.A., & Dashtgard, S.E., 2012. The potential of trace fossils as tidal indicators in bays and estuaries. *In: Modern and ancient depositional systems: perspectives, models and signatures* (Eds. S.G. Longhitano, D. Mellere and R.B. Ainsworth). *Sedimentary Geology, Special Issue 279*: 97-106.
- Gingras, M.K., Pemberton, S.G., MacEachern, J.A., & Bann, K.L., 2008. A conceptual framework for the application of trace fossils. *In: MacEachern, J.A., Bann, K.L., Gingras, M.K., & Pemberton, S.G. (eds.), Applied Ichnology. SEPM Short Course Notes*, 52: 1–27.
- Sharafi, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Ashuri, M., & Rahimi, B., 2013. Sequence stratigraphic significance of sedimentary cycles and shell concentrations in the Aitamir Formation (Albian–Cenomanian), Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 67-68: 171-186.
- Sharafi, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Mosaddegh, H., & Gharaie, M.H.M., 2014. Trace fossils analysis of fluvial to open marine transitional sediments: Example from the Upper Devonian (Geirud Formation), Central Alborz, Iran. *Palaeoworld*, 23: 50–68.