

ارزیابی دیرین‌بوم‌شناسی گرافوگلیپتیدهای نهشته‌های فلیش ائوسن، باختر خاش، جنوب خاوری ایران، در برابر رسوب‌گذاری رخدادی

نصراله عباسی^(۱*)، حامد یاراحمدزهی^۲، سارا نخجیری^۲، علی جلالی^۳ و حمید حافظی مقدس^۴

۱. دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان
۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی و مرکز تحقیقات علوم زمین دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان
۳. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۹

چکیده

رخنمون‌های گسترده‌ای از نهشته‌های توریدایتی در منطقه خاش واقع در جنوب خاوری ایران در دسترس هستند. این رسوبات از توالی چرخه‌ای مارن، شیل، سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ تشکیل شده‌اند که در طی جریان رسوب‌گذاری رخدادی تنه‌شست شده‌اند. اثر فسیل‌های گرافوگلیپتید فراوان از این نهشته‌ها جمع‌آوری و مورد شناسایی قرار گرفتند که شامل ۱۷ اثر جنس هستند. این گرافوگلیپتیدها در دو دسته پیش از رخداد رسوبی (توریدایتی) و پس از رخداد قابل تفکیک هستند. اثر فسیل‌های پیش از رخداد رسوبی متنوع و در بسترهای گلی ایجاد شده‌اند و شامل *Desmograpton*، *Helminthorhapha*، *Paleodytion*، *Protopaleodictyon*، *Urohelminthoidea* و *Scolicia* می‌باشند. اثر فسیل‌های پس از رخداد رسوبی در درون لایه‌های دانه درشت‌تر سیلت و ماسه‌سنگ باقی مانده‌اند و به‌طور نسبی از فراوانی اندکی برخوردارند و شامل *Helicodromites*، *Helminthopsis*، *Nereites*، *Paleomeandron*، *Phycosiphon* و *Planolites* هستند. برخی از اثر فسیل‌ها چون *Paleodictyon* متأثر از جریان‌ات بستر در هنگام تشکیل نیز بوده و در جهت جریان آرایش یافته‌اند. به نظر می‌رسد بسترهای گلی پیش از رخداد توریدایتی محل مناسبی برای اثرسازهای با منش زیستی K و بسترها پس از رخداد رسوبی مناسب فعالیت اثرسازهای درون رسوبی با منش زیستی R بوده است. چنین تحلیل‌های ساختاری اثر فسیل و ارتباط آنها با شرایط محیط رسوبی در تفسیر محیط رسوبی و شرایط تشکیل نهشته‌های توریدایتی اهمیت دارد.

واژه‌های کلیدی: اثر فسیل، دیرین‌بوم‌شناسی، رسوب‌گذاری رخدادی، فلیش، خاش.

مقدمه

مطالعه و ارزیابی دیرین بوم‌شناسی محیط‌های رسوبی در هر دوره از زمان زمین‌شناسی نیازمند دست‌یابی به شواهد و معیارهای مناسب و کافی است. ارتباط جانداران با یکدیگر و تاثیر آنها بر محیط و همچنین تاثیر متقابل محیط بر تک‌تک جانداران و بر روابط آنها از مباحث اصلی دیرین بوم‌شناسی می‌باشد (Brenchley et al., 1998). یافتن و بحث کردن درباره این ارتباطات در بُعد زمان زمین‌شناسی بر پایه معیارها و ملاک‌های معین انجام می‌پذیرد. هر چند این انتظار می‌رود که با دست‌یابی به شواهد و معیارهای زیاد، ارزیابی دیرین بوم‌شناسی بسترها به خوبی انجام پذیرد؛ ولی بی‌شک در این مطالعات، آن معیارها و شواهد دیرینه‌شناسی قابل استنادتر هستند که به طور برجای مانده و فسیل شده باشند. به بیان دیگر تفکیک اینکه یک فسیل در میان مجموعه فسیل‌های یک لایه رسوبی حمل شده است یا به صورت برجا و بومی محیط رسوبی باقی مانده است، در تخمین و برآورد جایگاه و وضعیت دیرین بوم‌شناسی هر حوضه رسوبی اهمیت ویژه‌ای دارد. اثر فسیل‌ها سنگواره‌هایی هستند که بر اثر فعالیت‌های زیستی در سطوح یا در درون رسوبات ایجاد می‌شوند و تقریباً همه آنها به طور برجای باقی می‌مانند. بنابراین یکی از نمایه‌های مهم زیستی در تحلیل دیرین بوم‌شناسی هستند (Bottjer, 2016; Brenchley et al., 1998; Taylor and Wilson, 2003).

استعداد ایجاد، حفظ و نگهداری اثرهای زیستی از حوضه‌ای به حوضه دیگر متفاوت است و این را می‌توان در میزان زیست‌آشفتگی^۱ چه به صورت سطحی (Miller and Droser and Smail, 1997) و چه به صورت درون رسوبی (Bottjer, 1989) سنجید. نهشته‌های ریزدانه محیط‌های رسوبی عمیق دریایی به دلیل داشتن اثر فسیل‌های گوناگون قابل توجه‌اند و این اثر فسیل‌ها در چهارچوب اثرخساره^۲ نرئیتس^۳ شناخته شده هستند (Seilacher, 1953). اثر فسیل‌های این اثر خساره را گرافوگلیپتید^۴ نیز می‌نامند (Fuchs, 1895; Seilacher, 1977a). گرافوگلیپتید شامل اثر فسیل‌های بی‌مهرگان با طرح‌های پیچیده و پراالگو و سه‌بعدی می‌باشند و اغلب به صورت برجسته در سطح

زیرین لایه‌بندی حفظ می‌شوند (Ekdale, 1980) و ویژه رخساره‌های رسوبی فلیش هستند (Seilacher, 1974). حوضه‌های رسوبی خاور و جنوب خاوری ایران (مکران) رخنمون‌های گسترده‌ای از نهشته‌های فلیش را در خود جای داده‌اند که در طی کرتاسه تا میوسن و در حوضه‌های برخوردی مستقر بر منشورهای برافزایشی تنه‌نشست شده‌اند (Kidd and McCall, 1985; Tirrul et al., 1983). این رسوبات به خوبی رخساره‌های توربیداتی را به نمایش می‌گذارند و در طی فرآیندهای جریانات ثقلی به عنوان رژیم‌های رسوبی رخدادی (event sedimentation regime) برجای مانده‌اند. این نهشته‌ها یکی از بهترین نقاط برای مطالعه گرافوگلیپتیدها محسوب می‌شوند، به طوری که در برخی از گزارش‌های پیشین به این موضوع اشاره شده است (Crimes and McCall, 1985; McCall, 1995). در منطقه خاش واقع در جنوب خاوری ایران رخنمون گسترده‌ای از رسوبات فلیش ائوسن وجود دارند (Hajmolla Ali, 1984)، که در نقطه‌ای واقع در باختر خاش با مختصات جغرافیایی شمالی $22^{\circ} 13' 28''$ ، شرقی $61^{\circ} 04' 18''$ (شکل ۱)، نمونه‌های گوناگون و زیادی از اثر فسیل‌های گرافوگلیپتید یافت شدند. همراهی برخی از آنها با ساخت فیزیکی فرسایشی امکان بررسی و تحلیل شرایط رسوب‌گذاری را فراهم می‌آورند. هدف اصلی از ارائه این مقاله، ارزیابی دیرین بوم‌شناسی این مجموعه گرافوگلیپتید در ارتباط با شرایط رسوب‌گذاری رخدادی است و بر اساس داده‌های به دست آمده از برش مورد مطالعه است.

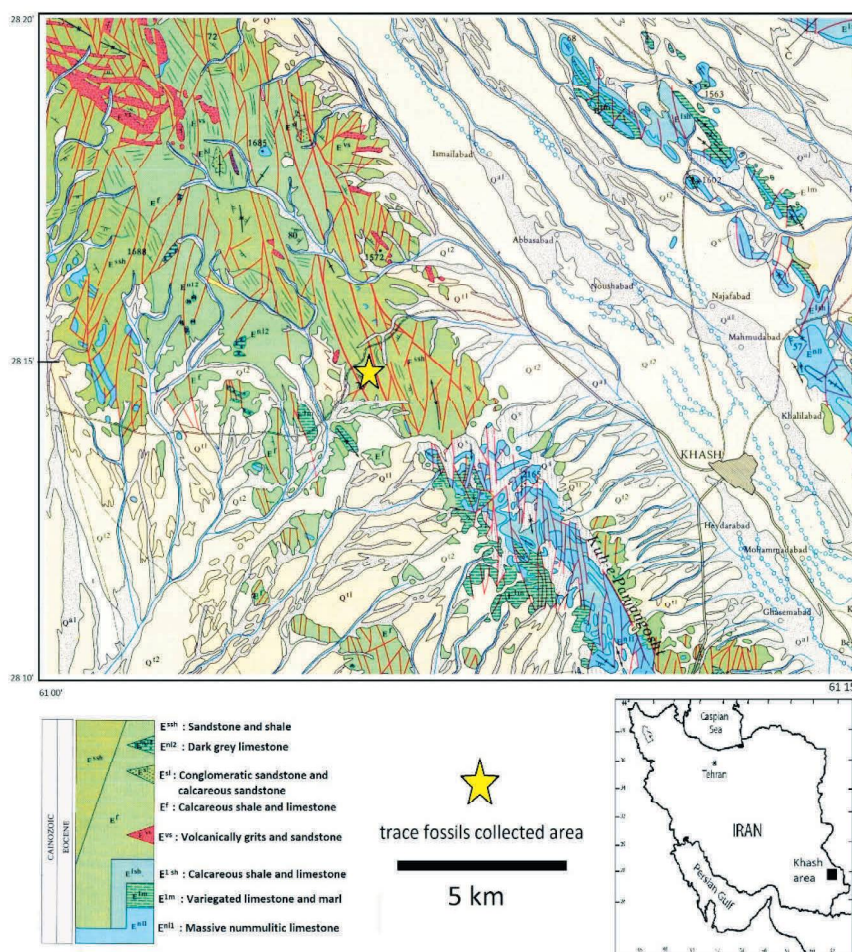
موقعیت جغرافیایی برش مورد مطالعه

وجود آتشفشان تفتان در ۴۰ کیلومتری شمال شهر خاش به عنوان یک پدیده ویژه در زمین‌شناسی ساختاری مکران و شرق ایران (Biabangard and Moradian, 2008; Delavari and Shakeri, 2016; Gansser, 1971). و همچنین برونزدهای قابل توجهی از فلیش‌های ائوسن در این منطقه در دسترس هستند (Hajmolla Ali, 1984; Shahrabi, 1995) (شکل ۱). این نهشته‌ها از واحدهای

1. Bioturbation
2. Ichnofacies
3. Nereites
4. Graphoglyptid

واقع در شمال باختری خاش برداشت شده‌اند شامل توالی فلیش ماسه‌سنگ و شیل به رنگ سبز زیتونی تا قهوه‌ای هستند (واحد سنگی ESSH در شکل ۲). در بخش‌هایی رخنمون ملانژی از آهک‌های قهوه‌ای تیره نومولیت‌دار در این توالی وجود دارند. به دلیل عملکرد نیروهای ساختمانی و تکتونیزه شدید منطقه، بازسازی ارتباطات چینه‌نگاری واحدهای رسوبی در این بخش‌ها دشوار است ولی می‌توان آنها را جزء واحدهای سنگی جدیدتر ائوسن دانست (Hajmolla Ali, 1984) و توالی برش مورد مطالعه شامل توالی ماسه‌های متورق، مارن و شیل می‌باشد (شکل ۲).

سنگی گوناگونی تشکیل شده و قاعده توالی با کنگلومرای قاعده‌ای آغاز و سپس با آهک‌های توده‌ای نومولیت‌دار و شیل‌های آهکی روشن ادامه پیدا می‌کند. با وجود فسیل‌هایی چون *Globigerina* sp., *Globorotalia* sp., *Nummulites globulus*, *Alveolina oblonga*, *Asselina* sp. و میلیولیده و بقایای نرم‌تان، سن این آهک‌ها ائوسن می‌باشد (Hajmolla Ali, 1984). این توالی با رخنمون‌هایی از انواع سنگ‌های آواری و شیل تکمیل می‌گردد و در بخش‌های جنوبی خاش با عنوان فلیش وحشی گزارش شده است. نمونه‌های مورد مطالعه که از رخنمون



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه پیمایش شده در باختر خاش و محل برداشت نمونه‌های گرافوگلیپتید، (نقل از Hajmolla Ali, 1984 با اندکی تغییرات)

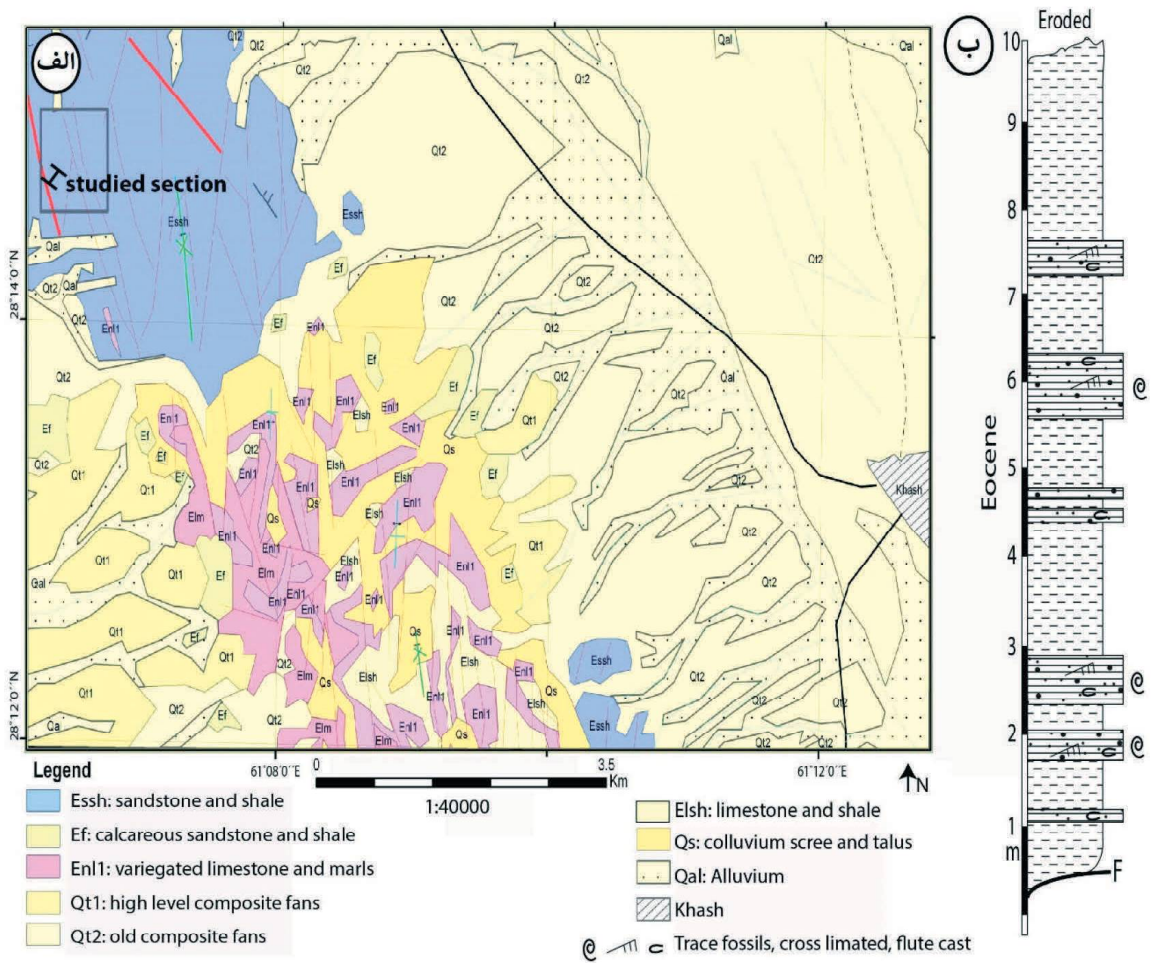
روش مطالعه

برداشت و ترسیم کل ستون چینه‌نگاری نهشته‌های ائوسن فراهم نشد ولی توالی مورد به ضخامت بیش از ده متر است که انباشته از اثر فسیل می‌باشد (شکل ۲). اثر فسیل‌های

پس از یافتن رخنمون مناسب در مطالعات صحرایی و پیمایش آن، نمونه‌برداری از واحدهای ماسه‌سنگی دارای اثرهای زیستی انجام گرفت. به دلیل تاثیر گسل‌ها امکان

متنوع و گوناگونی به تعداد حدود ۱۱۰ نمونه در توالی پیمایش شده، یافت و برداشت شدند. جدول یک اطلاعات عمومی گرافوگلیتیدهای تشخیص داده شده را به ترتیب حروف الفبا نشان می‌دهد و بیشتر این اثر فسیل‌ها به صورت برجسته در

سطح زیرین لایه‌بندی حفظ شده‌اند. خاطر نشان می‌شود که در میان این اثر فسیل‌ها تعدادی از آنها به همراه ساخت‌های رسوبی فیزیکی بودند که برای مطالعات بیشتر انتخاب و مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفتند.



شکل ۲. الف) نقشه زمین‌شناسی با مقیاس کوچک‌تر نهشته‌های فلیش باختر خاش، ب) ستون چینه‌شناسی برش مورد مطالعه و موقعیت اثر فسیل‌ها

جدول ۱. داده‌های عمومی گرافوگلیتیدهای تشخیص داده شده در توالی فلیش باختر خاش

شکل	ساخت فیزیکی	توپونومی و پرشدگی	رفتارشناسی	تعداد	اثر گونه	اثر جنس
پلیت ۱- شکل‌های b و a	گروو کست	Hpyorelief, passive	تغذیه‌ای (fodichnia)	۵	<i>ichtyforme</i>	<i>Desmograpton</i>
پلیت ۱- شکل c	—	Hpyorelief, passive	تغذیه‌ای	۲	isp.	<i>Halopoa</i>
پلیت ۱- شکل‌های d و e	فلوت کست	Full relief, active	تغذیه‌ای	۳	<i>mobilis</i>	<i>Helicodromites</i>
پلیت ۱- شکل h	فلوت کست	Hpyorelief, passive	خزش (crawling trace) یا (repichnia)	۱	<i>abeli</i>	<i>Helminthopsis</i>
پلیت ۱- شکل g	—	—	—	۱	<i>tenuis</i>	—

ادامه جدول ۱.

شکل	ساخت فیزیکی	توپونومی و پرشدگی	رفتارشناسی	تعداد	اثر گونه	اثر جنس
پلیت ۲- شکل a	گروو کست	Hpyorelief, passive	اثرهای تله گذاری و کشاورزی (Agrichnia)	۲	<i>crassa</i>	<i>Helminthorhapha</i>
پلیت ۲- شکل b				۱	<i>magna</i>	
پلیت ۲- شکل e و g	گروو کست	Hpyorelief, passive	خزشی- چرشی (Pascichnia)	۶	<i>cambrensis</i>	<i>Nereites</i>
پلیت ۳- a				۳	<i>arvense</i>	
پلیت ۳- b				۱۰	<i>goetzingeri</i>	
پلیت ۳- c				۱	<i>italicum</i>	
پلیت ۳- d	فلوت کست گروو کست	Hpyorelief, passive	اثرهای تله گذاری و کشاورزی	۷	<i>majus</i>	<i>Paleodytion</i>
پلیت ۳- e				۳	<i>maximum</i>	
پلیت ۳- f				۲	<i>minimum</i>	
پلیت ۳- g				۱	<i>miocenicum</i>	
پلیت ۳- h				۷	<i>strozzii</i>	
پلیت ۲- شکل c	گروو کست	Hpyorelief, passive	؟ اثرهای تله گذاری و کشاورزی	۱	<i>elegans</i>	<i>Paleomeandron</i>
شکل ۴- G				۱	<i>striatus</i>	
شکل ۴- J	گروو کست	Full relief, passive	خزشی	۱	<i>heberti</i>	<i>Palaeophycus</i>
پلیت ۲- شکل d				۱	<i>incertum</i>	
پلیت ۲- شکل f	فلوت کست	Full relief, active	تغذیه‌ای	۱	<i>beverleyensis</i>	<i>Planolites</i>
پلیت ۲- شکل h				۱	<i>isp.</i>	
پلیت ۴- شکل a و b	گروو کست	Hpyorelief, passive	اثرهای تله گذاری	۷	<i>strozzii var. convulota</i>	<i>Protopalaeodictyon</i>
پلیت ۴- شکل‌های d و c				۹	<i>strozzii var. vagans</i>	
پلیت ۴- شکل e	گروو کست	Hpyorelief, passive	اثرهای تله گذاری	۲	<i>isp.</i>	<i>Spirophycus</i>
پلیت ۴- شکل f و g				۸	<i>involuta</i>	
پلیت ۴- شکل h	گروو کست	Hpyorelief, passive	اثرهای تله گذاری	۴	<i>isp.</i>	<i>Squamodictyon</i>
پلیت ۴- شکل a				۱	<i>dertonensis</i>	

ساخت‌های غیرزیستی

مدت^۲ است (Lowey, 2007; Mulder and Alexander, 2000; Stow and Mayall, 2001). معمولاً در رخساره رسوبی C2 ساختارهای چین خورده و لغزشی^۳ و بسترهای فرسایشی غیر کانالی یافت می‌شوند (Schlegel et al., 1995). با این حال چنین ساختارهایی در توالی رسوبی مورد مطالعه مشاهده نشدند.

ساخت‌های فیزیکی موجود در لایه‌های مورد بررسی به ترتیب فراوانی شامل گروو کست، فلوت کست و به ندرت پرود کست و در ابعاد سانتی‌متر تا میلی‌متر، می‌باشند. عمق

توالی رسوبی مورد مطالعه که شامل رسوبات ماسه‌سنگ، مارن و شیل است و در ضخامت پیمایش شده نسبت ماسه/شیل در آن برابر ۳ به ۷ می‌باشد. لایه‌های آواری آن از ماسه‌سنگ ریزدانه با لامیناسیون تخت و موازی تا لامیناسیون مورب حاصل از انباشت ریپل مارک‌ها می‌باشند. این توالی در بخش دیستال یک مخروط زیردریایی و قابل قیاس با رخساره رسوبی C2.3 (تناوب ماسه و گل) در طبقه‌بندی پیکرینگ و همکاران (Pickering et al., 1995; Pickering et al., 1986; Pickering, 2014). تنشست شده است. فرآیند هیدرولیکی ایجاد کننده‌ی چنین رخساره سنگی جریان‌ات توربیدایتی ناگهانی کوتاه

1. Climbing-ripple cross-lamination
2. Short-lived surge-like turbidity flow
3. Slumping

اثر فسیل‌های *Paleodictyon*, *Scolicia*, *Desmograpton*, *Nereites* و *Spirorhapse* بیشترین فراوانی را دارند. این اثرها در کنار هم یا جدای از هم و در افق‌های رسوبی مختلف یافت شدند. قابلیت هر یک از این اثر فسیل در بررسی رخدادهای فرسایشی-رسوب‌گذاری محیط رسوبی برابر است هرچند که پراکنش محیطی آنها ممکن است یکسان نباشد. اثر فسیل *Paleodictyon* برای نخستین بار توسط منگینی (Menghini, 1850) معرفی شد هرچند که لئونارد داوینچی به وجود آن اشاره کرده است (Baucon, 2010). این اثر فسیل به صورت مش‌های شش‌گوشه می‌باشند و برخی ایکنوتاکسونومی آنها بر اساس اندازه قطر مش‌ها و ضخامت لوله‌ها پیشنهاد شده است (Uchman, 1995)، با این وجود، اندازه به‌تنهایی برای ایکنوتاکسونومی کافی نیست، و لازم است به ویژگی‌های مورفولوژیکی اثرها نیز توجه ویژه داشت. سن این اثر فسیل کامبرین تا عهد حاضر است (Häntzschel, 1975b) و از اثرهای شاخص رخساره‌های فلش در زمان بعد از پالئوزوئیک پیشین است (Crimes and Fedonkin, 1994)، البته در رخساره‌های دیگر نیز گزارش شده است (Fürsich et al., 2007). در توالی مورد مطالعه، سی‌وچهار نمونه اثر فسیل *Paleodictyon* مورد بررسی قرار گرفتند بر اساس اندازه‌های قطر مش و قطر لوله حفاری و بر اساس ریخت‌شناسی آنها اثر گونه‌های *P. strozzii*, *P. miocenicum*, *P. majus*, *P. italicum* و *goetzingeri*, *P. minimum*, *P. arvense* تشخیص داده شدند (شکل ۳). عمق حفاری این اثر فسیل زیاد نیست و شامل شبکه حفاری زیرسطحی با کانال‌های ارتباطی با سطح آب-رسوب است (به شکل ۸-ب توجه شود). الگوهای مختلفی برای چگونگی ایجاد آن پیشنهاد شده‌اند که شروع حفاری از یک نقطه، یا حفاری در مسیر منظم‌مانداری، یا حفاری در مسیر مارپیچی از جمله‌ی آنهاست (Seilacher, 2007) (شکل ۴). این اثر فسیل بیشتر در بسترهای رسوبی ریز دانه و غنی از مواد آلی ایجاد می‌شود.

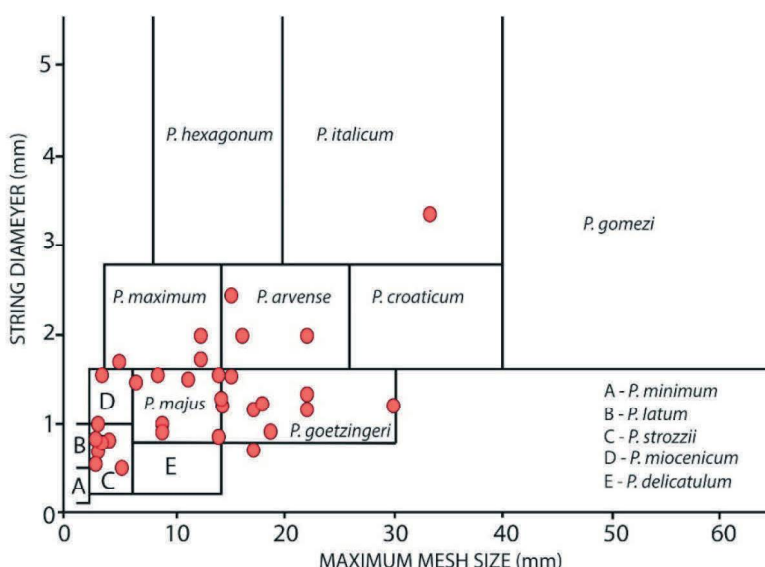
این ساخت‌ها در حد چند میلی‌متر و در مواردی تا حد یک سانتی‌متر است. این ساخت‌ها کم‌وبیش در یک راستا آرایش داشته و نشان‌دهنده‌ی حاکم بودن جریانات یک‌طرفه بر روی بستر رسوبی هنگام ایجاد آنها، هستند (مثلاً شکل‌های ۵-ت و ۵-ث). با توجه به هدف مطالعاتی حاضر، بر ساخت‌های فیزیکی همراه با اثر فسیل‌ها تاکید شد و در بازسازی ترتیب زمانی شکل‌گیری آنها، دقت زیادی به عمل آمد. آنچه که مسلم است این ساخت‌ها در طی جریانات فرساینده ایجاد شده‌اند، و ساختمان‌های قبلی همچون لایه‌بندی را تحت تاثیر قرار داده‌اند. با توجه به فراوانی ساخت شیاری و فلوت کست‌های متعاقب آنها، در توالی مورد مطالعه، اساساً جریانات توربیدیتی حاکم بوده است. با این حال ممکن است توسط جریانات خرده‌دار حاشیه‌ای^۱ نیز ایجاد شده باشند (Ducassou et al., 2009; Hodgson, 2009).

قابلیت دیرین بوم‌شناختی گرافوگلیپتیدهای اصلی

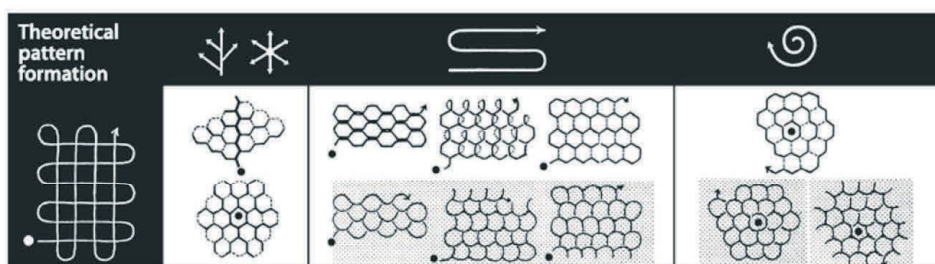
اثر فسیل‌های گرافوگلیپتید مجموعه متنوعی از اثر فسیل‌ها را شامل است که سیلاخر (Seilacher, 1977c) آنها را در الگوهای شبکه منظم، ریخت‌های شعاعی، ریخت‌های نامنظم، مانداری پیوسته، مانداری یکنواخت^۲ دسته‌بندی نمود. ایکنوتاکسونومی این دسته از اثر فسیل به‌غیر از ریخت‌شناسی عمومی، متاثر از توپونومی آنها نیز می‌باشد به‌نحوی که در حفظ‌شدگی *concave epirelief* یا *convex hyporelief* نام‌های متفاوتی ممکن است به آنها داده شده باشد (Plaziat and Mahmoudi, 1988; Seilacher, 1977b). اثر فسیل‌های یافت شده در مطالعه حاضر از نظر توپونومی (Simpson, 1975) و استراتونومی (Martinsson, 1970; Seilacher, 1964a, b)، به دو صورت برجسته در سطح زیرین^۳ یا با حفظ‌شدگی کامل^۴ در درون رسوب هستند. در حالت نخست این اثرها در سطح زیرین ایجاد شده ولی توسط رسوب لایه بالایی که اغلب دانه‌درشت تر است قالب‌گیری شده است. در حالت دوم فعالیت زیستی در درون لایه رسوبی رخ داده و به‌صورت فعال و توسط خود اثرساز (active) یا غیرفعال توسط فرآیندهای رسوبی (passive) پر شده‌اند (جدول ۱).

در میان گرافوگلیپتیدهای یافت شده، به ترتیب

1. Bypassing debris flow
2. Uniramous
3. Convex hyporelief/Convex hypichnion
4. Endichnion/Full relief



شکل ۳. ژئومتری نمونه‌های مورد مطالعه *Paleodictyon* بر اساس بیشینه درازای شش گوشه‌ها و ستبری لوله‌های حفاری، نمودار زمینه نقل از (Uchman, 1995)، تشخیص نهایی اثر گونه‌ها با کمک سایر ویژگی‌ها همچون ریخت‌شناسی اثرها انجام پذیرفت



شکل ۴- الگوهای مختلف ایجاد اثر فسیل *Paleodictyon* (Seilacher, 2007)

و چه نسبت به خود هریک از برجستگی‌ها می‌باشد (برای نمونه پلیت ۴- شکل پ). لبه‌ی هر برجستگی هم در برخی از آنها مشخص و واضح یا با آثار فرسایشی است. از اثرهای فراوان دیگر در میان نمونه‌های جمع‌آوری شده اثر فسیل *Desmograpton* است. از دید تکاملی، اثر فسیل‌های *Paleomeandron*، *Protopaleodictyon* و اثر فسیل *Desmograpton* ارتباط ساختاری با یکدیگر دارند به نحوی که حفاری‌های کوتاه تا بلند با انشعابات میان آنها همراه هستند. این اثر فسیل‌ها از گروه ماندردی یکنواخت (uniramous) گرافوگلیپتید می‌باشند. از آنجاکه بخش کانال‌های ارتباط با سطح آب رسوب در درون لایه قرار می‌گیرد، در بیشتر این نمونه‌ها کانال‌های افقی بهتر قابل مشاهده هستند. بالاخره در میان نمونه‌های یافت شده، نمونه‌های اثر فسیل *Nereites* منحصر به اثر گونه‌ی

Scolicia خود شامل مجموعه‌ای از اثر فسیل‌های گرافوگلیپتید است که به‌عنوان گروه اسکولیسیا شناخته می‌شوند (Häntzschel, 1975a; Smith and Crimes, 1983). اثر فسیل‌های *Subphyllochora*، *Scolicia*، جزء گروه *Taphrohelminthopsis*، *Cardioichnus* اسکولیسیا هستند و بر پایه استراتونومی نام‌گذاری شده‌اند (Plaziat and Mahmoudi, 1988). این اثر فسیل‌ها مرزهای رخساره‌ای را قطع می‌نمایند و توسط جانورانی چون خارداران، شکمپایان و سایر نرم‌تنان ایجاد می‌گردند (Häntzschel, 1975a). نمونه‌های اسکولیسیا در توالی ائوسن خاش به‌صورت برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی حفظ شده و به شکل دو برجستگی موازی مستقیم یا خمیده هستند. آنچه در این نمونه‌ها جلب توجه می‌کند تقارن نداشتن این دو برجستگی چه نسبت به محور میانی

کم در رسوب بوده و توسط جانوران گلزی^۷ ایجاد می‌شوند. اثر فسیل‌های پس از رخداد با عمق نفوذ بیشتر در رسوب هستند و از تنوع اندکی برخوردارند (Pickering and Hiscott, 2015). نوع، توپونومی و ارتباطات اثر فسیل‌های مورد مطالعه‌ی در این پژوهش را بررسی کرده و همراه با ساخت‌های فیزیکی موجود، مورد بررسی قرار گرفتند. بر این اساس، این اثر فسیل‌ها در سه گروه زیر قابل دسته‌بندی هستند (جدول ۲):

الف- اثر فسیل‌های پیش از رخداد (Pre-event trace fossils)

این دسته شامل اثرهایی هستند که پیش از وقوع جریان‌ات پارانرژی چرخه جدید رسوبی و در بست‌های گلی و ریزدانه ایجاد شده و در طی رخداد جریان‌ات پارانرژی بعدی تحت تاثیر قرار گرفته‌اند. این ساخت‌ها با وقوع جریان‌ات فرساینده توسط ساخت‌های فرسایشی بریده شده‌اند. در نمونه‌های مورد بررسی برخی از اثر فسیل‌ها چنین وضعیت و تاریخچه‌ای را به نمایش می‌گذارند و شامل *Desmograpton*، *Helminthorhaphae*، *Paleodytion*، *Protopaleodictyon*، *Scolicia*، *Spirophycus*، *Spirorhaphae*، *Squamodictyon* و *Urohelminthoidea* هستند.

اثر فسیل‌های پیش از رخداد در سطح یا عمق کم رسوبی تشکیل شده و خود ساختمان معینی دارند (شکل ۵-الف). با وقوع یک جریان پارانرژی به‌عنوان یک رخداد (event)، همه یا بخشی از شبکه دهلیزها و ساختمان آنها توسط جریان‌ات فرساینده زدوده شده و حذف می‌گردد (شکل‌های ۵-ب و پ). عمق فرسایش رسوب در یک لایه رسوبی می‌تواند یکسان نباشد و ممکن است قشری از رسوب تا عمق بیشتری از آن را حذف نماید، یا همراه با ساخت‌های فیزیکی فرسایشی چون ساخت‌های شیاری^۸ یا فلوت مارک^۹ باشد.

1. Event sedimentation
2. Pre-event
3. Pre-deposit
4. Post-event
5. Post-deposit
6. Over-crossing/ Intersecting
7. Mud dwellers
8. Groove mark
9. Flute mark

N. cambrensis می‌باشد. در ساختار این اثر فسیل خزشی دو سوی حفاری قابل مشاهده است ولی در نمونه ائوسن خاش این اثرها به‌صورت تک ردیفی از حفاری ماندری است.

گرافوگلیپتیدها و رسوبات رخدادی

همان‌گونه که پیشتر گفته شد، گرافوگلیپتیدها شاخص محیط رسوبی توریدایت هستند، محیطی که به‌طور دوره‌ای تحت تاثیر تنش جریان‌ات آشفته و پارانرژی قرار می‌گیرد. این نوع رسوب‌گذاری به‌عنوان رسوب‌گذاری رخدادی^۱ شناخته شده‌اند (Pickering, 2014; Reynolds, 1987). هر چرخه رسوبی به یک رسوب‌گذاری ریزدانه گلی غنی از مواد آلی ختم می‌شود. پس از رسوب‌گذاری این نوع رسوبات ریزدانه با مواد آلی زیاد، فرصت فعالیت‌های زیستی و ثبت اثرهای رفتاری (اثر فسیل‌ها) فراهم می‌شود. این شرایط همیشگی و پایدار نیست و با ایجاد یک جریان پارانرژی نو، رسوب‌گذاری دانه‌درشت جدید رخ داده و چرخه رسوبی پیشین با این رسوب‌گذاری رخدادی پایان می‌پذیرد. همراه با وقوع جریان‌ات پارانرژی و فرساینده، ساخت‌های فرسایشی همانند ساخت شیاری و فلوت ایجاد می‌شوند و ممکن است ساخت‌های قبلی را نیز تحت تاثیر قرار داده و فرسایش دهند. رسوبات ته‌نشست شده در پی این جریان‌ات معمولاً دانه‌درشت آواری می‌باشند و ساخت‌های پیشین را چه از نوع زیست‌زادی و چه از نوع فیزیکی و در سطح زیرین لایه‌بندی قالب‌گیری می‌شوند. ترتیب زمانی ایجاد ساخت‌های فیزیکی و اثر فسیل‌ها در دسته‌بندی گرافوگلیپتید در دو گروه پیش از رخداد و پس از رخداد اهمیت دارد. برای این اساس، اثر فسیل‌های نهشته‌های فلیش به دو دسته پیش از رخداد^۲ [یا پیش از رسوب‌گذاری^۳] و پس از رخداد^۴ [یا پس از رسوب‌گذاری^۵] تقسیم می‌شوند (Campbell et al., 2016; Ksiazkiewicz, 1954; Leszczyński, 1993; Seilacher, 1962). تفکیک این دو گروه از اثر فسیل در درجه نخست برپایه ترتیب قطع‌شدگی‌ها^۶ و تحلیل روی هم‌افتادگی‌هاست (Leszczyński and Seilacher, 1991). اثر فسیل‌های پیش از رخداد معمولاً ظریف و با طرح و الگوی بسیار متنوعی هستند، حفاری‌هایی با عمق نفوذ

جدول ۲. ترتیب زمانی اثر فسیل‌های توالی فلیش ائوسن در باختر خاش

اثرهای متاثر از جریان‌های عادی Current controlled graphoglyptids	اثر فسیل‌های پس از رخداد Post-Event graphoglyptids	اثر فسیل‌های پیش از رخداد Pre-Event graphoglyptids
<i>Paleodictyon</i>	<i>Halopoa</i>	<i>Desmograption</i>
	<i>Helicodromites</i>	<i>Helminthorhapha</i>
	<i>Helminthopsis</i>	<i>Paleodictyon</i>
	<i>Nereites</i>	<i>Protopaleodictyon</i>
	<i>Paleomeandron</i>	<i>Scolicia</i>
	<i>Phycosiphon</i>	<i>Spirophycus</i>
	<i>Planolites</i>	<i>Spirothaphe</i>
		<i>Squamodictyon</i>
		<i>Urohelminthoidea</i>

زیرین لایه جدید جای داشته باشند، اثرهای *Halopoa*، *Helicodromites*، *Helminthopsis*، *Nereites*، *Paleomeandron*، *Phycosiphon* و *Planolites* در این مرحله از رسوب‌گذاری در توالی مورد مطالعه، ایجاد شده‌اند. این اثرها، ساخت‌های فیزیکی یا زیستی مراحل قبلی را قطع کرده‌اند (شکل‌های ۵-ج تا د). این دسته از گرافوگلیپتیدها به صورت فعال یا غیرفعال و توسط جانور اثرساز، یا در طی رسوب‌گذاری عادی پر می‌شوند. رسوبات پرکننده معمولاً همجنس با رسوب لایه میزبان می‌باشند ولی ممکن است، برخی اثرها مانند *Palaeophycus striatus* ساختمان‌های داخلی دارند، که نشان دهند پرشدگی فعال دهلیزهای حفاری است (شکل ۵-د).

ج- اثر فسیل‌های تحت تأثیر جریان‌های عادی

اثر فسیل‌هایی چون *Paleodictyon*، به شکل ساختمان سه‌بعدی حاصل از حفاری الگودار و برنامه‌ریزی شده می‌باشند و خود شامل شبکه‌ای به هم پیوسته‌ای از دهلیزهای لوله‌ای شکل هستند. این نوع اثر فسیل‌ها مجراهای تهویه در سقف دهلیزها دارند. مجراهای تعبیه شده خود آرایش مشخص و منظمی داشته و درعین حال، دهلیزهای حفاری شده جهت یافتگی معینی را نشان می‌دهند. با بررسی ساخت‌های رسوبی جهت‌دار در کنار این نوع اثر فسیل‌ها، متوجه می‌شویم که مش‌های شش گوشه اثر فسیل *Paleodictyon* در جهت جریان کشیدگی و جهت یافتگی دارند، به نحوی که به سمت پایین دست جریان، اندازه مش‌های حفاری کاهش می‌یابد (شکل‌های ۶-الف و ب). همچنین در اثرگونه‌ی

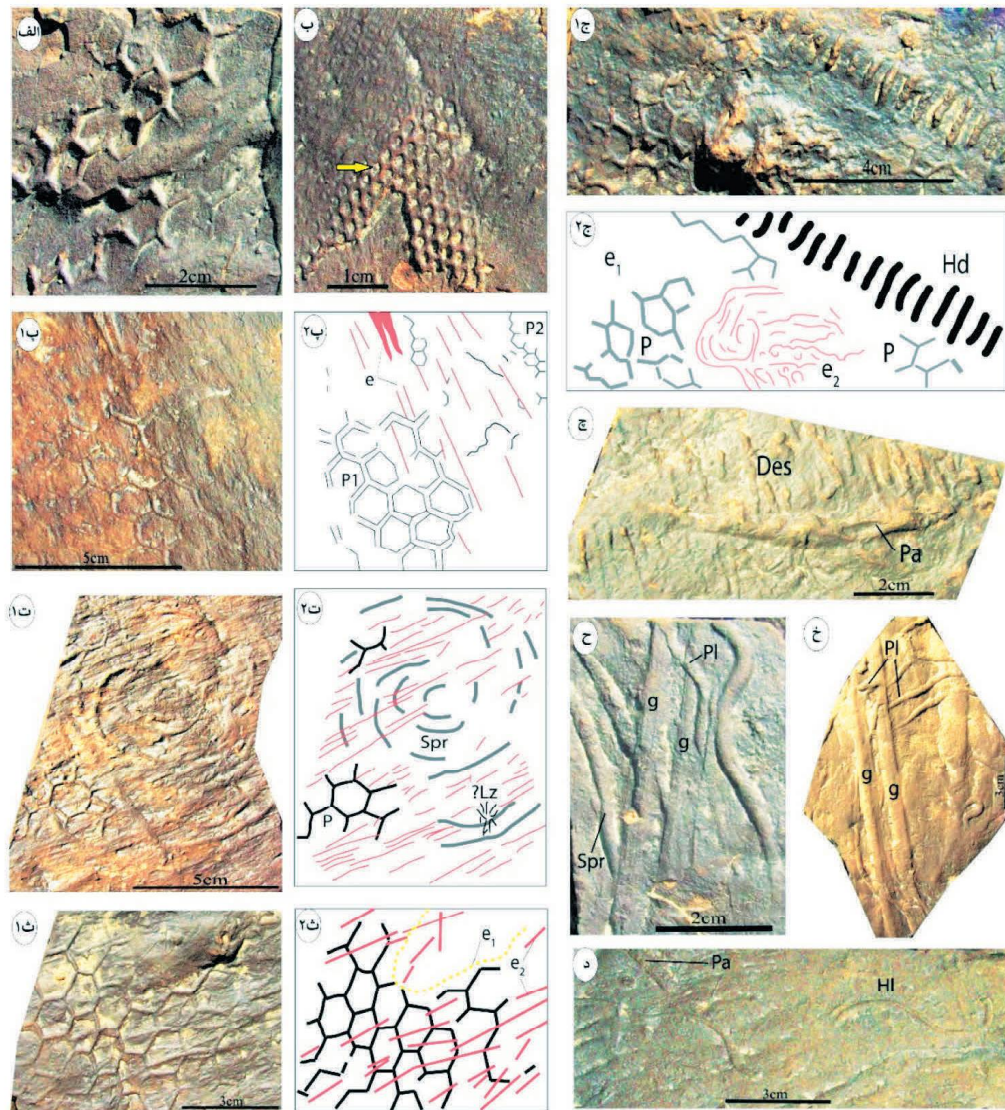
در حالت اخیر ساخت فرسایشی فیزیکی، شبکه حفاری را تحت تأثیر قرار داده و آنها را قطع کنند (شکل ۵-ت). ممکن است فرسایش بستر در چند مرحله رخ دهد که حاصل آن توالی ساخت‌های فرسایشی در چند مرحله است (شکل ۵-ث). اگر شدت فرسایش زیاد باشد ممکن است کل بستر فرسوده شده و تنها ساخت‌های فرسایشی باقی بمانند. پس از پایان یافتن جریان‌های پیرانرژی و آرامش تدریجی، مرحله رسوب‌گذاری رسوبات فراهم می‌شود. این رسوبات به طور نسبی معمولاً درشت‌دانه تر از رسوب گلی هستند که اثرها بر روی آنها ایجاد شده‌اند. رسوبات مرحله جدید، ساخت‌های فیزیکی و زیستی را پر کرده و آنها را قالب‌گیری می‌کنند. با این حال ممکن است این پرشدگی در دو یا چند مرحله رخ دهد که از روی رنگ و بافت رسوبات پرکننده می‌توان مراحل پرشدگی را تشخیص داد.

ب- اثر فسیل‌های پس از رخداد

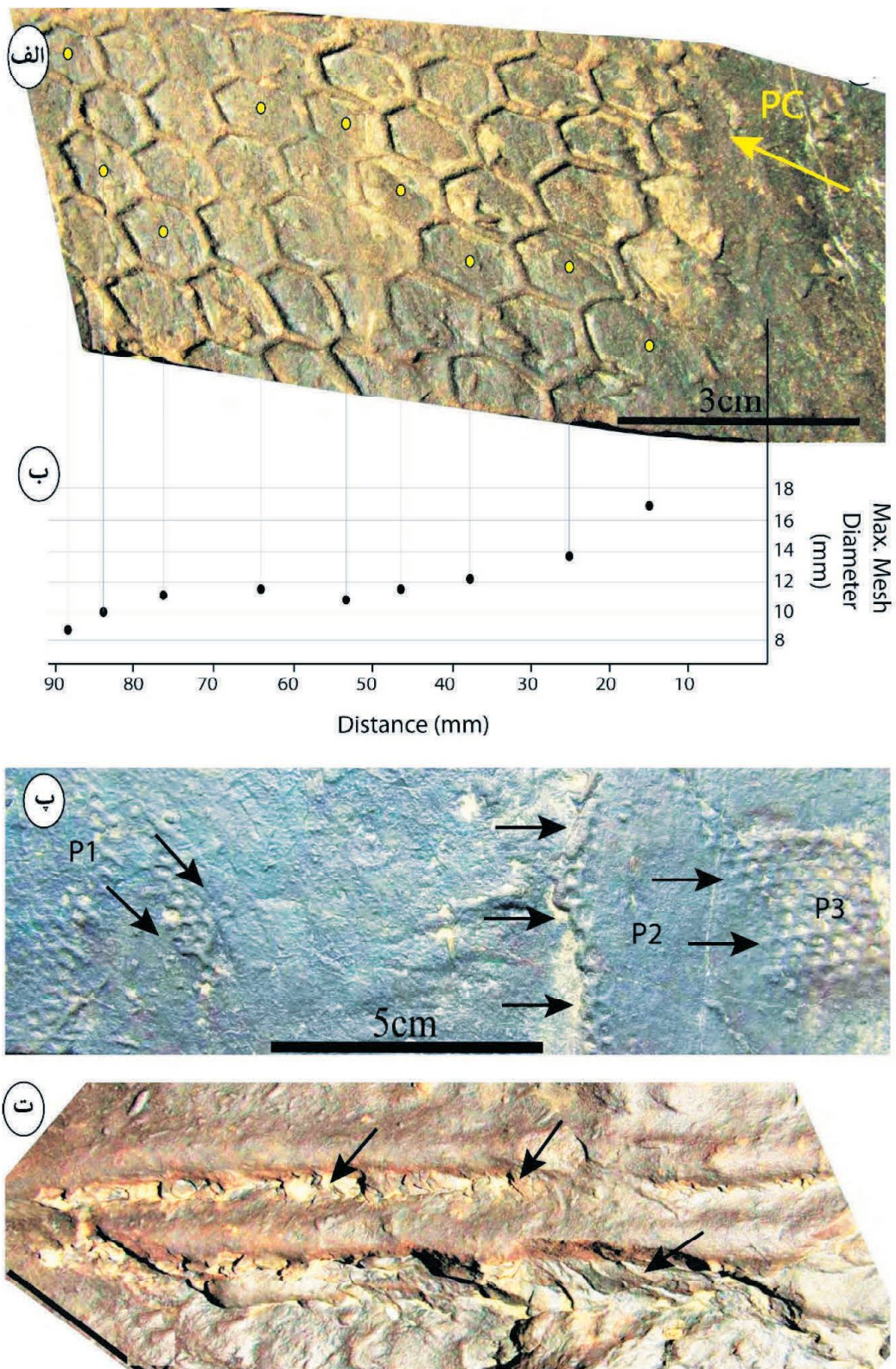
پس از پایان یافتن جریان‌های پیرانرژی و آشفتگی، شرایط هیدرولیکی محیط رسوبی آرام شده و دوباره فرصت فعالیت‌های زیستی فراهم می‌شود. با این تفاوت که در این مرحله تنها جانوران حفاری قادر به فعالیت خواهند بود که بستر رسوبی جدید که دانه درشت‌تر است را به صورت درون رسوبی حفاری کنند. طبیعی است که ساخت‌های فیزیکی و زیستی پیش از رخداد رسوب‌گذاری جدید توسط ساخت‌های زیست‌زادی نو تحت تأثیر قرار گیرند و قطع شوند. حاصل حفاری جانوران درون رسوبی، ساخت‌ها درون رسوبی (*endichnia*) هستند و ممکن است در سطح بالایی یا

ثبت کرده‌اند. به نظر می‌رسد عدم تقارن این اثرها نیز به دلیل وجود چنین جریاناتی بوده است. به گونه‌ای که جانور برای حفظ تعادل، در یک سمت در عمق بیشتر و در سمت دیگر در عمق کمتر حفاری کرده است (شکل ۶-ت).

P. nodosum، نظم ساختمان ایجاد شده به گونه‌ای است که عمق بیشتر دهلیزها در بالادست جریان قرار دارد و دهلیزهای حفاری شده در جهت جریان آرایش یافته‌اند (شکل ۶-پ). با این حال حاشیه برخی از اثر فسیل‌ها مانند *Scolicia* به دلیل وقوع جریاناتی فرساینده شیاریهایی فرسایشی را در خود



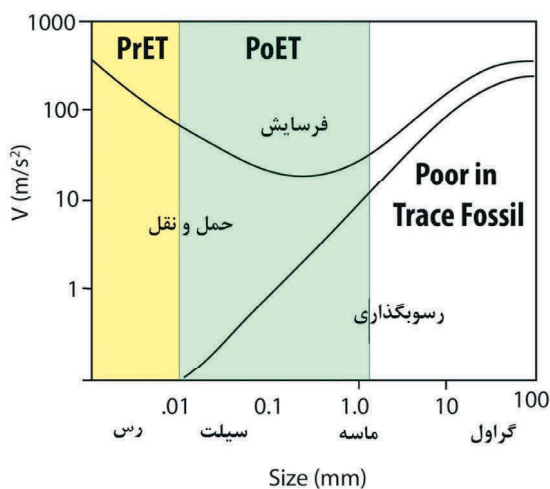
شکل ۵. نمونه‌های از گرافوگلیتیدهای پیش و پس از رخداد رسوبی توربیدیتی در توالی رسوبی فلیش ائوسن باختر خاش و شکل ترسیمی از آنها، الف، ب) فرسایش موجب حذف بخشی از ساختمان اثر فسیل‌ها شده است که در عمق، در اینجا چون قالب است، با برجستگی متفاوت مشاهده می‌شوند و آثاری از ساختمان اولیه دیده می‌شود (پیکان)، پ، ت، ث) فرسایش حاصل از رخدادهای توربیدیتی (e1 و e2)، که همراه با ایجاد ساخت‌های فرسایشی فیزیکی شیاری یا فلوت (رنگ قهوه‌ای) می‌باشند و گونه‌هایی از *Paleodictyon* (P1) و (P2)، یا *Spirorhaphe* (Spr)، یا احتمالاً *Lorenzina* (?Lz)، را قطع کرده‌اند، ج) اثر فسیل پیش رخداد رسوبی *Paleodictyon* (P) و پس از رخداد *Helicodromites* (Hd) در کنار یکدیگر با دو مرحله فرسایش با شدت کم (e1) که بخش‌های سطحی *Paleodictyon* را حذف کرده و با شدت بیشتر (e2) که با ایجاد ساخت فلوت مارک همراه بوده است، ج) اثر فسیل پس از رخداد رسوبی *Palaeophycus* (Pa) که اثر فسیل پیش از رخداد رسوبی یعنی *Desmograpton* (Des) را قطع کرده است، ح، خ) اثر فسیل پیش رخداد رسوبی *Spirorhaphe* (Spr) و سپس ایجاد ساخت شیاری (g) در طی فرسایش رسوب‌گذاری رخدادی و در نهایت ایجاد اثرهای پس از رخداد رسوبی، یعنی *Planolites* (Pl). همان‌طور که مشاهده می‌شود *Planolites* ساخت شیاری را قطع کرده است، د) گرافوگلیتیدهای پس از رخدادی *Helminthopsis* (HI) و *Palaeophycus* (Pa) با حفظ شدگی برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی در بستر کاملاً فرسایش یافته هستند



شکل ۶. آرایش و جهت‌یافتگی اثر فسیل‌ها گرافوگلیپتید در جهت جریان دیرینه (PC)، الف، ب) جهت‌یافتگی و کشیدگی اثر فسیل *P. gotzeingeri* در جهت جریان و کاهش قطر مش‌های حفاری در سمت پایین دست جریان، نمودار تغییر حداکثر اندازه مش در هر ردیف از شبکه را نسبت به نقطه ابتدایی فرضی، نشان می‌دهد، پ) آرایش اثر فسیل *P. minimum* با عمق بیشتر (در اینجا قالب است، برجستگی بیشتر) در بالا دست جریان (پیکان‌ها) و نظم بیشتر در جهت جریان، ت) آثاری از فرسایش در حاشیه اثر فسیل *Scolicia*، که ریخت نامتقارن دارد. مقیاس برابر ۲/۵ سانتیمتر است

بحث

با جریان‌های پراورزی بخش بالایی رسوب، بخشی از اثر یا حتی بخش‌های بیشتری از آن در اثر فرسایش حذف می‌شوند. این رخداد ممکن است با ایجاد ساخت‌های فرسایشی فیزیکی باشد. با آرام گرفتن محیط رسوبات پس از رخداد پراورزی ته‌نشست می‌شوند. جانوران اثرسازی که این مرحله را پشت سر گذاشته‌اند و فرصت و مجال حفاری در بستر جدید را پیدا می‌کنند، یا جانوران اثرساز جدیدی که به محیط وارد شده‌اند، با حفاری خود، ساختمان‌های پیشین را تحت تاثیر قرار می‌دهند.



شکل ۷. منحنی هیلستروم و محدوده ایجاد گرافوگلیتیدهای پیش (PrET) و پس (PoET) از رخدادهای رسوبی. انتظار می‌رود در رسوبات بسیار دانه درشت‌تر فعالیت اثرسازها یا شرایط حفظ و نگهداری اثر فسیل‌ها با محدودیت‌های زیادی برخوردار باشد

شبکه لانه‌زنبوری *Paleodictyon* یک سیستم تهویه ویژه‌ای را برای رفتار تله‌گذاری و کشاورزی (*Agrichmia*) ایجاد می‌کند. به نظر می‌رسد تغییر طول و قطر لوله‌های شبکه *Paleodictyon* در کنترل فشار هیدرولیکی سیستم تهویه دهلیزها نقش اساسی داشته باشد. همان‌طور که می‌دانیم هر لوله با قطر D و با طول L که جریانی با دبی را به‌عنوان بخش از شبکه لوله انتقال می‌دهد در طول مسیر دارای افت انرژی می‌باشد که این افت برابر است با:

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

این افت بستگی به زبری لوله دارد و افت اصطکاکی نامیده می‌شود. بنابراین در نمونه‌هایی از *Paleodictyon* که به تدریج طول یا قطر لوله کاهش می‌یابد، شاید نشان‌دهنده‌ی رفتار جانور در جهت کاستن از افت فشار

ارزیابی پارامترهای رسوب‌شناسی در شکل‌گیری گرافوگلیتیدها اهمیت به‌سزایی دارد. این اثرها طبق قوانین هیدرودینامیک رسوب، به‌خوبی حفظ شده و علی‌رغم وقوع جریان‌های رخدادی می‌توانند شرایط رسوب‌گذاری رخدادی را پشت سر گذاشته و به‌اصطلاح، جان سالم بدر برند (Crimes, 1975). هیدرولیک رسوب در قالب منحنی هیلستروم در سه محدوده‌ی حمل، فرسایش و رسوب طرح می‌شود (Hjulstrom, 1935). تلاش‌هایی برای ارزیابی کارایی منحنی هیلستروم در شرایط محیط‌های رسوبی توربیدیتی به عمل آمده است (مثلاً Osaro, 2018) ولی کم‌وبیش می‌توان مفاهیم موجود در ارتباط هیدرولیک رسوب در این منحنی را برای اثر فسیل‌های گرافوگلیتید بکار برد. چنین کاربردی پیش‌تر در ارتباط با ایجاد اثر فسیل کروزیانا در محیط‌های شلف بکار رفته است (Crimes, 1975). به دلیل ویژگی‌های رسوبات ریزدانه گلی که معمولاً از کانی‌های رسی هستند، مانند خاصیت چسبندگی، سرعت (یا انرژی) بیشتری برای فرسایش و کنده شدن و ورود به محدوده حمل نیاز دارند. این در حالی است که در رسوبات دانه درشت در حد سیلت این انرژی به مقدار کمتری است. بنابراین می‌توان بخش نخست منحنی هیلستروم را برای محدوده ایجاد و بقای گرافوگلیتیدهای پیش از رخداد رسوبی، و محدوده سیلت و ماسه دانه‌ریز را برای ایجاد گرافوگلیتیدهای پس از رخداد پیشنهاد داد (شکل ۷).

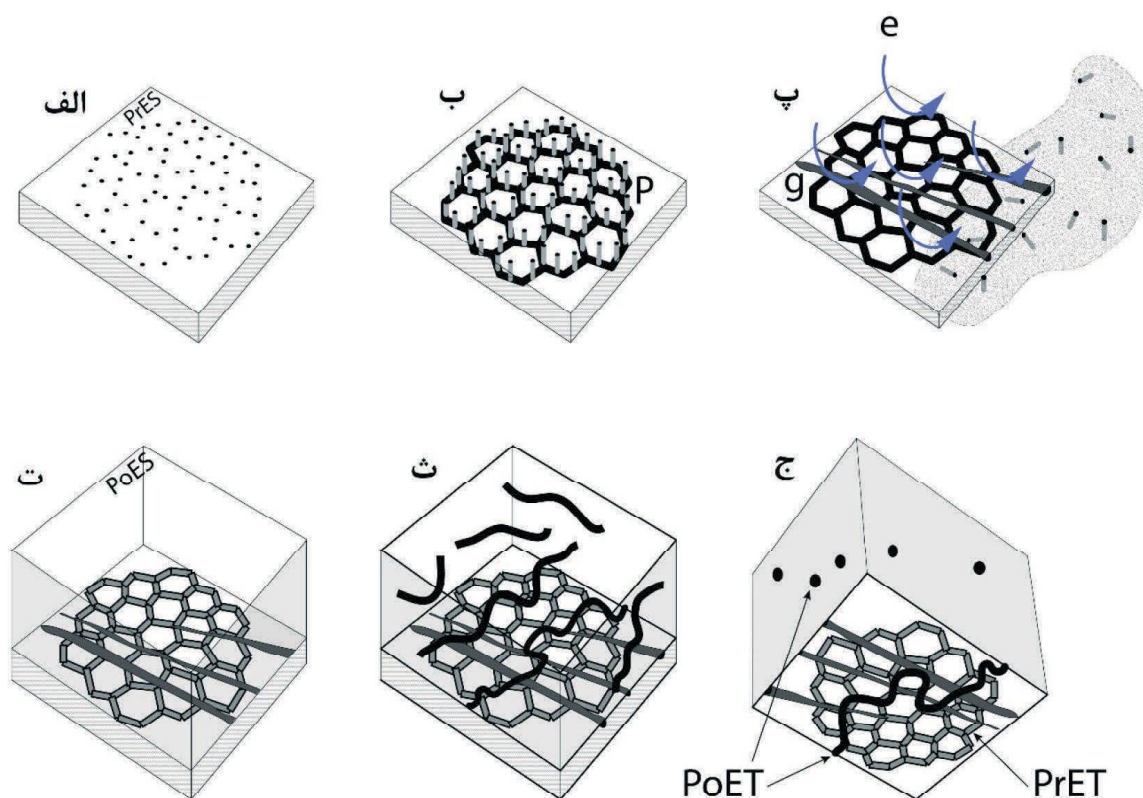
مهم‌ترین و فراوان‌ترین اثر فسیل در میان گرافوگلیتیدهای مورد مطالعه اثر فسیل *Paleodictyon* است. این اثر فسیل به‌خوبی تاثیر جریان‌های فرساینده را به نمایش می‌گذارد. این اثر فسیل در عمق کم رسوب گلی ایجاد می‌شود و پس از ایجاد آن، و پیش از رخداد یک رسوب‌گذاری آشفته و پراورزی، به‌صورت شبکه‌ی حفاری زیرسطحی شش گوشه منظم تا نامنظم و در نزدیک به سطح رسوب باقی می‌ماند که از طریق لوله‌های کوتاه قائم با سطح آب-رسوب ارتباط دارد. مراحل ایجاد مجموعه گرافوگلیتیدهای پیش و پس از رخداد توربیدیتی در شکل ۸ به تصویر کشیده شده است. در ابتدا یک اثر قبل از رخداد پراورزی ایجاد می‌شود، سپس

اکسیژن به نسبت پایین شکل می‌گیرند و انتظار می‌رود در مدت زمان بیشتر ایجاد شده باشند. این در حالی است که گرافوگلیپتیدهای پس از رخداد به نسبت، در محیط پراثرتری، دانه درشت‌تر، با سطح اکسیژن بالاتر و در مدت زمان کمتری ایجاد شده‌اند (Savrda, 1992; Uchman, 2004). اثرسازان این دسته از اثر فسیل‌ها، با جانوران با منش زیستی R (R-strategist) قابل قیاس هستند.

در توالی مورد مطالعه انبوهی از تکرار لایه‌های دانه‌ریز گلی و دانه‌درشت دارای اثرهای گرافوگلیپتیدی هستند و به نظر می‌رسد بارها و بارها چنین شرایط زیست‌محیطی برای اثرسازها رخ داده است.

هیدرولیکی شبکه زهکشی باشد تا تهویه مناسب برای شبکه فراهم آورد. بنابراین می‌توان گفت که سمت کاهش اندازه شبکه *Paleodictyon* جهت پایین دست جریان است.

از طرف دیگر، بایستی توجه داشت که تنوع و گوناگونی دو دسته اثر فسیل پیش و پس از رخداد رسوبی با همدیگر متفاوتند. اگر تنوع اثر فسیل‌ها را تنوع اثرسازها بدانیم خواهیم دید که اثرهای پیش از رخداد بسیار متنوع و گوناگون هستند هرچند که ممکن است اینکونوتاکسون‌های آنها به فراوانی یافت نشوند. این دسته اثرسازها در واقع جانوران با منش زیستی K (K-strategist) هستند. گرافوگلیپتیدهای پیش از رخداد در محیط آرام، با رسوب گلی و با سطح



شکل ۸. شکل نمایشی از مراحل ایجاد گرافوگلیپتیدهایی چون *Paleodictyon*، (P) در جریان رخدادی (e) شامل اثر فسیل‌های پیش از رخداد (PrET) و پس از رخداد (PoET). این اثرها به ترتیب در بسته‌های رسوبی قبل از رخداد (PrES) و بعد از آن (PoES) ایجاد شده‌اند و ممکن است با ایجاد ساخت‌های فرسایشی فیزیکی چون ساخت‌های شیاری (g) همراه باشد. *Paleodictyon* در سطح رسوب به صورت سوراخ‌هایی غربالی دیده می‌شوند، (الف) ولی ساختمان سه‌بعدی با دهلیزهای شش گوشه دارد و در عمق کم رسوب ایجاد می‌شود و لوله‌های قائم تهویه دهلیزها را با هدایت آب به درون حفاری فراهم می‌کنند، ساختمان سه‌بعدی بر اساس (Rona et al., 2003) رسم شده است، (ب). به دلیل وقوع یک جریان رخدادی و فرساینده، بخش بالایی حفاری که شامل لوله‌های قائم نیز است، زدوده شده و حذف می‌شوند، (پ) لوله‌های شش گوشه باقی مانده با رسوب جدید پر شده و قالب‌گیری می‌شوند، (ت) در رسوب جدید اثرهای پس از رخداد ایجاد می‌شوند، (ث) هنگام رخنمون یافتن به دلیل فرسایش پذیر بودن، لایه گلی ریزدانه اثرها به صورت برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی حفظ می‌شوند، (ج) تصاویر بدون مقیاس هستند

نتیجه‌گیری

توالی رسوبی فلش شمال باختری خاش نمونه‌های گوناگونی از اثر فسیل‌های گرافوگلیپتید را در خود حفظ کرده‌اند. با مطالعه این اثر فسیل می‌توان نتیجه گرفت که: لایه‌های رسوبی فلش مورد مطالعه بر اثر جریان‌ات توربیدیتی و به‌عنوان یک جریان رخدادی (event) ایجاد شده‌اند. این رسوبات اثر فسیل‌ها گوناگون داشته که اثر فسیل‌های تشخیص داده شده شامل ۱۷ اثر جنس می‌باشند. بیشتر این اثر فسیل‌ها به‌صورت برجسته و قالب طبیعی در سطح زیرین لایه‌بندی حفظ شده‌اند. گرافوگلیپتیدهای یافت شده براساس زمان ایجاد نسبت به رخداد جریان‌ات توربیدیتی به دو دسته پیش از رخداد و پس از رخداد تقسیم‌بندی شدند. اثرهای پیش از رخداد شامل نه اثر جنس و اثرهای پس از رخداد شامل هفت اثر جنس است. با توجه به نوع رسوبات، توپونومی و تنوع اثرهای پیش یا پس از رسوب‌گذاری، به نظر می‌رسد منش زبستی جانوران حفاری از نوع K-strategist، در زمان پیش از رخداد جریان‌ات توربیدیتی و از نوع R-strategist، در زمان پس از رسوب‌گذاری توربیدیتی بوده است. جهت یافتگی برخی از گرافوگلیپتیدها نسبت به جهت جریان، می‌تواند مورد توجه باشد. به گونه‌ای در برخی از نمونه‌ها، شبکه‌ی حفاری اثر فسیل *Paleodictyon* در جهت جریان آرایش یافته است. این جهت‌یافتگی همراه با تغییر ژئومتری در شبکه حفاری است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات جناب آقای دکتر شهرام حبیبی‌مود و مدیر محترم مرکز تحقیقات علوم زمین دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نماییم. از داوران محترم این مقاله به خاطر ارائه رهنمودهای علمی ارزنده سپاسگزاریم.

منابع

- Biabangard, H. and Moradian, A., 2008. Geology and geochemical evaluation of Taftan Volcano, Sistan and Baluchestan Province, south-east of Iran: Chinese Journal of Geochemistry, 27, 4, 356.
- Bottjer, D. J., 2016. Paleocology: Past, Present and Future, John Wiley and Sons, 222.
- Brenchley, P. J., Brenchley, P. and Harper, D., 1998, Palaeoecology: Ecosystems, environments and evolution, CRC Press.
- Campbell, S. G., Botterill, S. E., Gingras, M. K. and MacEachern, J. A., 2016. Event sedimentation, deposition rate, and paleoenvironment using crowded *Rosselia* assemblages of the Bluesky Formation, Alberta, Canada: Journal of Sedimentary Research, 86, 4, 380-393.
- Crimes, T. and McCall, G., 1995. A diverse ichnofauna from Eocene-Miocene rocks of the Makran Range (SE Iran): Ichnos: An International Journal of Plant and Animal, 3, 4, 231-258.
- Crimes, T. P., 1975. The production and preservation of trilobite resting and furrowing traces: Lethaia, 8, 1, 35-48.
- Crimes, T. P. and Fedonkin, M. A., 1994. Evolution and dispersal of deepsea traces: Palaios, 74-83.
- Delavari, M. and Shakeri, A., 2016. Taftan volcanic rocks: implication for adakitic magmatism of Makran magmatic arc: Quaternary Journal of Iran, 2, 5, 1-14.
- Droser, M. L. and Bottjer, D. J., 1989. Ichnofabric of sandstones deposited in high-energy nearshore environments: measurement and utilization: Palaios, 604-598.
- Ducassou, E., Migeon, S., Mulder, T., Murat, A., Capotondi, L., Bernasconi, S. M. and Mascle, J., 2009. Evolution of the Nile deep-sea turbidite system during the Late Quaternary: influence of climate change on fan sedimentation: Baucon, A., 2010. Leonardo da Vinci, the founding father of ichnology: Palaios, 25, 6, 361-367.

Sedimentology, 56, 7, 2061–2090.

- Ekdale, A., 1980. Graphoglyptid burrows in modern deep-sea sediment: *Science*, 207, 4428, 304–306.
- Fuchs, T., 1895. Studien iiber Fukoiden und Hieroglyphen: *Denkschr. Math. Naturwiss. K1. Akad. Wiss.*
- Fürsich, F. T., Taheri, J. and Wilmsen, M., 2007. New occurrences of the trace fossil *Paleodictyon* in shallow marine environments: examples from the Triassic-Jurassic of Iran: *Palaios*, 22, 4, 408–416.
- Gansser, A., 1971. The Taftan Volcano (SE Iran) *Eclogae, Geol. Helve.*, 64, 319–334.
- Hajmolla Ali, A. B., 1984. Geological map of Khash: Geological Survey of Iran.
- Häntzschel, W., 1975a. Trace fossils and problematica, in Moore, R. C., ed., *Treatise on invertebrate paleontology. Part W*, 269, Geological Society of America and University of Kansas, W269.
- Häntzschel, W., 1975b. *Treatise on Invertebrate Paleontology*, null, null.
- Hjølstrom, F., 1935, Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river *fyris*, bulletin: Geological Institute Upsalsa, 25, 221–527.
- Hodgson, D. M., 2009. Distribution and origin of hybrid beds in sand-rich submarine fans of the Tanqua depocentre, Karoo Basin, South Africa: *Marine and Petroleum Geology*, 26, 10, 1940–1956.
- Kidd, R. and McCall, G., 1985, Plate tectonics and the evolution of Makran: East Iran Project, Area, 1, 564–618.
- Książkiewicz, M., 1954. Graded and laminated bedding in the Carpathian flysch: *Rocznik polskiego. Towarzystwa. geologicznego*, 22, 399–499.
- Leszczyński, S., 1993. A generalized model for the development of ichnocoenoses in flysch deposits: *Ichnos: An International Journal of Plant and Animal*, 2, 2, 137–146.
- Leszczyński, S. and Seilacher, A., 1991. Ichnocoenoses of a turbidite sole: *Ichnos: An International Journal of Plant and Animal*, 1, 4, 293–303.
- Lowey, G. W., 2007. Lithofacies analysis of the Dezadeash Formation (Jura-Cretaceous), Yukon, Canada: The depositional architecture of a mud/sand-rich turbidite system: *Sedimentary Geology*, 198, 3–4, 273–291.
- Martinsson, A., 1970. Toponomy of trace fossils, *Trace fossils*, 3, *Geological Journal Special*, 323–330.
- McCall, G., 1985. Area Report East Iran Project–Area No. 1 (North Makran and South Baluchestan, Geological Survey of Iran.
- Menghini, G. G., 1850. In: Savi, P., Menghini, G.G. Osservazioni stratigrafiche e paleontologiche concernati la geologia della Toscana e dei paesi limitrofi., in Murchinson, R. I., ed., *Memoria sulla struttura geologica delle Alpi degli Apennini e dei Carpazi*: Firenze, Stemparia granucale, , 246–528.
- Miller, M. F. and Smail, S. E., 1997. A semiquantitative field method for evaluating bioturbation on bedding planes: *Palaios*, 12, 4, 391–396.
- Mulder, T. and Alexander, J., 2001. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits: *Sedimentology*, 48, 2, 269–299.
- Osaro, I. L., 2018. *Turbulent Suspension and Sediment Grains Transport in Natural Flows* [Ph.D.: University of London, 201 .
- Pickering, K., Clark, J., Smith, R., Hiscott, R., Lucchi, F. R. and Kenyon, N., 1995.

- Architectural element analysis of turbidite systems, and selected topical problems for sand-prone deep-water systems, *Atlas of deep water environments*, Springer, 1-10.
- Pickering, K. and Hiscott, R., 2015. *Deep Marine Systems: Processes, deposits, environments, tectonic and sedimentation*, John Wiley and Sons, 137.
 - Pickering, K., Stow, D., Watson, M. and Hiscott, R., 1986. Deep-water facies, processes and models: a review and classification scheme for modern and ancient sediments: *Earth-Science Reviews*, 23, 2, 75-174.
 - Pickering, K. T., 2014. *Atlas of Deep Water Environments: Architectural style in turbidite systems*, Springer, 333.
 - Plaziat, J.-C. and Mahmoudi, M., 1988. Trace fossils attributed to burrowing echinoids: a revision including new ichnogenus and ichnospecies: *Geobios*, 21, 2, 209-233.
 - Reynolds, S., 1987. A recent turbidity current event, Hueneme Fan, California: reconstruction of flow properties: *Sedimentology*, 34, 1, 129-137.
 - Rona, P., Seilacher, A., Luginland, H., Seilacher, E., de Vargas, C., Vetriani, C., Bernhard, J., Sherrell, R., Grassle, J. and Low, S., 2003. Paleodictyon, a living fossil on the deep-sea floor, in *Proceedings AGU Fall Meeting Abstracts*.
 - Savrda, C., 1992. Trace Fossils and Benthic Oxygenation. *Short Courses in Paleontology*, 5, 172-196.
 - Schlegel, R., Wortmann, U., Krawinkel, H., Krawinkel, J. and Winsemann, J., 1995. Architecture and facies associations of Plio-Pleistocene trench-slope deposits, Burica Peninsula, Central America, *Atlas of Deep Water Environments*, Springer, 63-66.
 - Seilacher, A., 1953. Studien zur palichnologie. I. Über die methoden der palichnologie: *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaontologie, Abhandlungen*, 96, 421-452.
 - Seilacher, A., 1962. Paleontological Studies on Turbidite Sedimentation and Erosion: *The Journal of Geology*, 70, 2, 227-234.
 - Seilacher, A., 1964a, Biogenic sedimentary structures, in Imbrie, J., and Newell, N., eds., *Approaches to paleoecology*: New York, Wiley, 296-316.
 - Seilacher, A., 1964b, Sedimentological classification and nomenclature of trace fossils: *Sedimentology*, 3, 3, 253-256.
 - Seilacher, A., 1974. Flysch trace fossils: evolution of behavioural diversity in the deep-sea: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, 1974, 233-245.
 - Seilacher, A., 1977a. Evolution of trace fossil communities, *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 5, Elsevier, 359-376.
 - Seilacher, A., 1977b. Pattern Analysis of Paleodictyon and Related Trace Fossils: *Trace Fossils*, 2, 289-334.
 - Seilacher, A., 1977c. Pattern analysis of Paleodictyon and related trace fossils-In: Crimes, TP and Harper, JC (eds): *Trace fossils 2-Geol: J., Spec. Issue*, 9, 289-334.
 - Seilacher, A., 2007. *Trace Fossil Analysis*, Springer Science and Business Media, 226.
 - Shahrabi, M., 1995. Explanatory text of the Khash Quadrangle map. 1:250000: GSI.
 - Simpson, S., 1975. Classification of Trace Fossils, *The study of trace fossils*, Springer, 39-54.
 - Smith, A. B. and Crimes, T. P., 1983. Trace fossils formed by heart urchins—a study of Scolicia and related traces: *Lethaia*, 16, . 1, 79-92.

- Stow, D. A. and Mayall, M., 2000. Deep-water sedimentary systems: new models for the 21st century: *Marine and Petroleum Geology*, 17, 2, 125-135.
- Taylor, P. D. and Wilson, M. A., 2003. Palaeoecology and evolution of marine hard substrate communities: *Earth-Science Reviews*, 62, 1-2, 1-103.
- Tirrul, R., Bell, I., Griffis, R. and Camp, V., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran: *Geological Society of America Bulletin*, 94, 1, 134-150.
- Uchman, A., 1995. Taxonomy and palaeoecology of flysch trace fossils: the Marnoso arenacea formation and associated facies (Miocene, Northern Apennines, Italy). *Beringeria*, 15:115-3, in *Proceedings Annales Societatis Geologorum Poloniae* 1995.
- Uchman, A., 2004. Deep-sea trace fossils controlled by palaeo-oxygenation and deposition: an example from the Lower Cretaceous dark flysch deposits of the Silesian Unit, Carpathians, Poland: *Fossils and Strata*, 51, 39-57.