پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی
سال بیست و هشتم، شماره پیاپی۴۷، شماره دوم، تابستان۱۳۹۱
تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۱۸
صص ۲۴-۱

ارتباط افق‌های پرفسیل(shell beds) و اثرفسیل‌های آلبین-سنومانین سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد – شمال‌شرق مشهد

حامد محمدیان، *دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد*
محمد حسین محمودی قرایی، *استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد*
اسدالله محبوبی، *استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد* *
رضا موسوی حرمی، *استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد*
نارام بایت گل، *دانشجوی دکتری گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد*

چکیده
سازند آیتامیر(آلبین-سنومانین) در حوضه رسوبی کپه‌داغ دارای اثرفسیل‌های گوناگون و چندین افق پرفسیل است. این اثرفسیل‌ها حاوی الگوهای رفتارشناسی متنوع شامل پناهگاهی، تغذیه‌ای، گریزینگ، تعادلی، پیچ و تاب خورده، هم‌زیست شیمیایی و فراری هستند. انواع افق‌های پرفسیل را می‌توان بر اساس تفاوت در خصوصیات رسوب‌شناسی، پالئواکولوژیکی و تافونومیکی تشخیص داد. افق‌های پرفسیل و ماسه‌سنگ‌های حاوی آثارفسیلی در سازند آیتامیر توالی‌های تحت تاثیر طوفان را نشان می‌دهد. با کاهش انرژی محیط و تجمع فوناهای بنتیک، زیست‌آشفتگی به طور چشمگیری به سمت بالای افق‌های پرفسیل افزایش پیدا می‌کند. انواع مختلف افق‌های پرفسیل شامل ۱) بسترهای سفت در محیط‌های پیش ساحلی تا دور از ساحل که بوسیله ایکنوفاسیس گلوسی‌فانجیتس و اثر فسیل‌های گاستروچانولیتس، ریزوکورالیوم و تالاسینوئید مشخص می‌شود. ۲) نهشته‌های باقیمانده (lag deposits) با قاعده فرسایشی- طوفانی. ۳) افق‌های پرفسیل نابرجا از نهشته‌های طوفانی که بوسیله ایکنوفاسیس گلوسی‌فانجیتس دارای افیومورفا مشخص می‌شود. ۴) افق‌های پرفسیل دریای آرام در نزدیکی ساحل و بالای موجسار هوای آرام، ۵) افق‌های زیستی مرکب یا چندگانه از زمان‌های مختلف و نهشته‌های حادثه‌ای چندگانه. در نهشته‌های سازند آیتامیر ۷ نوع ایکنوفاسیس شناسایی شد که شامل ۱) ایکنوفاسیس زئوفیکوس ۲) ایکنوفاسیس دور از ساحل کروزیانا ۳) ایکنوفاسیس پیش الگوی کروزیانا ۴) ایکنوفاسیس مخلوط اسکولایتوس-کروزیانا ۵) ایکنوفاسیس دور از ساحل اسکولایتوس ۶) ایکنوفاسیس پیش الگوی اسکولایتوس و ۷) ایکنوفاسیس اسکولایتوس. این توالی از افق‌های پرفسیل حاوی آثارفسیلی، کاهش تدریجی در انرژی هیدرولیکی بوسیله طوفان را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: افق‌های پرفسیل ، سازند آیتامیر، تافونومیک، دیرین‌بوم‌شناسی، رسوبی

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۱۲۸۰۱۸ Email: Amahboobi2001@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

سازند آیتامیر (آلبین–سنومانین) از شرق تا غرب حوضه رسوبی کپه‌داغ گسترش دارد. برش الگوی این سازند در فاصله ۵ کیلومتری جنوب شرق روستای آیتامیر در جنوب دهکده متروک بیک قوی واقع است (افشار حرب ۱۳۷۳). این سازند عمدتاً از ماسه‌سنگ، شیل، سیلتستون و چند افق آهکی تشکیل شده است (شکل ۲). کانی گلاکونی یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده رخساره‌های آواری این سازند است که سبب رنگ سبز زیتونی آن شده است. حد زیرین سازند آیتامیر در محل برش الگو با سازند سنگانه سطحی هم شیب، مشخص و تا حدودی تدریجی است که با قرارگیری ماسه‌سنگ‌های مربوط به محیط کم‌عمق دریا بر روی شیل‌های تیره‌رنگ و پر فسیل سازند سنگانه بدون وجود رخساره‌های حدواسط مشخص می‌گردد. در بیشتر مناطق، گذر سازند سنگانه به سازند آیتامیر تدریجی است (افشار حرب ۱۳۷۳)، ولی در رابطه با گذر فوقانی سازند آیتامیر به آبدراز اختلاف نظر وجود دارد به طوری که افشار حرب (۱۳۷۳) این مرز را در سراسر کپه‌داغ به عنوان یک سطح با ناپیوستگی فرسایشی معرفی نموده است. در صورتیکه صادقی و همکاران (۱۳۸۴) با مطالعه فرامینیفرهای رأس سازند آیتامیر و قاعده آبدراز در برش‌های مزدوران و طاهرآباد واقع در شرق حوضه کپه‌داغ به یک نبود چینه‌ای از اواخر سنومانین تا اوایل تورونین میانی اشاره کرده است. در منطقه مورد مطالعه (تاقدیس امیرآباد) با توجه به مشاهدات دقیق صحرایی هیچ‌گونه شواهد فیزیکی از ناپیوستگی مشاهده نشده بنابراین می‌توان سطح بین شیل‌های سبز و تیره‌رنگ سازند آیتامیر، و مارن و شیل‌های آبی روشن سازند آبدراز را به عنوان مرز پیوسته یا ناپیوستگی موازی بین دو سازند در نظر گرفت (شکل ۱). در هر صورت بررسی این موضوع نیاز به مطالعات بیواستراتیگرافی دقیق دارد که خارج از موضوع بحث این مقاله است. عمق‌سنجی دیرینه نهشته‌های رسوبی به دلیل عدم حفظ شدگی ساختارهای رسوبی، مشکل و در بیشتر موارد با اشتباه در تفسیر همراه است. در این رابطه انرژی هیدرودینامیکی در حوضه و تغییرات در موجسار هوای آرام و طوفانی بیشترین تاثیر را بر روی خصوصیات ساختاری نهشته‌های رسوبی دارد (بایت گل و عباسی، زیرچاپ). نوسانات موجسارهای هوای آرام و طوفانی علاوه بر ساختارهای رسوبی فیزیکی (دامنه، طول موج)، بر روی تنوع و فراوانی اثرفسیل‌ها و نوع افق‌های پرفسیل (shell beds) بیشترین تاثیر را دارد (Fürsich and Oschmann 1993; MacEachern et al. 2007). در نواحی که تاثیر نوسانات هوای موجسار دیده می‌شود تنوع و فراوانی اثرفسیل‌ها خیلی بیشتر است، زیرا این نوسانات موجب تغییر در بسترهای رسوبی، وضعیت توزیع مواد غذایی، سرعت رسوب‌گذاری، اکسیژن، دما و شرایط تافونومی جانداران موجود می‌شود، به طوریکه در چنین محیط‌هائی جانداران اثرساز با تغییر استراتژی رفتاری، طرح زیستی خود را با تغییرات محیطی سازگار می‌نمایند (Bann and Fielding 2004). به همین دلیل تغییرات زیاد رفتاری جانداران سازنده اثرفسیل‌ها موجب افزایش تنوع اثرفسیلی می‌شود.

نوسانات موجسار هوای طوفانی و آرام تاثیر زیادی بر روی افق‌های پرفسیل و نشانه‌های تافونومی (tophonomic evidances) آن‌ها دارد (Kidwell 1991). معمولاً نشانه‌های تافونومی منعکس‌کننده شرایط اولیه زیستگاه رسوبی جانداران و نحوه تجمع آنها است. نشانه‌های تافونومی باقی‌مانده در عناصر اسکلتی این افق‌ها شامل جورشدگی، دانه بندی تدریجی، سایش، جهت‌یابی و آرایش‌های عناصر اسکلتی، خردشدگی، فرسایش زیستی، پوشش زیستی، تنوع و فراوانی گونه، نوع زمینه، الگوی گسترش جانبی و قائم افق پرفسیل، سطوح لایه بندی و ضخامت است (Fürsich and Oschmann 1993; Kidwell 1991). همچنین می‌توان از نشانه‌های تافونومی افق‌های پرفسیل در تفسیر

Archive of SID

www.SID.ir

چینه‌نگاری سکانسی استفاده نمود (شرفی و همکاران ۱۳۹۰).

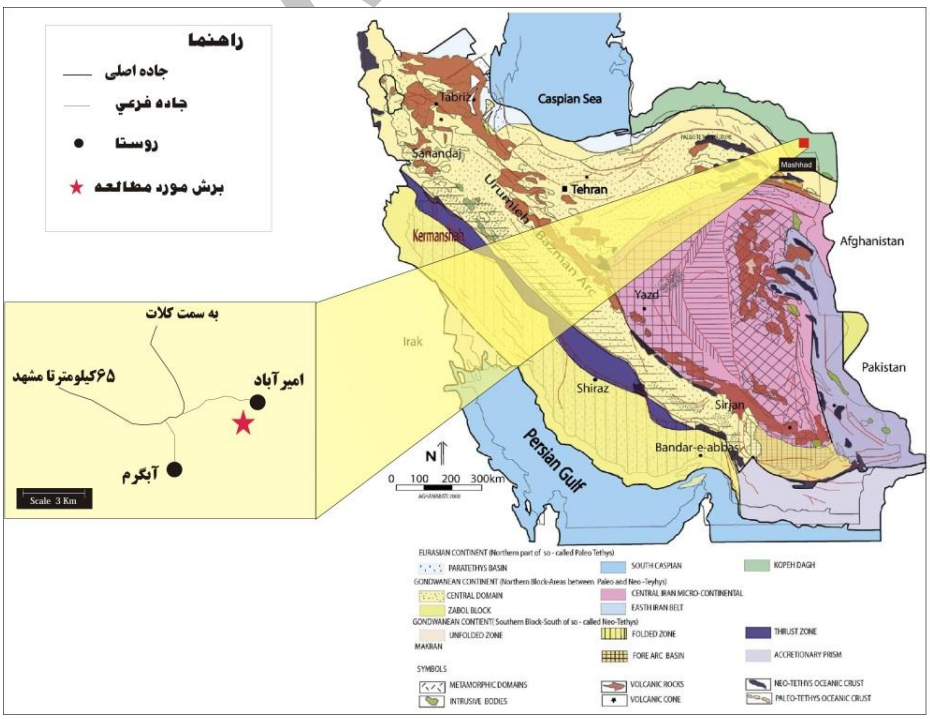
در این تحقیق سعی شده است ارتباط اثرفسیل‌ها و ساختارهای رسوبی فیزیکی را با افق‌های پرفسیل (shell beds) و تاثیر نوسانات محیطی و تافونومی بر روی آن‌ها در نهشته‌های سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد بررسی شود. در این راستا تعیین روند پروکسیمال به دیستال حوضه، تغییرات عمق محیط رسوبی و الگوی برانبارش رخساره‌ها پیش شرط اساسی انجام این مطالعه است.

روش کار

در این مطالعه جهت شناسایی اثرفسیل‌های نهشته های آلبین–سنومانین یک برش از سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد در ۶۵ کیلومتری جاده مشهد – کلات اندازه گیری و برداشت شده است (شکل ۱). در برداشت‌های صحرایی ضخامت نهشته‌ها، سطوح لایه‌بندی، ساختارهای رسوبی، اثر فسیل‌ها، میزان زیست آشفتگی، تغییرات اندازه دانه‌ها و همچنین ارتباط لایه‌ها مورد نظر بوده است.

در این مطالعه تفسیر مجموعه‌های ایکنولوژیکی، بررسی اثرفسیل‌ها در مجموعه‌های ایکنولوژیکی و ارتباط آنها با یکدیگر (McIlroy 2004) و درجه زیست آشفتگی (BI) (Taylor and Goldring 1993) همراه با تحلیل رخساره‌ای صورت گرفته است. با توصیف مجموعه‌های ایکنولوژیکی بر اساس تجزیه و تحلیل اثرفسیل‌ها (MacEachern et al. 2007)، و همچنین ساخت‌های رسوبی و انواع افق‌های پرفسیل، شرایط قبل و بعد از رسوبگذاری طبقات و سطوح چینه‌شناسی در نهشته‌های سازند آیتامیر مورد بررسی قرار گرفته است.

توصیف رخساره‌ها بر اساس ساخت‌های رسوبی فیزیکی (شناخت جریان دیرینه غالب رسوبی, انرژی و عمق محیط رسوبی) و زیستی جهت شناخت الگوی برانبارش (Reading 1996)، به خصوص در توالی‌های برافزاینده و پیشرونده (حاشیه ساحلی) (Moslow and Pemberton 1988) در نهشته‌های سازندآیتامیر بکار برده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

ایکنوفاسیس‌ها

مهمترین فاکتور توزیع‌کننده اثرفسیل‌ها در محیط‌های رسوبی نوع بستر است به طوریکه طبقه‌بندی ایکنوفاسیس‌ها بر اساس نوع بستر و استحکام آن صورت گرفته و نوع بستر ارتباط مستقیمی با تفسیر محیط رسوبی قدیمه دارد (Bann et al. 2004). همچنین، ایکنوفاسیس‌ها را می‌توان در دو گروه اصلی مرتبط با بستر نرم و تحت کنترل بستر طبقه‌بندی کرد (MacEachern et al. 2007). عمق، فاکتور اصلی کنترل‌کننده ایکنوفاسیس‌های مرتبط با بستر نرم بوده و در گستره‌ای از سواحل دریایی کم عمق تا بخش‌های عمیق دیده می‌شوند (بایت گل و همکاران ۱۳۸۹؛ بایت گل و عباسی زیر چاپ؛ نصیری و همکاران زیرچاپ). ترکیب ایکنوفاسیس‌ها با توجه به تغییرات عمق محیط رسوبی و تغییر فاکتورهای محیطی (میزان رسوب‌گذاری، سطح انرژی آب و اندازه دانه‌های رسوب، شوری، اکسیژن، میزان مواد غذایی و نوع پراکندگی آن، دما، آشفتگی آب و تافونومی) به علت تغییرات در شرایط استحکام بستر، تغییر می‌نماید (Ekdale et al. 1984). بسترهای سست (soupground)، نرم (softgrounds)، سفت (firmgrounds)، سخت (hardgrounds) و سلولزی (woodgrounds) مهمترین بسترهای موجود در محیط‌های رسوبی هستند. با توجه به شرایط تافونومی، نوع بستر، همراهی اثرفسیل‌ها، استراتژی رفتاری و الگوی برانبارش لایه‌ها و نوع و شرایط بایواستراتینومی (Biostratinomy) افق‌های پرفسیل، ۷ نوع ایکنوفاسیس در یک روند افزایش عمق حوضه (proximal-distal) در نهشته‌های سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد به شرح زیر شناسایی شده اند.

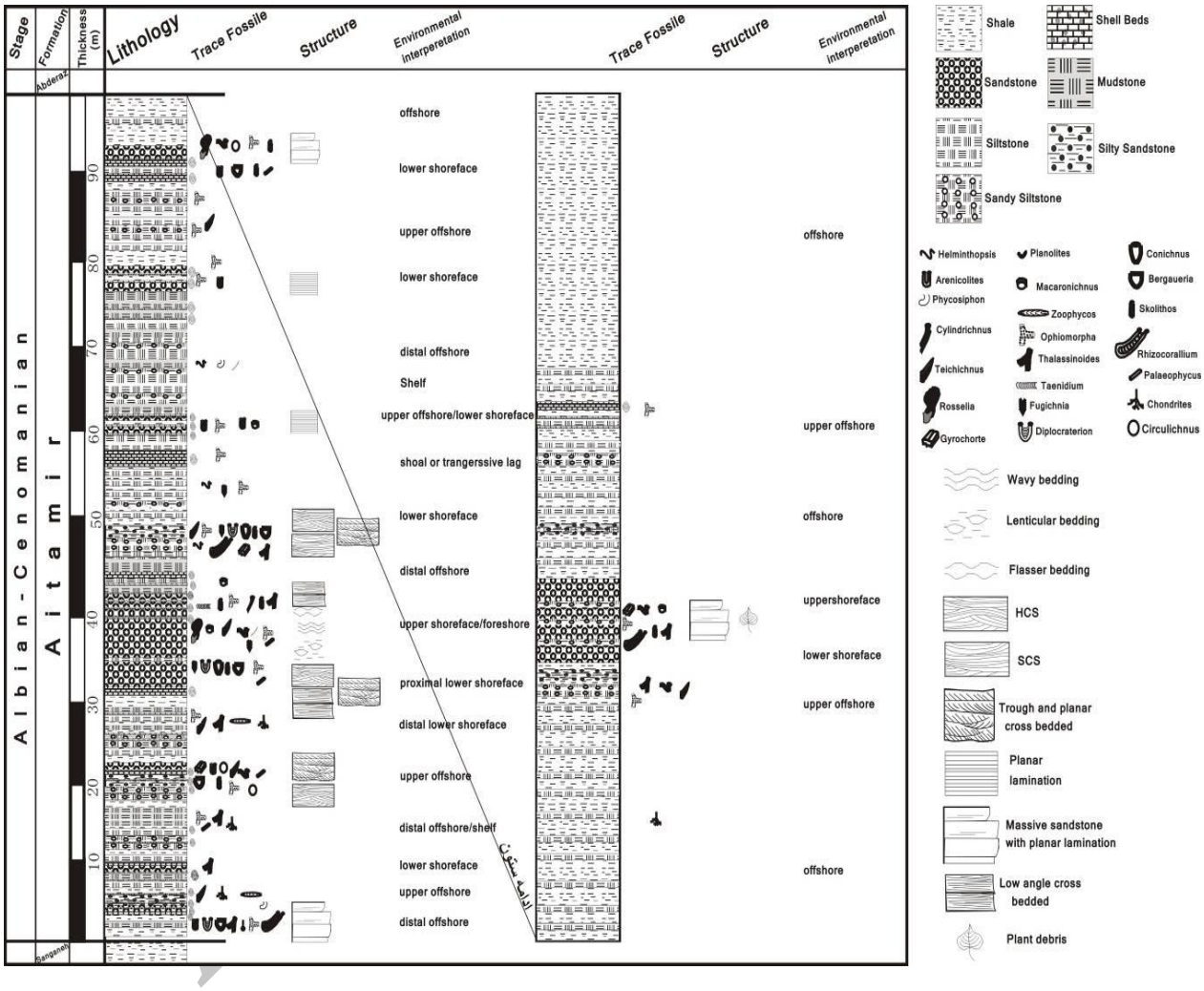
رخساره۱: بخش پایینی دور از ساحل-شلف (distal offshore-shelf)

توصیف: این رخساره به طور غالب از شیل، شیل‌سیلتی، سیلتستون، سیلتستون ماسه‌ای و گلسنگ تشکیل شده و به عبارتی رسوب اصلی این رخساره از نهشته‌های دانه‌ریز تشکیل شده است (شکل ۲). در این رخساره، لایه‌های ماسه‌سنگی دانه‌ریز متناوب با افق‌های پرفسیل به ضخامت کمتر از ۳۰ سانتی‌متر دیده می‌شود. لایه‌های ماسه‌سنگی عموما به صورت توده‌ای با سطح قاعده فرسایشی دیده می‌شوند که در برخی موارد دارای لامیناسیون ریپلی جریانی و لامیناسیون موازی هستند (شکلa ۳). اثرفسیل‌های این محدوده بیشتر از نوع گریزینگ (grazing) است. در این نهشته‌ها مجموعه‌ای از ساخت‌های گریزینگ (*Gordia*، *Helminthopsis*، *Teichichnus* ، *Phycosiphon*) با فراوانی کم و همراه با آثاری که دارای استراتژی رفتاری همزیست شیمیایی (chemichnia) هستند(*Zoophycos*، *Chondrites*) در بخش‌های پایینی این رخساره تشخیص داده شد. همچنین این رخساره به سمت بالا همراه با کاهش نسبت شیل به ماسه‌سنگ همراه بوده و اغلب بخش‌های ماسه‌سنگی و همچنین بخش‌های بالایی و یا پایینی افق‌های پرفسیل دارای اثرفسیل‌های با استراتژی رفتاری معلق‌خوار با فراوانی زیاد و به ویژه شامل *Ophiomorpha*، *O. nodosa* است که در لایه‌های نازک متناوب با آن‌ها استراتژی غالب گریزینگ و تغذیه‌ای دیده می‌شود (*Gordia*، *Helminthopsis*، *Protovirgularia*، *Planolites*، *Rosselia*، *Cylindrichnus*، *Chondrites*) (شکل۳). بررسی ویژگی‌های بایواستراتینومی افق‌های پرفسیل نشان می‌دهد که این افق‌ها به طور غالب از زمینه ریز مادستونی و پکستونی با قاعده فرسایشی و تراکم کم قالب‌های فسیلی تشکیل شده‌اند و میزان سایش و خردشدگی قطعات فسیلی نسبتا کم است. همچنین جهت‌یابی و آرایش

Archive of SID

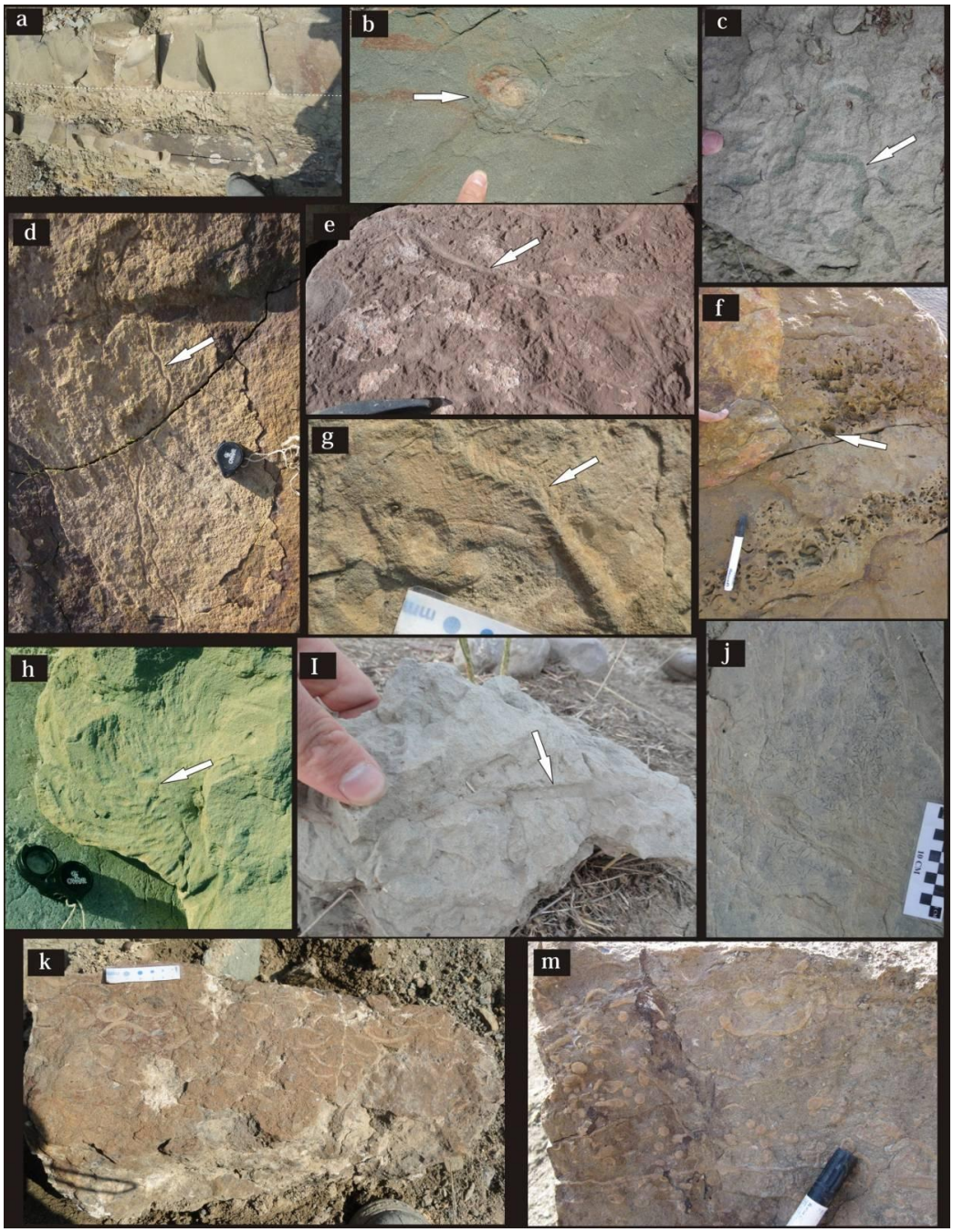
www.SID.ir

عناصر اسکلتی در این افق‌ها به صورت محدب رو به بالا (*convex-up*) با جورشدگی خوب دیده می‌شود. میزان برهم افزائی (amalgamate) افق‌های پرفسیل در این رخساره کم و به صورت محدود است (شکل۳).



شکل۲- ستون چینه‌شناسی سازند آیتامیر در برش امیرآباد

www.SID.ir



شکل۳ (رخساره۱)- a: **لایه‌های ماسه‌سنگی به طور غالب به صورت توده‌ای با سطح قاعده فرسایشی،** b: *Rosselia*، c: *Helminthopsis*، d: *Gordia*، e: *Planolites*، f: *Gastrochaenolites* **همراه با قالب‌های صدف و افق‌های پرفسیل،** g: *Protovirgularia*، h: *Zoophycos*، i: **مادستون با زیست‌آشفتگی بالا شامل** *Ophiomorpha*، j: *Chondrites*، k **و** m: **افق‌های پرفسیل**

تفسیر: بررسی خصوصیات ایکنولوژیکی و رسوب‌شناسی نهشته‌های رخساره ۱ حاکی از رسوب‌گذاری در بخش‌های پایینی دور از ساحل در مجاورت با شلف کم انرژی زیر موجسار هوای طوفانی است. این رخساره به طور غالب در زیر موجسار هوای طوفانی (SWB) که به طور دوره‌ای و موقتی تحت تاثیر آن قرار می‌گیرد تشکیل می‌شود. نوسانات دوره‌ای در میزان انرژی که حاصل نوسانات موجسار هوای طوفانی است موجب تغییرات

www.SID.ir

زیادی در خصوصیات ساختارهای رسوبی فیزیکی و زیستی می‌شود. در زمان کاهش انرژی و عدم وجود نوسانات، جریان غالب رسوب‌گذاری شامل نهشته‌های دانه ریز سیلتی- شیل تا مادستونی است. این بخش که در محدوه پایینی رخساره ۱ قرار دارد منطبق بر ایکنوفاسیس زئوفیکوس (Zoophycos Ichnofacies) بوده به طوریکه استراتژی رفتاری غالب در این محدوده شامل استراتژی رفتاری همزیست شیمیایی و گریزینگ است. ایکنوفاسیس زئوفیکوس به طور غالب در محدوده‌های با انرژی و نرخ رسوب‌گذاری پایین و اکسیژن کم و بستر گلی غنی از مواد آلی وجود دارد. به سمت بخش‌های بالایی این رخساره به دلیل افزایش نوسانات موجسار هوای طوفانی میزان انرژی و شدت نرخ رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد که به انضمام آن نوع رسوب‌گذاری، ساخت‌های فیزیکی و زیستی افزایش می‌یابند. در این محدوده اثرفسیل‌ها به طور غالب دارای استراتژی رفتاری تغذیه‌کننده از رسوبات است و نسبت اثرات همزیستی شیمیایی به گریزینگ کاهش می‌یابد. چنین روندی منطبق بر ایکنوفاسیس دور از ساحل کروزیانا (distal Cruziana Ichnofacies) است. در این شرایط اثرات معلق‌خوار با استراتژی رفتاری فرصت‌طلب (opportunistic colonization) در هنگام بالا بودن انرژی جریان و نرخ رسوب‌گذاری بالا و ایجاد بسترهای دانه درشت ایجاد می‌شود (Gingras et al. 2001).

نشانه‌های تافونومیک در افق‌های پرفسیل حاکی از شرایط اولیه رسوبی آن‌ها است. فرایندهای تافونومیک اصلی تاثیرگذار بر روی افق‌های پرفسیل شامل عمل امواج (موجسار هوای آرام یا طوفانی)، انتقال (جریانات امواج یا مداوم داخل حوضه)، چگالش زیستی مکانیکی (غربال‌شدگی و حمل مجدد) و تخریب فیزیکی بوسیله امواج و جریانات (شکستگی و سایش) است (Fürsich and Oschmann 1993). در بررسی افق‌های زیستی وجود شواهدی همچون دانه بندی تدریجی نرمال و معکوس، قاعده فرسایشی و قرارگیری قالب فسیل‌ها به صورت محدب به سمت بالا و فراوانی زمینه گلی دانه‌ریز بین فسیل‌ها حاکی از تشکیل این افق‌ها در محدوده موجسار هوای طوفانی تحت نوسانات و انرژی بالای امواج و در محدوده بخش‌های بالایی دور از ساحل است. بر طبق کیدوال (Kidwell 1991) به سمت بخش‌های پایینی دور از ساحل نسبت برهم افزائی و تراکم قالب‌های فسیل در افق‌های پرفسیل کاهش می‌یابد و به انضمام آن نسبت زمینه گلی افزایش می‌یابد. گاهی موارد، قاعده افق‌های پرفسیل دارای اثرفسیل‌های *Gastrochaenolites* است که با فراوانی بالایی بر روی این افق‌ها دیده می‌شوند. وجود این اثرات در قاعده افق‌های زیستی نشان دهنده بستر سفت (firmground) و ایکنوفاسیس گلوسی‌فانجیتس (Glossifungites) است (شکل ۵). بنابراین مجموع این رخساره‌های پرانرژی ماسه‌سنگی به همراه اثرفسیل‌های معلق‌خوار با میان لایه‌های دانه‌ریز با اثرفسیل‌های تغذیه‌کننده از بستر رسوبی و افق‌های پرفسیل، واحدهای تمپستایت دور از منشا (distal tempestites) هستند که در بخش‌های پایینی دور از ساحل بر جای گذاشته شده اند.

رخساره۲: بخش بالایی دور از ساحل (proximal offshore)

توصیف: این رخساره به طور غالب از تناوب لایه‌های ماسه‌سنگی، ماسه‌سنگ سیلتی، سیلتستون، شیلی- مادستونی و افق‌های پرفسیل تشکیل شده است (شکل۴a) و در بیشتر موارد افق‌های پرفسیل و لایه‌های ماسه‌سنگی به طور متناوب و نزدیک به هم دیده می‌شوند. ماسه‌سنگ ها اغلب توده‌ای با قاعده فرسایشی همراه با رسوبات باقیمانده قاعده‌ای (basal lag deposits) و دانه‌بندی تدریجی نرمال تا معکوس دیده می‌شوند. شاخص زیست‌آشفتگی در این رخساره یکسان نبوده و از صفر تا ۵ در تغییر است. اثرفسیل‌های این محدوده بیشتر از نوع تغذیه‌کننده از بستر رسوبی و تا حد کمتری گریزینگ است. در این نهشته‌ها مجموعه با فراوانی کم از *Thalassinoides*، *Gyrochorte*،

Archive of SID

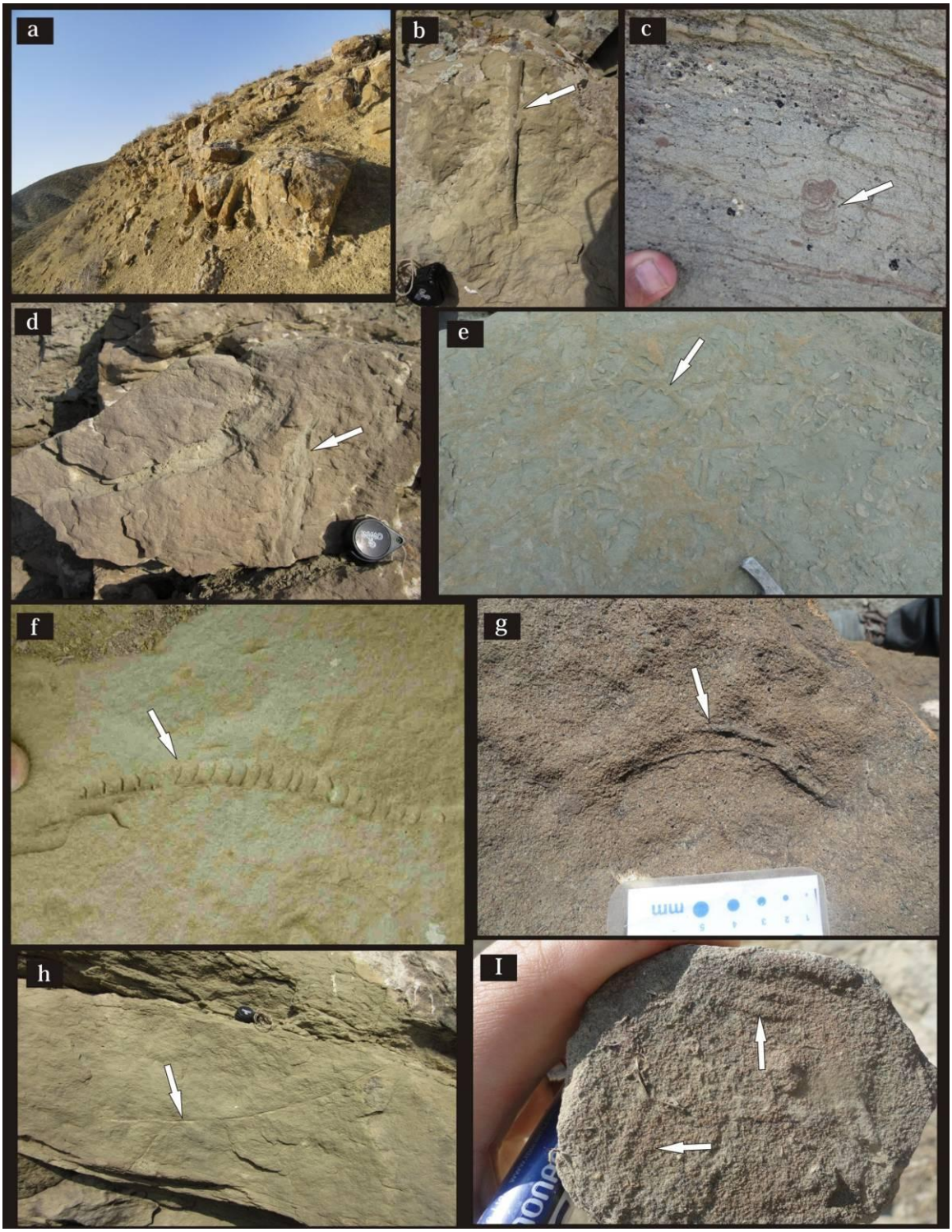
www.SID.ir

Rosselia، *Planolites*، *Protovirgularia*، *Bergaueria*، *Teichichnus*، *Cylindrichnus*، *Chondrites*، *Palaeophycus*، *Lockeia*، *Phycodes*، *Rhizocorallium* و *Taenidium* دیده می‌شود (شکل۴). همچنین در بیشتر واحدهای ماسه‌سنگی و بخش قاعده‌ای افق‌های پرفسیل، اثرفسیل‌های معلق‌خوار همچون *Gastrochaenolites* و *O. nodosa*،*Ophiomorpha* فراوان است (شکل۵). بررسی ویژگی‌های بایواستراتینومی افق‌های پرفسیل نشان می‌دهد که این افق‌ها به طور غالب از زمینه‌ریز مادستونی و پکستونی با قاعده فرسایشی و تراکم بالای قالب‌های فسیلی تشکیل شده و خردشدگی قطعات فسیلی زیاد است. همچنین جهت‌یابی و آرایش عناصر اسکلتی در این افق‌ها به صورت محدب رو به بالا (convex-up) با جورشدگی ضعیف است. دانه بندی تدریجی نرمال و معکوس در این افق‌ها از فابریک‌های متداول است (شکل۵).

تفسیر: این رخساره نسبت به رخساره ۱ حاوی لایه‌های ضخیم‌تر ماسه‌سنگی و ماسه‌سنگ سیلتی با لامیناسیون ریپلی موجی و جریانی است. ضخامت افق‌های پرفسیل در این رخساره نسبت به رخساره پایینی افزایش می‌یابد و درجه برهم افزائی این افق بیشتر می‌شود. مقادیر بیشتر زیست‌آشفتگی در لایه‌های ماسه‌سنگی و ماسه‌سنگ سیلتی موجود در این رخساره نشان می‌دهد که بستر رسوبی در بازه زمانی طولانی‌تری زیر موجسار هوای آرام قرار داشته است. مجموعه اثرفسیل‌های موجود در این رخساره حاوی ساختارهای تغذیه‌کننده از رسوبات بستر و تا حد کمتری گریزینگ هستند که حاکی از ایکنوفاسیس پیش الگوی کروزیانا (the archetypical Cruziana ichnofacies) است. این ایکنوفاسیس به طور غالب در شرایط آرام رسوبی در محیط‌های دور از ساحل که در حد بین موجسار هوای آرام و طوفانی قرار دارد، تشکیل می‌شود (Gingras et al. 2001; MacEachern and Pemberton 1992). حفرات قائم با استراتژی معلق‌خوار که در لایه‌های ماسه‌سنگی و افق‌های پرفسیل دیده می‌شوند حاکی از کلنی شدن طبقات طوفانی در طول نوسانات موجسار هوای طوفانی است. در این بخش میزان نوسانات هوای موجسار طوفانی در مقایسه با رخساره ۱کاهش می‌یابد اما طول دوره‌های آن افزایش می‌یابد که به همراه آن ضخامت لایه‌های ماسه‌سنگی و افق‌های پرفسیل افزایش می‌یابد. فراوانی بیشتر اثرفسیل‌های با استراتژی معلق‌خوار در این واحدهای پرانرژی حاکی از افزایش فاصله زمانی بین نوسانات موجسار هوای طوفانی است به طوریکه چنین روندی موجب تسهیل کلنی‌شدن سطح بسترهای پرانرژی و عمق بیشتر نفوذ ساختارهای تغذیه‌کننده از مواد معلق می‌شود. از طرف دیگر وجود ماسه‌سنگ‌های سیلتی و سیلتستون ماسه‌ای بدون ساختارهای فیزیکی (غالباً توده‌ای) با مقادیر بالای زیست‌آشفتگی حاکی از بستر نرم با میزان بالای مواد غذایی و آب‌های بین حفره‌ای در محیط‌های دریایی باز با اکسیژن بالا در زیر موجسار هوای آرام است. بررسی ویژگی‌های بایواستراتینومی افق‌های پرفسیل نشان می‌دهد که این افق‌ها در محدوده محیط‌های بالایی دور از ساحل (proximal offshore) در حد بین موجسار هوای طوفانی و آرام تشکیل شده‌اند. این افق‌ها نسبت به افق‌های پایینی ضخامت، تراکم فسیلی، خردشدگی و سایش بیشتری دارند. چنین شواهدی حاکی از عمق کمتر و نوسانات بیشتر بستر، موجسار هوای طوفانی و شرایط هیدرودینامیکی حوضه است. عدم وجود فرسایش زیستی و پوشش زیستی (encrustation) بر روی قالب‌های فسیلی حاکی از تدفین سریع و عدم باقی ماندن قالب‌های فسیل در بستر رسوبی برای زمان طولانی است. در خاتمه وجود شواهد افق‌های پرفسیل منطبق بر افق‌های زیستی طوفانی هستند که در محدوده نوسانات هوای موجسار طوفانی در بالای آن و زیر هوای موجسار آرام تشکیل می‌شود. اثرفسیل‌های *Gastrochaenolites* در بخش قاعده‌ای این افق‌ها نیز نشان‌دهنده بسترهای سفت و دلالت بر ایکنوفاسیس گلوسی‌فانجیتس است.

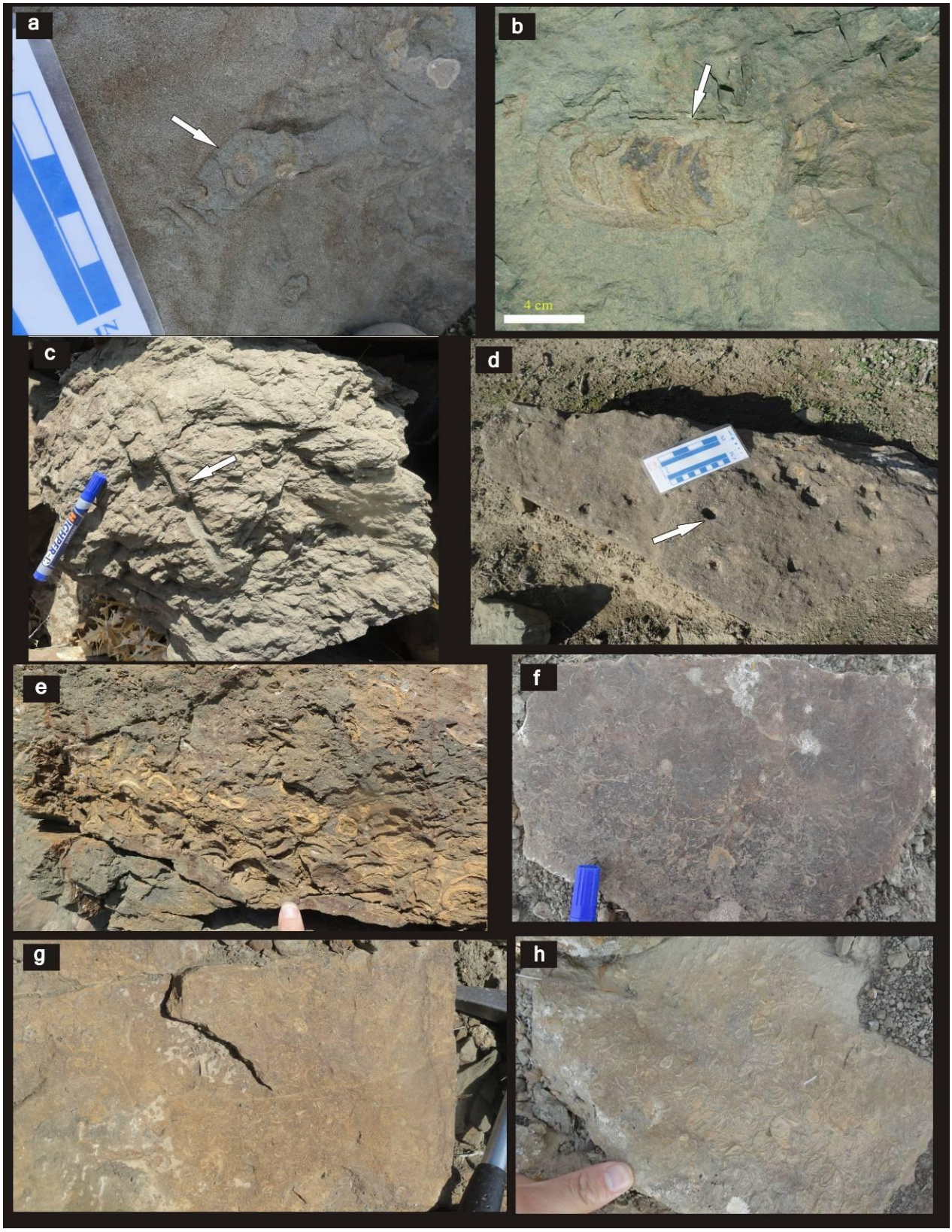
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٤ (رخساره۲): a: تناوب ماسه‌سنگ و افق‌های زیستی زیستی چگال، b: *Ophiomorpha*، c: *Teichichnus*، d: *Rosselia socialis* در برش قائم، e: *Thalassinoides*، f: *Taenidium*، g: *Palaeophycus*، h: *Cylindrichnus*، i: *Gyrochorte*

www.SID.ir



شکل۵ (رخساره۲)– a: *Rosselia socialis*، b: *Rhizocorallium*، c: مادستون با زیست‌آشفتگی بالا حاوی *Thalassinoides* و *O. nodosa*، d: *Gastrochaenolites*، e تا h: افق‌های پرفسیل

www.SID.ir

رخساره۳: بخش پایینی حاشیه ساحلی (lower shoreface)

توصیف: این رخساره در بخش پایینی اغلب از میان لایه‌های ماسه‌سنگی- سیلتستونی، شیلی-مادستونی و افق‌های پرفسیل تشکیل شده است (شکل۶a). ساختارهای رسوبی غالب در این بخش‌ها شامل لامیناسیون ریپلی موجی و جریانی، طبقه‌بندی مورب با زاویه کم و لامیناسیون موازی است (شکل۶). شاخص زیست‌آشفتگی در این بخش از ۱ تا ۴ در تغییر است. اثرفسیل‌های این محدوده بیشتر از آثار تغذیه‌کننده از بستر رسوبی، معلق‌خوار و تا حد کمتری گریزینگ است. در این نهشته‌ها مجموعه با فراوانی کم اما با تنوع بالا از ساختارهای گریزینگ/تغذیه‌ای (۵۰ درصد) و معلق (۵۰ درصد) *Ophiomorpha*، *Teichichnus*، *Arenicolites*، *Rosselia*، *Cylindrichnus*، *Thalassinoides*، *Protovirgularia*، *Planolites*، *Bergaueria*، *Skolithos*، *Lockeia*، *Palaeophycus*، *Chondrites*، *Rhizocorallium* ، *Diplocraterion*، *Circulichnus* و ساختارهای فراری (fugichnia) همراه با فراوانی بالای ساختارهای تاب و پیچ خورده (‘mantle and swirl’ structuresیا navichnia) دیده می‌شود (شکل۶). بخش بالایی این رخساره به طور غالب از توالی‌های برهم افزاینده ماسه‌سنگ‌های گلاکونیتی ضخیم با میان لایه‌های خیلی نازک شیلی- سیلتستونی تشکیل شده‌اند. ساختارهای رسوبی غالب در این رخساره به طور عمده از طبقه‌بندی مورب پشته‌ای و تقعری (شکل۶)، لامیناسیون مورب با زاویه کم تا موازی و طبقه‌بندی توده‌ای با ساختارهای تغییر شکل یافته ثانویه زیر سطح لایه‌ها تشکیل شده است. شاخص زیست‌آشفتگی در این بخش کاهش یافته (۱ تا ۳) و فراوانی اثرات تغذیه‌کننده از رسوب کاهش می‌یابد (۴۰ درصد) و به همان نسبت بر ساختارهای تغذیه‌کننده از مواد معلق (۶۰ درصد) افزوده می‌شود. از قسمت قاعده به سمت بخش بالایی این رخساره ضخامت و فراوانی افق‌های پرفسیل کاهش می‌یابد به طوریکه در بخش‌های بالایی این رخساره افق‌های پرفسیل حذف شده‌اند یا در موارد نادری به صورت رسوبات باقیمانده قاعده ای در بخش پایینی ماسه سنگ‌های گلاکونیتی وجود دارند. بررسی ویژگی‌های بایواستراتینومی افق‌های پرفسیل در بخش پایینی این رخساره نشان می‌دهد که این افق‌ها به طور غالب از زمینه پکستونی-گرینستونی با قاعده فرسایشی و تراکم بالای قالب‌های فسیلی تشکیل شده‌اند. کیفیت حفظ شدگی قالب‌های فسیلی و نسبت خردشدگی و سایش نیز در این افق‌ها تا حدی بالا بوده اما پوشش زیستی کم دارند (شکل۶).

تفسیر: زیاد بودن آشفتگی زیستی در بخش‌های پایینی رخساره ۳ با تنوع سنگ‌شناسی و ساخت‌های فیزیکی حاکی از تغییر در انرژی هیدرودینامیکی حوضه و نرخ رسوب‌گذاری است. بیشتر ساختارهای رسوبی و افق‌های پرفسیل بر وجود تاثیر نوسانات امواج دلالت می‌نمایند. با این وجود تناوب بین لایه‌های طوفانی (با ساختارهای تغذیه‌کننده از مواد معلق و میزان زیست‌آشفتگی صفر تا ۲) با لایه‌های دانه‌ریزتر(با ساختارهای تغذیه کننده از رسوبات و میزان زیست آشفتگی ۳ تا ۴) از تغییرات انرژی هیدرودینامیکی حوضه و نرخ بالای رسوب‌گذاری در طول ته‌نشینی این رخساره حکایت می‌کنند. در این بخش دو مجموعه اثرفسیلی و ساخت‌های فیزیکی وجود دارد که شامل مجموعه ساخت‌های مرتبط با شرایط موجسار هوای آرام و طوفانی است. مجموعه اول در ارتباط با بخش نزدیک به ساحل ایکنوفاسیس کروزیانا است (proximal Cruziana Ichnofacies) بطوری که کاهش فراوانی ساختارهای تغذیه‌کننده از رسوب و فراوانی ساختارهای خرده‌خوار (detritus-feeding) همانند *Teichichnus*، *Rosselia*، *Cylindrichnus*

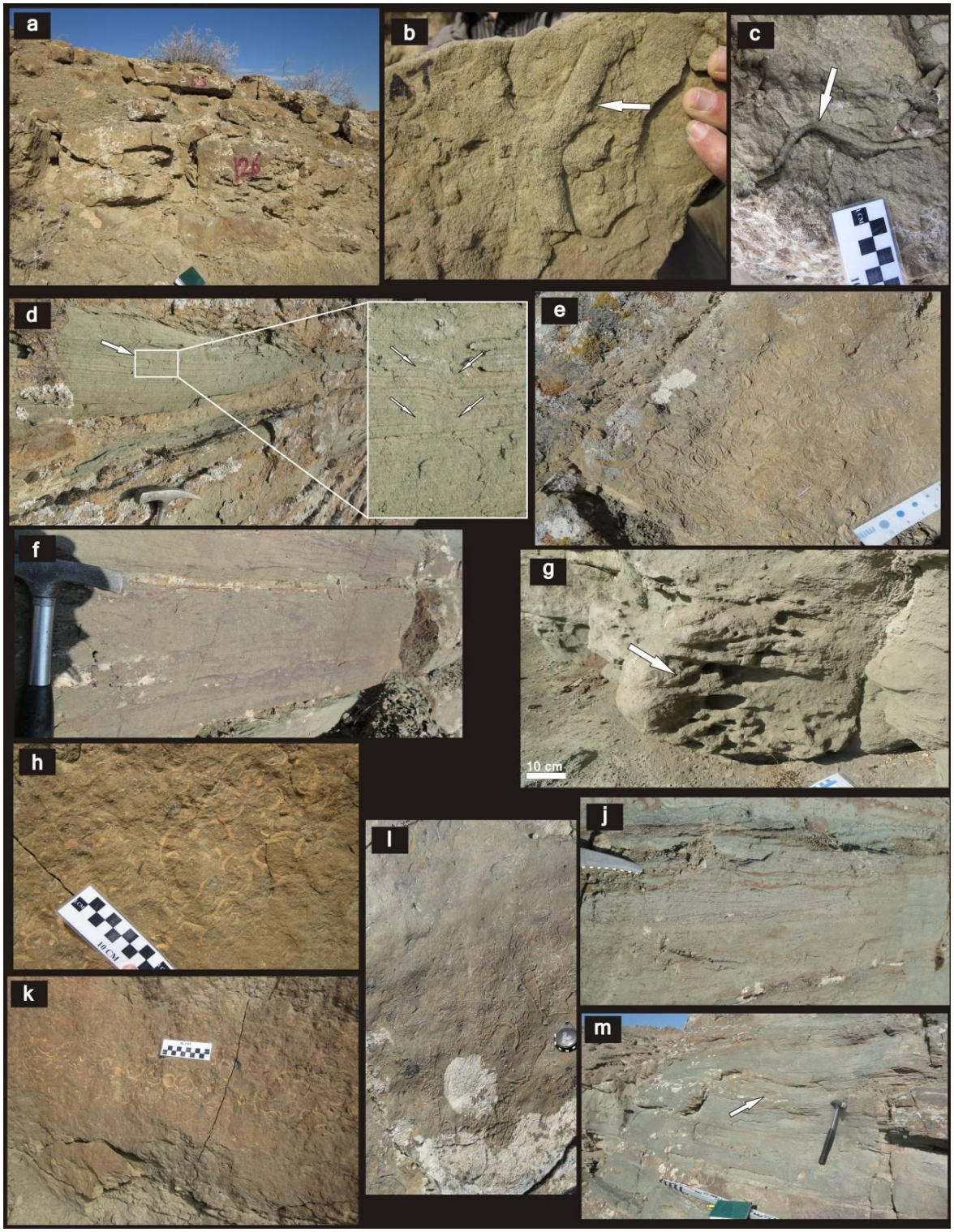
Archive of SID

www.SID.ir

(Pemberton et al. 2002) در لایه‌های دانه‌ریز از نشانه‌های آن است. ولی مجموعه دوم در لایه‌های دانه درشت‌تر به طور غالب از ساختارهای تغذیه‌کننده از مواد معلق تشکیل شده‌اند که به عنوان بخشی از ایکنوفاسیس اسکولایتوس در نظر گرفته می‌شوند (Skolithos ichnofacies). این دو مجموعه به طور مکرر به همراه هم در بخش‌های پایینی این رخساره دیده می‌شوند که چنین تناوب تکراری از ایکنوفاسیس کروزیانا و اسکولایتوس بیان‌کننده ایکنوفاسیس مخلوط کروزیانا- اسکولایتوس (mixed Skolithos-Cruziana ichnofacies) است (Pemberton and MacEachern 1997). این ایکنوفاسیس به طور غالب در بخش بالایی موجسار هوای آرام در زیرمحیط بخش دیستال حاشیه ساحلی پایینی (distal lower shoreface) دیده می‌شود. خصوصیات ایکنولوژیکی و رسوب‌شناسی بخش‌های بالایی رخساره ۳ حاکی از رسوب‌گذاری این بخش در زیرمحیط پروکسیمال حاشیه ساحلی پایینی(proximal lower shoreface) است. به طوریکه وجود توالی‌های برهم افزاینده از ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه با طبقه بندی مورب پشته‌ای-تقعری و وجود اثرفسیل‌های با ساختارهای معلق‌خوار و فراوانی ساختارهای فراری حاکی از انرژی بالای محیط رسوبی و نرخ بالای رسوب‌گذاری در محیط‌های پروکسیمال حاشیه ساحلی پایینی است. مجموعه اثرفسیل‌های این رخساره نشان‌دهنده بخش‌های پایینی ایکنوفاسیس اسکولایتوس (distal Skolithos ichnofacies) است. فراوانی کمتر میان لایه‌های شیلی در این بخش از رخساره ۳ حاکی از نزدیکی به شرایط موجسار هوای آرام و تاثیر بیشتر این موجسار بر روی مجموعه اثرفسیل‌ها و ساختارهای رسوبی فیزیکی است. بررسی ویژگی‌های بایواستراتینومی افق‌های پرفسیل در رخساره ۳ نشان می‌دهد با توجه به اینکه تاثیر موجسار طوفانی به سمت بخش بالایی این رخساره کاهش می‌یابد از ضخامت و فراوانی افق‌های پرفسیل کاسته می‌شود. وجود سایش، فراوانی کم پوشش زیستی بر روی قالب‌های فسیلی، آرایش متراکم فسیل‌ها و زمینه دانه درشت‌تر این افق‌ها حاکی از تاثیر مداوم نوسانات طوفان و جریان بر روی این افق‌ها است. افزایش فراوانی و ضخامت افق‌های پرفسیل و دامنه و طول موج لامیناسیون ریپلی موجی و تبدیل آن‌ها به چینه بندی مورب پشته‌ای و تقعری با طول موج بیشتر از ۶۰ سانتی متر حاکی از افزایش تاثیر انرژی هیدرودینامیکی داخل حوضه است. متعاقباً این افزایش انرژی باعث حمل مجدد پوسته‌های فسیلی از بخش‌های بالایی این رخساره و بخش‌های نزدیکتر به ساحل به سمت بخش‌های دیستال حاشیه ساحلی پایینی می‌شود. در این بخش نیز فراوانی نوسانات انرژی هیدرودینامیکی داخل حوضه و تاثیر مداوم آن بر روی افق‌های پرفسیل موجب می‌شود که زمینه دانه ریز مادستونی آن به طور غالب حمل شده و زمینه دانه درشت‌تر پکستونی-گرینستونی با آرایش چگال قالب‌های فسیلی باقی بماند. کیدوال (Kidwell 1991) و فورزریش و اچمن (Fürsich and Oschmann 1993) به چنین افق‌های لایه‌های زیستی چگال غربالی- طوفانی (storm-winnowing concentration) می‌گویند. فراوانی کم اثرفسیل‌ها و تغییر استراتژی رفتاری آن‌ها به معلق‌خواری (خصوصاً *Ophiomorpha*) در افق‌های پرفسیل این رخساره حاکی از بستر رسوبی متغییر و در حال گذر دانه درشت با میزان کم مواد غذایی در سطح رسوب و انرژی بالای جریان است که موجب شده است جاندارن به صورت درون زیست‌زی (اینفونال) از مواد معلق موجود در ستون آب به جای بستر رسوبی (در طول ته‌نشینی این افق‌ها و لایه‌های ماسه‌سنگی همراه) استفاده کنند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل٦ (رخساره۳)- a: توالی افق زیستی چگال و ماسه‌سنگ در بخش پایینی حاشیه ساحلی، b: *Thalassinoides*، c: افق زیستی چگال با *Ophiomorpha*، d: طبقه‌بندی مورب پشته‌ای با ساختارهای فراری در وسط، e: افق‌های پرفسیل، f: ساختارهای پیچ‌وتاب خورده(*navichnia*)، g: *Thalassinoides*، h و i: افق‌های پرفسیل، j: لامیناسیون ریپلی موجی و جریانی، k: افق‌های پرفسیل m: طبقه‌بندی مورب تقعری

www.SID.ir

رخساره٤: بخش بالایی حاشیه ساحلی-پیش ساحل (upper shoreface-forshore)

توصیف: این رخساره شامل توالی‌های ضخیم ماسه‌سنگ‌های گلاکونیتی با جورشدگی و گردشدگی بالا و فسیل گیاهی حمل شده است که توالی های بر هم افزاینده (amalgamate) (Bann et al., 2004) را تشکیل داده است (شکل۷c). مهمترین و غالب‌ترین ساخت‌های رسوبی موجود در این رخساره از پایین به بالا شامل طبقه‌بندی مورب با زاویه کم، تخت یا گوه‌ای، طبقه بندی مورب تراف، و طبقه بندی مسطح موازی با رسوبات باقیمانده قاعده‌ای و سطح فرسایشی مشخص است (شکل۷). گاهی اوقات لامیناسیون موازی ریپلی موجی و جریانی یا ریپل‌های موجی-جریانی بر روی بخش‌های بالایی این رخساره‌ها مشاهده می‌شود. در موارد نادر چینه بندی مورب پشته‌ای نیز مشاهده می‌شود. اثرفسیل‌های این محدوده بیشتر از آثار تغذیه‌کننده از مواد معلق موجود در ستون آب و خرده‌خوار است. در این نهشته‌ها مجموعه با فراوانی و تنوع بالا و زیست‌آشفتگی متغییر از صفر تا ۴ شامل *Ophiomorpha*، *O. nodosa*، *O. irregular*، *Arenicolites*، *Conichnus*، *Cylindrichnus*، *Monocraterion*، *Thalassinoides*، *Macaronichnus*، *Skolithos*، *Palaeophycus*، *Diplocraterion*، و ساخت‌های فراری (fugichnia) دیده می‌شود (شکل۸). یکی دیگر از مهمترین ویژگی‌های مهم این رخساره وجود لایه‌های رسوبی به صورت عدسی با گسترش جانبی کم است که مهمترین ساخت‌های رسوبی موجود در آن‌ها طبقه‌بندی مورب فلاسر (Flaser)، موجی و عدسی شکل است. در بعضی موارد لایه‌های با طبقه‌بندی مورب در جهات مختلف و لایه‌بندی جناغی با میان‌لایه‌های شیل نیز مشاهده شده است (شکل۹a,b,c,d). تنوع و فراوانی اثرفسیل‌های موجود در این لایه‌ها کمتر بوده و به صورت غالب از ساخت‌های تغذیه‌کننده از مواد معلق و تا حد کمتری تغذیه‌کننده از رسوبات تشکیل شده‌اند (*Ophiomorpha*، *Macaronichnus*، *Cylindrichnus*، *Teichichnus*) (شکل۸). با این وجود مهمترین ساخت‌های موجود در این بخش از نوع پیچ و تاب خورده (navichnia) است. در توالی‌های بر هم افزاینده این رخساره افق‌های پرفسیل به صورت رسوبات باقیمینده قاعده‌ای ضخیم مشاهده می‌شود. بررسی ویژگی‌های بایواستراتینومی افق‌های پرفسیل نشان می‌دهد که این افق‌های به طور غالب از فابریک دانه‌پشتیبان (bioclast-supported) با زمینه گلی (بافت معکوس) تشکیل شده است. در این افق‌ها تنوع گونه‌ای کم بوده و همچنین آرایش قرارگیری قالب‌های فسیلی به صورت پلی‌مدال با جورشدگی ضعیف است. خردشدگی و سایش در افق‌ها خیلی بالا بوده اما بورینگ و پوشش زیستی مشاهده نمی‌شود. بافت غالب در این افق‌ها دانه‌بندی تدریجی نرمال است (شکل۷a, b, j).

تفسیر: ساخت‌های موجود در این رخساره نشان‌دهنده ته‌نشینی بوسیله جریانات حاصل از امواج به موازات ساحل است. چنین جریاناتی بیشتر از نوع جریانات موازی ساحل (long shore) است که بیشتر ساخت‌های رسوبی تابولار و مسطح را ایجاد کرده است. اما با توجه به اینکه حوضه رسوبی نیز تحت تاثیر جریانات طوفانی است، تقابل جریانات طوفان با این جریان‌ها موجب ایجاد طبقه بندی مورب ناودانی و چینه‌بندی مورب پشته‌ای شده است. لامیناسیون‌های ریپلی در بخش‌های بالایی حاکی از کاهش شدت جریان به صورت دوره‌ای است. این گونه شرایط به طور غالب در رخساره‌های بالایی حاشیه ساحلی و پیش ساحل مشاهده می‌شود (Pemberton and MacEachern 1997). مجموعه اثرفسیل‌های بخش‌های پایینی این رخساره حاکی از ایکنوفاسیس پیش الگوی اسکولایتوس (the archetypical Skolithos ichnofacies) است اما کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

فراوانی اثرفسیل‌ها به سمت بخش بالایی این رخساره حاکی از بخش انتهایی ایکنوفاسیس اسکولایتوس (impoverished expression of the Skolithos ichnofacies) است که منطبق بر رخساره پیش ساحل در زون شکست امواج (surf zone) است (Gingras et al. 2002). وجود ساخت‌های حاصل از جریانات رفت و برگشت در لایه‌های عدسی شکل نشان‌دهنده کانال‌های جزر و مدی در رخساره‌های بالای حاشیه ساحلی است، همچنین وجود طبقه‌بندی مورب تراف با میان لایه‌های شیل حاکی از تشکیل آن‌ها در محیط‌های ebb/flood tidal delta است. بخش قاعده‌ای رخساره مورد نظر با وجود فراوانی زیاد مجموعه‌های تک جنسی *Thalassinoides* مشخص می‌شود که حاکی از ایکنوفاسیس Glossifungites است. عدم وجود شیل در این رخساره حاکی از قرارگیری این بخش در بالای موجسار هوای آرام است. این موجسار بیشترین تاثیر را بر روی ساختارهای زیستی-فیزیکی و افق‌های پرفسیل داشته است. چنانکه ویژگی‌های بایواستراتینومی افق‌های پرفسیل بر اساس طبقه بندی فورزیش و اچمن (Fürsich and Oschmann 1993) نشان‌دهنده افق‌های زیستی موجسار هوای آرام است. سایش، خردشدگی، بافت معکوس برگشتی، آرایش پلی‌مدال از ویژگی‌های اصلی این افق‌ها در موجسار هوای آرام است.

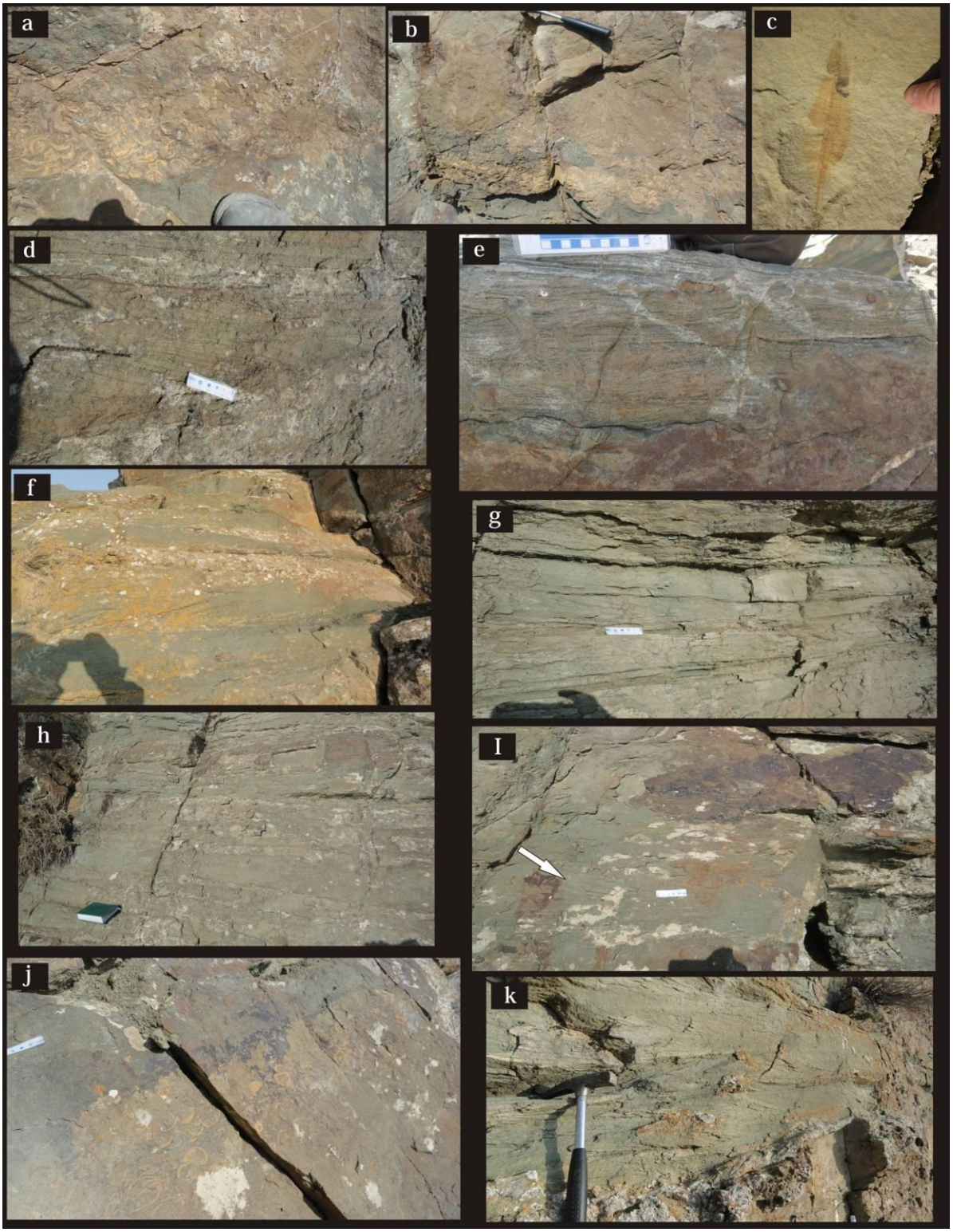
رخساره۵: افق‌های پرفسیل ضخیم

توصیف: یکی از رخساره‌های مشخص موجود در توالی مورد مطالعه وجود لایه پرفسیل به ضخامت ۳ متر با گسترش جانبی زیاد و شکل هندسی صفحه‌ای است. از نظر داخلی این لایه از توالی‌های برهم افزاینده افق‌های پرفسیل نازک‌تر تشکیل شده است که از لحاظ ویژگی‌های بایواستراتینومی تفاوت قابل ملاحظه‌ای را با هم نشان می‌دهند. این افق‌ها به طور عمده از تراکم بالای قالب‌های فسیلی با تنوع گونه‌ای کم تشکیل شده که با ظاهر توده‌ای دیده می‌شوند. و به طور غالب از زمینه‌های متفاوت مادستونی-پکستونی-گرینستونی و تراکم بالای قالب‌های فسیلی تشکیل شده‌اند. کیفیت حفظ شدگی قالب‌های فسیلی و نسبت خردشدگی و سایش نیز در این رخساره متفاوت بوده و از کم تا زیاد متغییر است. همچنین پوشش زیستی و بورینگ نیز در این رخساره تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد (شکل۹e,f,g,h,i).

تفسیر: کیدوال (Kidwell 1991) چنین افق‌های با ویژگی‌های مشاهده شده را افق‌های زیستی مرکب یا چندگانه (composite or multiple-event concentration) نامیده است. وی همچنین محیط تشکیل این افق‌ها را در مناطق سدی، کانال‌های جزر و مدی، سدهای زیر جزر و مد و رخساره مخروط‌های شسته شده موجود در لاگون در نظر می‌گیرد. وجود قالب‌های فسیلی با حفظ شدگی کامل و فراوانی زیاد همراه با بورینگ و پوشش‌های زیستی در بعضی از افق‌های این رخساره حاکی از تولید اولیه زیاد بیولوژیکی و ورود کم رسوبات آواری این بخش از حوضه است. همچنین وجود افق‌های زیستی که دارای قالب‌های خرد شده و سایش بالاست حاکی از انرژی بالای جریان و حمل مجدد خرده‌های فسیلی است. چنین شواهدی نشان‌دهنده تشکیل رخساره مورد نظر در طی مراحل چندگانه است. بر اساس موقعیت این رخساره در توالی مورد مطالعه و رخساره‌های همراه، واحد پرفسیل مورد نظر به عنوان مجموعه افق‌های زیستی تشکیل شده در سدهای نزدیک به ساحل در طول پیشروی و بالا آمدن سطح آب دریا در نظر گرفته می‌شود. بر طبق کیدوال (Kidwell 1991) غالب این گونه افق‌ها در نواحی ساحلی کم عمق در طول پیشروی آب دریا تشکیل می‌شوند.

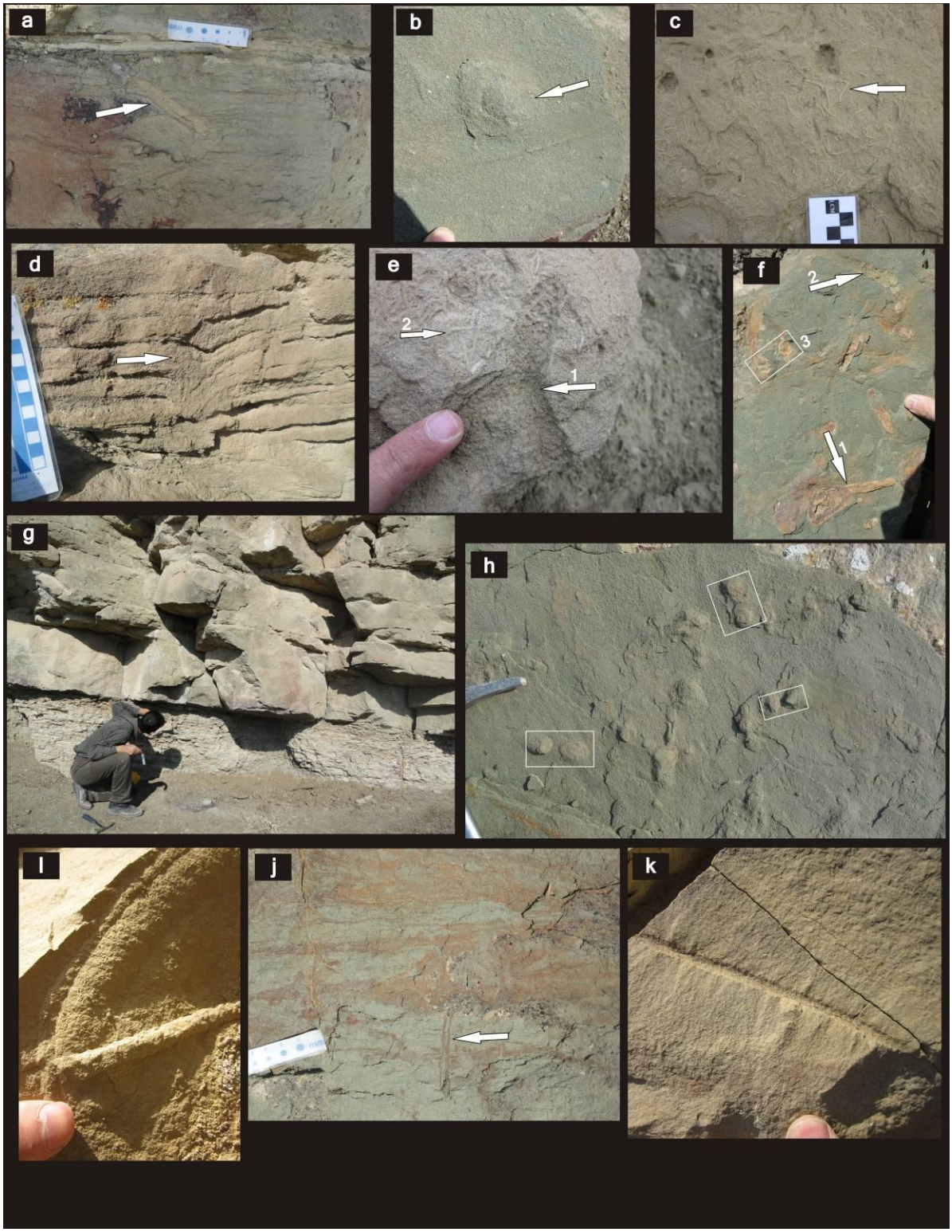
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷ (رخساره٤)- a و b: افق‌های پرفسیل، c: آثار برگ d: طبقه‌بندی مورب تابولار به سمت بالا به طبقه‌بندی مورب پشته‌ای، e: لامیناسیون ریپلی جریانی و ساختارهای فراری، f: طبقه‌بندی مورب پشته‌ای بزرگ مقیاس، g: طبقه‌بندی مورب تابولار با زاویه کم ، h: طبقه‌بندی مسطح و کم زاویه، i: طبقه‌بندی مورب تراف، j: افق‌های پرفسیل، k: طبقه‌بندی مورب تراف در جهات مختلف بر روی هم

www.SID.ir



شـــکل۸ (رخســـاره٤)- a: *Cylindrichnus*، b: *Monocraterion?*، c: *Macaronichnus*، d: *Conichnus*، e: *O. nodosa*(1) و *Macaronichnus*(2)، f: *Rosselia*(1)، *O. nodosa*(2)، *Arenicolites*(3)، g: ایکنوفاســـــــیس گلوسی‌فانجیتس در بخش قاعده‌ای حاشیه ساحلی بـالایی بـا *Thalassinoides*، h: *Diplocraterion*، i: *O. irregular*، j: *Skolithos*، K: *O. nodosa*

www.SID.ir

شکل۹ (رخساره٤)- a: *Teichichnus*، b: طبقه‌بندی فلاسر، موجی و عدسی همراه با ساختارهای پیچ‌وتاب خورده در پایین و حاوی طبقه‌بندی مورب تراف، c: ساختارهای پیچ‌وتاب خورده با *Cylindrichnus*، d: *Ophiomorpha*، (رخساره۵) e و f: افق‌های زیستی مرکب، g: افق زیستی مرکب خردشده، h: عکس کلی، در پایین رخساره‌های حاشیه ساحلی بالایی و پیش ساحلی، در بالا افق‌های زیستی ضخیم و مرکب، i: افق زیستی

www.SID.ir

بحث

خصوصیات رفتارشناسی، ابعاد حفرات، تنوع و شدت زیست‌آشفتگی مجموعه اثرفسیل‌های شناسایی شده در نهشته‌های سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد و مقایسه آن با دیگر مطالعات (برای مثال، Bann et al. 2004) نشان می‌دهد که نوسانات انرژی محیطی بیشترین تاثیر را بر روی جانداران سازنده اثرفسیل‌ها داشته است. با توجه به شکل ۱۰ تغییر خصوصیات ساختارهای رسوبی فیزیکی و زیستی در طول توالی مورد مطالعه، انرژی هیدرودینامیکی در حوضه و تغییرات در موجسار هوای آرام و طوفانی بیشترین تاثیر را بر خصوصیات ساختاری نهشته‌های سازند آیتامیر داشته است. در محیط‌های حاشیه ساحلی و دور از ساحل که تحت تاثیر نوسانات موجسار هوای طوفانی قرار می‌گیرند، عمق کم و انرژی بالا همراه با حمل زیاد رسوب نسبت به محیط‌های پایینی دور از ساحل در این محیط موجب شده است که ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه با چینه بندی مورب پشته‌ای (طول موج بیشتر از ۵۰ سانتی متر) و افق‌های زیستی طوفانی نابرجا تا غربال شده تشکیل شده و موجب شده است که جاندارن در برابر تغییرات مداوم بستر حوضه تغییر استراتژی رفتاری زیادی را جهت سازگاری با حوضه از خود نشان دهند به طوریکه واحدهای از قبیل ماسه‌سنگ با ساختارهای پرانرژی بستری مناسب جهت زیست جانداران با رفتار گریزینگ و تغذیه‌ای نباشند، اما جاندارانی با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (Domichnia) در برابر جریانات اشاره شده، توانایی سازگاری بیشتری را از طریق حفر بستر و ایجاد پناهگاه عمیق (تیرینگ عمیق‌تر) دارند. از طرفی واحدهای دانه‌ریزتر همانند سیلتستون، مادستون و ماسه‌سنگ سیلتی غنی از مواد غذایی مکان مناسبی جهت فعالیت جانداران رسوب‌خوار هستند به طوریکه این شرایط بستر موجب افزایش جانداران با استراتژی رفتاری گریزینگ و تغذیه‌ای می‌شود.

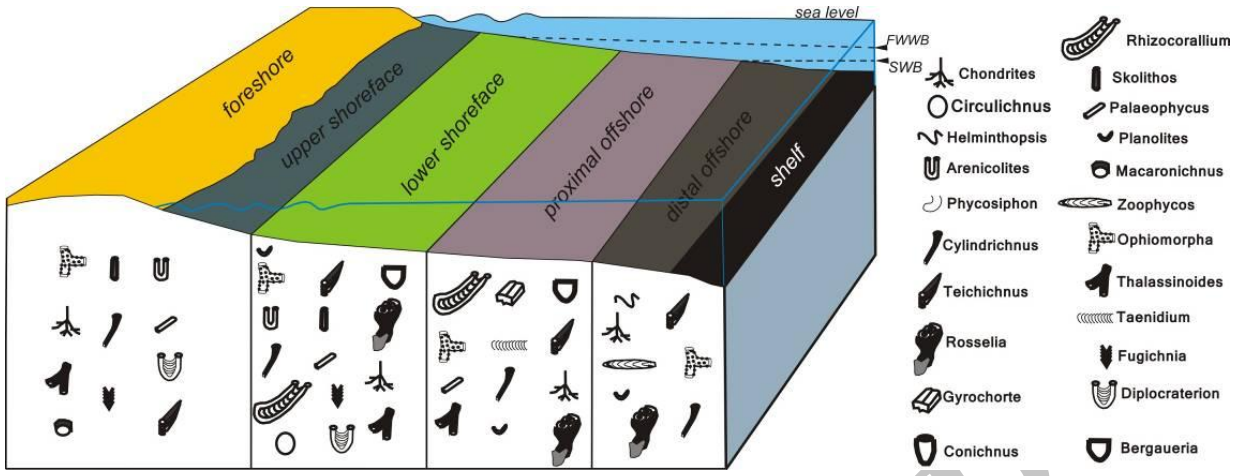
زیرمحیط‌های بالایی حاشیه ساحل (upper shoreface) و پیش ساحل (foreshore) بیش از اینکه تحت تاثیر موجسار هوای طوفانی قرار گیرند تحت تاثیر موجسار هوای آرام و جریانات ثانویه موازی با ساحل قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). چنین شرایطی موجب می‌شود که نوع ساختارهای رسوبی فیزیکی به ساختارهای پرانرژی چینه‌بندی مورب تراف و مسطح و لامیناسیون‌های موازی تغییر پیدا کند. چینه‌بندی مورب پشته ای در چنین محیط‌هائی وجود ندارد. جانداران موجود در این محیط‌ها به خاطر عدم تاثیر نوسانات موجسارهوای طوفانی بر روی بستر، در شرایطی بدون تغییر زندگی می‌کنند. بستر پرانرژی و دانه درشت با میزان مواد غذایی کم و رسوب گذاری سریع در این محیط حاکم بوده و به موجب چنین عواملی تغییر استراتژی رفتاری در این محیط‌ها صورت نگرفته و جانداران معمولا یک نوع استراتژی رفتاری را نشان می‌دهند. این شرایط موجب تنوع کم اثرفسیل‌ها با استراتژی رفتاری معلق‌خوار می‌شود.

مدل رسوبی

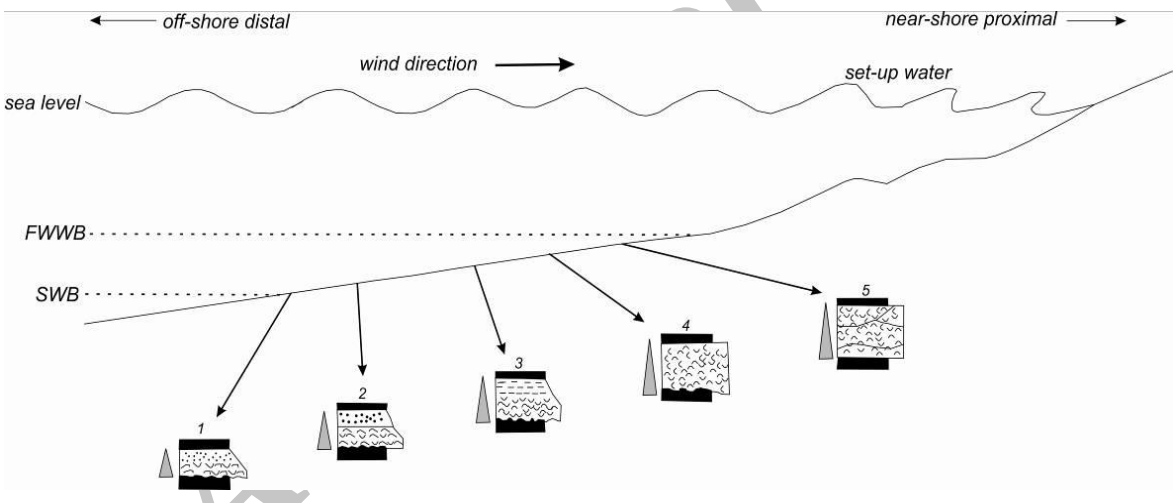
به طور کلی، تاثیر فرایندهای طوفانی بر نهشته‌شدن رسوبات با افزایش عمق آب، کاهش می‌یابد. در این توالی‌ها، افق‌های پرفسیل بر اساس روند پروکسیمال-دیستال طبقه‌بندی می‌شوند. انواع لایه‌های شناسایی شده، بوسیله کاهش تدریجی در ضخامت لایه، اندازه دانه، برافزایندگی، مخلوط‌شدن فوناها و سطح انرژی در امتداد جانبی توصیف می‌شوند. این تغییرات ناشی از کاهش تاثیرات طوفان تفسیر می‌شود. شکل۱۱ مدل ایده‌الی که منجر به تشکیل افق‌های پرفسیل می‌شود را نشان داده و به صورت زیر خلاصه می‌شود:

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰- مدل رسوبی سازند آیتامیر در برش موردمطالعه



شکل ۱۱- روند پروکسیمال-دیستال افق‌های پرفسیل در برش مورد مطالعه (FWWB: fair-weather wave base موجسار هوای آرام، SWB: storm weather wave base موجسار هوای طوفانی).

رخساره ۱ بخش پایینی دور از ساحل-شلف یا (distal tempestites): در بعضی موارد طوفان‌های شدید منجر به نهشته‌شدن لایه‌های متشکل از دانه‌های ریز و دانه‌بندی واریزه‌ها می‌شود. همچنان که طوفان فروکش می‌کند، دانه‌های ریز آواری یا کربناته معلق ته‌نشین می‌شوند که سیکل‌های به سمت بالا ریز شونده‌ی تمپستایت را درست می‌کنند.

رخساره ۲ بخش بالایی دور از ساحل یا افق‌های زیستی طوفانی (storm wave concentration): بسترها

www.SID.ir

بعد از تشکیل و قبل از سخت‌شدن تا حدودی در معرض فرسایش قرار گرفته و رسوبات دانه‌ریز در طی طوفان غربال می‌شوند در حالیکه پوسته‌های دوکفه‌ای به صورت سنگ‌فرش در کف دریا تجمع پیدا کرده و بسترهای سخت را تشکیل می‌دهند. فابریک ماسه‌ای لایه‌های سخت‌شده اویستر نشان می‌دهد که به صورت دوره‌ای مقدار قابل توجهی گل توسط فرایندهای فیزیکی غربال شده است.

رخساره ۳ بخش پایینی حاشیه ساحلی یا لایه‌های زیستی چگال غربال شده (storm-winnowing concentration): فرسایش مکرر بوسیله طوفان منجر به فرسایش بیشتر، غربال شدن گل، جداشدن پوسته‌های دوکفه‌ای از یکدیگر، شکسته‌شدن، جابه‌جایی و سرانجام نهشته‌شدن دوباره پوسته‌ها به صورت گسترده می‌شود.

رخساره ٤ بخش بالایی حاشیه ساحلی-پیش ساحل یا افق‌های زیستی موجسار هوای آرام (fair-weather wave concentration): در مکان نزدیک ساحل و بالای موجسار هوای آرام، رسوبگذاری باعث بوجود آمدن بستری از رسوبات آهکی می‌شود که سرانجام باعث تجمع دوکفه‌ای‌های کف‌زی و درون‌زی می‌شود. جداشدن کفه‌ها از همدیگر، جهت‌یابی دوباره و شکسته‌شدن فراوان پوسته‌های دوکفه‌ای‌ها نشان می‌دهد که بعد از رسوبگذاری تحت تاثیر جریانات مکرر قرار گرفته‌اند. مجموعه درهمی از دوکفه‌ای‌ها نشان می‌دهد که فابریک اولیه بوسیله فعالیت مجدد جریانات به هم خورده است. همه‌ی این مشاهدات تافونومیکی نهشته‌شدن در انرژی بالا و زمان متوسط را نشان می‌دهند.

رخساره ۵ افق‌های پرفسیل ضخیم یا افق‌های زیستی مرکب یا چندگانه (composite or multiple-event concentration): شامل مخلوطی از تجمعات اسکلتی است که چندین فاز طوفان که منجر به فرسایش و نهشته‌شدن دوباره شده، را نشان می‌دهد. این لایه‌ها به احتمال زیاد بر محیط کم عمق نزدیک ساحل دلالت می‌نمایند. همه‌ی این مشاهدات تافونومیکی (جداشدن کفه‌ها از همدیگر، جهت‌یابی دوباره و شکسته‌شدن گسترده دوکفه‌ای‌ها و پوسته‌ها) محیط پر انرژی را می‌دهد اما حفظ شدگی خوب بیشتر پوسته‌ها گسترش زیاد آن‌ها را نشان می‌دهد. این گسترش لزوما در مکان زندگی آنها نبوده است و نشان می‌دهد که بیشتر آن‌ها توسط جریانات ضعیف یا امواج جابه‌جا شده‌اند. نشانه‌های تافونومیکی و ژنز تجمعات پوسته‌ای زمان متوسط و حوادث چندگانه را پیشنهاد می‌کند.

نتیجه‌گیری

نوسانات انرژی محیطی در رسوبات مورد مطالعه بیشترین تاثیر را بر روی جانداران سازنده اثرفسیل‌ها داشته، به‌طوری‌که الگوهای رفتارشناسی متنوعی شامل پناهگاهی، تعادلی، فراری، پیچ‌وتاب‌خورده، گریزینگ، تغذیه‌ای و هم‌زیست شیمیایی و ۷ نوع ایکنوفاسیس را می‌توان در آن مشاهده کرد. ۵ نوع افق زیستی چگال دارای روند پروکسیمال تا دیستال، در سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد شناسایی شده که در اثر فرآیندهای طوفانی ایجاد شده‌اند. انرژی هیدرودینامیکی در حوضه و تغییرات در موجسار هوای آرام و طوفانی بیشترین تاثیر را بر روی خصوصیات ساختارهای نهشتی این سازند دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

تقدیر و تشکر

از گروه زمین شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات جهت مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی سپاسگزاریم. از همکاری آقایان مهندس رحیم کدخدائی‌ایلخچی، داوود دهنوی، بابک ایرانی، حسن خزائی، صلاح ابراهیم‌پور به خاطر انجام مطالعات صحرایی و آقایان ترشیزی، قزوینی و شجاعی به خاطر همراهی در صحرا تشکر می‌شود. در انتها از داوران محترم این مقاله که با نظرات سازنده خود در ارتقای سطح علمی این مقاله کمک کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱ - افشار حرب، ۱۳۷۳، زمین‌شناسی کپه‌داغ: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۱۱، ۲۷۵ ص.

۲ - بایت گل، آ.، و ن.، عباسی، زیرچاپ، اثرشناسی سازند جیرود در انقراض فامنین-تورنزین، البرز مرکزی: فصلنامه علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۳ - بایت گل، آ.، ن.، عباسی، ا... محبوبی، و ر.، موسوی حرمی، زیرچاپ، تحلیل رخساره‌ای و تفسیر محیطی اثرفسیل‌های پلانولیتس و پالئوفیکوس در رسوبات پالئوزوئیک ایران میانی: فصلنامه علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

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

۵ - شرفی، م.، ا...، محبوبی، ر.، موسوی حرمی، م.، نجفی، ۱۳۹۰، کاربرد لایه‌های پرفسیل در تفسیر چینه‌نگاری سکانسی سازند آیتامیر در ناودیس‌های شیخ و بی‌بهره-باختر کپه‌داغ: فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال پنجم، شماره۱۷، صفحه ۳۱-۴۷.

٦ - صادقی، ع.، ف.، فروغی، ۱۳۸۴، تاثیر حرکات ساب هرسینین در شرق حوضه کپه‌داغ (شرق و شمال‌شرق مشهد): نشریه دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران، شماره ۱۰، صفحه ۵۳-۶۸.

۷ - نصیری، ی.، ر.، موسوی حرمی، ا...، محبوبی، و آ.، بایت گل، زیرچاپ، مجموعه اثرفسیل‌های دریایی عمیق و اهمیت محیطی آنها در نهشته‌های ائوسن میانی سازند امیران در زون زاگرس: فصلنامه علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

8- Bann, K.L., and C.R., Fielding, 2004, An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia, in McIlroy, D., (Ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Geological Society of London, Special Publication, **v.** 228, p. 273-307.

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

10- Bann, K.L., C.R., Fielding, J.A., MacEachern, and S.C., Tye, 2004, Differentiation of estuarine and offshore marine deposits using

Archive of SID

www.SID.ir

Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Geological Society, London, Special Publication, **v.** 228, p. 179-212.

17- MacEachern, J.A., and S.G., Pemberton, 1992, Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America, in Pemberton, S.G., (Ed.), Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, a core workshop: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshop 17, p. 5784.

18- McIlroy, D. , 2004, The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Special Publication of the Geological Society, London, **v.** 228, p. 1–490.

19- Moslow, T.F. and S.G., Pemberton, 1988, An integrated approach to the sedimentological analysis of some Lower Cretaceous shoreface and delta front sandstone sequences. In: James, D.P., Leckie, D.A. (Eds.), Sequences, Stratigraphy, Sedimentology: Surface and Subsurface: Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir, **v.** 15, p. 373– 386.

20- Pemberton, S.G., and J. A., MacEachern 1997, The ichnological signature of storm deposits: the use of trace fossils in event stratigraphy. In: BRETT, C. E. (Ed.) Paleontological Event Horizons: Ecological and Evolutionary Implications: Columbia University Press, New York, 73-109.

21- Pemberton, S.G., and J.A., MacEachern, 1997, The ichnological signature of storm deposits: the use of trace fossils in event stratigraphy, in Brett, C.E., (Ed.), Paleontological Event Horizons: Ecological and Evolutionary Implications: Columbia University Press, p. 73-109.

integrated ichnology and sedimentology: Permian Pebbley Beach Formation, Sydney Basin, Australia,, in McIlroy, D., (Ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Geological Society, London, Special Publication, **v.** 228, p. 179-211.

11- Ekdale, A.A., R.G., Bromley, and S.G., Pemberton, 1984, Ichnology: Trace fossils in Sedimentology and Stratigraphy: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course 15, 317p.

12- Fürsich, F. T., W., Oschmann, 1993, Shell beds as tool in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, western India: J. Geol. Soc., Lond, **v.** 150, p.169-185.

13- Gingras, M.K., S.G., Pemberton, and T.D.A., Saunders, 2001, Bathymetry, sediment texture, and substrate cohesiveness: their impact on Glossifungites trace assemblages at Willapa Bay, Washington: Palaeogeography, Palaeoclimatology, and Palaeoecology, **v.** 169, p. 1-21.

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

15- Kidwell, S.M. 1991. The stratigraphy of shell concentrations, In: Allison, P. A. & Briggs, D. E. G. (Eds.) Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record. Plenum press, New York, 211-290.

16- MacEachern, J.A., K.L., Bann, S.G., Pemberton and M.K., Gingras, 2007, The ichnofacies paradigm: High-resolution paleoenviromental interperetof the rock record. In: McIlroy, D. (Ed.), The Application of

Archive of SID

www.SID.ir

22- Pemberton, S.G., M., Spila, A.J., Pulham, T., Saunders, J.A., MacEachern, D., Robbins, and I.K., Sinclair, 2002, Ichnology and sedimentology of shallow to marginal marine systems: Ben Nevis and Avalon Reservoirs, Jeanne d'Arc Basin: Geological Association of Canada, Short Course Notes 15, St. John's Newfoundland, 343p.

23- Reading, H. G., 1996, Sedimentary Environment. Third ed., Blackwell, Oxford., 888 p.

24- Taylor, A.M., and R., Goldring, 1993, Description and analysis of bioturbation and ichnofabric: Journal of the Geological Society (London), **v.** 150, p.141– 148.

Archive of SID

www.SID.ir