

انواع افقهای پرفسیل در سازند آیتامیر و پراکندگی آنها در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی در تاقدیس امیرآباد - شمال شرق مشهد

حامد محمدیان^۱، محمد حسین محمودی قرائی^{۲*}، اسدالله محبوبی^۳، سید رضا موسوی حرمی^۳، نارام بابت گل^۴

۱- کارشناس ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

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

۴- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان، زنجان، ایران

*پست الکترونیک: mhmgharaie@ferdowsi.um.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۳

چکیده

دریای کم عمق کرتاسه سازند آیتامیر (آلبین - سنومانین) از حوضه رسوبی کپه داغ در شمال شرق ایران غنی از افقهای پرفسیل است که عمدتاً از دو کفه ایها (غالباً اویستر) همراه با مقادیر کمی گاستروپود، براکیوپود و آمونیت تشکیل شده است. مطالعات رسوب شناسی و چینه نگاری توالیهای مورد بررسی حاکی از تشکیل رخساره‌های رسوبی در یک الگوی منظم کم عمق شونده - عمیق شونده رده سوم می باشد که سیستم تراکت پسرونده سریع و سیستم تراکت تراز پایین در آن حضور ندارند. بر پایه مشاهدات تافونومیکی و رسوب شناسی، شش نوع افق پرفسیل در طیفی از محیطهای رسوبی مختلف شناسایی شده است که عمدتاً متعلق به محیطهای کم عمق هستند. این افقهای پرفسیل در موقعیتهای مشخصی میان سکانسهای رسوبی، به عنوان لاگهای قاعده‌ای در قاعده سیستم تراکت پیش رونده، در پهنه حداکثر غرقابی و نزدیک به بالای سیستم تراکت تراز بالا یافت می شوند. وجود سطوح فرکند، جورشدگی ضعیف، آرایش محدب بالارونده، آرایش پراکنده، پوسته‌های شکسته و ساییده شده با الگوی مفصل نشده حاکی از تشکیل افقهای پرفسیل در قاعده سیستم تراکت پیش رونده در محیط حاشیه ساحلی می باشد که انتقال و جابه جایی محلی، فرآیندهای غالب در تشکیل آنها هستند. افقهای پرفسیل نزدیک به رأس سیستم تراکت تراز بالا خصوصیات مشابهی را نشان می دهند، با این تفاوت که سطح فروکند را نشان نمی دهند و به صورت سنگ فرشی یا لزی هستند. ساختارهای رسوبی همراه با افقهای پرفسیل سیستم تراکت تراز بالا، محیط پرنرژی بالای موجسار هوای آرام را نشان می دهند. در مقابل افقهای پرفسیل پهنه حداکثر غرقابی، بر جازا هستند و در زمان نرخ رسوب گذاری کم، زیر موجسار هوای طوفانی نهشته شده اند. بنابراین افقهای پرفسیل وسیله‌ای مفید برای تعیین کردن سکانسهای رسوبی هستند.

واژه‌های کلیدی: افقهای پرفسیل؛ چینه نگاری سکانسی؛ سازند آیتامیر؛ آلبین - سنومانین.

مقدمه

توجه قرار گرفته است (به عنوان مثال: Kidwell 1991a,b; Fürsich 1995; Abbott, 1997; Holland 2000, 2001).

نقش افقهای پرفسیل به عنوان وسیله‌ای برای بازسازی محیط دیرینه در چند سال گذشته به طور چشمگیری مورد

افقهای پرفسیلی که به صورت درجا^۱ تشکیل می‌شوند، اطلاعات دیرین زیست‌شناسی و محیط دیرینه معتبری را به ما نشان می‌دهند. غالب افقهای پرفسیل در سازند آیتامیر با گسترش جانبی خیلی زیادی دیده می‌شوند که شرایط مناسبی را برای مطالعات تافونومیکی فراهم می‌کند. به دلیل این که تشکیل افقهای پرفسیل به شدت وابسته به تغییرات سطح آب دریا و انرژی محیط است، آنالیز توصیفی نشانه‌های تافونومی افقهای پرفسیل وسیله‌ای بسیار مفید برای آنالیزهای چینه‌نگاری سکansı است. بر اساس مطالعات Fürsich & Oschmann (1993)، لازمه این مطالعه وجود چندین مرحله پیش‌روی و پس‌روی از محیطهای رو به ساحل - دور از ساحل در نهشته‌های حاوی افقهای پرفسیل است. در این راستا محیط دریایی کم‌عمق سازند آیتامیر (آلبین - سنومانین) در حوضه کپه‌داغ با چندین مرحله پیش‌روی و پس‌روی برای این مطالعه مناسب است.

هدف از انجام این مطالعه، شناسایی انواع مختلف افقهای پرفسیل سازند آیتامیر در تاق‌دیس امیرآباد، ارتباط آنها با چینه‌نگاری سکansı و بازسازی محیط دیرینه این سازند است. اگرچه اهمیت چینه‌نگاری سکansı بسیاری از خصوصیات سنگهای رسوبی مانند توزیع اندازه دانه و ساختارهای رسوبی مورد بررسی قرار گرفته است، اما مطالعات کمی بر روی اهمیت افقهای پرفسیل در تعیین سطوح چینه‌نگاری و سیستم تراکتها صورت گرفته است. نشانه‌های تافونومیکی و فابریک زیستی افقهای پرفسیل اطلاعاتی را درباره عوامل محیطی مانند سطح انرژی، مدت زمان باقی ماندن در کف حوضه و نرخ رسوب‌گذاری فراهم می‌کنند. در این مطالعه نشان می‌دهیم که چگونه انواع مختلف افقهای پرفسیل در مکانهای مختلفی در میان

Fürsich & Oschmann (1991) Banerjee & Kidwell (1993) و شرفی و همکاران (۱۳۹۰) انواع مختلف افقهای پرفسیل را در قاعده و رأس پاراسکانسها و همچنین سطح حداکثر غرقابی^۱ شناسایی کرده‌اند. واژه افق پرفسیل^۲ بوسیله Kidwell (1991) برای تجمع بقایای بی‌مهرگان بزرگتر از دو میلی‌متر با ماتریکس کربناته یا تخریبی معرفی شد. افقهای پرفسیل در بسیاری از محیطهای عهدحاضر و شلفهای دیرینه حضور دارند. اکثر افقهای پرفسیل حاصل حمل مجدد^۳ هستند و به همین علت اطلاعات اولیه آنها از بین رفته است و بنابراین نمی‌توان از آن برای تحلیل دیرین زیست‌شناسی محیطهای رسوبی استفاده کرد، زیرا فرآیندهای تجمع نهایی معمولاً به وسیله فابریک زیستی منعکس می‌شوند (Fürsich & Oschmann, 1993).

انواع مختلفی از افقهای پرفسیل در نهشته‌های رسوبی سازند آیتامیر وجود دارد که جهت‌یابی پوسته‌ها، وجود یا نبود دانه‌بندی، قاعده فرسایشی، نوع پراکندگی عناصر اسکلتی و ماتریکس در این افقها، می‌تواند اطلاعات زیادی درباره فعالیت زیستی و فرآیندهای هیدرودینامیکی مختلف مانند امواج و جریانهای طوفانی و جریانهای موازی ساحل^۴ به منظور تفسیر چینه‌نگاری سکansı ارائه نماید. از طرف دیگر علائم تافونومیکی عناصر اسکلتی در این افقها اطلاعاتی در مورد رژیم هیدرودینامیکی، عمق تشکیل، مدت زمان ماندگاری پوسته‌ها در کف حوضه و فعالیتهای زیستی مؤثر بر آنها ارائه می‌کنند. بنابراین فابریک زیستی^۵ و نشانه‌های تافونومیکی، همراه با ترکیب تاکسونومیکی ناقص افقهای پرفسیل، می‌توانند خصوصیات فیزیکی و زیستی محیطهای دیرینه را بازسازی کنند. در این میان

1- maximum flooding surface (mfs)

2- shell concentration

3- reworking

4- longshore currents

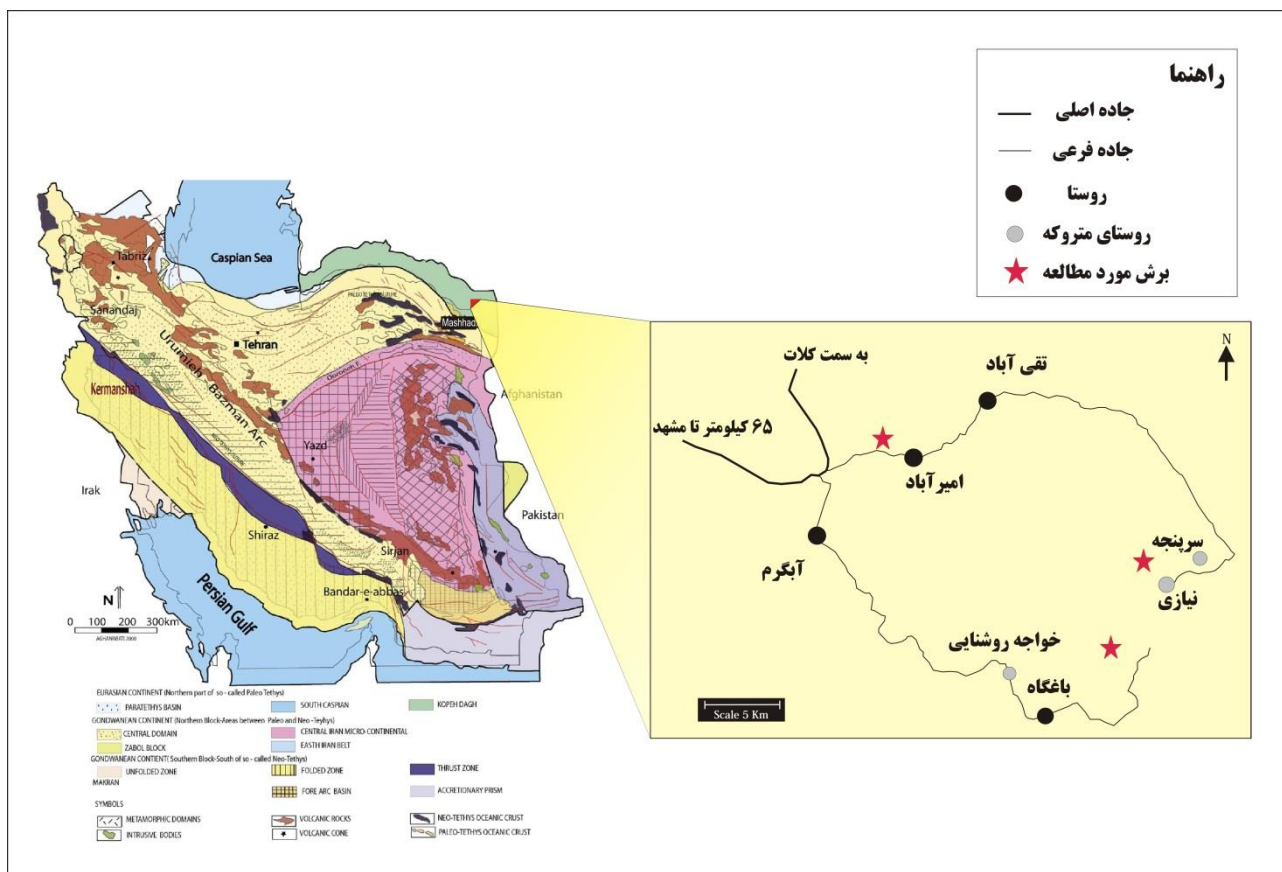
5- biofabric

چرخه‌های رسوبی یافت می‌شوند و اطلاعاتی را درباره سکانسهای رسوبی و تفسیر توالیهای رسوبی فراهم می‌کنند.

روش مطالعه

در این مطالعه سه برش چینه‌شناسی از سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد واقع در ۶۵ کیلومتری مشهد - کلات اندازه‌گیری و برداشت شده است (شکل ۱). انواع مختلف افقهای پرفسیل در این مطالعه بر اساس طبقه‌بندی Fürsich & Oschmann (1993) شناسایی شده‌اند. مهمترین خصوصیات در تفکیک افقهای پرفسیل شامل جورشدگی، دانه بندی تدریجی، سایش، جهت یابی و آرایش عناصر

اسکلتی، خردشدگی، فرسایش زیستی، پوشش زیستی، تنوع و فراوانی گونه‌ها، نوع زمینه، الگوی گسترش جانبی و قائم افق پرفسیل، سطوح لایه بندی و ضخامت است. همچنین نشانه‌های تافونومیکی نیز بر اساس مطالعات میکروسکپی (تعداد ۷۰ مقطع نازک) جهت تفسیر انواع افقهای پرفسیل صورت گرفته است. جهت تعیین پاراسکانسها، دسته رخساره‌ها و مرز بین سکانسها از روش Catuneanu (2006) و نام‌گذاری سنگهای آهکی از طبقه‌بندی Dunham (1962) و Embry & Clovan (1971) استفاده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

براکوپود و آمونیت بوده و ضخامت آنها از چند سانتی‌متر تا دو متر در تغییر است. اغلب پدیده‌ها مانند ساختارهای رسوبی، دانه‌بندی، سایش و جورشدگی به وسیله عوامل

انواع افقهای پرفسیل و شرایط تشکیل آنها

افقهای پرفسیل سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد عمدتاً شامل دو کفه‌ایها (بیشتر اویستر) با مقادیر کمتر گاستروپود،

پشتیبان این افقها می‌تواند نتیجه غربال شدن^{۱۰}، انتقال و یا فعالیت‌های زیستی باشد. آرایش محدب رو به بالای پوسته‌ها مشخص می‌کند که پوسته‌ها به وسیله جریان‌ات حمل شده‌اند. فراوانی ذرات آواری ماسه و سیلت (شکل ۳b)، وجود لایه‌بندی موجی و فلاسر (شکل ۳e) و آشفستگی زیستی کم، منشأ نزدیک به ساحل این افقهای پرفسیل را تأیید می‌کند.

جدایی مفاصل، جهت‌یابی مجدد^{۱۱} و شکستگی زیاد پوسته‌ها نشان‌دهنده جابه‌جایی به وسیله عمل امواج و جریان‌ات و نهشته شدن در یک محیط پرانرژی است (شکل ۲). با توجه به شواهد ذکر شده و جورشدگی ضعیف عناصر اسکلتی می‌توان نتیجه گرفت که تجمع پوسته‌ها در محیط پیش ساحل^{۱۲} صورت گرفته است. افقهای پرفسیل محیط‌های دریایی کم عمق و نزدیک به ساحل^{۱۳} نسبت به افقهای پرفسیل محیط‌های دور از ساحل و عمیق‌تر، بیشتر تخریب شده‌اند زیرا در محیط‌های کم عمق، نوسانات هیدرودینامیکی بیشتر است.

نوع ۲ (storm wave C)

توصیف: غالب پوسته‌ها در این افق مفصل‌دار^{۱۴} (شکل ۴a) و فاقد نشانه‌های سایش، بورینگ، فرسایش زیستی و پوشش زیستی هستند. این افق پرفسیل بایو کلاست پشتیبان (پکستون تا گرینستون/رودستون) بوده و قاعده فرسایشی یا مشخص دارد. هیچ نشانه‌ای از جورشدگی در آن مشاهده نمی‌گردد و پوسته‌ها جهت‌یابی خاصی نشان نمی‌دهند (شکل ۴b).

تفسیر: وجود پوسته‌های مفصل‌دار با حفظ‌شدگی خیلی خوب و جهت‌یابی اتفاقی^{۱۵} پوسته‌ها پیشنهاد می‌کند که

فیزیکی کنترل می‌شوند و آرایش عناصر اسکلتی، جداشدن مفاصل^۷، جهت‌یابی پوسته‌ها و خردشدگی به وسیله عوامل فیزیکی و زیستی کنترل می‌شوند (Kidwell 1991). همچنین زیست‌آشفستگی، تنوع گونه‌ها، فرسایش و پوشش زیستی به طور وسیع به وسیله عوامل زیستی کنترل می‌شوند. بر پایه آنالیز دقیق نشانه‌های تافونومیکی و فابریک زیستی، شش نوع افق پرفسیل در سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد شناسایی گردیده که مرتبط با قسمت‌های مختلف محیط‌های رو به ساحل - دور از ساحل هستند (شکل ۲). خصوصیات و نحوه تشکیل هر یک از آنها به شرح زیر است:

نوع ۱ (fair weather wave concentration)

توصیف: این نوع افق پرفسیل به صورت دانه پشتیبان (شکل ۳a) و عمدتاً از خردده‌های اسکلتی تشکیل شده است (رودستون). ماتریکس آن از ماسه دانه‌ریز و سیلت بوده، جورشدگی عناصر اسکلتی ضعیف و اغلب پوسته‌ها دارای آرایش محدب رو به بالا^۸ و بدون مفصل^۹ می‌باشند. عناصر اسکلتی دارای جهت‌یابی بایمدال (شکل ۳f) و سایش فراوان هستند. بیشتر پوسته‌ها شکستگی دارند هر چند برخی از پوسته‌ها نیز سالمند (شکل ۳d). پوشش زیستی و بورینگ در پوسته‌ها مشاهده نمی‌گردد و تنوع گونه‌ها کم است (بیشتر اویستر).

تفسیر: خصوصیات بافتی این نوع افقهای پرفسیل شامل الگوی بایمدال پوسته‌ها و سایش و خردشدگی آنها، مؤید نقش غالب عمل مداوم امواج در تشکیل آنها است. فقدان پوشش زیستی نشان می‌دهد که این افق بلافاصله بعد از نهشته شدن پوشیده شده است. همراهی پوسته‌های ساییده و شکسته شده با پوسته‌های سالم حاکی از حمل و نقل مکرر به وسیله امواج در این افقها می‌باشد. فابریک زیستی دانه

۱۰- winnowing

۱۱- reorientation

۱۲- foreshore

۱۳- nearshore

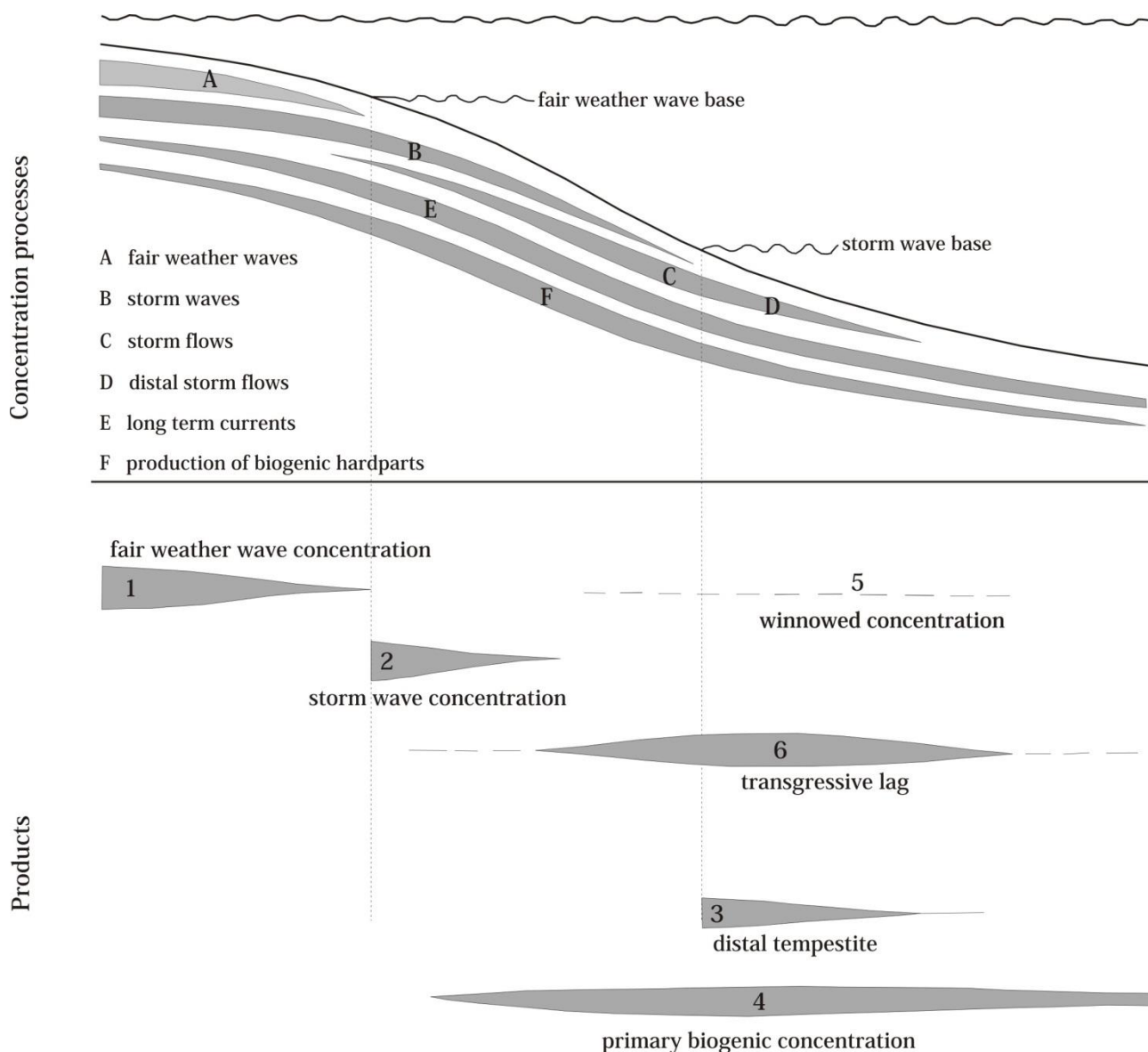
۱۴- articulated

۱۵- random orientation

7- disarticulation

8- convex-up

9- disarticulated

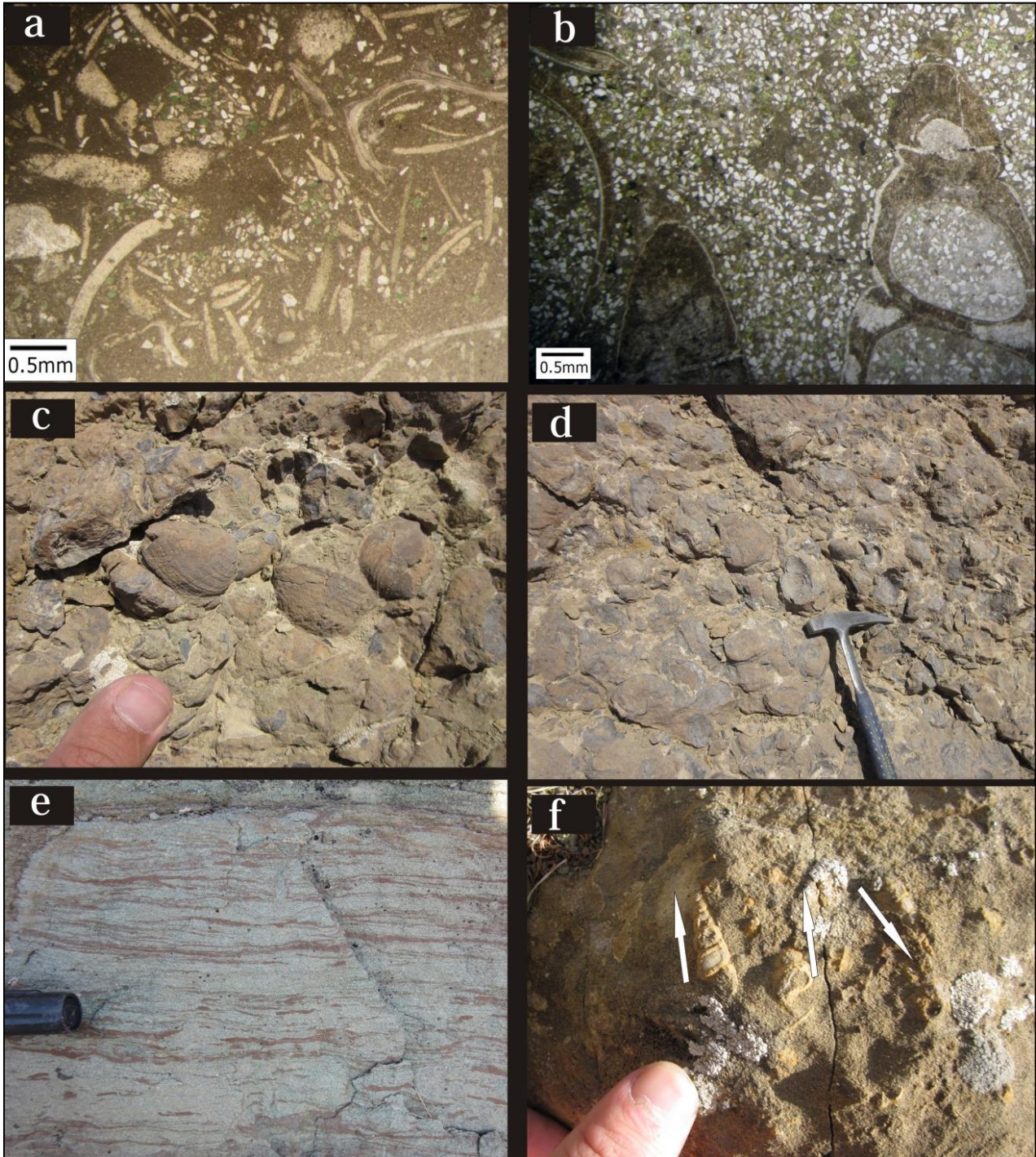


شکل ۲: انواع مختلف افقهای پرفسیل سازند آیتامیر در تاق‌دیس امیرآباد

قابل تمایز هستند. نوسانات امواج طوفانی در محدوده بین موجسار طوفانی و آرام موجب می‌شود که حمل مجدد و دفن نهایی پوسته‌ها سریع باشد و حفظ شدگی بهتری را نشان دهند (شکل ۲).

نوع ۳ (distal tempestite) یا C distal storm flow
توصیف: این افق پرفسیل آرایش غیرمتراکم (مادستون و کستون/فلوتستون)، سطح قاعده‌ای مشخص و یا فرسایشی دارد و به واسطه دانه‌بندی تدریجی مشخص، جورشدگی

عمل امواج تأثیر کمی بر روی فرآیند تشکیل این نوع افقها گذاشته‌اند. علاوه بر این وجود پوسته‌های مفصل‌دار پیشنهاد می‌کند که بعضی از دوکفه‌ایها هنگام حمل و نقل هنوز زنده بوده‌اند. با کاهش سرعت جریان، پوسته‌ها با رسوبات پوشیده می‌شوند. نبود پوشش زیستی و بورینگ نشان می‌دهد که زمان باقی ماندن پوسته‌ها در کف حوضه احتمالاً خیلی کوتاه است. این افق پرفسیل به وسیله حفظ شدگی بهتر عناصر اسکلتی از افقهای پرفسیل نوع اول



شکل ۳: افق پرفسیل نوع ۱ (a-b): فراوانی ذرات آواری و فابریک دانه پشتیبیان را نشان می‌دهد. (c-d) شکستگی و سایش فراوان. (e) لایه‌بندی عدسی شکل، موجی و فلاسر، (f) جهت‌یابی بایمدال گاستروپودها

ولی به طور غالب پوسته‌ها در این نوع افق دارای آرایش اتفاقی هستند. از دیگر ویژگی‌های مهم این نوع افقهای پرفسیل شکستگی کم در پوسته‌ها، سایش کم و نبود فرسایش زیستی و پوشش زیستی بر روی آنهاست.

بسیار خوب، نازک بودن لایه و اندازه کوچک اجزای تشکیل دهنده از دیگر افق‌های پرفسیل تشخیص داده می‌شود (شکلهای ۴c تا f). غالب پوسته‌ها بدون مفصل و در بعضی موارد آرایش آنها به صورت محدب رو به بالا است،

آشفستگی زیستی معمولاً به سمت بخشهای بالایی این افق پرفسیل افزایش پیدا می کند.

تفسیر: آرایش محدب روبه بالای پوسته ها نتیجه جریانهای طوفانی و جریانهای تک جهتی یا دوجتهی بلند مدت است. حفظ شدگی خوب پوسته ها، نهشته شدن به وسیله فرآیندهای کوتاه مدت و به احتمال زیاد جریانهای طوفانی را نشان می دهد. شواهد زیر، دیدگاه مبنی بر درجازه بودن پوسته ها را رد کرده و منشأ طوفانی بودن این افقهای پرفسیل را تأیید می کند:

۱- داشتن دانه بندی تدریجی.

۲- سطح قاعده ای مشخص افقهای پرفسیل که فرسایش قبل از نهشته شدن لایه بالایی را نشان می دهد.

۳- جهت یابی اتفاقی که اشاره به ته نشینی سریع به وسیله فرآیندهای طوفانی دارد؛ اگرچه در بعضی موارد پوسته ها جهت یابی محدب روبه بالا را نشان می دهند.

۴- افزایش زیست آشفستگی به سمت بخش های بالایی افقها که نهشته شدن سریع به وسیله فرآیندهای طوفانی را نشان می دهد، به طوری که به سمت بخش های بالایی نرخ نهشته شدن کم می شود و فونای کفزی افزایش چشمگیری پیدا می کنند. این ویژگی معمولاً در نهشته های طوفانی عهد حاضر (Nelson, 1982) و رسوبات دیرینه (Hunter & Clifton, 1982) مشاهده شده است.

در حوضه های رسوبی به طور معمول با افزایش عمق آب تأثیر فرآیندهای طوفانی کم می شود. چنین ویژگی در محیطهای دریایی حاشیه ساحلی و دور از ساحل که دارای نوسانات موجسار هوای طوفانی و آرام هستند، بیشتر دیده می شود (Aigner, 1982)، به طوری که کاهش ضخامت لایه و اندازه دانه ها در افقهای پرفسیل نوع سوم می تواند نتیجه کاهش سطح انرژی بوده و به عنوان کاهش تأثیرات طوفان تفسیر می شود. بر این اساس، این نوع افقهای پرفسیل در محیطهای پایینی دور از ساحل زیر موجسار هوای

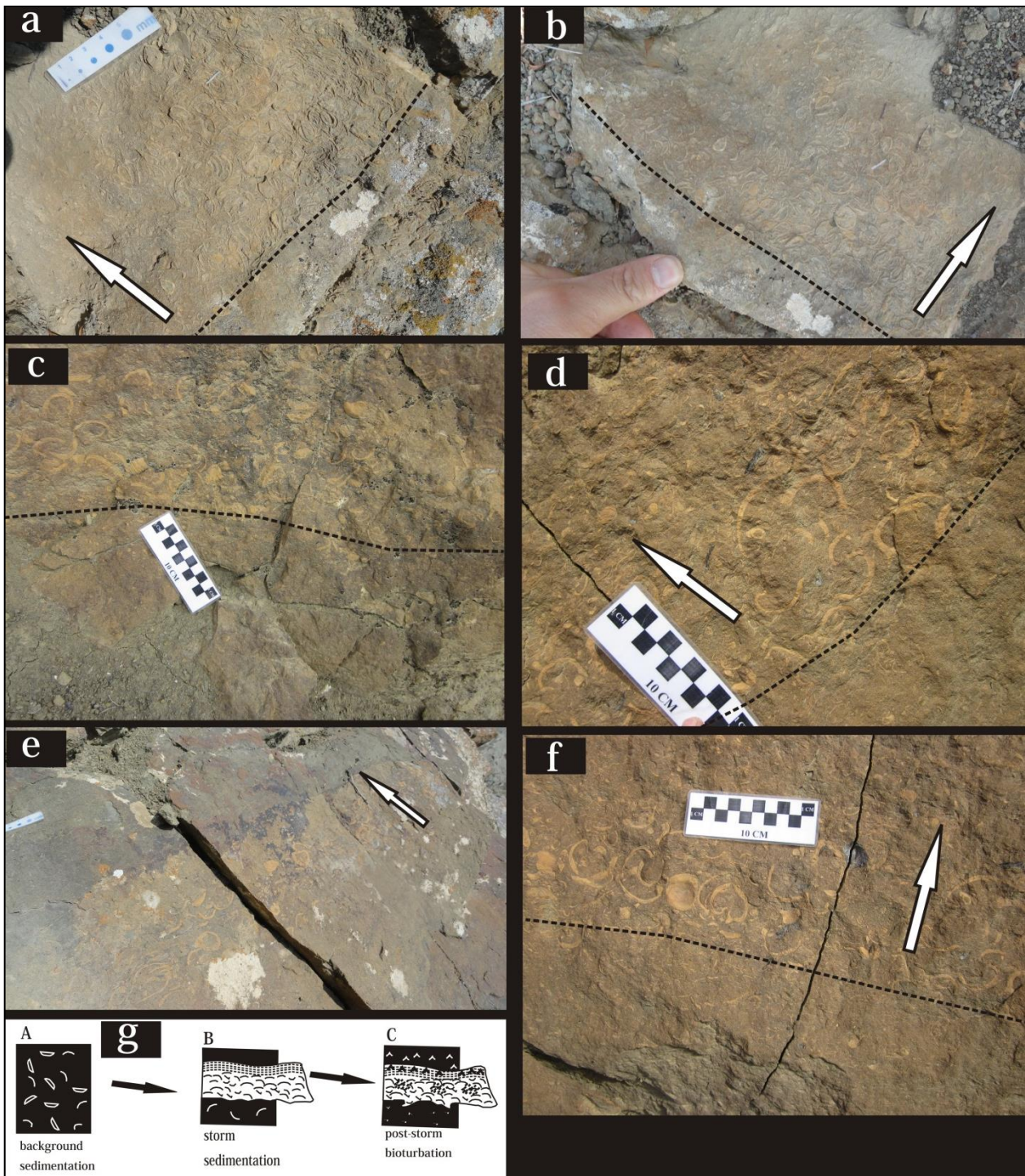
طوفانی تشکیل شده اند (شکل ۲). در این محدوده، نوسانات موجسار هوای طوفانی خیلی کم و به صورت دوره ای دیده می شود. با توجه به محیط تشکیل این نوع افقها، توالی مطلوب حوادث آنها را می توان به صورت زیر بازسازی کرد (شکل ۴g).

الف) رسوب گذاری زمینه^{۱۶} در زیر عمق اثر امواج اتفاق می افتد. بستر نرم به وسیله تجمعی از دو کفه ایهای سطحی و درونزی پوشیده می شود. این مرحله دارای بازه زمانی گسترده تری می باشد.

ب) در طی طوفان با بازه زمانی کوتاه، قسمتهای نرم بستر فرسایش یافته و افقهای پرفسیل به صورت پکستون و گرینستون در می آیند. کاهش شدت طوفان به نهشته شدن دانه های ریز و دانه بندی تدریجی پوسته ها منجر می شود. بعد از طوفان، دانه های ریز آواری یا کرناته از حالت معلق نهشته می شوند.

پ) زیستاران با تجمع دوباره به زیست آشفستگی افقهای پرفسیل منجر می شوند، به طوری که به سمت قسمتهای پایینی از شدت آن کاسته می شود و غالباً خصوصیات اولیه تجمعات فسیلی را تغییر می دهد.

نوع ۴ (primary biogenic C) یا Polyspecific concentrations
توصیف: این نوع افق پرفسیل بایوکلاست تا ماتریکس پشتیبان است (مادستون تا و کستون/فلوتستون). در این نوع افقها جورشدگی پوسته ها کم و آرایش پوسته ها به طور غالب اتفاقی می باشد (شکل ۵a). پوسته ها در این نوع افق تنوع گونه ای زیادی را نشان می دهند (شکل ۵a تا d) و پوسته ها عموماً مفصل دار هستند، ولی پوسته های بدون مفصل نیز در آن مشاهده می گردد (شکل ۵b و c). نشانه های سایش و فرسایش زیستی بر روی پوسته های اسکلتی بسیار جزئی است. با این وجود پوشش زیستی متداول است. بعضی پوسته ها ممکن است الگوی رشد اولیه خود را حفظ



شکل ۴: (a-b) افق پرفسیل نوع ۲ را نشان می‌دهند و مفصل‌دار بودن پوسته‌ها و سطح قاعده‌ای مشخص را می‌توان در این شکلها مشاهده نمود (پیکان بالای طبقه را نشان می‌دهد). (c-f) افق پرفسیل نوع ۳ را نشان می‌دهند که سطح قاعده‌ای مشخص و دانه‌بندی تدریجی عادی دارند. (g) توالی مطلوب حوادثی که به تشکیل این افق پرفسیل منجر می‌شود را نشان می‌دهد.

پرفسیل از فراوانی کمی برخوردارند. یکی از ویژگیهای مهم این نوع افق در نهشته‌های سازند آیتامیر گسترش جانبی زیاد آنها می‌باشد. این ویژگی ممکن است به دلیل رشد

کرده باشند (شکل ۵b). همچنین گاهگاهی پوسته‌های شکسته شده در آن مشاهده می‌شود. این افق پرفسیل فاقد مرز مشخص است. در سازند آیتامیر این نوع افقهای

گروهی گونه‌ها باشد.

تفسیر: تنوع گونه‌ای زیاد، شکستگی کم و حفظ شدن تعداد زیادی از دوکفه‌ایهای مفصل دار، پیشنهاد می‌کند که بعد از نهشته شدن این افق، آشفستگی در محیط رخ نداده است. تشکیل این نوع افقها، وابسته به تولیدات آلی بالا همچنین عدم تأثیر فرآیندهای امواج و جریان است، زیرا تشکیل این نوع افقها در محیطهای کم انرژی بدون تأثیر نوسانات هوای موجسار و جریانات صورت می‌گیرد (شکل ۲). بنابراین این نوع افق پرفسیل معمولاً در محیطهای شلف میانی یا لاگون معمول است، اما به این معنا نیست که به این محیطها محدود می‌شود. برای مثال دفن سریع پوسته‌ها به وسیله رسوبات ناشی از طوفان، می‌تواند باعث حفظ این نوع افق پرفسیل شود، حتی در محیطهایی که انرژی نسبتاً بالاست. شکسته شدن پوسته‌ها فقط نتیجه فرآیندهای فیزیکی نیست، بلکه به وسیله زیستاران حفر نیز انجام می‌گیرد. جهت یابی اتفاقی پوسته‌های مفصل دار به وسیله آشفستگی زیستی توضیح داده می‌شود. جهت یابی پوسته‌ها در این افق به صورت محدب رو به پایین، عمودی و مایل است که حاکی از آرایش اتفاقی است. Salazar-Jimenez et al (1982) ثابت کردند که پوسته‌های مفصل دار با جهت یابی محدب رو به پایین^{۱۷}، عمودی و مایل در نتیجه افزایش آشفستگی زیستی ایجاد می‌شوند. حضور پوسته‌های مفصل دار با آرایش اتفاقی پیشنهاد می‌کند که این نوع افق پرفسیل به طور یقین برجازا^{۱۸} هستند. بررسی ویژگیهای این نوع افقها با استفاده از فابریک زیستی و نشانه‌های تافونومیک، نشان می‌دهد که تجمع پوسته‌ها در آن زیست زادی است. بنابراین از نوع افقهای پرفسیل biogenic C بوده و نتیجه رشد زیاد و دسته‌جمعی پوسته‌ها و یا نرخ رسوب گذاری بسیار کم

است. فابریک زیستی متعاقباً به وسیله باروینگ تغییر می‌کند.

نوع ۵ (winnowed C)

توصیف: این نوع افق پرفسیل در سیلت و رسهای سیلتی سازند آیتامیر پراکنده شده‌اند. به صورت سنگ‌فرشی^{۱۹} یا تجمعات بسیار نازک از پوسته‌ها با حفظ شدگی نسبتاً خوب دیده می‌شوند. معمولاً به صورت لایه‌های با ضخامت کمتر از ۲۰ سانتی متر شکل می‌گیرند. تقریباً تمام پوسته‌ها بدون مفصل بوده، شکستگی و سایش ناچیز و پوشش زیستی ممکن است رخ دهد (شکل ۶).

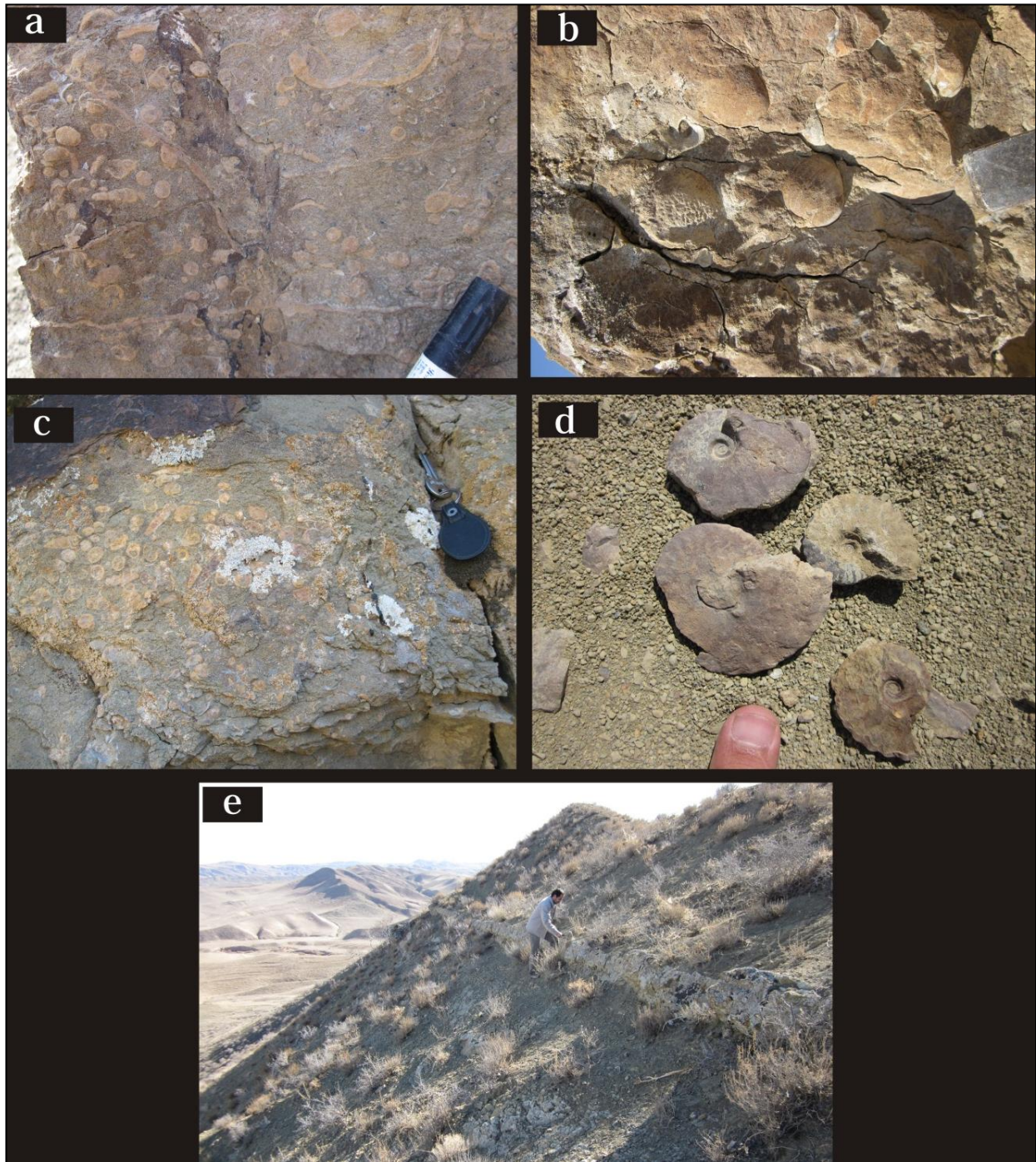
تفسیر: این افق پرفسیل می‌تواند نتیجه‌ای از امواج طوفانی دور از منشأ^{۲۰}، جریانه‌های طوفانی دور از منشأ^{۲۱} یا جریانه‌های ضعیف باشد و به وسیله غربال شدن آهسته و آرام ماتریکس دانه‌ریز به واسطه جریاناتی که قادر به حمل عناصر اسکلتی بزرگ‌تر نبوده‌اند، تشکیل می‌شود. در نتیجه حفظ شدگی پوسته‌ها بسیار بالاست. همراهی این نوع افقها با لایه‌های دانه‌ریز سیلت و رس و حفظ شدگی بالای پوسته‌های اسکلتی دلالت بر تشکیل این نوع افقها در محیطهای کم انرژی دارد که به صورت دوره‌ای در بازه زمانی کم تحت تأثیر نوسانات جریان قرار می‌گیرند (شکل ۲).

نوع ۶ (transgressive lag C)

توصیف: غالب پوسته‌ها در این نوع افق نشانه‌هایی از حمل و نقل و حمل مجدد را نشان می‌دهند (شکل ۷e). عناصر اسکلتی به شدت حفر شده^{۲۲} و دارای پوشش زیستی هستند (شکل ۷b و d). در این نوع افقها که بافت مادستون، پکستون یا گریستونی (رودستون/فلوتستون) دارند، تنوع گونه‌ها کم بوده و جورشدگی پوسته‌ها ضعیف است. با وجود این،

19- pavements
20- distal-storm waves
21- distal storm flows
22- bored

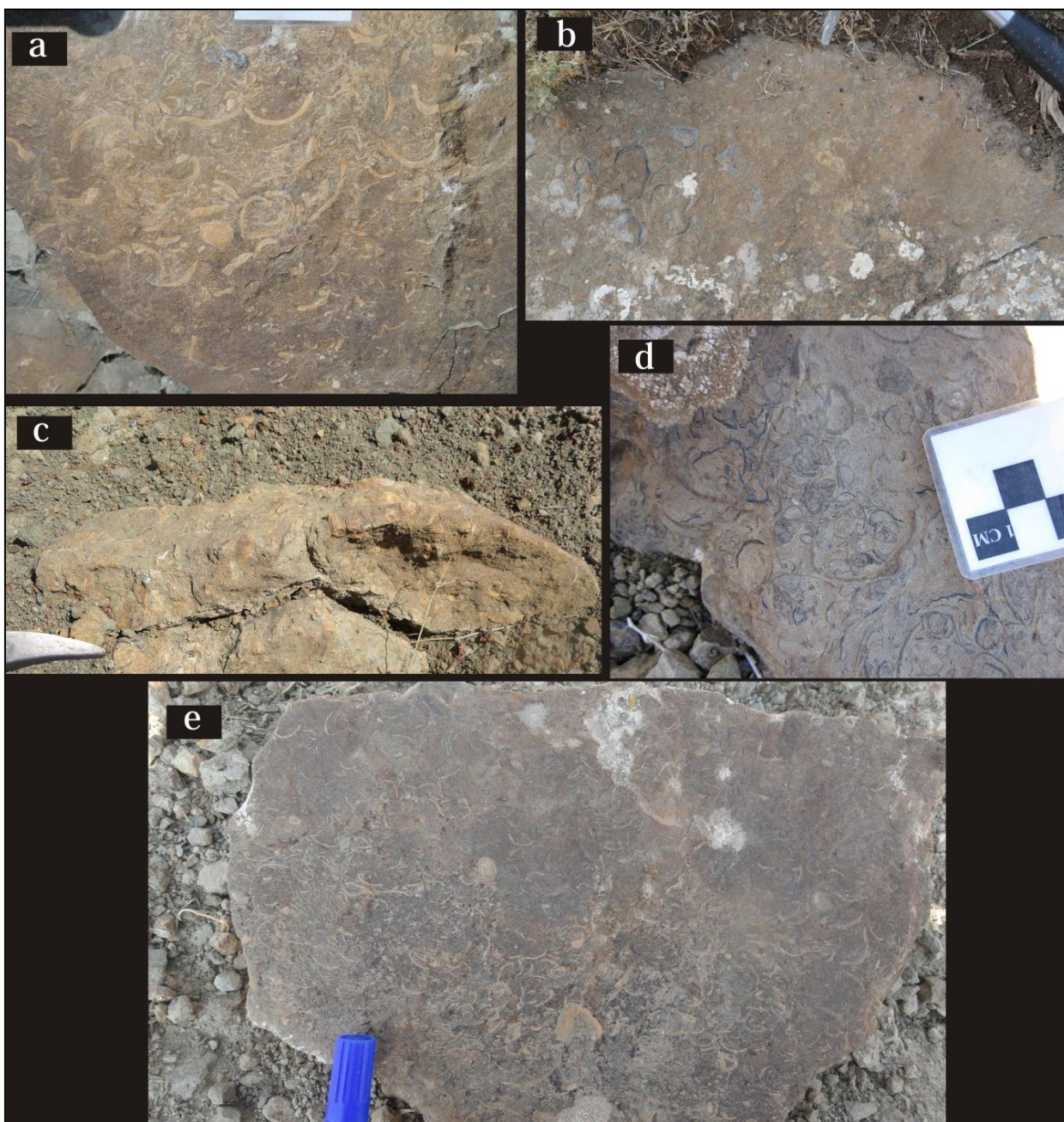
17- convex-down
18- autochthonous



شکل ۵: افق پرفسیل نوع ۴: a و c) جورشدگی کم و آرایش اتفاقی پوسته‌ها را می‌توان مشاهده نمود. b) اویسترها را نشان می‌دهد که به صورت الگوی رشد اولیه خود حفظ شده‌اند. d) فسیلهای آمونیت. E) گسترش جانبی زیاد این نوع افق پرفسیل را نشان می‌دهد.

عناصر اسکلتی اغلب نشانه‌های تافونومیکی خیلی مختلفی دارند و پوسته‌های با منشأ تافونومیکی مختلف به وسیله حمل درجا^{۳۳} با هم مخلوط شده‌اند.

سایش در پوسته‌ها به صورت گسترده مشاهده می‌شود. بیشتر پوسته‌ها بدون مفصل و به صورت اتفاقی یا افقی آرایش یافته‌اند. شکستگی از کم تا زیاد متغیر بوده، پوشش زیستی و فرسایش زیستی نیز تغییراتی از کم تا زیاد را نشان می‌دهند. حفظ‌شدگی پوسته‌ها متوسط تا ضعیف است.

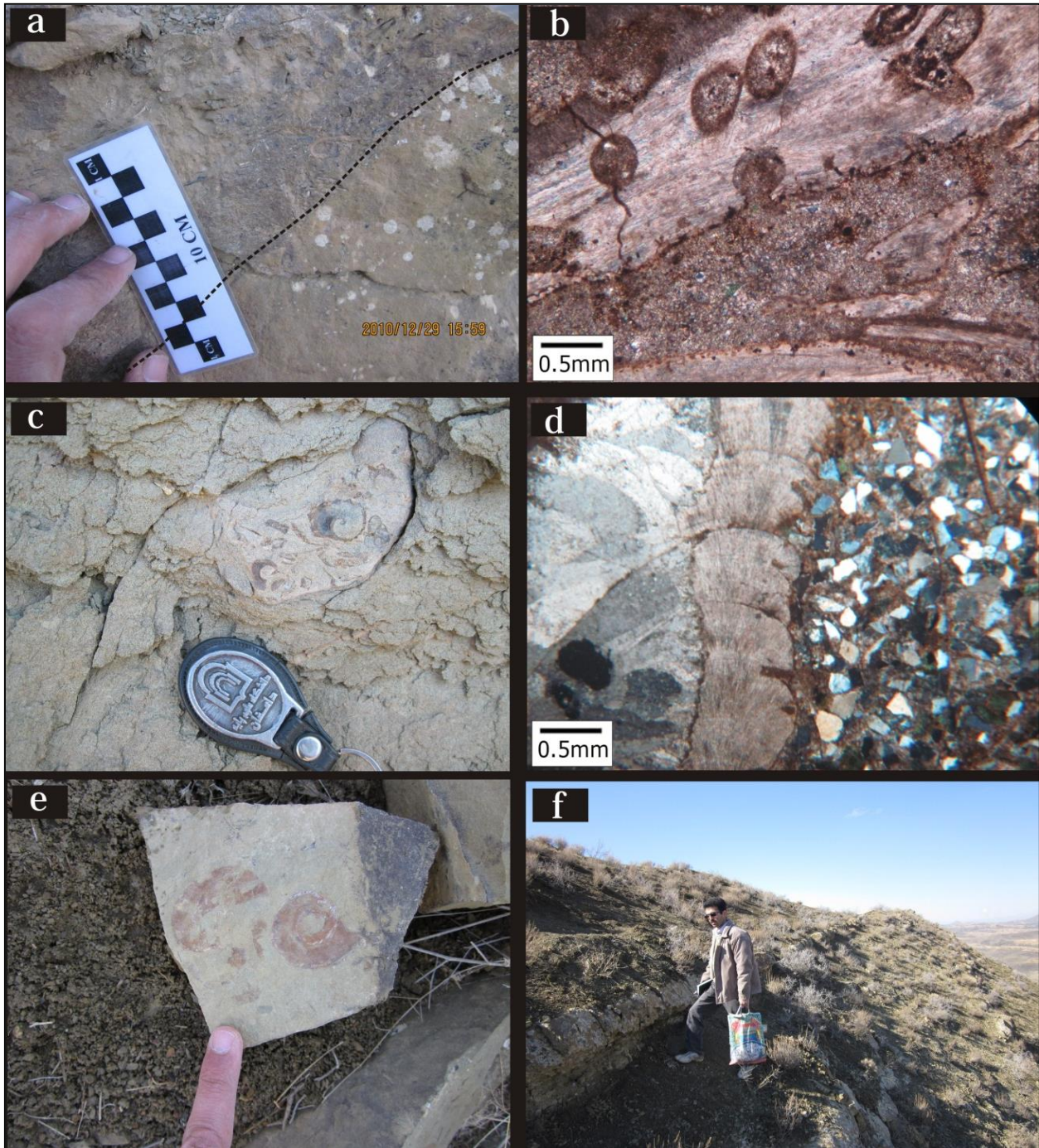


شکل ۶: افق پرفسیل نوع ۵: a, b, d, e) حفظ‌شدگی خوب و منفصل شدن بودن پوسته‌ها را نشان می‌دهند. c) ضخامت کم و گسترش آن میان سیلت و رسها را می‌توان مشاهده نمود.

شکستگی را می‌توان جهت محاسبه نرخ رسوب گذاری به کار برد. پوشش زیستی و بورینگ فراوان پوسته‌ها اشاره به این دارد که پوسته‌ها مدت زمان زیادی در کف حوضه بوده‌اند و این بدین معناست که یا نرخ رسوب گذاری کم بوده است و یا این که چندین بار از رسوب خارج شده‌اند^{۲۴}

تفسیر: در این نوع افق پرفسیل زمان عامل بسیار مهمی است. بر طبق نظر Kidwell (1991)، این افق پرفسیل متحمل چندین مرحله حمل مجدد و فرسایش شده است. پوسته‌ها بزرگ و ضخیم هستند، زیرا پوسته‌های کوچک و نازک به وسیله فرسایش زیستی یا فرسایش شیمیایی از بین رفته‌اند. وجود پوشش زیستی، بورینگ و همچنین

24- repeated exhumation



شکل ۷: افق پرفسیل نوع ۶: (a) سطح قاعده‌ای مشخص، (b) حفر زیستی پوسته‌ای، (c) قطعه کنده شده رسوبات زیرین طی پیش‌روی سطح نسبی آب دریا، (d) پوشش زیستی به وسیله جلبک قرمز، (e) آمونیت‌های شکسته شده، (f) گسترش جانبی زیاد این نوع افق پرفسیل را می‌توان در این شکل مشاهده نمود.

کلی، سه عامل خیلی مهم در تشکیل افق‌های پرفسیل، فرآیندهای زیستی، فیزیکوشیمیایی و زمان است، ولی زمان نقش اساسی را در تشکیل افق‌های پرفسیل بازی می‌کند. توالی مطلوب حوادث این نوع افق‌ها را می‌توان به صورت زیر بازسازی کرد:

و فرصت را برای فعالیت زیستی موجودات فراهم کرده‌اند. حفظ شدگی ضعیف غالب پوسته‌ها حاکی از حمل مداوم این نوع پوسته‌ها است. این شواهد نشان می‌دهد که این افق‌های پرفسیل حمل و نقل طولانی مدت به وسیله جریان‌های روی شلف را متحمل شده‌اند (شکل ۲). به طور

الف) رشد زیاد و دسته جمعی پوسته‌ها با نرخ رسوب گذاری، میزان جابه‌جایی و انرژی کم محیط. بستر نرم به وسیله تجمعی از دوکفه‌ای‌های سطح‌زی و درون‌زی پوشیده می‌شود.

ب) انتقال پوسته‌های اسکلتی در فواصل حمل طولانی همراه با بالا آمدن سطح آب دریا و افزایش انرژی حوضه. پ) ته‌نشینی پوسته‌های اسکلتی با کاهش انرژی جریان.

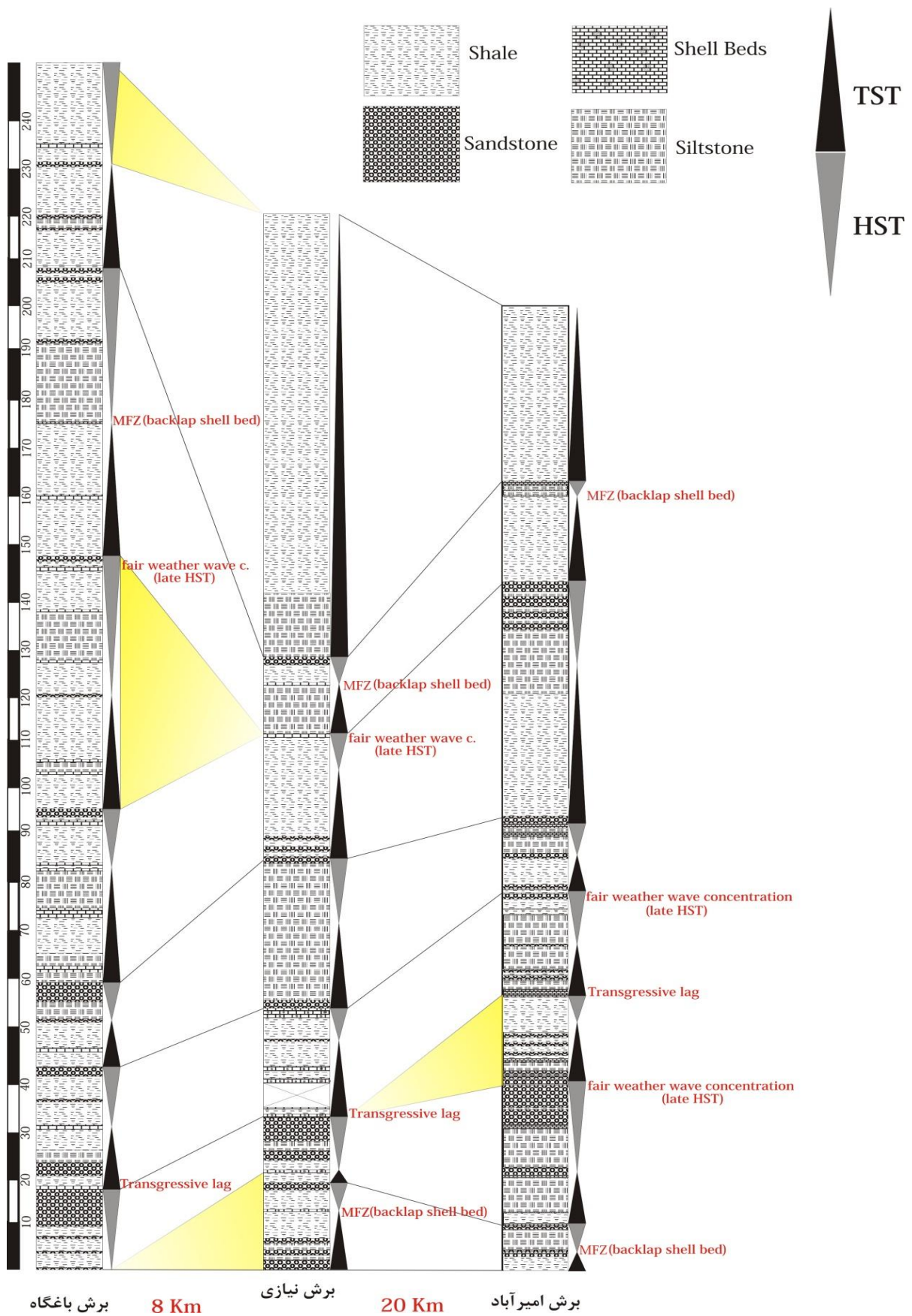
نقش دیاژنز

تراکم زیاد پوسته‌ها می‌تواند ناشی از تولید زیاد پوسته‌ها و نرخ پایین رسوب گذاری باشد. ترکیب این دو عامل این امکان را که افق‌های پرفسیل در مدت زمان کوتاهی تشکیل می‌شوند (البته در مقیاس زمین‌شناسی)، معمولاً ۱۰ تا ۱۰۰ سال و در بعضی موارد احتمالاً تا ۱۰۰۰ سال، را ممکن می‌سازد (Fürsich et al., 2009). در بررسی افق‌های پرفسیل نهشته‌های سازند آیتامیر مشخص شد که در بیشتر موارد تراکم پوسته‌های اسکلتی زیاد است. بر اساس انواع افق‌های پرفسیل و طرح برانبارش آنها در محیط رسوبی سازند آیتامیر (شکل ۸) پیشنهاد می‌گردد که در نهشته‌های رسوبی این سازند و بسترهای زیستی موجود در محیط‌های دور از ساحل تا نزدیک به ساحل سازند آیتامیر، میزان تولید پوسته بیشتر از میزان تخریب آن به وسیله فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی است به طوری که در بیشتر موارد افق‌های پرفسیل می‌توانند لایه‌های ضخیمی را تشکیل دهند (شکل ۹a). به طور کلی افق‌های پرفسیل شرایطی که میزان تأمین پوسته به طور قابل توجهی از تخریب آنها بیشتر است را منعکس می‌کنند (Fürsich & Oschmann, 1993). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که در افق‌های حاوی پوسته‌های فسیلی با تراکم بالا در نهشته‌های سازند آیتامیر، تأثیر فرآیندهای دیاژنز به ویژه دیاژنز مخرب کم بوده است.

گاهی فقدان عناصر اسکلتی در برخی از نقاط برشهای مورد مطالعه، احتمالاً به واسطه تولید کم پوسته‌ها نیست، بلکه به احتمال زیاد نتیجه انحلال همزمان با رسوب گذاری یا انحلال طی مراحل اولیه دیاژنز است که این مورد در نهشته‌های مورد مطالعه به میزان کمتری مشاهده می‌شود. این فرضیه به وسیله حضور اثر فسیلها و شواهد زیست‌آشفته‌گی حمایت می‌شود که ثابت می‌کند شرایط کف دریا برای زیست مساعد بوده است. در افق‌های پرفسیل با تراکم کم^{۲۵}، در مواردی که فرآیند انحلال به طور قابل ملاحظه‌ای صورت گرفته است، آبهای درون حفره‌ای از کربنات کلسیم اشباع شده‌اند. چنین آبهای غنی از کربنات کلسیمی، می‌توانند به سطوحی با تراکم اولیه زیاد مهاجرت کرده و موجب انحلال عناصر اسکلتی و پرشدن آنها با سیمانهای کلسیتی شوند. به نظر می‌رسد یکی از مهمترین اثرات دیاژنز در افق‌های پرفسیل سازند آیتامیر احتمالاً انحلال دیاژنتیکی عناصر اسکلتی آراگونیتی باشد، به طوری که چنین انحلالی به طور قابل توجهی تنوع گونه‌ها را در این سازند کاهش داده و فرآیندهای تجمع را به وسیله از بین بردن بسیاری از این عناصر بی اثر کرده است (شکل ۹b). بنابراین در سازند آیتامیر دیاژنز به طور قابل توجهی نقش منفی را در تشکیل افق‌های پرفسیل بازی کرده است.

چینه‌نگاری سکansı و انواع مختلف افق‌های پرفسیل مرتبط با آن در سازند آیتامیر

دسته رخساره‌ها به مجموعه‌ای از رسوبات که در شرایط یکسان (از نظر تغییرات سطح آب دریا) و به طور همزمان و مرتبط تشکیل می‌شوند، اطلاق می‌گردد (Brown & Fisher, 1997). در چینه‌نگاری سکansı سیستم تراکتها بر اساس سطوح لایه‌بندی، موقعیت آنها بر روی منحنی



شکل ۸: آنالیز چینه‌نگاری سکansı سازند آیتامیر در تاق‌دیس امیرآباد

تغییرات سطح آب دریا و طرح برانبارش^{۲۶} و پاراسکانسهای سازنده تقسیم‌بندی می‌گردد (Van Wagoner et al., 1990). هر سکانس از چهار دسته رخساره تشکیل شده است که نمایش دهنده قسمت خاصی از تغییر چرخه‌ای در توازن بین رسوب‌گذاری و تأمین رسوب است. شرایط مختلف ممکن است باعث شود تا یک یا چند دسته رخساره تشکیل نشده یا حفظ نگردد. در این مطالعه چرخه‌هایی که مطابق با سیستم تراکت پیش‌رونده (TST) و سیستم تراکت تراز بالا (HST) هستند، تشخیص داده شده است، ولی رسوبات سیستم تراکت تراز پایین (LST) تشخیص داده نشده و مرز سکانس منطبق با سطح پیش‌روی^{۲۷} است. مدل چینه‌نگاری سکانسی سازند آیتامیر بر پایه شناسایی سطوح چینه‌ای کلیدی، جابه‌جایی رخساره‌ها و طرح برانبارش رخساره‌ها در مطالعات دقیق صحرایی تفسیر شده است. سکانسهای تشکیل دهنده انواعی از رخساره‌ها و سطوح فرسایشی را نشان می‌دهند که می‌توانند به آسانی در رخنمون‌ها شناسایی شوند. مجموعه رخساره‌ها و طرح برانبارش پاراسکانسها در سازند آیتامیر به شناسایی ۷ سکانس رسوبی رده سوم منجر شده است (شکل ۹c,d,e). هر سکانس به وسیله محیطها و رخساره‌های رسوبی مختلفی مشخص می‌شود که شامل چندین چرخه پیش‌رونده - پس‌رونده کوچک مقیاس است. در منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های سیستم تراکت تراز پایین از این رو مشاهده نشده است که محیط رسوبی این سازند از بخش بالایی حاشیه ساحلی تا دور از ساحل و شلف است. در قسمتهای میانی حوضه، دوره‌های تراز پایین سطح آب دریا به وسیله سطوح فرسایشی که مرز سکانسی و رخنمون جوی را نشان می‌دهند، مشخص می‌شود.

ایکونوفاسیس گلوئی فانجیتس که عموماً نشان‌دهنده مرز سکانسی پیش‌رونده است (MacEachern et al., 1992; Pemberton & MacEachern, 1995)، در نهشته‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده سطح فر کند^{۲۸} نیز می‌باشد (شکل ۹f).

سطح فر کند به واسطه عمل فرسایشی امواج در بخش بالایی حاشیه ساحلی طی مرحله فرسایشی پس‌روی رخساره‌ها^{۲۹} ایجاد می‌شود. در این چرخه‌ها رخساره‌های دور از ساحل و شلف نشان دهنده پیش‌روی است، در حالی که رخساره‌های حاشیه ساحلی - پیش ساحل^{۳۰}، پس‌روی را نشان می‌دهند. با افزایش فضای رسوب‌گذاری طی بالا آمدن سطح نسبی آب دریا، تأمین رسوب به حوضه کم شده و به نهشته‌شدن مجموعه رخساره‌های ریزشونده (عمیق شونده) به بالا منجر می‌شود که به صورت الگوی روه‌مپوشان^{۳۱} بر روی مرز سکانسی قرار می‌گیرند. در بین سکانسهای سازند آیتامیر، مجموعه رخساره‌های عمیق شونده به بالا گذر تدریجی رخساره‌ها را نشان می‌دهند، ولی هنگامی که مجموعه رخساره‌های شاخص عمیق شونده به بالا به وسیله نهشته شدن لگهای قاعده‌ای (یا ایکونوفاسیس گلوئی فانجیتس) شروع می‌شود، فرسایش جزئی را نشان می‌دهند که در آن نهشته‌های درشت دانه بخش پایینی حاشیه ساحل/بخش بالایی دور از ساحل به سمت بالا به ماسه‌سنگهای بخش پایینی دور از ساحل و سپس به نهشته‌های دانه ریز شلف تبدیل می‌شود (سطح حداکثر غرقابی).

تغییر طرح برانبارش رخساره‌ها از عمیق شونده بالا به کم عمق شونده، معمولاً به عنوان زمان حداکثر پیش‌روی شلف (MFS) تفسیر شده است. تبدیل سیستم تراکت

28- ravinement surface

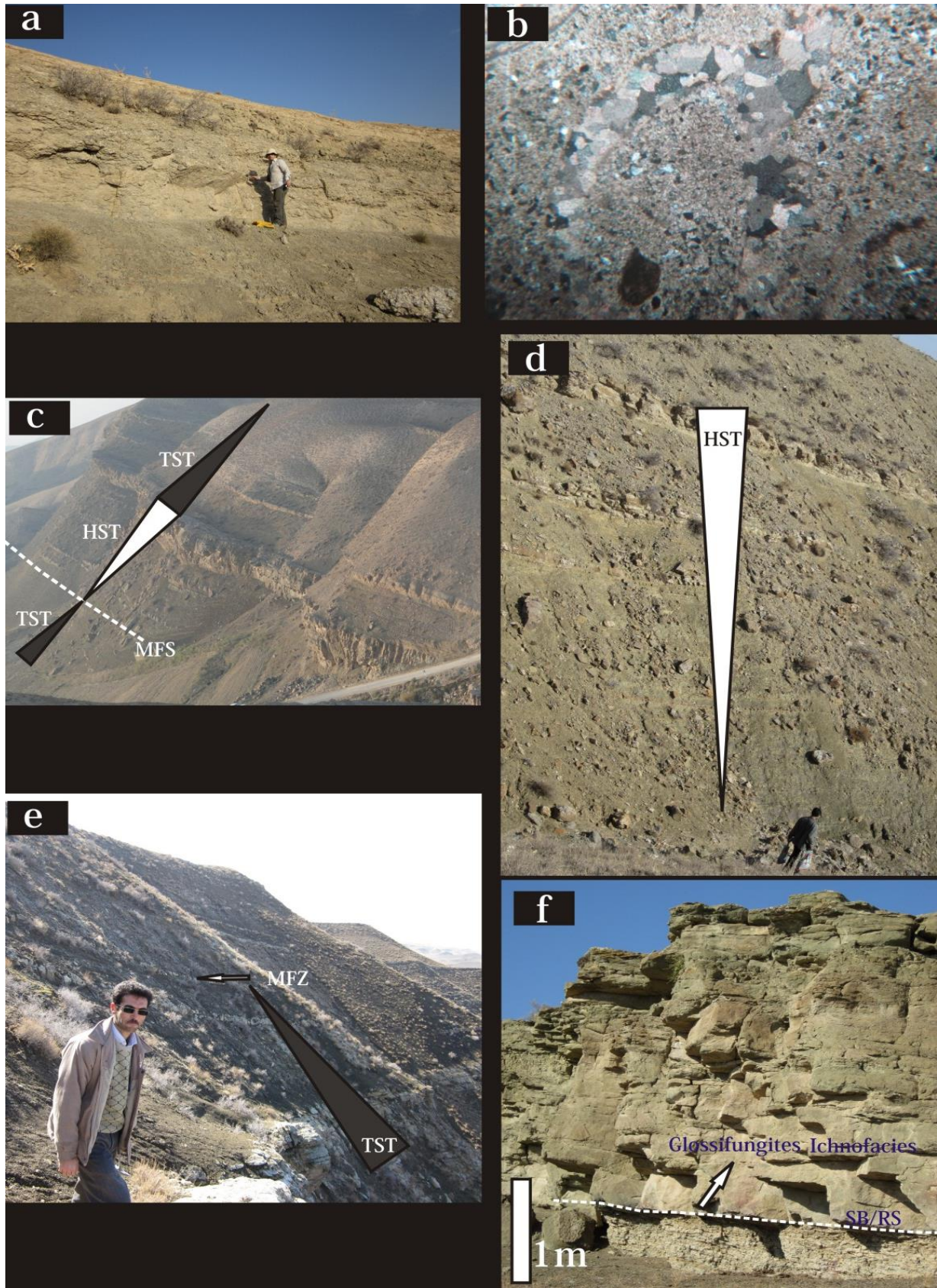
29- retrograde

30- shoreface-foreshore

۳۱- onlap

26- Stacking Pattern

27- Transgressive surface



شکل ۹: (a) افق پرفسیل ضخیم لایه، (b) انحلال عناصر اسکلتی، (c) تصویر صحرایی برش امیرآباد که دسته رخساره‌ها را نشان می‌دهد. (d) دسته رخساره HST در برش امیرآباد، (e) دسته رخساره TST در برش نیازی که در بالا به پهنه حداکثر غرقابی (افق پرفسیل نوع ۴) ختم می‌شود. (f) ایکنوفاسیس گلوسی‌فانجیتس در برش امیرآباد که نشان دهنده سطح پیش‌روی و مرز سکانسی است.

پیش رونده به سیستم تراکت تراز بالا (تبدیل طرح برانبارش پس رونده به پیش رونده رخساره‌ها)، جایی که سطح حداکثر غرقابی رخ می‌دهد، در سازند آیتامیر به وسیله افق‌های پرفسیل و گلاکونیت‌های برج‌آزا مشخص می‌شود. زمانی که نرخ بالا آمدن سطح نسبی آب دریا کم شود، سیستم تراکت تراز بالا تشکیل می‌شود. فضای رسوب‌گذاری پس از این حالت کمتر از میزان تأمین رسوب شده و در نتیجه رخساره‌ها به سمت حوضه پیش روی می‌کنند. رخساره‌های این سیستم تراکت در سازند آیتامیر، طرح برانبارش درشت‌شونده به بالا (کم عمق شونده) دارند که رخساره‌های بخش پایینی حاشیه ساحل آن به رخساره‌های بخش بالایی حاشیه ساحل و پیش ساحل^{۳۲} تبدیل می‌شوند. به دلیل این که تبدیل عمودی رخساره‌ها در این چرخه‌ها در نهشته‌های مورد مطالعه به یکدیگر تدریجی است، این چرخه‌ها با پیش روی خط ساحلی در طی تراز بالا^{۳۳} نسبت به پس روی سریع^{۳۴} تطابق بیشتری دارد (Plint & Nummedal, 2000).

قبل از پرداختن به موضوع ارتباط انواع مختلف افق‌های پرفسیل با چینه‌نگاری سکانسی لازم به ذکر است افق‌های پرفسیل به تنهایی نمی‌توانند سطوح چینه‌نگاری سکانسی را تعیین کنند، بلکه ممکن است مشخص کننده مرز پاراسکانسها باشند. بنابراین برای ارتباط بین آنها لازم است از دیگر شواهد رسوب‌شناسی و موقعیت آنها در ستون چینه‌شناسی استفاده شود. در ضمن افق‌های پرفسیل نوع ۲ (Storm wave C) و ۳ (Distal tempestite) مستقل از چینه‌نگاری سکانسی هستند. در زیر، به طور نمونه به توصیف افق‌های پرفسیلی که با چینه‌نگاری سکانسی مرتبط هستند پرداخته می‌شود.

Early TST: افق‌های پرفسیل نشان‌دهنده مرحله Early TST دارای ضخامت متغییر از ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و با امتداد جانبی گسترده به صورت کنگلومرایبی، بدون چینه‌بندی، آرایش متراکم تا سست، جورشدگی ضعیف و دانه‌بندی تدریجی عادی دیده می‌شوند. بیشتر پوسته‌ها شکسته شده و بدون مفصل هستند. سایش متداول است و آرایش پوسته‌ها اتفاقی^{۳۵} است. بورینگ و پوشش زیستی به ندرت یافت می‌شود. این افق پرفسیل به وسیله تنوع کم فوناها توصیف می‌شوند و پوسته‌ها آرایش محدب رو به بالا دارند. پوسته‌ها حمل و نقل محلی را متحمل شده‌اند و می‌توان آن‌ها را نابرجا^{۳۶} نامید. مرز زیرین این افق‌های پرفسیل مشخص، تراکم پوسته‌ها زیاد و فابریک غالب به صورت بایو کلاست پشتیبان است، ولی قسمت‌های بالایی آن مرز تدریجی، تراکم پوسته‌ها کم و ماتریکس پشتیبان هستند. شکل ۱۰a این افق پرفسیل را نشان می‌دهد که به طور فراوان از اویستر تشکیل شده است و دقیقاً بالای سطح فرکند (RS) قرار دارد. بر اساس طبقه‌بندی Fürsich & Oschmann (1993)، این نوع افق پرفسیل جزو لگهای پیش‌رونده^{۳۷} است. رخساره‌های همراه این نوع افق پرفسیل به طور غالب از تناوب لایه‌های ماسه‌سنگی، ماسه‌سنگ سیلتی، سیلت‌سنگ، شیلی - مادستونی تشکیل شده است. لایه‌های ماسه‌سنگی در این رخساره به طور غالب توده‌ای با قاعده فرسایشی همراه با لگهای قاعده‌ای و دانه‌بندی تدریجی عادی است (شکل ۸).

تفسیر: جهت یابی اتفاقی بایو کلاستها و مخلوط شدن آنها با درجات مختلف تافونومی، تجمع ناگهانی^{۳۸} را نشان می‌دهد. به دلیل سطح قاعده‌ای فرسایشی، اندازه درشت بایو کلاستها، سایش و شکستگی زیاد، فراوانی زیاد

۳۵- chaotic

36- parautochthonous

۳۷- transgressive lag

۳۸- episodic

۳۲- upper shoreface/foreshore

۳۳- highstand

۳۴- forced regression

زیست‌آشفستگی فراوان از دیگر ویژگیهای این افق پرفسیل است. بر اساس طبقه‌بندی Fürsich & Oschmann (1993)، این دسته افقهای پرفسیل در بردارنده انواع افقهای ۴ و ۵ (توصیف شده در بخش قبل) است. رخساره‌های همراه این نوع افقهای پرفسیل به طور غالب از شیل، شیل سیلتی، سیلت‌سنگ، سیلت‌سنگ ماسه‌ای و گل‌سنگ تشکیل شده و به عبارتی بدنه اصلی این رخساره از نهشته‌های دانه‌ریز تشکیل شده است (شکل ۸).

تفسیر: نداشتن جورشدگی، حفظ‌شدگی خوب پوسته‌ها و متصل بودن آنها و همچنین حفظ شدن اویسترها در موقعیت رشد از مهمترین شاخصه‌های نبود نوسانات جریان و دفن سریع است و لذا، این افقهای پرفسیل بر جازا هستند. درصد نسبتاً بالای پوسته‌های متصل با ضخامت کم، گسترش جانبی زیاد، حفظ‌شدگی خوب پوسته‌ها و وجود بورینگ (شکل ۱۰d) پیشنهاد می‌کند که نهشته‌شدن در عمق زیاد (محیط کم انرژی) و زیر عمق موجسار هوای طوفانی (SWB) بوده و نرخ رسوب‌گذاری^{۴۲} خیلی کم، ولی نرخ تولید پوسته بالا بوده است. این نوع افقهای پرفسیل در عمیق‌ترین بخش برشهای مورد مطالعه قرار دارند. در چارچوب چینه‌نگاری سکansı، این افق احتمالاً در پهنه حداکثر غرقابی تشکیل شده و سیستم تراکت پیش‌رونده (TST) را از سیستم تراکت تراز بالا (HST) جدا می‌کند و نشان‌دهنده بیشینه عمق آب (نرخ کم ورود رسوب تخریبی به حوضه) طی پیش‌روی است. سطح بیشینه پیش‌روی (mfs) به قطع شدن تأمین رسوب آواری به قسمت‌های عمیق حوضه منجر می‌شود و لذا شرایط بدون رسوب^{۴۳} را ایجاد و باعث تشکیل افقهای فشرده (CS) می‌شود که به وسیله افقهای پرفسیل نازک لایه که با شیل از هم جدا می‌شوند، توصیف می‌شود.

پوسته‌های بدون مفصل، این افقهای پرفسیل به پیش‌روی سطح آب نسبت داده می‌شوند. خصوصیات ذکر شده نشان می‌دهد که این افقهای پرفسیل در شرایط انرژی بالا^{۳۹} نهشته شده‌اند. بر پایه شواهد ذکر شده، این افق پرفسیل را می‌توان به lag concentration نسبت داد. افقهای پرفسیل بخش پایینی سیستم تراکت تراز بالا (early TST) معمولاً به فرم لگهای قاعده‌ای^{۴۰} هستند. لگهای قاعده‌ای نازک لایه‌اند، ولی ذرات تشکیل‌دهنده آن نسبتاً درشت بوده و رسوبات کم عمق تر را با سطح فرسایشی می‌پوشانند. این نوع افق پرفسیل از طریق فرسایش حاشیه ساحل به وسیله امواج در طی پیش‌روی تشکیل می‌شود و مشخص‌کننده سطح فرکند است. در چینه‌نگاری سکansı، سطح قاعده‌ای فرسایشی مطابق با سطح پیش‌روی است و لگهای قاعده‌ای متعلق به بخش پایینی سیستم تراکت تراز بالا است. در سازند آیتامیر ۴ سطح فرکند وجود دارد که به وسیله ایکنوفاسیس گلوسی فانجیتس و افقهای پرفسیل مشخص می‌شوند. همه سطوح فرکند سازند آیتامیر در موجسار هوای آرام (FWWB) گسترش یافته‌اند. طی پیش‌روی همه شواهد نشان‌دهنده رخنمون جوی^{۴۱} از بین رفته است.

MFZ (backlap shell bed): این نوع افق پرفسیل که حدود ۲۰ سانتی‌متر ضخامت دارد، آرایش متراکم، جورشدگی ضعیف، با سطح قاعده‌ای تدریجی و گسترش جانبی زیاد دارد. بیشتر فیسلها مفصل‌دار بوده، اما پوسته‌های بدون مفصل با جهت‌یابی محدب رو به بالا و پایین نیز یافت می‌شود. درجه شکستگی و سایش پوسته‌ها خیلی کم است (شکل ۱۰e). پوشش زیستی ایجاد شده به وسیله بریوزوئرها زیاد بوده (شکل ۱۰b) و بورینگ متداول است. آرایش اتفاقی پوسته‌ها، تنوع گونه‌ای متوسط تا زیاد و

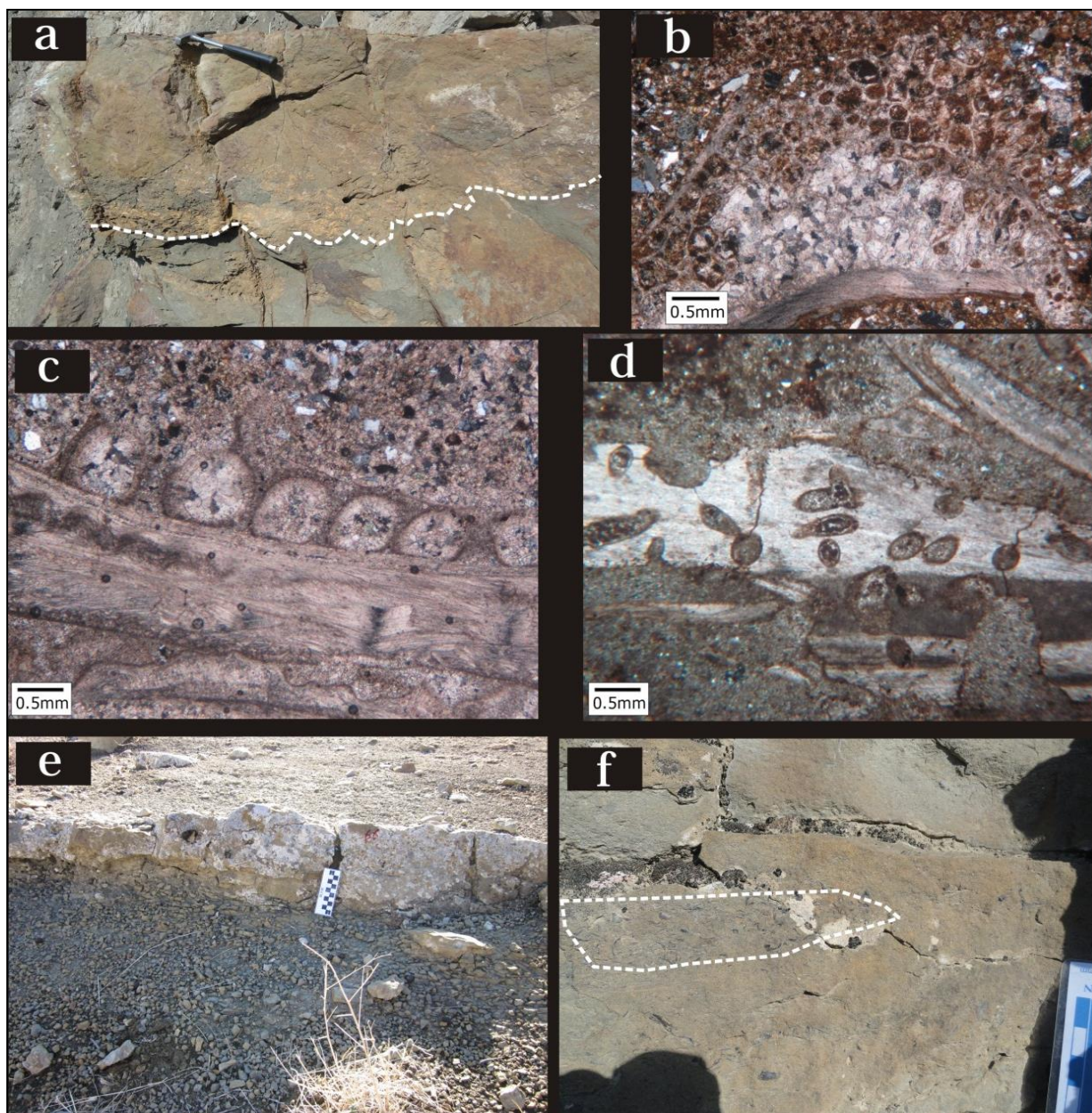
۳۹- upper shoreface

۴۰- transgressive lags

۴۱- subaerial exposure

۴۲- net sedimentation

۴۳- starvation condition



شکل ۱۰: a) افق پرفسیل Early TST که سطح قاعده‌ای فرسایشی دارد (RS). (b-e) افق پرفسیل MFZ: a) پوشش زیستی به وسیله بریوزوئر، b) پوشش زیستی به وسیله سرپولید، d) بورینگ، e) ضخامت کم و گسترش در بین رخساره‌های عمیق، f) افق پرفسیل late HST که به صورت عدسی شکل است.

طوری که آرایش متراکم پوسته‌ها به سمت بالا کم می‌شود. بیشتر دو کفه‌ایها منفصل هستند و جهت‌یابی آنها محذب رو به بالا است. بر اساس طبقه‌بندی Fürsich & Oschmann (1993)، این نوع افق پرفسیل از نوع ۱ است که در بخش قبل توصیف شد. رخساره‌های همراه این نوع

Late HST: این دسته افقهای پرفسیل ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر ضخامت داشته، آرایش پوسته‌ها در آن متراکم و جورشدگی عناصر اسکلتی خوب است. سطح قاعده‌ای این نوع افقها واضح بوده و تجمع پوسته‌ها به صورت لیزی یا سنگ‌فرشی می‌باشد (شکل ۱۰f). این افق پرفسیل نازک لایه و تنوع گونه‌ای کم دارد. دانه‌بندی آن عادی است به

افقهای پرفسیل بخش پایینی سیستم تراکت پیش‌رونده و بخش بالایی سیستم تراکت تراز بالا فرقی چندانی از لحاظ نشانه‌های تافونومیکی با هم ندارند. ویژگی که این دو نوع افق پرفسیل را از هم تفکیک می‌کند آن است که در بخش پایینی سیستم تراکت پیش‌رونده، افقهای پرفسیل گسترش جانبی زیادی دارند (معمولاً به صورت لایه)، در حالی که در بخش بالایی سیستم تراکت تراز بالا افقهای پرفسیل معمولاً به صورت لنزی، سنگ‌فرشی^{۴۶} و یا در قسمتهای جلویی لایه‌های مورب بزرگ مقیاس^{۴۷} تشکیل می‌شوند. لازم به ذکر است موقعیت و رخداد افقهای پرفسیل رویدادی^{۴۸}، مانند نوع ۲ و ۳ مستقل از چینه‌نگاری سکansı است و در این مبحث به آن پرداخته نشده است.

نتیجه‌گیری

طبقه‌بندی ژنتیکی افقهای پرفسیل وسیله مطمئن و مفید برای آنالیز محیطی و بازسازی محیط رسوبی سازند آیتامیر در تاقدیس امیرآباد است. بر اساس مشاهدات تافونومیکی و شواهد رسوب‌شناختی مانند جورشدگی، دانه‌بندی، تدریجی، سایش، جهت‌یابی و آرایش‌ها 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، این افقهای پرفسیل متعلق به شش تجمع هستند که عمدتاً به محیطهای کم عمق نسبت داده می‌شوند. این شش تجمع شامل fair weather، storm wave concentration، wave concentration، primary biogenic concentration، distal tempestite، transgressive lag و winnowed concentration می‌باشند. سه نوع تجمع مرتبط با چینه‌نگاری سکansı شامل

افق پرفسیل به طور غالب از توالیهای برهم افزاینده^{۴۴} ضخیم ماسه‌سنگهای گلاکونیتی با جورشدگی و گردشگی بالا تشکیل شده است. یکی دیگر از مهمترین ویژگیهای این رخساره وجود لایه‌های رسوبی به صورت عدسی با گسترش جانبی کم است که مهمترین ساختارهای رسوبی موجود در آنها طبقه‌بندی مورب فلیزر، موجی و عدسی شکل است. در بعضی موارد لایه‌های با طبقه‌بندی مورب در جهات مختلف نیز قابل مشاهده است.

تفسیر: حمل و نقل پیوسته و پایدار باعث جورشدگی خوب و تجمع پوسته‌های بزرگ به صورت عدسی شکل یا سنگ‌فرشی می‌شود. فونا به طور واضح نابرجا هستند و شواهد حمل و نقل را به وضوح نشان می‌دهند. محیط رسوبی این افقهای پرفسیل بخش بالایی حاشیه ساحل - پیش ساحل با تأثیر غالب فرآیندهای جریانات پرانرژی در بخش بالایی موجسار هوای آرام تفسیر می‌شود و فرآیندهای انرژی بالای جریان^{۴۵} عامل ته‌نشینی این افق پرفسیل بوده است. درجه کم سایش و شکستگی نشان می‌دهد پوسته‌های فسیلی زمان نسبتاً کمی بر روی بستر بوده‌اند. تأثیر فرآیندهای طوفانی به وسیله بالا بودن مقدار پوسته‌های منفصل، اما پایین بودن مقدار سایش و همچنین جهت‌یابی محدب رو به بالا و موازی با چینه‌بندی مشخص می‌شود. افقهای پرفسیل در بخش بالایی سیستم تراکت تراز بالا (Late HST) که محیط پرانرژی است و کف دریا بالای موجسار هوای آرام قرار دارد، تشکیل می‌شوند. زیر موجسار هوای آرام، طوفان ماسه را از محیطهای کم عمق‌تر وارد حوضه کرده و ذرات دانه‌ریز گل را به محیطهای عمیق‌تر انتقال می‌دهد، اما بایو کلاستهای دانه درشت به طور قابل توجهی در مکان زندگی شان باقی می‌مانند (Seilacher, 1992).

46- pavement

۴۷- foresets of large cross-beds

۴۸- event concentration

۴۴- amalgamate

۴۵- swash zone

late HST و MFZ، early TST در این نهشته‌ها تشخیص داده شده است.

داوود دهنوی، بابک ایرانی، حسن خزائی و صلاح ابراهیم‌پور به خاطر همراهی در جمع‌آوری نمونه‌ها و مطالعات صحرایی تشکر می‌شود. همچنین از پروفیسور فورزیش از دانشگاه ارلنگن آلمان، پروفیسور کیدوال از دانشگاه چیکاگو آمریکا و پروفیسور دی سیلما از دانشگاه کامرینو ایتالیا به خاطر نقطه نظرات مفید در تفسیر افقهای پرفسیل و کاربرد آنها در چینه‌نگاری سکانسی تشکر و قدردانی می‌گردد.

سپاس‌گزاری

از گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات جهت مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی سپاس‌گزاریم. از همکاری آقایان دکتر رحیم کدخدایی ایلخچی، محمد سعدی نورمحمدی،

منابع

- شرفی، م، محبوبی، ا، موسوی حرمی، ر، نجفی، م، ۱۳۹۰. کاربرد لایه‌های پرفسیل در تفسیر چینه‌نگاری سکانسی سازند آیتامیر در ناودیسهای شیخ و بی‌بهره، باختر کپه‌داغ. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۷: ۳۱-۴۷.
- Abbott, S.T., 1997. Mid-cycle shell beds from Mid-Pleistocene cyclothems, New Zealand: implications for sequence architecture. *Sedimentology*, 44: 805–824.
- Aigner, T., 1982. Calcareous tempestites: storm-dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones (Triassic, SW-Germany). In: Einsele, G., & Seilacher, A., (eds.), *Cyclic and Event Stratification*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 180-198.
- Banerjee, I., & Kidwell, S.M., 1991. Significance of molluscan shell beds in sequence stratigraphy: an example from the Lower Cretaceous Mannville Group of Canada. *Sedimentology*, 38: 913-934.
- Baum, G.R., & Vail, P.R., 1988. Sequence stratigraphic concepts applied to Paleogene outcrops, Gulf and Atlantic basins. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G., Posamentier, H.W., Ross, C.A., & Van Wagoner, J.C., (eds.), *Sea-level changes: an integrated approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), 42: 302– 327.
- Brown, L.F., & Fisher, W.L., 1977. Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: Examples from Brazilian rift and pull-apart basins. In: Payton, C.E., (ed.), *Seismic Stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration*, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 26: 213-248.
- Catuneanu, O., 2006. Principles of Sequence stratigraphy (1st Edition). Elsevier, Oxford, 374p.
- Dunham R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E., (ed.) *Classification of Carbonate Rocks*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108–121.
- Embry, A.F.I., & Klovan, J.E., 1971. Absolute water depth limits of Late Devonian paleoecological zones. *Geology Rundsch*, 61: 672-686.
- Fürsich, F.T., Oschmann, W., 1993. Shell beds as tool in facies analysis: The Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of the Geological Society of London*, 150: 169–185
- Fürsich, F.T., Werner, W., & Schneider, S., 2009. Autochthonous to parautochthonous bivalve concentrations within transgressive marginal marine strata of the Upper Jurassic of Portugal. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 89: 161–190.
- Fürsich, F.T., 1995. Shell concentrations. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 88: 643–655.
- Holland, S.M., 2000. The quality of the fossil record: a sequence stratigraphic perspective. In: Erwin, D.H., & Wing, S.L., (eds.), *Deep time: paleobiology's perspective*. The Paleontological Society, Lawrence, KS, pp. 148– 168.
- Holland, S.M., 2001. Sequence stratigraphy and fossils. In: Briggs, D.E.G., & Crowther, P.R., (eds.), *Palaeobiology*. Blackwell Science, Oxford, 2: 548– 553.

- Hunter, R.E., & Clifton, H.E., 1982. Cyclic deposits and hummocky cross-stratification of probable storm origin in Upper Cretaceous rocks of the Cape Sebastian area, southwestern Oregon. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52: 127-143.
- Kidwell, S.M., & Holland, S.M., 1991. Field description of coarse bioclastic debris. *Palaios*, 6: 426-434.
- Kidwell, S.M., 1991a. The stratigraphy of shell concentrations. In: Allison, P.A., & Briggs, D.E.G., (eds.), *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record. Topics in Geobiology, Springer Science+Business Media*, pp. 115-129.
- Kidwell, S.M. 1991b. Taphonomic feedback (live/dead interactions) in the genesis of bioclastic beds: keys to reconstructing sedimentary dynamics. In: Einsele, G., Ricken, W., & Seilacher, A., (eds.), *Cycles and events in stratigraphy. Springer Verlag, Berlin*, pp. 268-282.
- MacEachern, J.A., Bechtel, D.J., & Pemberton, S.G., 1992. Ichnology and sedimentology of transgressive deposits, transgressively-related deposits and transgressive systems tracts in the Viking Formation of Alberta. In: Pemberton, S.G., (ed.), *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, A Core Workshop. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshop 17*: 251-290.
- Nelson, C.H., 1982. Modern shallow-water graded sand layers from storm surges, Bering Shelf: a mimic of bouma sequence and turbidite systems. *Journal of sedimentary Petrology*, 52: 537-545.
- Pemberton, S.G., & MacEachern, J.A., 1995. The sequence stratigraphic significance of trace fossils: examples from the Cretaceous foreland basin of Alberta. In: Van Wagoner, J.C., & Bertram, G., (eds.), *Sequence Stratigraphy of Foreland Basin Deposits, outcrop and subsurface examples from the Cretaceous of North America. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 64: 429-470.
- Plint, A.G., & Nummedal, D., 2000. The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. In: Hunt, D., & Gawthorpe, R.L. (eds.), *Sedimentary Response to Forced Regression. Geological Society of London, Special Publication*, 172: 1-17.
- Salazar-Jimenez, A., Frey, R.W., & Howard, J.D., 1982. Concavity orientations of bivalve shells in estuarine and nearshore shelf sediments, Georgia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52: 565-586.
- Seilacher, A., 1992. Dynamic taphonomy: the process-related view of fossil-lagerstaetten. In: Fernandez-Lopez, S., (ed.), *Conferencias de la Reunion de Tafonomia y Fosilizacion. Editorial Complutense, Madrid*, pp. 109- 125.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M.Jr., Champion, K.M., & Rahmanian, V.D., (1990). Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series 7*: 1-55.

Variety of shell concentrations in Aitamir Formation and their distribution in sequence stratigraphic framework in Amirabad anticline-Northeast Mashhad

Mohamadian, H.¹, Mahmudy-Gharaie, M.^{2*}, Mahboubi, A.³, Moussavi- Harami, R.³, Bayetgol, A.⁴

1- M.Sc student in Sedimentology and Sedimentary petrology, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

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

4- Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

*E-mail: mhmgharaie@ferdowsi.um.ac.ir

Intoduction

Descriptive analysis of shell beds is a useful tool within the context of the sequence stratigraphic model (Holland, 2000, 2001; Parras and Casadío, 2005; Cantalamessa *et al.*, 2005; Di Celma *et al.*, 2005). The formation and distribution of shell concentrations in the stratigraphic section are directly controlled by biogenic production and rate of background sedimentation (Kidwell, 1991a,b). Mid-Cretaceous shallow marine of the Albian-Cenomanian Aitamir Formation from the Kopet-Dagh basin of northeast Iran are rich in shell concentration dominated by bivalves especially Oyster, with minor admixture of gastropod, brachiopod and ammonite. The present paper focuses on Mid-Cretaceous shallow marine Aitamir Formation from the Kopet-Dagh basin with a twofold purpose: firstly, to reconstruct the sequence stratigraphic framework of this formation; secondly, to discuss the results in terms of the interpretation of the paleoecology and taphonomy of the shell beds occurring within this formation. The Aitamir Formation was studied bed-by-bed, both sedimentologically and taphonomically. Physical sedimentological studies attributes (thickness, lateral extent, geometry, stratigraphic contacts, association with significant surface, and position within depositional sequence) as well as vertical trends and stacking patterns, were all integrated to define and interpret facies and facies associations. Taphonomical attributes involves taxonomic composition, life habits, orientation, fragmentation, abrasion, disarticulation, encrustation, bioerosion, and microarchitecture (Kidwell, 1991a,b; Fürsich, 1995; Fürsich and Oschmann, 1993).

Discussion

A stratigraphic and sedimentologic study of the entire sedimentary succession indicated that sedimentary facies recur in consistent deepening–shallowing third-order transgressive–regressive patterns that represent a depositional sequence in which forced regressive (FRST) and lowstand system tract (LST) deposits are not present. Based on taphonomic and sedimentological observations, these shell concentrations belong to six assemblages, including; (1) fair weather wave concentration; (2) storm wave concentration; (3) distal tempestite or distal storm flow concentration; (4) primary biogenic or polyspecific concentrations; (5) winnowed concentration; (6) transgressive lag concentration. They represent a range of environments but are mainly shallow water settings. Together with sedimentologic characteristics, these fossiliferous levels are important indicators of facies architecture and, therefore, are useful tools for interpreting sequence stratigraphy. These shell concentrations are found in distinct positions within the depositional sequence: as a transgressive lags at the base of the transgressive systems tract (TST), in the maximum flooding zone (MFZ), and at or close to the top of the highstand systems tract (HST). Characteristic features of concentrations at the base of the TSTs are distinct basal erosional surface (ravinement surface), moderate time-averaging, sorting, a preferred convex-up orientation, fragmented and abraded with a chaotic orientation, and nearly total disarticulation of shells. They are suggestive of an environment (shoreface) in which reworking and local transports were frequent events. These concentrations, which form just seaward of the area of active wave ravinement, are condensed deposits resulting from general conditions of low terrigenous sediment input within high-energy settings and record stratal convergence at the costal onlap (Parras and Casadío, 2005; Cantalamessa *et al.*, 2005; Di Celma *et al.*, 2005). Similar features are shown by concentrations near the tops of the HSTs, except that they do not show ravinement surface and their shells were largely concentrated in lenses and in pavements rather than in beds as

in the transgressive lags. Associated sedimentary structures indicate deposition above fair weather wave base in a high-energy environment. Concentrations occurring in the MFZ, in contrast, are autochthonous and highly time-averaged, having accumulated during times of low rates of sedimentation below storm wave base. Therefore, they are useful tools for defining depositional sequences.

Results

The present study documents shell concentrations from the Albian-Cenomanian Aitamir Formation (from the Kopet-Dagh basin of northeast Iran) in the background of overall sediment deposition and highlights taphonomic attributes of the shell concentrations and examines their mode of occurrence in sequence stratigraphic framework of the succession. Based on the results of this study, the complexities of shell concentrations can be resolved with the help of sedimentologic and taphonomic attributes of individual skeletal elements and their mode of occurrence in sequence stratigraphic framework. Based on taphonomic and sedimentological observations, shell concentrations are classified as lag, event, composite/multi-event and hiatal types. Overall, the shell concentrations occupy the basal part of the sequence i.e. upper part of the transgressive systems tract (TST), the middle part of the sequence or the maximum flooding zone (MFZ), and close to the top of the highstand systems tract (HST). Lag concentrations are found in the lower part of the sequence as a transgressive lags at the base of the transgressive systems tract (type 6) while winnowed concentrations (type 5), the major contributors in the sequence, occur in upper part of the highstand systems tract and in the middle part of the transgressive systems tract. The hiatal concentrations (type 4; primary biogenic concentrations) are associated with maximum flooding surface while the position of event concentrations (type 1, 2 and 3) is independent of sequence stratigraphic framework.

Keywords: shell concentration; sequence stratigraphy; Aitamir Formation; Albian-Cenomanian.

References

- Cantalamesa, G., Di Celma, C., Ragaini, L., 2005. Sequence stratigraphy of the middle unit of the Jama Formation (Early Pleistocene, Ecuador): insights from integrated sedimentologic, taphonomic and paleoecologic analysis of molluscan shell concentrations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 216: 1–25.
- Di Celma, C., Ragaini, L., Cantalamesa, G., Landini, W., 2005. Basin physiography and tectonic influence on sequence architecture and stacking pattern: Pleistocene succession of the Canoa Basin (central Ecuador). *Geological Society of America Bulletin*, 117: 1226–1241.
- Fürsich, F.T., 1995. Shell concentrations. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 88: 643–655.
- Fürsich, F.T., Oschmann, W., 1993. Shell beds as tool in facies analysis: The Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of the Geological Society of London*, 150: 169–185
- Fürsich, F.T., Werner, W., & Schneider, S., 2009. Autochthonous to parautochthonous bivalve concentrations within transgressive marginal marine strata of the Upper Jurassic of Portugal. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 89: 161–190.
- Holland, S.M., 2000. The quality of the fossil record: a sequence stratigraphic perspective. In: Erwin, D.H., & Wing, S.L., (eds.), Deep time: paleobiology's perspective. *The Paleontological Society*, Lawrence, KS, pp. 148–168.
- Holland, S.M., 2001. Sequence stratigraphy and fossils. In: Briggs, D.E.G., & Crowther, P.R., (eds.), *Palaeobiology. Blackwell Science*, Oxford, 2: 548–553.
- Kidwell, S.M. 1991b. Taphonomic feedback (live/dead interactions) in the genesis of bioclastic beds: keys to reconstructing sedimentary dynamics. In: Einsele, G., Ricken, W., & Seilacher, A., (eds.), *Cycles and events in stratigraphy. Springer Verlag*, Berlin, pp. 268–282.
- Kidwell, S.M., 1991a. The stratigraphy of shell concentrations. In: Allison, P.A., & Briggs, D.E.G., (eds.), *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record. Topics in Geobiology, Springer Science+Business Media*, pp. 115–129.
- Parras, A., Casadío, S., 2005. Taphonomy and sequence stratigraphic significance of oyster dominated concentrations from the San Julián formation, Oligocene of Patagonia, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 217: 47–66.