

رخساره‌های رسوبی تریاس زیرین بعد از انقراض پرمین بالایی در منطقه شهرضا، جنوب اصفهان

محمد صفائی^{(۱)*}، ناصر ارزانی^۲، عزت حیدری^۳ و حسین وزیری مقدم^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان، اصفهان

۳. دانشیار دانشگاه ایالتی جکسون، جکسون، آمریکا

۴. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۶

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۳

چکیده

با رویداد حادثه انقراض و محدود شدن فعالیت کارخانه آهک‌سازی در پرمین بالایی و با بحرانی شدن شرایط رسوب‌گذاری دریایی، رسوبات ابتدای تریاس غالباً به صورت آهک غیراسکلتی و به شکل نهشته‌های میکروبی و بلورهای بادبزی کربنات کلسیم در بستر دریا گسترش یافته‌اند. این رسوبات غالباً در مناطق کم عمق سکوه‌های کربناتی نزدیک به استوا، که شرایط فیزیکی شیمیایی برای رشد آنها فراهم بوده است، نهشته شده‌اند. مقطع شهرضا در جنوب اصفهان، یکی از مقاطع شاخص پرمین-تریاس است که رسوب‌گذاری پیوسته را در آن زمان ثبت کرده است. افزون بر این، رسوبات تریاس زیرین در این ناحیه، غیر عادی بودن شرایط رسوب‌گذاری و ترکیب شیمیایی آب دریا را نشان می‌دهد. رشد بلورهای آراگونیت به صورت رشته‌ای و در مجموعه‌های گنبدی تا لایه‌ای از شواهد رسوب‌گذاری در شرایط انقراض عظیم مرز پرمین-تریاس، و در نتیجه اثر عواملی هستند که تغییراتی در آب اقیانوس‌ها به وجود آورده‌اند. این بلورها به صورت بادبزی و در اندازه‌های بزرگ به صورت مستقیم از آب دریا رشد کرده و پشته‌هایی را تشکیل داده‌اند. شواهد به دست آمده، نشان می‌دهد که این ساختارها در زمانی که آب دریا از کربنات کلسیم فوق اشباع بوده است، با کانی‌شناسی اولیه آراگونیت رسوب کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: انقراض پرمین-تریاس، آراگونیت بادبزی، رسوبات تریاس زیرین، شهرضا.

مقدمه

به وجود آمده‌اند، می‌توان به رسوبات میکروبی و کلسیت‌های رشته‌ای بادبزی اشاره کرد (Pruss et al., 2006). تشکیل چنین ساختارهایی را به فوق اشباع بودن آب اقیانوس‌ها نسبت به کربنات کلسیم ربط داده‌اند (Grotzinger and Knoll, 1995); اگرچه تشکیل غیر آلی کربنات کلسیم به صورت همزمان با رسوب‌گذاری در آب دریاها معمول است و در محیط‌های دریایی عهد حاضر و قدیمی به خوبی شناسایی شده است (Woods, 2009)، اما تشکیل چنین رسوباتی محدود به سیمان‌های حاشیه‌ای و سیمان‌های پرکننده حفرات می‌شود (James et al., 1988; Marshal and Davies, 1981).

انقراض در زمان پرمین-پسین-تریاس پیشین و اثرات مخرب آن بر روی حیات در کره زمین و دلایل رویداد این حادثه، بر اساس شواهد ثبت شده در رسوبات، از مباحثی است که نظرات متفاوتی در مورد آن ارائه شده است (e.g., Erwin et al., 2002; Payne and Kump, 2007). پس از این انقراض تغییرات شدیدی در شیمی آب اقیانوس‌ها به وجود آمد و باعث شد کربنات‌های آب‌های کم‌عمق از نوع اسکلتی به نوع غیر اسکلتی تبدیل شوند (Baud et al., 1997; Payne et al., 2006). از جمله رخساره‌هایی که در تریاس پیشین در پاسخ به شرایط غیر عادی محیط دریایی

* نویسنده مرتبط mo.safaei64@yahoo.com

عکس‌های میکروسکوپ الکترونی، بر اساس روش مطالعه Lasemi and Sandberg (1984) مورد استفاده قرار گرفت. برای آماده‌سازی مقاطع برای انجام آزمایش میکروسکوپ الکترونی نمونه‌هایی به اندازه $2 \times 2 \times 1$ سانتی‌متر تهیه و کاملاً صیقل داده شد. این نمونه‌ها توسط اسید فرمیک 0.2% درصد حجمی به مدت 30 ثانیه اسیدشویی و سپس عکس‌برداری از سطح آنها صورت گرفت. همچنین برای مطالعه عناصر اصلی و جزئی از روش جذب اتمی بر روی نمونه‌ها، استفاده شده است.

توالی رسوبی مقطع شهرضا

در منطقه شهرضا رسوبات مرز پرمین-تریاس به خوبی رخنمون دارند و توالی پیوسته‌ای از این رسوبات در این منطقه نهشته شده است. این منطقه یکی از مناطقی است که توالی رسوبی پرمین-تریاس را به صورت کامل و بدون نبود قابل توجهی در خود ثبت کرده است (Taraz, 1971; Heydari et al., 2008, Rickhoz et al., 2010). رخساره‌های رسوبی در منطقه مورد مطالعه قابل تفکیک به هشت واحد جداگانه هستند (شکل ۱ج)، که در این تحقیق به بررسی این واحدها پرداخته می‌شود. واحدهای ۱ تا ۴ مربوط به رسوبات پرمین بالایی و رسوبات واحدهای ۵ تا ۸ مربوط به زمان تریاس زیرین می‌شوند. در ادامه، واحدهای رسوبی ۱ تا ۸ به اختصار شرح داده می‌شوند و واحدهای ۵ و ۷، متشکل از کلسیت‌های رشته‌ای، به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

واحد ۱: این واحد متشکل از آهک‌های متوسط تا ضخیم‌لایه قرمز رنگ است که اندازه لایه‌ها در آن بین 20 تا 50 سانتی‌متر است. شاخص‌ترین ساختار موجود در این رسوبات، ساختار گرهکی است که در این سنگ‌ها به خوبی مشاهده می‌شود. اندازه این گرهک‌ها از 20 میکرون تا 5 میلی‌متر متغیر است و با توجه به تفاوت رنگ تیره‌تر نسبت به زمینه از آن جدا می‌شوند. این گرهک‌ها به صورت شکل‌های گرد شده، نیمه‌گرد و زاویه‌دار دیده می‌شوند و در درون این گرهک‌ها همانند زمینه در برگیرنده آنها قطعات استراکود به چشم می‌خورد. بافت عمومی در این واحد مادستون تا وکستون همراه با فسیل‌های آمونوئید و استراکود است. همچنین کنودونت‌های مربوط به مناطق عمیق نیز در این رسوبات گزارش شده است (Kozur, 2007). آمونوئیدهای موجود در این واحد به صورت کاملاً حفظ شده هستند که حاکی از سقوط آنها بر روی بستر است و آثاری از جابجایی توسط امواج نشان نمی‌دهند که باعث شکسته شدن و خرد شدن آنها شده است، نشان نمی‌دهد. قطعات اندکی از صدف استراکود به صورت خرد شده و یا کامل حضور دارند که دیواره صدف در آنها بسیار نازک است. رسوبات این واحد، قابل مقایسه با رخساره آمونیتیکو راسو هستند که در بخش جنوبی آلپ در زمان پرمین پیشین تا کرتاسه پیشین در اطراف تیسس نهشته شده‌اند (Baud et al., 2001). مشابه چنین رسوباتی با سن پرمین بالایی در کوه‌های عمان گزارش شده است که مربوط به زیر زون تأثیر نور خورشید

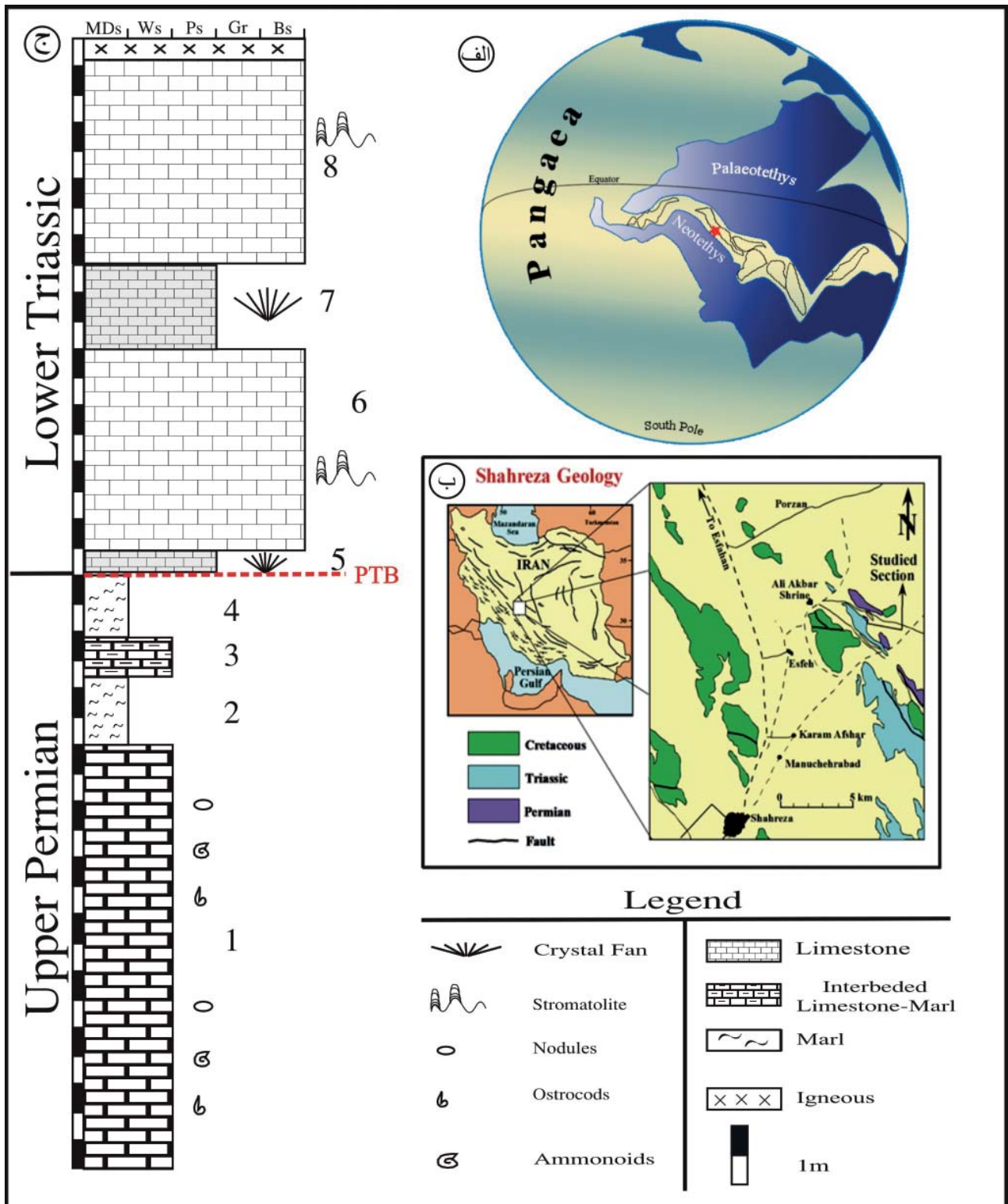
کلسیت‌های رشته‌ای در مقیاس سانتی‌متر، در بیشتر دوران‌های زمین‌شناسی کمیاب بوده و مثال‌هایی معدود از آن در رسوبات کربناتی فانروزوییک گزارش شده است (Pruss et al., 2008). پیدایش این رسوبات در بستر دریاها نشان‌دهنده شیمی غیر عادی آب اقیانوس‌ها در آن زمان بوده است که باعث فوق اشباع شدن آب اقیانوس از کربنات کلسیم و رشد این رسوبات شده است (Heydari and Hassanzadeh, 2003; Heydari et al., 2003; Pruss et al., 2008, Woods, 2009). سیمان‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری به علت اینکه مستقیم بر روی بستر دریا به صورت شیمیایی نهشته شده و بعد از تشکیل جابه‌جا نمی‌شوند می‌توانند نشان‌دهنده شرایط آب دریا در زمان رسوب‌گذاری باشند (Pruss et al., 2008). این تحقیق، با بررسی توالی رسوبی مرز پرمین-تریاس منطقه شهرضا در جنوب اصفهان، به معرفی رخساره‌ها و ساختارهای رسوبات تریاس زیرین می‌پردازد و در مورد نحوه تشکیل آنها بحث می‌کند.

زمین‌شناسی و راه‌های دسترسی به منطقه

مقطع شهرضا در بخش شرقی روستای سید علی اکبر در 12 کیلومتری شهرضا و 68 کیلومتری جنوب اصفهان قرار دارد (شکل ۱ب). محل کنونی این مقطع در زون ساختاری سندج-سیرجان ایران قرار گرفته است (Heydari et al., 2003). بر اساس نقشه‌های جغرافیای دیرینه، منطقه مورد مطالعه، در زمان قبل از پرمین بخشی از زون سندج-سیرجان بوده و همراه با بخش مرکزی ترکیه، افغانستان، تبت و هندوچین در یک صفحه کوچک با عنوان خردقاره سیمری قرار داشته‌اند (Sengör, 1984; Horacek et al., 2007). این خردقاره در طی پرمین از گندوانا جدا شده و در جهت شمال به طرف خط استوا حرکت کرده است (Stampfli and Borel, 2002) و در طی پرمین پسین و تریاس پیشین این خردقاره در مرکز اقیانوس تیسس و در بین دیرینه‌تیسس و نوتتیس نزدیک به استوا قرار داشته است (شکل ۱الف) (Besse et al., 1998). جدا شدن خرد قاره سیمری از گندوانا و تشکیل یک حاشیه غیرفعال، باعث رسوب‌گذاری کربنات‌ها در حاشیه‌های آن شد. بر اساس شواهد رسوبی موجود و مطالعات قبلی انجام شده مدل سکوی ارائه شده برای مقطع شهرضا یک سکوی کربناتی مجزا در نظر گرفته شده است که در آن رسوب‌گذاری کربنات‌ها بدون ورود ذرات آواری صورت گرفته است (Pruss et al., 2006; Kozur, 2007, Pers. Comm).

روش مطالعه

به منظور بررسی رخساره‌ها و شواهد رسوبی مقطع شهرضا، روش‌های متداول مطالعه صحرایی بر روی رسوبات این مقطع صورت گرفت و توالی پرمین بالایی و تریاس زیرین این منطقه بررسی شد. همچنین از لایه‌های پرمین بالایی و تریاس زیرین به منظور تهیه مقاطع دستی صیقلی و مقاطع نازک، نمونه‌برداری انجام گرفت. برای مطالعه دقیق‌تر بافت رسوبی و مطالعات دیاژنی



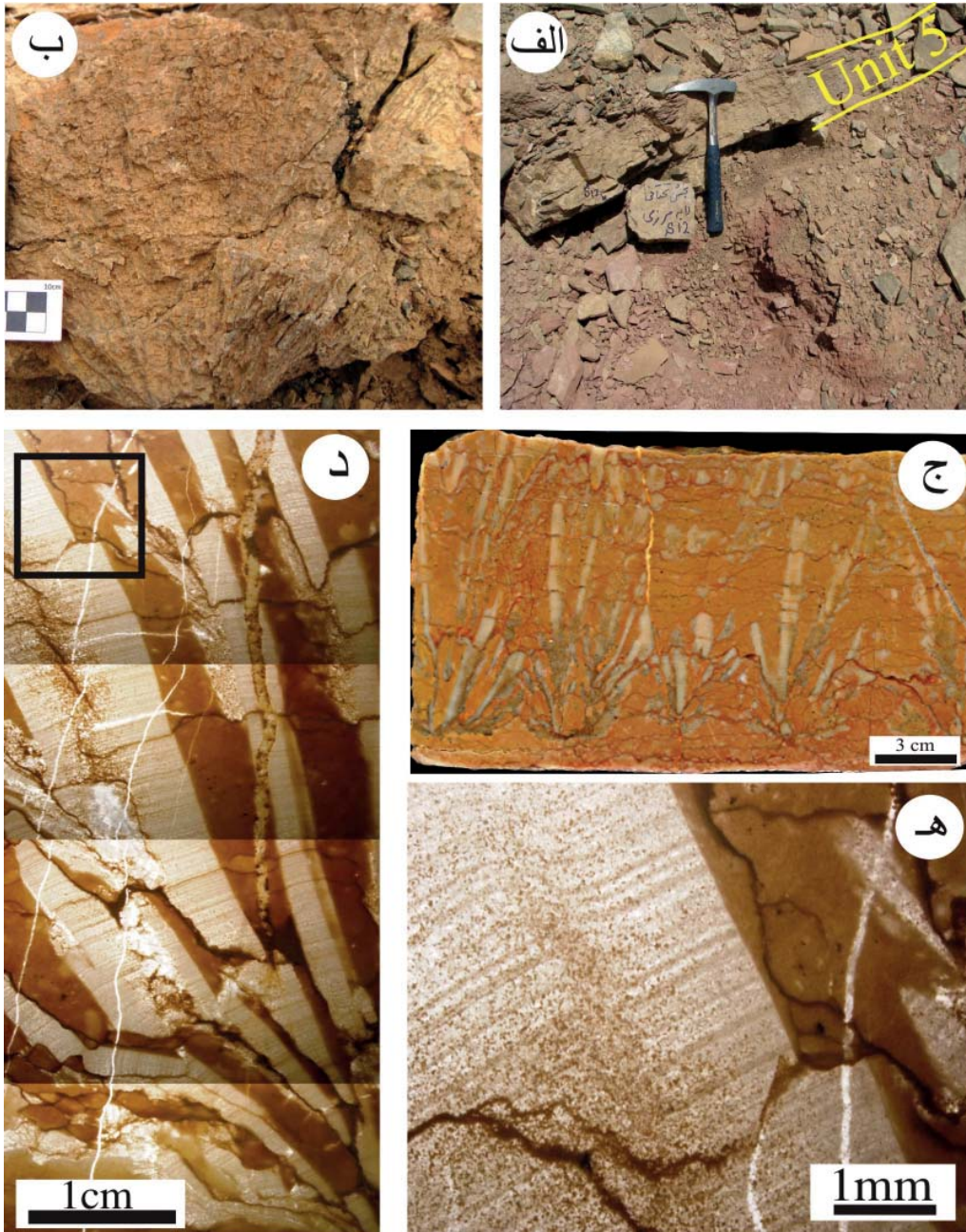
شکل ۱. الف) نقشه جغرافیایی دیرینه زمان پرمین-تریاس (علامت قرمز مشخص کننده محل ته نشینی رسوبات در مقطع شهرضا است) (modified from Stampfli and Borel, 2002). ب) نقشه راه‌های دسترسی به منطقه و موقعیت قرارگیری مقطع بر روی زون سنندج - سیرجان (modified from Heydari et al., 2003). ج) ستون رسوبی منطقه مورد مطالعه، PTB مشخص کننده مرز پرمین-تریاس است.

که شامل تناوبی از گل آهکی قرمز رنگ و آهک ورقه‌ای قرمز رنگ است.

واحد ۴: از ضخامتی در حدود ۱ متر گل آهکی قرمز رنگ تشکیل شده است. مشخصات این واحد مانند واحد ۲ و مقدار مواد کربناتی آن کم و در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است (Heydari et al., 2008). در روی این لایه اولین ظهور کنودونت - *Hindeo- dus Parvus* مشاهده شده است که مشخص‌کننده مرز پرمین- تریاس است (Heydari et al., 2008).

است (Woods and Baud, 2008).

واحد ۲: این واحد از ضخامت در حدود ۱/۲ متر گل آهکی قرمز رنگ تشکیل شده است. در این واحد گل به صورت توده‌ای قرار دارد و لامینه‌بندی در آن مشاهده نمی‌شود و عاری از فسیل است. همچنین مطالعات قبلی انجام شده در این مقطع نشان داده است که مقدار کربنات در این واحد کم و در حدود ۲۰ درصد است (Heydari et al., 2008).
واحد ۳: ضخامت این واحد ۸۰ سانتی‌متر و فاقد فسیل است



شکل ۲. کلسیت رشته‌ای واحد ۵ (الف) لایه حاوی کلسیت رشته‌ای که به صورت مشخص از گل زیرین خود مجزا شده است. (ب) یک دسته از کلسیت رشته‌ای واحد ۵ که در آن رشته‌ها به صورت بادبزنی به طرف بالا رشد کرده‌اند. (ج) نمونه دستی صیقل داده شده از کلسیت رشته‌ای واحد ۵ که در آن رشد رشته‌ها در کنار هم و بر روی گل میکربیتی مشخص است. (د) مقطع نازک از نمونه دستی نشان‌دهنده رشته‌ها و گل اطراف آنها است. (ه) تصویر مقطع میکروسکوپی از منطقه علامت زده تصویر (د) نشان‌دهنده بافت داخلی رشته‌ها در واحد ۵.

پشته‌ها حاوی کلسیت رشته‌ای هستند که به صورت بادبزنی رشد کرده‌اند، طول هر یک از این رشته‌ها تا ۵۰ سانتی متر هم می‌رسد (شکل ۴ ب). جهت رشد هر یک از رشته‌ها از سطح لایه به طرف بالا متفاوت است و زاویه‌های مختلفی را نسبت به افق تشکیل داده‌اند. شاخه‌های حاوی کلسیت‌های رشته‌ای بر روی همدیگر قرار گرفته‌اند و تشکیل پشته‌ها را می‌دهند. در بین این رشته‌ها گل میکربیتی حضور ندارد و رشته‌ها به صورت متراکم در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. در مقطع میکروسکوپی هر یک از دسته رشته‌ها از یک لامینه ریز (۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌متر) که درون آن از رشته‌های خیلی ریز که به صورت عمود بر سطح قرار گرفته‌اند شروع به رشد می‌کنند (شکل ۶ ج). در طول مقطع نقاط تیره‌تری در کنار رشته‌ها حضور دارد که این نقاط نشان‌دهنده مقطع محوری رشته‌های مجاور است که در جهت مایل رشد کرده‌اند (شکل ۴ ج). جهت رشد هر یک از رشته‌ها، در جهت محور C بلورشناسی است. در مقطع میکروسکوپی، هر یک از این رشته‌ها به صورت مخروطی با دیواره‌های کاملاً صاف و منظم هستند و دارای سطح مقطع شش وجهی می‌باشند (شکل ۴ د). همچنین مطالعات عناصر اصلی و جزئی توسط روش جذب اتمی میزان استرانسیم این رشته‌ها را در حدود ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ ppm مشخص کرده است.

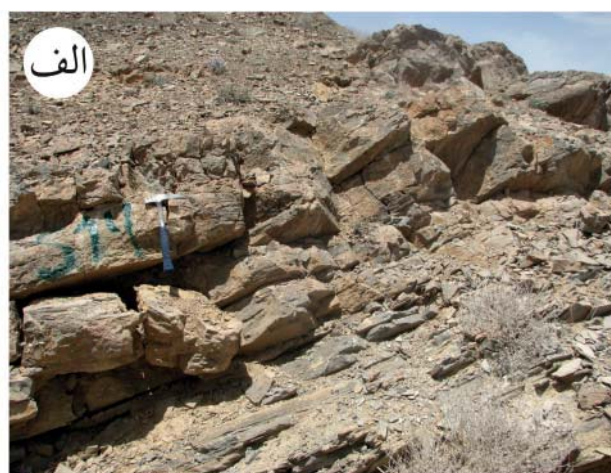
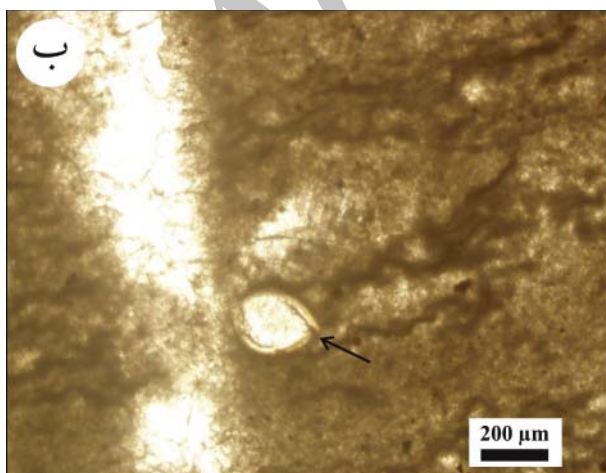
واحد ۸: این واحد از آهک خاکستری‌رنگ نازک‌لایه تشکیل شده است. در مقطع نازک دارای بافت لامینه‌ای است و از تناوب لامینه‌های تیره و روشن تشکیل شده است. در این واحد مانند واحد ۶، ضخامت لامینه‌های تیره (میکروپها) کمتر از روشن است و در بین این لامینه‌ها صدف استراکود وجود دارد.

کلسیت‌های رشته‌ای

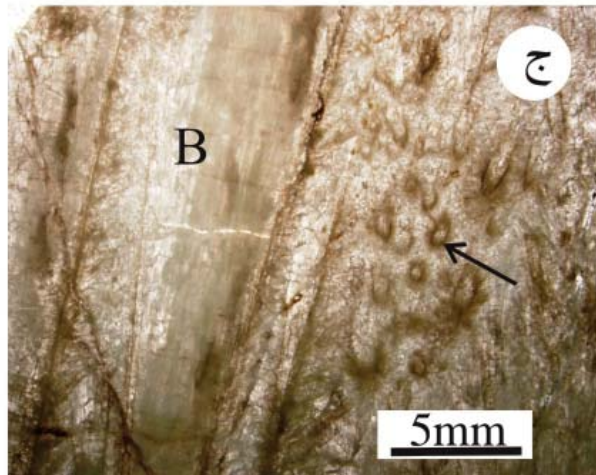
در واحدهای ۵ و ۷ ساختارهای شاخصی وجود دارد که از بستر لایه به سمت بالا، به صورت همزمان با رسوب‌گذاری رشد کرده‌اند. این ساختارها با واحدهای قبل و بعد از خود، مرز

واحد ۵: این واحد اولین بخش رسوبات تریاس زیرین است که به صورت رسوب‌گذاری ممتد و بدون وقفه بر روی رسوبات پرمین بالای قرار گرفته است و ضخامت آن در حدود ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر است. این واحد از آهک قهوه‌ای تیره تشکیل شده است. ضخامت این لایه به طور جانبی تغییر می‌کند (شکل ۲ الف). این واحد حاوی کلسیت‌های رشته‌ای است که در طول لایه از سطح به صورت بادبزنی به سمت بالا رشد کرده‌اند (شکل ۲ ب). اندازه هر یک از این تک بلورها بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر است. در مقطع دستی صیقلی هر یک از این دسته بلورها به صورت شاخه‌ای از یک گل میکربیتی به طرف بالا رشد کرده‌اند. بین هر یک از شاخه‌ها گل میکربیتی قرار دارد و فضای بین آنها را پر کرده است (شکل ۲ ج). جهت رشد این رشته‌ها، به صورت موازی با محور C بلورشناسی است و درون هر یک از این رشته‌ها بافت منحصر به فردی حضور دارد که متشکل از زوج لامینه‌های تیره و روشن است که بر روی همدیگر قرار گرفته‌اند و تشکیل یک بلور را داده‌اند (شکل ۲ د و ه). بر اساس مطالعه عناصر اصلی و جزئی صورت گرفته توسط روش جذب اتمی، میزان استرانسیم در این بلورها زیاد و در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ ppm به دست آمده است. واحد ۶: از ضخامت حدود ۳/۵ متر آهک نازک‌لایه خاکستری رنگ تشکیل شده است. ضخامت لایه‌ها در طول این واحد به طرف بالا افزایش می‌یابد. در مقطع میکروسکوپی این لایه‌ها شامل لامینه‌های نازک تیره‌رنگ هستند که با لامینه‌های روشن که ضخامت بیشتری دارند در تناوب هستند. لامینه‌های تیره در طول مقطع نازک در بعضی از مناطق قطع می‌شوند و به صورت لخته در می‌آیند. در بین این لامینه‌ها صدف کاملاً حفظ‌شده استراکود نیز وجود دارد (شکل ۳ الف و ب).

واحد ۷: این واحد از ضخامت در حدود ۱/۵ متر آهک خاکستری رنگ تشکیل شده است که به صورت پشته‌هایی به هم پیوسته در طول لایه قرار گرفته‌اند اندازه هر یک از این پشته‌ها متفاوت است و در طول لایه تغییر می‌کند (شکل ۴ الف). این



شکل ۳. الف) لایه‌های خاکستری رنگ میکروبی تریاس زیرین. ب) مقطع نازک از لایه‌های میکروبی، علامت سیاه نشان‌دهنده حضور صدف استراکود در بین لامینه‌های میکروبی است.



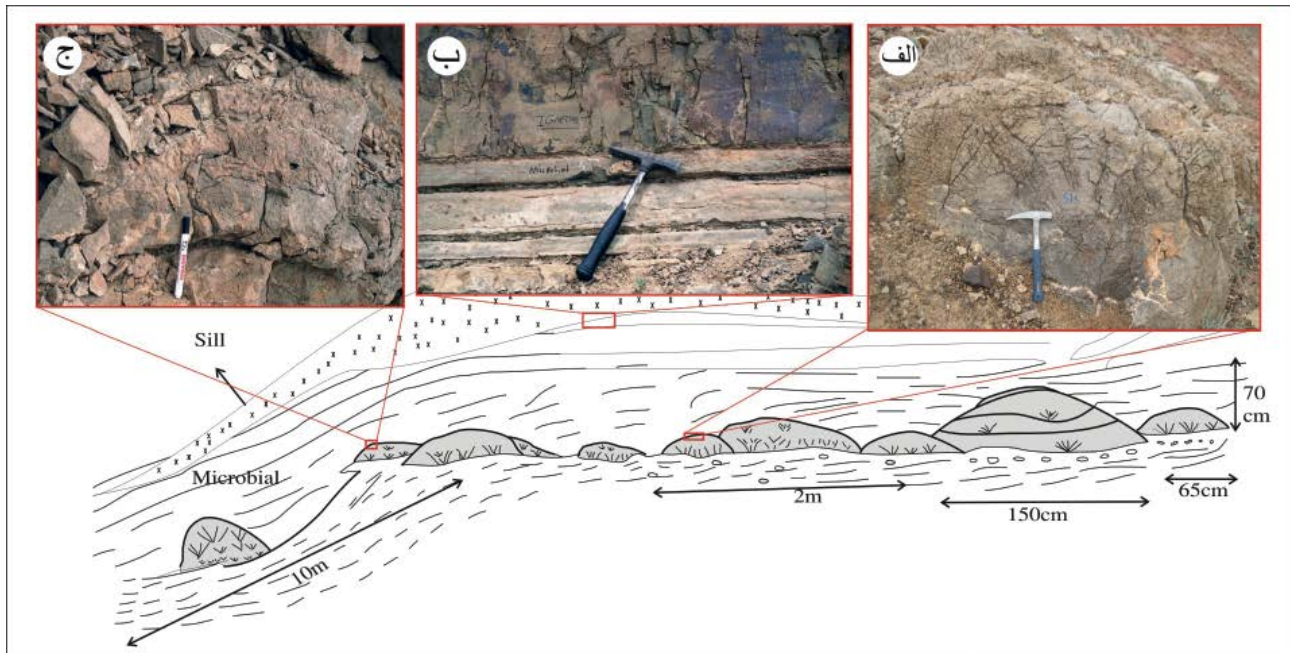
شکل ۴. کلسیت رشته‌ای واحد ۷. الف) پشته‌های متشکل از کلسیت رشته‌ای واحد ۷. ب) رشته‌های کلسیت که به صورت بادبزنی از پایین به سمت بالا رشد کرده‌اند. ج) مقطع میکروسکوپی از رشته‌های واحد ۷، B مقطع محوری از کلسیت رشته‌ای و علامت سطح مقطع مایل از رشته‌های مجاور را نشان می‌دهد. د) تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع رشته‌های کلسیت که در آن وجوه بلور به خوبی مشخص است.

بالا رشد کرده‌اند.

رشته‌های کلسیت در واحد ۷ با کلسیت‌های واحد ۵ تفاوت دارند. این واحد در بین دو واحد میکروبی قرار گرفته است. اندازه لایه در این واحد بزرگ‌تر و ضخامت این واحد تا ۱/۵ متر هم می‌رسد. در طول این واحد پشته‌های کوچک و بزرگ متشکل از کلسیت‌های رشته‌ای در کنار هم به صورت جانبی قرار گرفته‌اند (شکل ۵). نحوه تشکیل و هسته‌زایی در این واحد با واحد قبلی متفاوت است به این صورت که در زیر رشته‌های کلسیت در این لایه، لایه‌های خیلی نازک حضور دارند که رشد رشته‌ها از روی آن‌ها آغاز شده است (شکل ۶ الف و ب). این لامینه‌ها رسوبات میکروبی هستند که برای ته‌نشست رشته‌های کلسیت تشکیل هسته‌های اولیه را داده‌اند.

در زیر گنبد‌های متشکل از کلسیت رشته‌ای در این واحد چندلایه از رسوبات میکروبی و رشته‌های نازک کلسیت تشکیل شده و بر روی آنها، رشد رشته‌های بزرگ‌تر آغاز شده است (شکل ۶ ب). هر یک از این دسته رشته‌ها به صورت موازی بر روی یکدیگر قرار گرفته و تشکیل پشته را داده‌اند.

ناگهانی و مشخصی دارند. لایه‌های بالا و پایین این واحدها با رشته‌های موجود، قطع شدگی ندارند و این رشته‌ها به صورت عمودی در بین لایه‌های در بر-گیرنده رشد کرده‌اند. ویژگی‌های ظاهری واحدهای ۵ و ۷ کمی با هم تفاوت دارند. به این صورت که در واحد ۵ ضخامت کمی در حدود ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر از این رشته‌ها تشکیل شده است و اندازه بلورها کوتاه (۲۰ سانتی‌متر) است. در بین این رشته‌ها گل قهوه‌ای‌رنگ حضور دارد که فاقد فسیل است. رشد هریک از این شاخه‌ها از داخل گل میکروبی آغاز شده است و به صورت عمودی و احتمالاً بر روی هسته‌های اولیه موجود تشکیل شده‌اند. (woods et al. (2007 معتقد هستند که تشکیل گل میکروبی به علت تغییر شرایط ژئوشیمیایی که باعث تشکیل هسته اولیه برای تشکیل میکربیت به صورت شیمیایی می‌شده است باعث توقف در رشد این رشته‌ها شده است. بعد از متوقف شدن رشد بلورها، میکربیت تشکیل شده فضای خالی بین رشته‌ها را در این واحد پر کرده است. در بالای این لایه هیچگونه آثاری از انحلال یا شکستگی مشاهده نشد و در طول لایه شاخه‌ها به صورت کامل و بدون شکستگی به طرف



شکل 5. قرارگیری پشته‌های کلسیت رشته‌ای در طول لایه. الف) سطح زیرین لایه که رشد رشته‌های کلسیت بر روی رشته‌های از قبل وجود داشته، صورت گرفته است. ب) محل تماس لایه‌های میکروبی و سیل آذرین. ج) نشان‌دهنده تماس لایه حاوی کلسیت رشته‌ای با لایه میکروبی بالایی.

رشته‌های بادبزی که مستقیماً بر روی بستر دریا رشد کنند، کم هستند (Pruss et al., 2008). تشکیل چنین ساختارهایی در فانروزویک در رسوبات تریاس زیرین پس از حادثه انقراض در مرز پرمین تریاس گزارش شده است (Heydari et al., 2003; Pruss et al., 2006; Woods, 2009). نمونه‌ای از این رشته‌ها در اندازه سانتی‌متر در محیط‌های دیاژنی عهد حاضر وجود دارند که به صورت ثانویه تشکیل می‌شوند. این رشته‌ها حاصل رسوب‌گذاری مستقیم از آب دریا نیستند و تحت تأثیر عوامل پس از رسوب‌گذاری به وجود می‌آیند (James et al., 1988; Rodrigues et al., 2009).

گسترش چینه‌شناسی کلسیت‌های رشته‌ای بادبزی و کمیاب بودن آنها در رسوبات بعد از پروتروزویک نشان می‌دهد عوامل محیطی خاصی (مانند فوق اشباع بودن آب دریا از کربنات کلسیم) برای تشکیل این رسوبات وجود داشته است (Pruss et al., 2008).

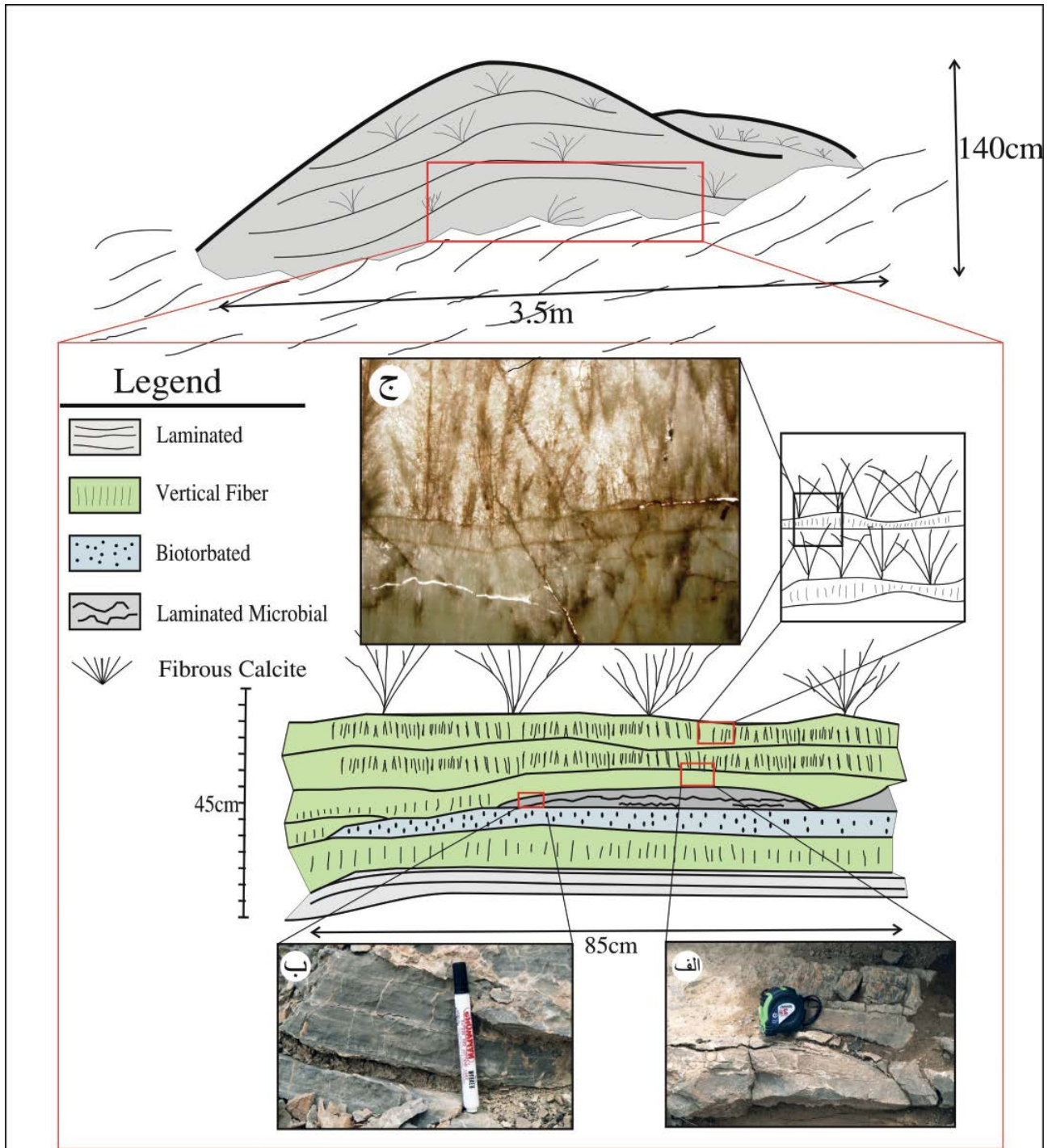
محیط رسوب‌گذاری کلسیت‌های رشته‌ای

رخساره‌های نهشته‌شده در پرمین بالایی و تریاس زیرین منطقه شهرضا نشان‌دهنده تشکیل شدن این رسوبات در یک سکو کم شیب است که در سطح وسیعی گسترش داشته‌اند، از جمله شواهد آن می‌توان به ادامه داشتن لایه‌ها به صورت جانبی، تبدیل رخساره‌ها به یکدیگر به صورت تدریجی و نبود رسوبات حاصل از ریزش در شیب سکو اشاره کرد. نوع رخساره‌های موجود در این توالی مانند لایه‌های آهک گرهکی قرمز رنگ حاوی آمونوید و گل آهکی قرمز رنگ نشان‌دهنده یک محیط همی‌پلاژیک است (Baud, 2001; Kozur, 2007, Pers. Comm). بافت و

تعبیر و تفسیر

مقطع شهرضا یکی از مقاطع پیوسته‌ای است که گذر پرمین به تریاس را در خود ثبت کرده است. در این مقطع مطابق با دیگر مقاطع پیوسته، در افق‌های پرمین بالایی به دلیل انقراض موجودات، از تنوع قطعات اسکلتی کم شده و رسوبات تریاس زیرین آن را اغلب رسوبات میکروبی و کربنات‌های غیراسکلتی تشکیل داده‌اند. پیدایش جهانی رسوبات میکروبی و کربنات‌های نازیستی (سیمان‌های همزمان با رسوب‌گذاری) در طی تریاس زیرین نتیجه ترکیب ژئوشیمی غیر معمول اقیانوس‌ها، در دوره پس از انقراض پرمین بوده است (Woods, 2009).

(Riding (2006), Riding and Liang (2005) اظهار کرده‌اند که تغییرات در فراوانی میکروبی‌ها در سنگ‌های فانروزویک به وسیله تغییرات دراز مدت در ژئوشیمی کربنات اقیانوس‌ها کنترل می‌شود و رشد این ساختارها مربوط به فوق اشباع شدن آب اقیانوس‌ها نسبت به کربنات کلسیم است. سیمان‌های غیرآلی کربناتی همزمان با رسوب‌گذاری به خوبی در محیط‌های عهد حاضر و قدیمی به صورت سیمان‌های پرکننده حفرهای ریف‌ها و سیمان‌های نسل اول دریایی شناسایی شده‌اند که اندازه آنها در حد چند میلی‌متر است (Fischer and Garrison, 1967; Tucker and Wright, 1990; Moore, 2001). کلسیت‌های رشته‌ای که به صورت بادبزی بر روی بستر دریا رشد می‌کنند از ساختارهای غیر معمول در تاریخ زمین بوده‌اند که سازوکارهای تشکیل آنها هنوز به خوبی مشخص نشده است (Pruss et al., 2008). کلسیت‌های رشته‌ای بادبزی شکل از ساختارهای معمول در سکوه‌های کربناتی آرکنن و دیرینه‌پروتروزویک بوده‌اند (Kah and Knoll, 1996; Summer and Grotzinger, 2000) اما در فانروزویک این گونه



شکل ۶. تصویر شماتیک از پشته ۱ در شکل ۴ الف و جزئیات رشد این رشته‌ها بر روی هسته‌های اولیه میکروبی. الف) نشان‌دهنده لامینه‌های میکروبی در زیر و تناوب میکروبی و رشته‌های کوچک کلسیت در بالای عکس. ب) لامینه‌های میکروبی در زیر رشته‌های کلسیت. ج) مقطع میکروسکوپی از جزئیات رشد رشته‌ها.

و بعد از تشکیل، این رسوبات توسط رسوبات بالایی پوشیده شده‌اند. با توجه به قرار گرفتن رسوبات میکروبی لامینه‌ای که در پائین و بالای واحد ۷ حاوی کلسیت رشته‌ای و حضور گل (ضخامت بیشتر لامینه‌های گلی از میکروبی‌ها در رسوبات میکروبی) بین لامینه‌های میکروبی رسوبات میکروبی حاکی از این است که این ساختارها نیز در یک محیط آرام تشکیل

نحوه قرارگیری کلسیت‌های رشته‌ای در واحد ۵ که در تناوب با گل‌های قرمز رنگ پرمین بالایی قرار دارد، حضور گل میکروبی و نبود شکستگی و آثاری از حمل شدن در این رسوبات حاکی از آن است که این واحد در یک منطقه نسبتاً عمیق و در زیر منطقه تحت تاثیر امواج تشکیل شده است که شرایط آرام برای ته‌نشینی گل کربناتی و رشد رشته‌های کلسیت فراهم بوده است

ساختارها شود (Woods and Baud, 2008). برای نهشته شدن چنین ساختارهایی آب اقیانوس‌ها باید نسبت به کربنات کلسیم فوق اشباع باشد (Heydari and Hassanzadeh, 2003). حادثه انقراض پرمین-تریاس یکی از مخرب‌ترین انقراض‌های گروهی شناخته شده در تاریخ زمین بوده است (Raup, 1979; Erwin et al., 2002). عوامل به وجود آورنده این حادثه باعث شدند تغییرات وسیعی در ژئوشیمی آب اقیانوس‌ها به وجود آید (Baud et al., 1997). از جمله فرضیه‌هایی که برای انقراض در مرز پرمین-تریاس بیان شده است می‌توان به لایه‌بندی آب اقیانوس‌ها، سم‌گوردی، فوران‌های آتشفشانی و خروج متان اشاره کرد (Wignall and Hallam, 1993; Isozaki, 1997; Payne and Kump, 2007; Heydari et al., 2008). برخی از فرضیه‌های بیان‌شده، می‌تواند فوق اشباع شدن آب اقیانوس‌ها نسبت به کربنات کلسیم را در این زمان توجیه کند که از آن جمله می‌توان به لایه‌بندی آب اقیانوس‌ها و خروج متان اشاره کرد.

طرفداران فرضیه لایه‌بندی آب اقیانوس‌ها معتقدند که تجزیه مواد آلی به وسیله باکتری‌های کاهنده سولفات در آب‌های بی‌اکسیژن بستر دریا، باعث افزایش بی‌کربنات و CO_2 در آب‌های عمیق اقیانوس می‌شده است، در حالی که آب‌های سطحی اکسیژن‌دار هستند. بر اثر آمیختگی آب‌های عمیق بی‌اکسیژن و غنی از کربنات کلسیم با آب‌های اکسیژن‌دار سطحی، CO_2 از آب بر اثر تلاطم و کاهش فشار خارج شده و باعث شده آب دریا از کربنات کلسیم فوق اشباع گردد. بنابراین در مکان‌هایی که فراشارش رخ داده است در منطقه آمیختگی، چنین کلسیت‌های تشکیل می‌شوند (Kempe, 1990; Grotzinger and Knoll, 1995; Woods et al., 1999, 2007; Pruss et al., 2006, Woods and Baud, 2008). با توجه به مشاهدات انجام‌شده در مقطع شهرضا و نبود شواهد مبنی بر شرایط بی‌اکسیژنی در این توالی مانند وجود پیریت و لایه‌های شیل سیاه این فرضیه برای تشکیل چنین ساختاری در این مقطع نمی‌تواند مناسب باشد.

از دیگر فرضیه‌هایی که برای انقراض پرمین بالایی بیان شده است و می‌تواند تشکیل چنین ساختارهایی را توجیه کند فرضیه زبانه‌های گوشته‌ای است که توسط Heydari and Hassanza (2003) و deh (2008) بیان شده است. این زبانه‌های گوشته‌ای توده‌های مذاب جامد در داخل گوشته هستند که به صورت قارچ‌مانند به طرف پوسته حرکت می‌کنند. بر اساس این فرضیه توده بزرگی از مواد جامد مذاب به زیر سنگ‌کره تزریق می‌شود و باعث می‌شود متان کلاترات‌های (ترکیب جامد پیچیده از مولکول‌های آب که تشکیل یک قفس محکم برای حبس گازهای طبیعی و عمدتاً متان را می‌دهد. و با کاهش فشار و یا افزایش دما ناپایدار می‌شوند) محبوس شده در بستر اقیانوس‌های عمیق ناپایدار شود و متان زیادی به درون آب اقیانوس‌ها تزریق کند. بر اثر تجزیه هوازی متان، CO_2 و H_2O به درون آب تزریق می‌شود و همچنین بر اثر تجزیه بی‌هوازی متان به وسیله باکتری‌های کاهنده سولفات، HS^- ، HCO_3^- و H_2O

شده‌اند. همچنین در این رسوبات ساختارهای رسوبی شاخص مناطق پرنرژژی مانند لایه‌بندی پشته‌ای و لایه‌بندی مورب مشاهده نشده است. مشخصات واحد ۷ با توجه به قرار گرفتن در توالی و عدم شکستگی و حمل‌شدگی و امتداد جانبی زیاد این لایه، نشان دهنده تشکیل این رسوبات در محدوده تحت تأثیر امواج است. نبودن گل در بین شاخه‌های این کلسیت را می‌توان به عدم هسته‌زایی کربنات‌ها بر اثر وجود عناصر مانع از هسته‌زایی کربنات کلسیم مانند Fe^{2+} و Mn^{2+} نسبت داد که باعث شده است گل‌های میکرویتی از بین شاخه‌ها دور شوند. نبود گل میکرویتی به عنوان عامل بازدارنده و شرایط ژئوشیمی آب دریا (حضور احتمالی یون‌های Fe^{2+}) که مانع تشکیل هسته اولیه برای ته‌نشست کربنات کلسیم شده است، باعث شده کلسیت‌های رشته‌ای در واحد ۷ نسبت به واحد ۵ با اندازه بزرگ‌تر بر روی هسته‌های میکروبی موجود تشکیل شوند. مشابه چنین ساختارهایی در رسوبات مرز پرمین-تریاس در سازند یونین‌واش در جنوب آمریکا معرفی شده است (Woods et al., 1999). محیط تشکیل این رسوبات در سازند یونین‌واش آمریکا در ناحیه دور از ساحل سکوی رمپ با لبه شکسته در نظر گرفته شده است که محل تشکیل کلسیت‌های رشته‌ای در نقطه شکستگی سکوی قرار گرفته است (Woods, 2009).

کانی‌شناسی کلسیت‌های رشته‌ای

کانی‌شناسی فعلی این رشته‌ها بر اثر نوشکلی تغییر کرده است، اما شواهد مشاهده‌شده، از جمله اندازه بلند محور C بلورشناسی این رشته‌ها و سطح مقطع شش وجهی آنها که از مشخصات بلورهای آراگونیتی است، نشان می‌دهد که کانی‌شناسی اولیه این رشته‌ها آراگونیت بوده است (Sandberg, 1985; Pruss et al., 2005). همچنین مطالعات انجام شده نشان داد میزان استرانسیم این بلورها بالا و در حدود 1400 ppm است که این میزان استرانسیم در کربنات‌های نوشکل شده نشان‌دهنده کانی‌شناسی اولیه آراگونیت این بلورهاست. برای مشخص شدن بهتر کانی‌شناسی اولیه این بلورها، مطالعات با استفاده از روش Lasemi and Sandberg (1984) صورت گرفت. این مطالعات نشان داد اندازه بلورها بر اثر نوشکلی افزایشی، بزرگ‌تر شده است و حفره‌هایی در آنها قرار دارد که حاکی از به جا ماندن سوزن‌های آراگونیتی و تبدیل نشدن آنها به کلسیت در طی نوشکلی است که در مراحل بعدی دیاژنز حل شده‌اند و حفره‌هایی از آنها باقی مانده است. این شواهد نشان‌دهنده کانی‌شناسی اولیه آراگونیت این رشته‌ها است.

عوامل تحریک‌کننده رشد کلسیت‌های رشته‌ای

با توجه به اینکه پیدایش این رشته‌ها محدود به زمان‌های خاصی در دوره‌های زمین‌شناسی بوده است (Summer and Grotzinger, 2000; Pruss et al., 2008) تغییرات وسیعی باید در ژئوشیمی آب اقیانوس‌ها به وجود آمده باشد تا باعث نهشته شدن این

L. and Saidi, A., 1998. Late Permian to Late Triassic paleomagnetic data from Iran: constraints on the migration of the Iranian block through the Tethyan Ocean and initial destruction of Pangaea. *Geophysical Journal International*, 135, 77-92.

- Erwin, D.H., Bowring, S.A. and Jin, Y., 2002. End-Permian mass extinctions: a review, in C. Koeberl, and MacLeod, K.C., eds., *Catastrophic events and mass extinctions. impacts and beyond*, 356, Geological Society of America Special Paper, 363-383.

- Fischer, A.G. and Garrison, R.E., 1967. Carbonate lithification on the sea floor. *Journal of Geology*, 75, 488-496.

- Grotzinger, J.P. and Knoll, A.H., 1995. Anomalous carbonate precipitates. is the Precambrian the key to the Permian?. *Palaios*, 10, 578-596.

- Heydari, E., Arzani, N. and Hassanzadeh, J., 2008. Mantle plume: The invisible serial killer-application to the Permian-Triassic boundary mass extinction: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 264, 147-162.

- Heydari, E. and Hassanzadeh, J., 2003. Deev Jahi model of the Permian-Triassic boundary mass extinction: a case for gas hydrates as the main cause of biological crisis on Earth: *Sedimentary Geology* 163, 147-163.

- Heydari, E., Hassanzadeh, J., Wade, W.J. and Ghazi, A.M., 2008. Permian-Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction. Part 1 - Sedimentology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193, 405-423.

- Horacek, M., Richoz, S., Brander, R., Krystyn, L. and Spotl, Ch., 2007. Evidence for recurrent changes in Lower Triassic oceanic circulation of the Tethys: The $\delta^{13}C$ record from marine sections in Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 252, 355-369.

- Isozaki, Y., 1997. Permo-Triassic boundary superanoxia and stratified superocean. records from lost deep-sea. *Science*, 276, 235-238.

- James, N.P., Wray, J.L. and Ginsburg, R.N., 1988. Calcification of encrusting aragonitic algae (Peyssoneliaceae): implication for the origin of late paleozoic reef and cements. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58, 291-303.

- Kah, L.C. and Knoll, A.H., 1996. Microbenthic distribution of Proterozoic tidal flats: environmental and taphonomic considerations. *Geology*, 24, 79-82.

- Kempe, S., 1990. Alkalinity: the link between anaerobic basins and shallow water carbonates?: *Naturwissenschaften*, 77, 426-427.

تولید می‌شود. CO_2 تولید شده در آب اقیانوس‌ها باعث می‌شود آب اقیانوس اسیدی شود و بر اثر تجزیه کربنات کلسیم سکوه‌های کربناتی مقدار زیادی یون Ca^{2+} و HCO_3^- به آب دریا تزریق شود. این روند تا زمانی که متان به آب اقیانوس‌ها وارد می‌شود، ادامه دارد. بعد از اینکه متان ورودی به آب اقیانوس‌ها قطع شد بر اثر گرمای هوا و تلاطم آب در سکوه‌های کم عمق CO_2 محلول در آب به صورت گاز خارج شده و آب دریا فوق اشباع از کربنات کلسیم می‌گردد. فوق اشباع شدن آب از کربنات کلسیم و تغییر در ترکیب شیمیایی آب اقیانوس باعث تشکیل رسوبات میکروبی و کلسیت‌های رشته‌ای در این زمان می‌شود که علاوه بر این مقطع، در نقاط دیگر دنیا مانند عمان، ترکیه و آمریکا هم گزارش شده است (Kershaw et al., 2011; Pruss et al., 2008; Woods and Baud, 2008). تزریق زیاد Ca^{2+} و HCO_3^- به آب اقیانوس، باعث کاهش میزان ایزوتوپ کربن 13 در مرز پرمین-تریاس شده است که در داده‌های ایزوتوپی ارائه‌شده این مقطع و سایر نقاط جهان محسوس است (Heydari et al., 2008; Richoz et al., 2010).

نتیجه‌گیری

رخساره‌های رسوبی تریاس زیرین در منطقه شهرضا، از شواهد رسوب‌گذاری در شرایط بحرانی محیط رسوبی پس از انقراض پرمین پسین هستند. کلسیت‌های رشته‌ای در رسوبات تریاس زیرین در این منطقه بر اثر تغییر در ژئوشیمی آب اقیانوس‌ها بعد از انقراض پرمین پسین تشکیل شده‌اند و تشکیل این ساختارها در ارتباط با فوق اشباع شدن آب اقیانوس‌ها نسبت به کربنات کلسیم است. تشکیل این ساختارها به صورت همزمان با رسوب‌گذاری بوده است و مستقیماً به صورت قائم بر روی بستر سکوی کربناتی در محل تماس آب و رسوب تشکیل شده‌اند و پیدایش آن‌ها حاصل فرایند دیازتری نیست. کانی‌شناسی اولیه این کربنات‌ها از جنس آرگونیت بوده است که این نوع کانی‌شناسی با توجه به نوع ساختار بلوری و سرعت تشکیل آن در مواقعی که دریا نسبت به کربنات کلسیم اشباع است به وجود می‌آید. از فرضیه‌های احتمالی که باعث اشباع شدن آب نسبت به کربنات کلسیم در آب دریاها شده است می‌توان به فرضیه زبانه‌های گوشته‌ای اشاره کرد که فرایندهای بعد از آن باعث فوق اشباع شدن آب دریاها از کربنات کلسیم و نهشته شدن چنین ساختارهایی شده است.

منابع

- Baud, A., Marcoux, J. and Beauchamp, B., 2001. Oman Pangea Symposium and Field-meeting Report, Muscat, Sultanate of Oman, 7-20 January, 2001. *Permophiles*, 8.

- Baud, A., Cirilli, S. and Marcoux, J., 1997. Biotic response to mass extinction: the lowermost Triassic microbials: Facies, 36, 238-242.

- Besse, J., Torq, F., Gallet, Y., Ricou, L. E., Krystyn,

- Kershaw, S., Crasquin, S., Forel, M.B., Randon, C., Collin, P.Y., Kosun, E., Richoz, S. and Baud, A., 2011. Earliest Triassic microbialites in Çürük Dag, southern Turkey: composition, sequences and controls on formation. *Sedimentology*, 58, 739-755.
- Kozur, H.W., 2007. Biostratigraphy and event stratigraphy in Iran around the Permian-Triassic boundary (PTB): implications for the cause of the PTB biotic crisis. *Global and Planetary Change*, 55, 155-176.
- Lasemi, Z. and Sandberg, P.A., 1984. Transformation of aragonite-dominated lime muds to microcrystalline limestones. *Geology*, 127, 420-423.
- Marshall, J.F. and Davies, P.J., 1981. Submarine lithification on windward reef slopes: Capricorn- Bunker Group, southern Great Barrier Reef. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 953-960.
- Moore, C.H., 2001. Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework, Amsterdam, Elsevier, 444.
- Payne, J.L. and Kump, L.R., 2007. Evidence for recurrent Early Triassic massive volcanism from quantitative interpretation of carbon isotope fluctuations. *Earth and Planetary Science letters*, 256, 264-277.
- Payne, J. L., Lehrmann, D. J., Wei, J. and Knoll, A. H., 2006. The pattern and timing of biotic recovery from the end-Permian extinction on the Great Bank of Guizhou, Guizhou Province, China. *Palaios*, 21, 63-85.
- Pruss, S.B., Corsetti, F.A. and Bottjer, D.J., 2005. The unusual sedimentary rock record of the Early Triassic: a case study from the southwestern United States. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 222, 33-52.
- Pruss, S.B., Bottjer, D.J., Corsetti, F.A. and Baud, A., 2006. A global marine sedimentary response to the end-Permian mass extinction: examples from southern Turkey and the western United States: *Earth Science Review*, 78, 193-206.
- Pruss, S.B., Corsetti, F.A. and Fischer, W.W., 2008. Seafloor-precipitated carbonate fans in the Neoproterozoic Rainstorm Member, Johnnie Formation, Death Valley Region, USA. *Sedimentary Geology*, 207, 34-40.
- Raup, D.M., 1979. Size of the Permo-Triassic bottleneck and its evolutionary implications. *Science*, 206, 217-218.
- Riding, R., 2006. Microbial carbonate abundance compared with fluctuations in metazoan diversity over geological time: *Sedimentary Geology*, 185, 229-238.
- Riding, R. and Liang, L., 2005. Geobiology of microbial carbonates: metazoan and seawater saturation state influences on secular trends during the Phanerozoic: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 219, 101-115.
- Richoz, S., Krystyn, L., Baud, A., Brandner, R., Horacek, M. and Mohtat-Aghai, P., 2010. Permian-Triassic boundary interval in the Middle East (Iran and N. Oman): Progressive environmental change from detailed carbonate carbon isotope marine curve and sedimentary evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, 236-253.
- Rodrigues, N., Cobbold, R.P., Loseth, H. and Ruffet, G., 2009. Widespread bedding-parallel veins of fibrous calcite ('beef') in a mature source rock (Vaca Muerta Fm, Neuque'n Basin, Argentina): evidence for overpressure and horizontal compression. *Journal of the Geological Society*, London, 166, 695-709.
- Sandberg, P., 1985. Aragonite cements and their occurrence in ancient limestones, in N. Schneidermann, and Harris, P.M., eds., *Carbonate cements*, 36, SEPM Special Publication, 33-57.
- Sengör, A.M.C., 1984. The Cimmeride Orogenic System and the tectonics of Eurasia. *Geological Society of America*, 195, 1-82.
- Stampfli, G.M. and Borel, G.D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth and Planetary Science Letters*, 196, 17-33.
- Sumner, D.Y. and Grotzinger, J.P., 2000. Late Archean aragonite precipitation; petrography, facies associations, and environmental significance, in J.P. Grotzinger, and James, N.P., eds., *Carbonate Sedimentation and Diagenesis in the Evolving Precambrian World*, 67, SEPM Special Publication, 123-144.
- Taraz, H., 1971. Uppermost Permian and Permo-Triassic Transition beds in Central Iran. *Bulletin of American Association Petroleum Geology*, 55, 1280-1294.
- Tucker, M.E. and Wright, V.P., 1990. *Carbonate Sedimentology*, Oxford Blackwell, 482.
- Wignall, P.B. and Hallam, A., 1993. Griesbachian (Earliest Triassic) palaeoenvironmental changes in the Salt Range, Pakistan and southeast China and their bearing on the Permo-Triassic mass extinction. *Palaeogeog-*

raphy, *Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 102, 215–237.

- Woods, A.D., 2009. Anatomy of an anachronistic carbonate platform: Lower Triassic carbonates of the southwestern United States: *Australian Journal of Earth Sciences*, 56, 825 - 839.

- Woods, A.D. and Baud, A., 2008. Anachronistic facies from a drowned Lower Triassic carbonate platform: Lower member of the Alwa Formation (Ba'id Exotic), Oman Mountains: *Sedimentary Geology*, 209, 1–14.

- Woods, A.D., Mary, M.L., Mata, S.A., Fullerton, C., Fullerton, C. and City, S.L., 2007, Anatomy of Anachronistic Carbonate Platform. The Lower Triassic Moenkopi Platform of the Southwestern United States.

- Woods, A.D., Bottjer, D.J., Mutti, M. and Morrison, J., 1999. Lower Triassic large sea-floor carbonate cements: their origin and a mechanism for the prolonged biotic recovery from the end- Permian mass extinction: *Geology*, 27, 645–648.

Archive of SID