

پوشش‌های میکروبی در عضو شیلی رسوبات کامبرین زیرین سازند لالون بلوک طبس، ایران مرکزی: نوع، مورفولوژی و محیط تشکیل

اسداله محبوبی، استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد*

رضا موسوی حریمی، استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

نارام بایت گل، دانشجوی دکتری گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

عضو شیلی سازند لالون (کامبرین زیرین) در بلوک طبس ایران مرکزی دارای رخساره‌های حاوی پوشش‌های میکروبی متنوعی است که در محیط‌های دریایی کم عمق تشکیل شده‌اند. گسترش پوشش‌های میکروبی معمولاً ناشی از تغییر شرایط محیطی از دریایی نرمال به محیط‌های محافظت شده با شوری و تبخیر بالا است. استروماتولیت‌های سازند لالون در رخساره‌های جزر و مدی در بالاترین قسمت توالی‌های کامبرین زیرین و در زیر رخساره آئید گرینستون قرار دارد. مورفولوژی‌های مختلفی از نحوه رشد استروماتولیت‌ها مورد شناسایی قرار گرفته است که شامل فرم‌های مسطح، نامنظم، کورک دار، سربروئید توده‌ای، مخروطی، گنبدی و ستونی است. تشکیل انواع استروماتولیت‌های سازند لالون توسط عوامل محیطی از جمله عمق آب، جریان‌ات جزر و مدی و میزان نرخ رسوب گذاری تحت کنترل بوده است. **واژه‌های کلیدی:** پوشش میکروبی، سازند لالون، استروماتولیت، بلوک طبس، کامبرین زیرین.

مقدمه

فرایندهای زیستی و فیزیکی در پهنه‌های جزرومدی موجب تشکیل ساختارهای زیستی متنوعی می‌شود که با توجه به شرایط محیط رسوب‌گذاری از الگوی مورفولوژیکی متفاوتی برخوردار است. از مهمترین رخساره‌ها در این پهنه‌ها گسترش پوشش‌های میکروبی یا استروماتولیت است. این پوشش‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر جزرومد، نوع بستر، دما، شوری، میزان مواد غذایی و عمق هستند (برای مثال Semihaktov et al. 1979; Webb 1999; Riding 2000, 2005; Whalen et al. 2002). پوشش‌های میکروبی از انواع مختلف شکاف‌دار (cracked)، گنبدی (domed)، ستونی (columnar)، مسطح (planar)، کورک‌دار (pustular)، چین‌دار (rugose) و چروکیده (crinkled) تشکیل شده است (Shapiro and West. 1999; Riding, 2000).

استروماتولیت‌ها ساختارهای زیستی-رسوبی لامینه‌ای (organo-sedimentary) حاصل از به تله افتادن و محصور شدن ذرات رسوبی توسط سیانوباکتری‌های اندولیتیک هستند (برای مثال Semihaktov et al. 1979; Riding 1999) که از زوج لامینه‌های تیره غنی از مواد آلی و روشن غنی از رسوب تشکیل شده‌اند. رای‌دینگ (Riding 2000) معتقد است که تمام پوشش‌های میکروبی، لامینه‌ای نیستند بلکه براساس ماکروفابریک (لایه‌بندی، ساختار و مورفولوژی) و منشاء زیستی تعریف می‌شوند. در این مطالعه نیز از این طبقه‌بندی استفاده شده است. اگرچه این پوشش‌ها در محیط‌های دریایی کم عمق در بسترهای کربناته و آواری تشکیل می‌شوند (Gerdes et al. 2000; Riding, 2000; Porada and Bouougri 2007)، اما در محیط‌های کربناته تحت تأثیر جزر و مد فراوانترند.

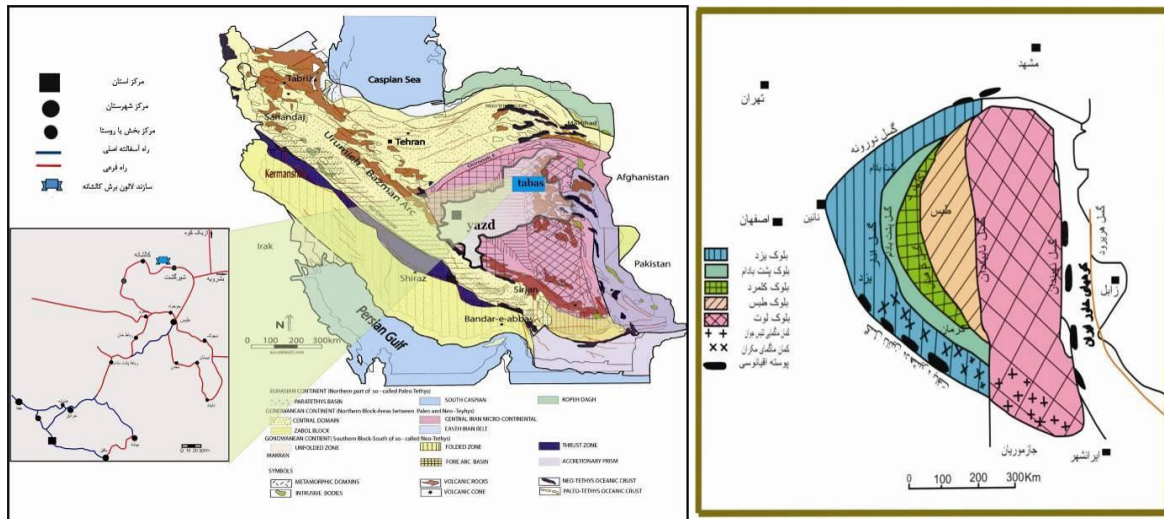
نهشته‌های کربناته به صورت استروماتولیت‌ها در واحد شیلی سازند لالون در شمال شهر طبس در برش کالشانه

واقع در جنوب شرقی کوه‌های درنجال و ۹ کیلومتری جنوب شرق روستای کالشانه به فراوانی و با تنوع زیاد دیده می‌شوند و هدف از انجام این تحقیق شناسایی و تفکیک انواع آنها و تفسیر محیط تشکیل آنهاست (شکل ۱). در مطالعه این واحد در برش تویه دروار در البرز مرکزی (Lasemi and Amin-Rasouli, 2007) این رسوبات بعنوان ریف‌های آرکوسیاتید (archaeocyathan reefs) معرفی شده‌اند، در صورتی که نتایج این مطالعه و همچنین مطالعه رسوبات پالئوزوئیک زیرین در البرز مرکزی (Kruse and Zhuravlev 2008) موید استروماتولیت، ترومبولیت و آئید است.

در واحد شیلی سازند لالون تغییرات زیادی از نظر نوع رخساره‌های سنگی و محیط‌رسوبی وجود دارد. بخش پایینی حاوی رخساره‌های آواری است که به دلیل وجود لایه‌بندی هترولیک، طبقه‌بندی موجی، عدسی و فلاسر، طبقه‌بندی مورب جناغی، سطوح دوباره فعال شده، ریپل‌های با جهت جریان معکوس، طبقه‌بندی مورب درهم و زوج لایه‌های ماسه سنگ - مادستون، در محیطی تحت تأثیر جزرومد تشکیل شده‌اند (شکل ۲ و ۳). همچنین وجود ترک‌های گلی و سین آرسیس و میزان آشفستگی زیستی کم در واحدهای شیل میانی سازند لالون و عدم وجود فسیل‌های دریایی، رسوب‌گذاری در یک محیط خلیج دهانه‌ای با شوری بالا و تحت تأثیر جزرومد را نشان می‌دهد. این بخش فاقد استروماتولیت بوده به طوری که در اثر جزرومد و ناپایداری شرایط (انرژی بالا، رسوب‌گذاری سریع، گل آلود بودن ستون آب، پراکندگی مواد غذایی از سطح بستر به ستون آب) سیانوباکتری‌های اندولیتیک توانایی حفظ شدگی و رشد سریع را ندارند (Gerdes et al. 2000; Riding 2000; Draganits and Noffke 2004; Porada and Bouougri 2007). بخش بالایی واحد شیلی این سازند غالباً از رسوبات کربناته حاوی استروماتولیت‌های متنوع، فراوان

و با مورفولوژیکی متغیر تشکیل شده است. در این مطالعه استروماتولیت‌های این قسمت مورد بررسی قرار

گرفته‌اند



شکل ۱- A) موقعیت جغرافیایی برش کالشانه در ۶۰ کیلومتری شمال شهر طبس واقع در جنوب شرقی کوه‌های درنجال و ۹ کیلومتری جنوب شرقی روستای کالشانه مورد مطالعه در شمال شرقی طبس (چهار گوش آبی رنگ). B) محدوده خرد قاره ایران مرکزی پهنه‌های آن (بر گرفته از آقناباتی ۱۳۸۵ با تغییرات).

گسترده‌ای مشاهده می‌شوند (برای مثال Riding 2000) به تنهایی نمی‌توانند دلالت بر محیط رسوبی خاصی باشند. به همین دلیل در این مطالعه رخساره‌های رسوبی همراه با پوشش‌های میکروبی زیربخش کربناته واحد شیلی سازند لالون نیز مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه سایر بخش‌های سازند لالون از اهداف این مطالعه نیست.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

خرد قاره ایران مرکزی بخشی از ایران مرکزی است که با زمین‌درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل دورونه و افیولیت‌های کاشمر- سبزواری احاطه شده و توسط گسل‌های طویلی که به سمت غرب خمیدگی دارند و از نوع امتداد لغز راست گرداند، قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک

در مطالعه کنونی رخنمون سازند لالون به نام برش کالشانه در ۶۰ کیلومتری شمال شهر طبس واقع در جنوب شرقی کوه‌های درنجال و در ۹ کیلومتری جنوب شرقی روستای کالشانه در دهنه کلوت، با مختصات جغرافیایی (N: 34° 7' 39" و E: 56° 46' 16") جهت بررسی ویژگی‌های استروماتولیت‌ها انتخاب شد (شکل ۱). در ناحیه مورد مطالعه واحد شیلی نهشته‌های سازند لالون را می‌توان به دو گروه رخساره آواری در بخش قاعده‌ای و کربناته در بخش بالایی تقسیم‌بندی کرد. لازم به ذکر است که در این مطالعه بالاترین بخش سازند لالون (بخش کربناته) مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از انجام این تحقیق شناسایی و تفکیک مورفولوژیکی، رخساره‌ای و محیطی پوشش‌های میکروبی براساس یافته‌های موجود در واحد شیلی سازند لالون است. به دلیل اینکه پوشش‌های میکروبی در دامنه محیطی

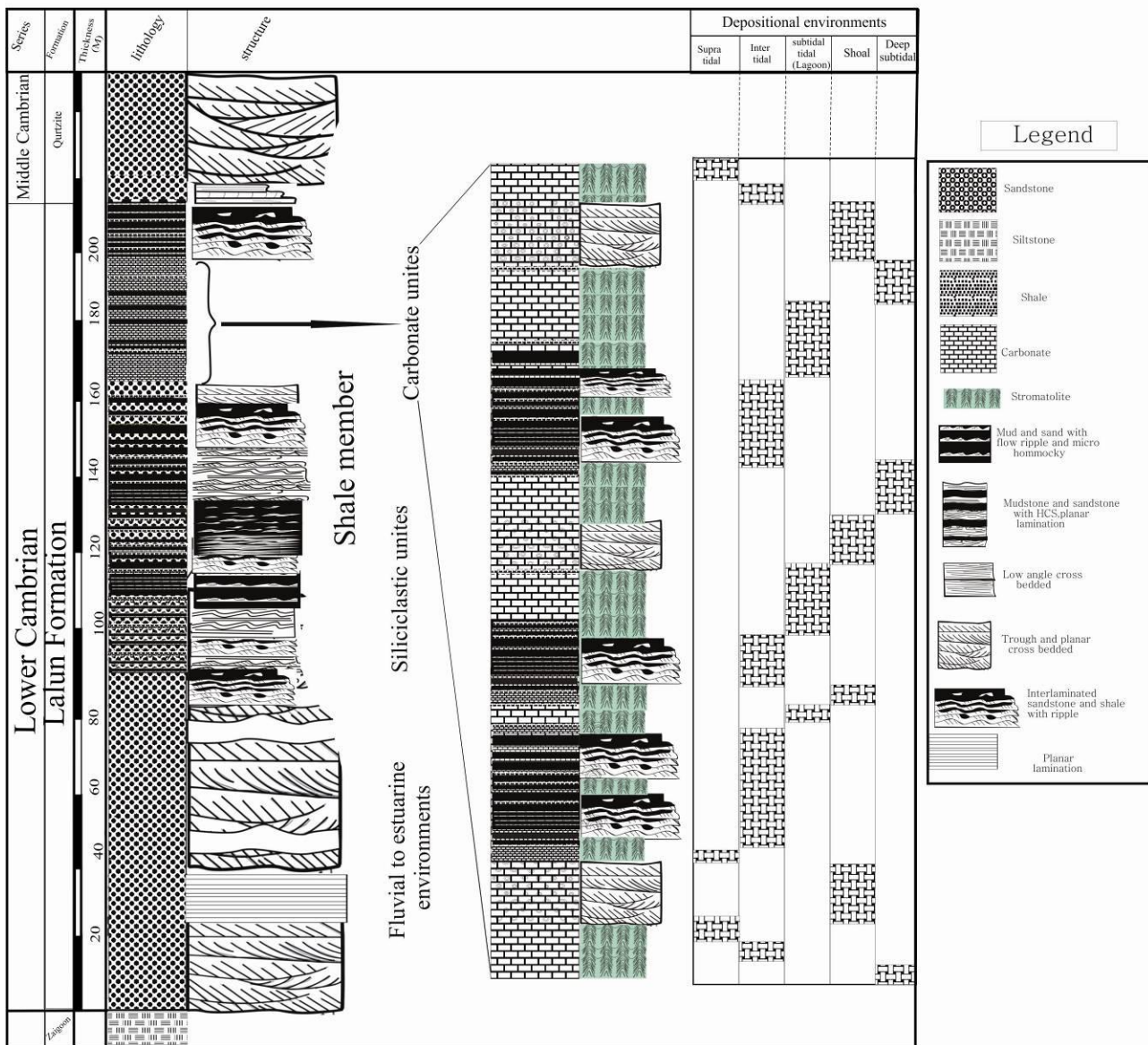
پشت‌بادام، فروافتادگی بیاضه-بردسیر و بلوک یزد است (شکل ۱). سازند لالون یکی از گسترده‌ترین واحدهای رسوبی پالئوزوئیک زیرین بلوک طبس در ایران مرکزی است. بلوک طبس که میان گسل‌های نایبند در شرق و کلمرد - کوهبنان در غرب قرار دارد بخشی از یک قلمروی ساختاری است که در کناره‌ها و بستر خود توسط گسل‌هایی از پی‌سنگ بریده شده به گونه‌ای که در پالئوزوئیک و مزوزوئیک توالی چینه‌شناسی متفاوتی از نواحی مجاور داشته است (قاسمی و همکاران ۱۳۸۱). بررسی‌های دیرینه‌جغرافیایی نشان می‌دهد که پس از رخداد کوهزایی کاتانگایی، از زمان پرکامبرین پسین تا پایان تریاس، ایران مرکزی، به صورت یک سکوی با ثبات، با دریای کم عمق پوشیده شده که گاه با حرکت رو به بالای زمین و پسروری دریا به خشکی تبدیل می‌شد. به همین دلیل، در بیشتر نواحی ایران مرکزی سنگ‌های پالئوزوئیک از نوع رسوبات بر قاره‌ای (Epicontinental) است. ولی، با وجود شرایط یکسان رسوبی، از تفاوت‌های رخساره‌ای و تغییر ضخامت رسوبات، چنین استنباط می‌شود که این رسوبات در حوضه‌های رسوبی مستقل و جدا از هم انباشته شده‌اند (آقانیاتی ۱۳۸۳).

در ایران مرکزی بخش بالایی نهشته‌های کامبرین پیشین ایران (سازند زاگون و لالون) به رنگ سُرخ ارغوانی و نشانگر محیط‌های بسیار کم عمق اکسیدی است. شواهد زمین‌شناختی موجود نشان می‌دهد که در پایان کامبرین پیشین، پس از پسروری کامل دریا، ایران به خشکی گسترده‌ای تبدیل شده ولی در کامبرین میانی، بار دیگر شرایط دریای کم عمق فراهم آمده و در آن رسوبات دولومیتی، شیلی، سنگ‌آهک و ماسه‌سنگ ته نشین شده‌اند (Ruttner et al. 1968). سازند لالون یکی از گسترده‌ترین سازندهای کامبرین پیشین ایران است که به تقریب در همه جا ترکیب سنگ‌شناسی مشابه دارد

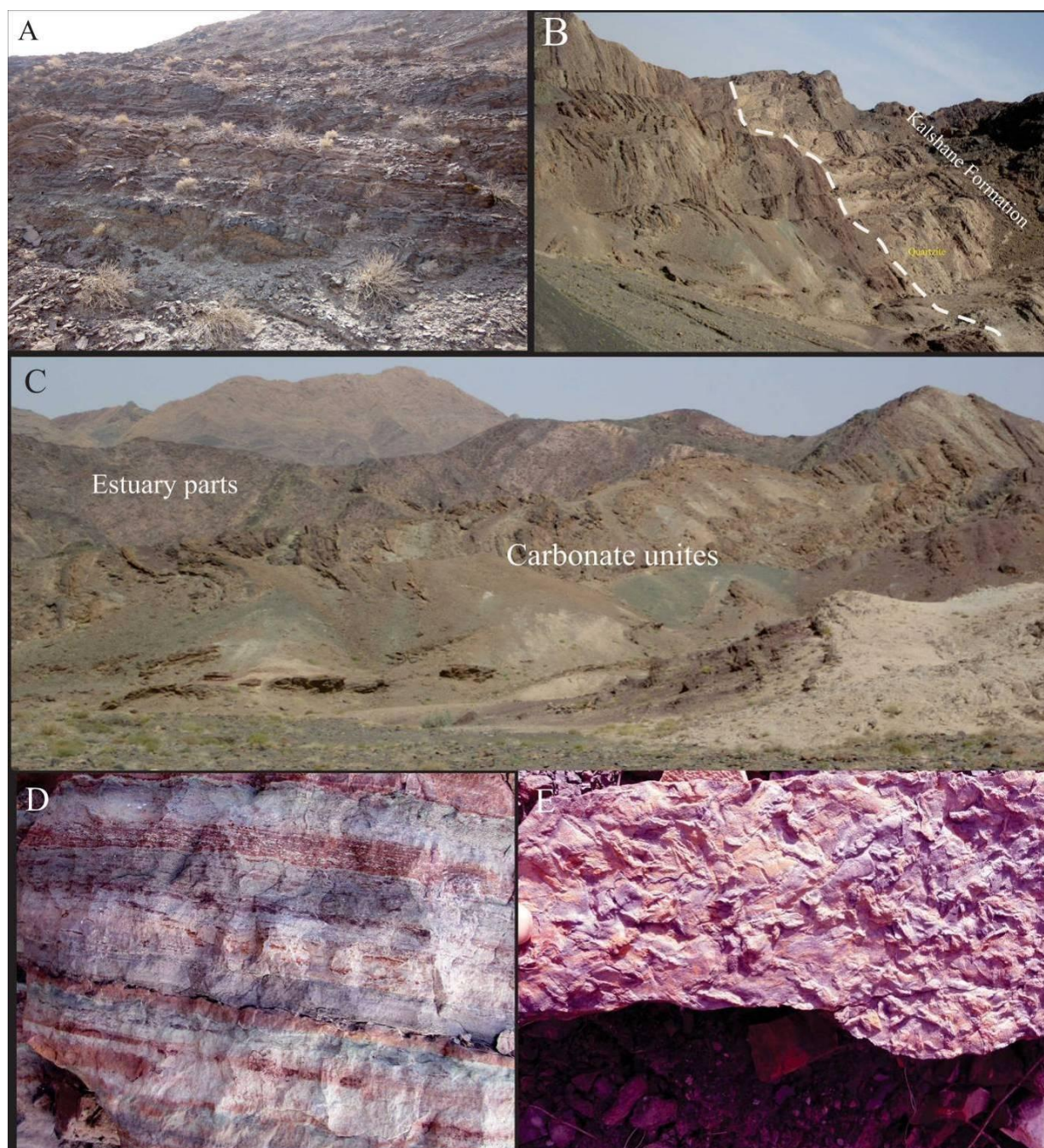
(Hamed et al. 1997). در بلوک طبس این سازند شامل واحدهای مخلوط آواری - کربناته از دولومیت، شیل، سنگ‌آهک و ماسه‌سنگ به همراه طبقه بندی مورب تراف تشکیل شده است (Ruttner et al. 1968) (شکل ۲). وجود یک عضو شیلی ارغوانی و واحدی از ماسه‌سنگ کوارتزی سفیدرنگ (Top Quartzite) در بالای سازند لالون سبب شده بود تا این سازند به سه عضو تقسیم شود که در بین آنها ماسه‌سنگ‌های کوارتزی بیشترین سهم را دارند (Kushan 1978; Lasemi 2001; Lasemi and Amin-Rasouli 2007). ولی هم اکنون این ماسه سنگ مرز ناپیوسته‌ای با ماسه‌سنگ‌های لالون دارد و ردیف‌های پیش رونده، سن کامبرین میانی - بالایی (سازند میلا یا گروه میلا) دارند (برای مثال Ghavidel-syooki 2006). وجود افق‌های کنگلومرایی در مرز زیرین ماسه‌سنگ‌های لالون با ردیف‌های سیلتی - شیلی زاگون سبب شده تا یک فاز فرسایشی پیش از لالون حتمی دانسته شود (آقانیاتی ۱۳۸۳). مرز بالایی سازند لالون با واحد کوارتزی قاعده‌ای گروه میلا با ناپیوستگی فرسایشی در زیر افق سیلتی - شیلی زرد رنگ اکسیده شده مشخص می‌شود (شکل ۳).

بر اساس مطالعات صحرائی و نتایج دیگر مطالعات (Ruttner et al. 1968; Lasemi 2001; Lasemi and Amin-Rasouli 2007)، نهشته‌های سازند لالون در بلوک طبس از دو واحد ماسه سنگی و شیلی تشکیل شده است. تفاوت چندانی در رخساره‌های بخش پایینی یا ماسه سنگی سازند لالون در البرز و طبس دیده نمی‌شود اما بخش شیلی سازند لالون در طبس تفاوت زیادی از لحاظ تغییرات سنگ‌شناسی نشان می‌دهد. این واحد در طبس از دو زیر بخش آواری در قاعده (خلیج دهانه‌ای) و کربناته در بالا (دریای باز) تشکیل شده است (شکل ۳). استروماتولیت‌های مورد مطالعه در زیر بخش کربناته واحد شیلی سازند لالون در برش کالشانه در شمال شهر

طبس واقع در جنوب شرقی کوه‌های درنجال و در ۹ کیلومتری جنوب شرق روستای کالشانه در دهنه کلت، قرار گرفته‌اند که به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۲- ستون چینه شناسی رسوبات سازند لالون در برش کالشانه در ۶۰ کیلومتری شمال شهر طبس واقع در جنوب شرقی کوه‌های درنجال و ۹ کیلومتری جنوب شرق روستای کالشانه



شکل ۳- A- عضو شیلی سازند لالون B- مرز سازند لالون با کوارتزیت قاعده‌ای گروه میلا که به سمت بالا به صورت تدریجی به دولومیت‌های سازند کالشانه تبدیل می‌شود. C- دور نمایی از ماسه سنگ‌های رودخانه‌ای لالون که به سمت بالا رسوبات خلیج دهانه‌ای و واحدهای کربناته همراه با انواع استروماتولیت مشاهده می‌شود. D- بخش پایینی واحد شیلی سازند لالون حاوی رخساره‌های آواری شامل طبقه‌بندی عدسی و فلاسر، خط مقیاس معادل ۵ سانتی‌متر است. E- وجود ترک‌های سین آرسیس در واحدهای شیل سازند لالون در یک محیط خلیج دهانه‌ای با شوری بالا و تحت تأثیر جزرومد.

رخساره‌های کربناته سازند لالون

اگر چه حجم اصلی واحدهای کربناته سازند لالون در ناحیه مورد مطالعه را استروماتولیت تشکیل می‌دهد اما رخساره‌های دیگری نیز وجود دارد که به شرح زیر است:

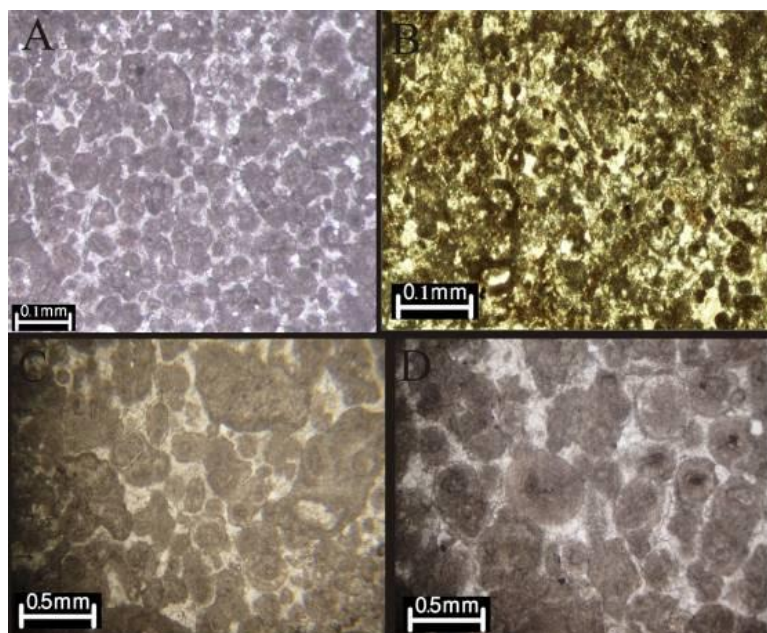
پکستون/گرینستون اینتراکلاستی: این رخساره عمدتاً از اینتراکلاست‌های میکریتی و تا اندازه‌ای گردشده به میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد تشکیل شده است. پلوئیدها به میزان ۱۵ تا ۲۰ درصد و آئیدهای میکریتی به میزان ۵ درصد در آنها دیده می‌شود که بین آنها را سیمان کلسیت اسپاری پر نموده است. جورشدگی ضعیف و اینتراکلاست فراوان همراه با استروماتولیت موید تشکیل این رخساره در محیط بین جزرومدی است. (شکل ۴a).

گرینستون پلوئیدی: این رخساره حاوی پلوئید (۲۵ درصد) و مقدار کمی اینتراکلاست است (شکل ۴b) و معادل رخساره RMF-20 (Flügel 2004) است که در بخش پرانرژی‌تر لاگون برجای گذاشته است.

دولستون تا مادستون کوارتزی: این رخساره دارای دانه‌های پراکنده‌ای از کوارتز و بلورهای ریز دولومیت است و احتمالاً در بخش کم انرژی‌تر لاگون برجای گذاشته است.

گرینستون اینتراکلاستی: اینتراکلاست‌های میکریتی و گردشده به میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد و پلوئید به میزان ۱۰ درصد با جورشدگی متوسط تا ضعیف با سیمان کلسیت اسپاری از خصوصیات این رخساره است (شکل ۴c) و احتمالاً در داخل یک کانال جزر و مدی بر جای گذاشته شده است.

گرینستون انیدی: این رخساره از آئید (در اندازه ۰/۵ میلیمتر با فابریک متحدالمرکز و هسته میکریتی شده بیوکلاست و کوارتز) با فراوانی بیش از ۸۵ درصد تشکیل شده است. بین آئیدها را سیمان کلسیت اسپاری پر کرده است (شکل ۴d و شکل ۴e). نبود گل آهکی و وجود آئیدهای متحدالمرکز نشان‌دهنده یک محیط پرانرژی سدی است.



شکل ۴- A- پکستون/ گرینستون اینتراکلاستی (PPL) - B- گرینستون پلوئیدی (XPL) - C- گرینستون اینتراکلاستی (XPL) - D- گرینستون انیدی (XPL)

استروماتولیت‌های سازند لالون

بر اساس اختصاصات ماکروفابریکی (لایه‌بندی، ساختار و مورفولوژی) انواع استروماتولیت‌های زیر شناسایی شده است:

استروماتولیت‌های مسطح (Stratiform stromatolite)

استروماتولیت‌های مسطح یکی از فراوان‌ترین پوشش‌های میکروبی در رسوبات سازند لالون است. لایینه‌ها در این نوع استروماتولیت به فرم چین خورده، موجی و مسطح است (شکل a، b، c). استروماتولیت‌های مسطح غالباً دارای رخساره مادستونی هستند در حالیکه در انواع چین‌خورده و موجی که ضخامت لایینه‌ها از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر در تغییرند از تناوب دولومادستون و گرینستون ائیدی تشکیل شده است. ضخامت لایینه‌ها در اشکال موجی و نامنظم از مسطح کمتر است. فابریک روزنه‌ای و چشم‌پرنده‌ای با قالب‌های پرشده از کانی‌های تبخیری و کلسیت در این استروماتولیت‌ها فراوان است (شکل d). یکی از مهمترین خصوصیت این نوع استروماتولیت بخصوص در لایینه‌های چین خورده و موجی وجود ساختارهای چرخشی (roll-up structures) است (شکل e) که در گاهی موارد فضای بین آنها به وسیله سیمان کلسیتی هم ضخامت و هم بعد پرشده‌اند. وجود لامیناسیون ریپلی موجی و جریان‌ی که در سطح لایه به ریپل‌های موجی و جریان‌ی تبدیل می‌شود یکی از طرح‌های این نوع استروماتولیت‌ها در رسوبات کربناته سازند لالون است.

استروماتولیت‌های مسطح ناحیه مورد مطالعه مشابه استروماتولیت‌های باهاما، خلیج فارس و خلیج شارک است که در بخش‌های بالایی ایترتایدال و سوپراتایدال تشکیل شده‌اند (Logan et al. 1974; Hoffman 1976). وجود ساختارهای چرخشی ناشی از تخریب لایینه‌های میکروبی بر اثر فرسایش یا خروج گاز (Simonson and Carney 1999) و عدم وجود سیمان‌های دریایی در

اطراف این ساختمان‌ها و همراهی آنها با فابریک‌های روزنه‌ای و چشم‌پرنده‌ای موید تشکیل آنها در محیط‌های سوپراتایدال و بخش‌های بالایی ایترتایدال است (Harwood and Sumner 2011).

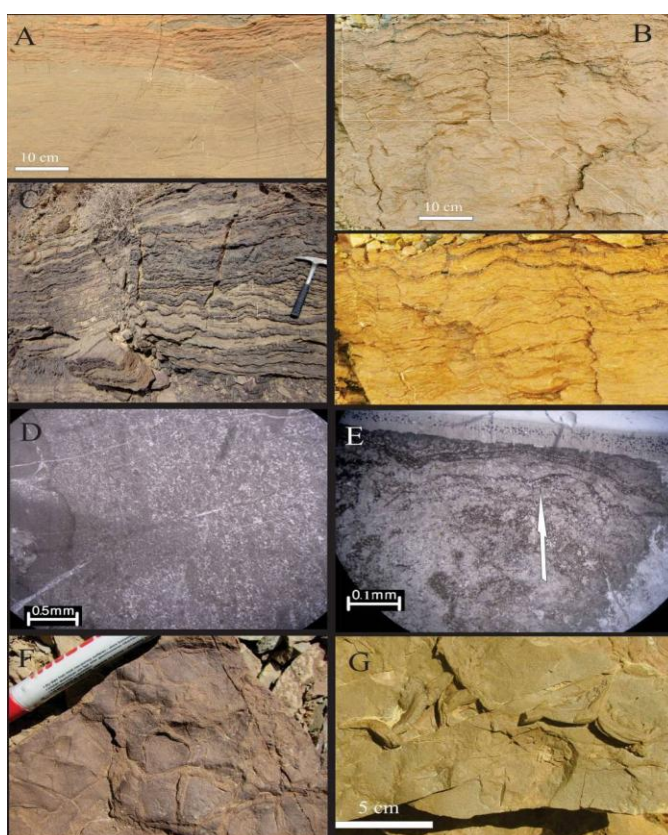
استروماتولیت‌های مسطح همراه با ترک‌های مختلف

(Stratiform stromatolite with various cracks)

این نوع استروماتولیت در نهشته‌های کربناته سازند لالون خصوصیات مورفولوژیکی و میکروسکوپی مشابهی با استروماتولیت‌های نوع اول دارد با این تفاوت که در سطح بالایی یا پایینی این نوع استروماتولیت‌ها ترک‌های حاصل از خشک‌شدگی و در معرض هوا قرار گرفتن سطح بالایی پوشش‌های میکروبی مشاهده می‌شود. ترک‌های موجود در این استروماتولیت شامل ترک‌های چند ضلعی (polygonal cracks)، ترک‌های گلی (Mud cracked) و ترک‌های دوکی شکل (Spindle-shaped cracks) است (شکل f، g). لازم به ذکر است که این ساختارها علاوه بر بخش کربناته سازند لالون در رسوبات آواری دانه ریز نیز به وفور مشاهده شده‌اند.

ترک‌های حاصل از خشک‌شدگی به صورت چند ضلعی‌های نامنظم با مقطع عرضی V شکل هستند. در گاهی موارد این نوع ترک‌ها به صورت چند ضلعی‌های محدب (positive cracks) دیده می‌شوند که رسوبات بین این ترک‌ها در اثر فرایندهای فرسایشی بعد از رسوب‌گذاری از بین رفته است. عمل آب‌گرفتگی و انقباض در اثر فرایند خروج از آب از بستر رسوبی کربناته ایجاد می‌شود، به همین دلیل استروماتولیت‌ها با ترک‌های گلی و ترک‌های چند ضلعی را می‌توان به محیط‌های سوپراتایدال نسبت داد که تنها در زمان مدهای بهاری، باران و امواج در زیر آب قرار می‌گیرند. گاهی موارد فراوانی رسوبات دانه ریز گلی در مرکز ترک‌های گلی و ترک‌های چند ضلعی موید تأثیر

فرایندهای امواج و جزرومد در طول دوره‌های سیلابی است که موجب انتقال مواد دانه ریز شده است. یکی دیگر از اشکال فراوان همراه با ترک‌های چند ضلعی، وجود ترک‌های حاصل از خشک‌شدگی و انقباض دوکی شکل است. همراهی این نوع ترک‌ها با ترک‌های گلی و ترک‌های چند ضلعی در نهشته‌های سازند لالون موید تشکیل استروماتولیت‌های حاوی این نوع ساختار در محیط‌های سوپراتایدال است. اگر چه برخی (Gerdes et al. 2000; Noffke et al. 2001) استروماتولیت‌های حاوی این نوع ترک‌ها را به محیط اینترتایدال نسبت می‌دهند و ترک‌های موجود در آن را معادل ترک‌های سین آرسیس می‌دانند، اما باوگری و پورادا (Bouougri and Porada 2002) نوع رسوبات همراه با ترک‌های دوکی شکل را معیار مفیدی جهت شناسایی محیط تشکیل این نوع ساختارها پیشنهاد می‌کنند.



شکل ۵- A- استروماتولیت‌های سطح پهنه‌های جزرومدی با زوج لامینه‌های تیره و روشن که به سمت بالا به استروماتولیت‌های موجی تا چین خورده نامنظم تبدیل می‌شود. B- استروماتولیت‌های موجی با ضخامت لامینه‌ای یکسان که نمای نزدیکی از آنها در چپ و بالای تصویر مشاهده می‌شود. C- انواع مختلف استروماتولیت‌های سطح چین خورده، موجی و سطح همراه با ساختارهای چرخشی (roll-up structures) در مقیاس ماکروسکوپی. D- تصویر میکروسکوپی فابریک فنسترال و چشم پرنده ای در استروماتولیت‌های سطح (PPL). E- تصویر میکروسکوپی ساختارهای چرخشی (PPL). F- ترک‌های حاصل از خشک‌شدگی به صورت چند ضلعی‌های نامنظم بر روی بخش بالایی استروماتولیت‌های سطح. G- ترک‌های دوکی شکل حاصل از خشک‌شدگی و انقباضی در روی بخش بالایی استروماتولیت‌های سطح.

استروماتولیت تأثیر جریان‌ات جزرومدی را تأیید می‌کند.

استروماتولیت‌های کورک‌دار (Pustular stromatolite)

این نوع استروماتولیت به صورت لایه‌بندی‌های توده‌ای نامنظم و در گاهی موارد در بخش بالایی استروماتولیت‌های مسطح مشاهده می‌شود (شکل ۶d، e). لایه‌ها به طور متناوب از دولومیت‌های درشت و ریز بلور با ضخامت یکنواخت چند میلیمتر تا چند سانتیمتر تشکیل شده‌اند. یکی از مهمترین خصوصیت این نوع استروماتولیت‌ها وجود کورک‌های نامنظم در سطح بالایی این نوع استروماتولیت‌هاست (شکل ۶d). در برخی موارد در برش‌های عرضی این کورک‌ها، ستون‌های کوچکی تا ارتفاع کمتر از ۵ سانتی متر مشاهده می‌شوند (شکل ۶e). این نوع استروماتولیت دارای ظاهری با فابریک لخته‌ای و ترومبولیتی هستند. استروماتولیت‌های کورک‌دار معمولاً در محیط‌های بالایی ایترتایدال و یا مرتبط با استروماتولیت‌های ستونی کوچک در محیط‌های بالایی ساب‌تایدال تشکیل می‌شوند (Logan et al. 1974; Reid et al. 2003; Harwood 2009; Jahnert and Collins 2011).

استروماتولیت‌های توده‌ای مغزی شکل (non-laminated)

(Cerebroid stromatolite)

این نوع استروماتولیت دارای شکلی حدواسط بین استروماتولیت‌های کورک‌دار و مغزی شکل هستند (Jahnert and Collins 2011). استروماتولیت‌ها بدون لایه‌بندی و به فرم گنبد، ستون و یا چماقی شکل هستند (شکل ۶f). سطح خارجی این نوع استروماتولیت شبیه بافت مغز (cerebrum) با حفرات مدور تا کشیده است. همراهی این نوع استروماتولیت‌ها در نهشته‌های سازند لالون با استروماتولیت‌های ستونی و گنبدی حاکی از

استروماتولیت‌های نامنظم (Crinkly stromatolite)

این نوع استروماتولیت دارای دو نوع لایه‌بندی است. یک نوع لایه‌بندی شامل لایه‌های صاف با دولومیت‌های ماسه‌ای با رنگ روشن و لایه‌های مادستونی سیاه رنگ که لایه‌ها دارای ضخامت‌های مختلفی هستند. نوع دوم شامل لایه‌های نامنظم و متناوب تیره و روشن با ضخامت متغیر که عموماً در برش عرضی تشکیل استروماتولیت‌های نامنظم و کولوفورم کوچک (colloform) یا گلبولی را می‌دهند (شکل ۶a، b). نهشته‌های کولوفورم عمدتاً از دولومادستون با شیب‌هایی از پلوئید و آئید تشکیل شده‌اند (شکل ۶c). یکی از مهمترین خصوصیات این نوع استروماتولیت در رسوبات سازند لالون وجود سطح فرسایشی چندگانه است به طوری که در بیشتر موارد قطع شدگی در نظم لایه‌بندی و ساخت‌های کولوفورم مشاهده می‌شود. قطع شدگی کل ساختار به وسیله سطح فرسایشی بزرگتر نیز از مهمترین خصوصیت این نوع استروماتولیت است. سطوح فرسایشی در بیشتر موارد بوسیله لایه‌های میکروبی مسطح و صاف پوشیده می‌شوند اما در گاهی موارد لایه‌های شیلی - مادستونی آنها را می‌پوشانند.

این نوع استروماتولیت معمولاً در محیط‌های ساب‌تایدال کم عمق تحت تأثیر نوسانات امواج و جزرومد تشکیل می‌شوند (Simonson 1988; Simonson and Carney 1999; Jahnert and Collins 2011; Harwood and Sumner 2011). وجود سطوح چندگانه یا سطوح دوباره فعال شده، وجود شیب‌هایی از آئید، عدم وجود شواهد خشک شدگی سطحی و نزدیکی به رخساره‌های سدی پرانرژی در این استروماتولیت موید تشکیل در محیط‌های ساب‌تایدال کم عمق و بخش‌های بالایی ایترتایدال با انرژی بالای جزرومدی است. طبقه‌بندی هترولیک، فلاسر و موجی در نهشته‌های همراه با این نوع

تشکیل آنها در محیط‌های ساب تایدال است.

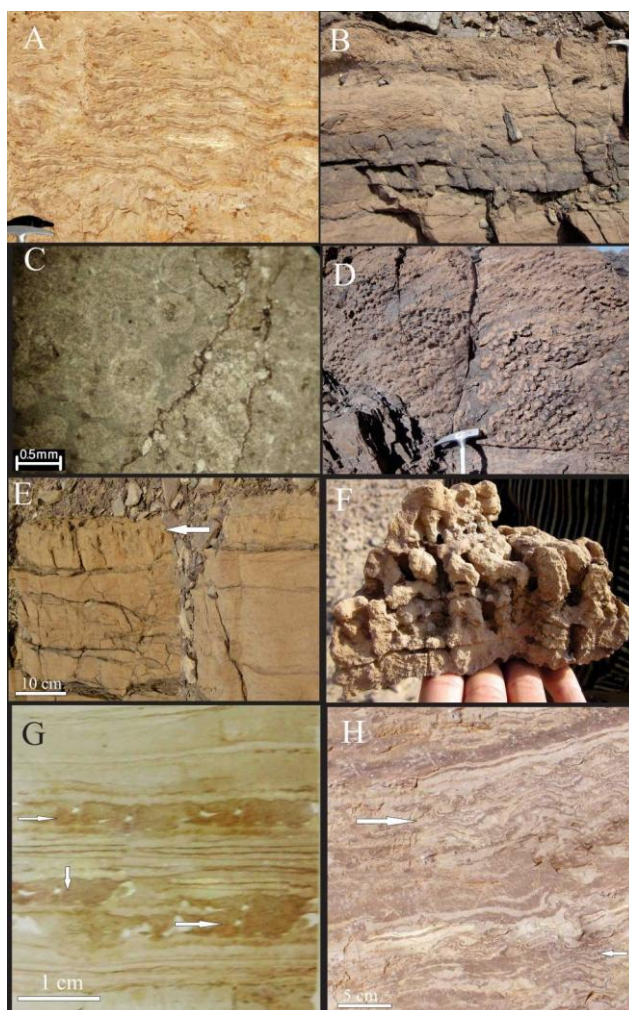
ناحیه مورد مطالعه این شرایط را تأیید می‌کنند.

استروماتولیت‌های مرکب (Composite stromatolite)

استروماتولیت‌های مرکب در رسوبات سازند لالون از تناوب بافت‌های لخته‌ای (clotted) و لامینه‌ای در مقیاس چندسنتی متری تا چند میلی متری تشکیل شده است (شکل ۶ g, h). این نوع استروماتولیت شباهت زیادی با استروماتولیت‌های مسطح نامنظم دارد با این وجود تجمع لخته‌ای از گل در استروماتولیت‌های مرکب موجب تفکیک این نوع استروماتولیت از استروماتولیت‌های مسطح نامنظم شده است. بافت لخته‌ای غالباً از لامینه‌های تغییر شکل یافته، منفصل و نامنظم و در برخی موارد از لخته‌های میکروبی با سطح نامنظم تشکیل شده‌اند. کنارد و جیمز (Kennard and James 1986) همراهی لامینه‌های میکروبی منظم با لخته‌های میکروبی نامنظم را ناشی از رشد در هم این میکروب‌ها و هوارد و سامر (Harwood and Sumner 2011) ناشی از رشد همزمان پوشش‌های میکروبی می‌دانند که در بخش‌های بالایی ساب تایدال تا اینترتایدال تشکیل شده‌اند. همراهی استروماتولیت‌های مرکب و مسطح نامنظم در رسوبات

استروماتولیت‌های مخروطی (Coniform stromatolites)

این نوع استروماتولیت در سازند لالون فراوان نیست و معمولاً همراهی نزدیکی با استروماتولیت‌های مسطح نامنظم (Crinkly stromatolite) دارند (شکل ۷ a). استروماتولیت‌های مخروطی شباهت زیادی با استروماتولیت‌های ستونی (SH) (Logan et al. 1964) دارد. با این وجود این نوع استروماتولیت‌ها را به دلیل فرم‌های مخروطی منفرد با لایه‌بندی محدب به سمت بالا و الگوی جناغی، استروماتولیت‌ها مخروطی (Coniform) معرفی کرده‌اند (Altermann and Herbig 1991; Altermann 2007). لامینه‌ها از دولومیت درشت و ریز بلور تشکیل شده‌اند و در گاهی موارد با لایه‌های آواری دانه ریز همراهند. آلتیرمن (Altermann 2007) تشکیل این استروماتولیت‌های مخروطی کوچک را در محیط‌های ساب تایدال کم عمق و بخش‌های پایینی اینترتایدال و استروماتولیت‌های مخروطی بزرگ را در بخش‌های عمیق تر ساب تایدال تفسیر نموده‌اند.



شکل ۶- A- لامینه‌های نامنظم و تیره و روشن در **Crinkly stromatolite** (B) - وجود سطح فرسایشی چندگانه در استروماتولیت‌های نامنظم، همراه با قطع شدگی در نظم لایه‌بندی و ساخت‌های کولوفورم و قطع شدگی در کل ساختار. C- نهشته‌های کولوفورم در استروماتولیت‌های نامنظم که غالباً از دولومادستون با شیخ‌هایی از آئید تشکیل شده‌اند (PPL). زمینه دولومیت ریز بلور و بلورهای سیمان دولومیت درشت بلورند. D- وجود کورک‌های (pustules) نامنظم در سطح بالایی استروماتولیت‌ها. E- کورک‌های موجود در سطح بالایی لایه در امتداد استروماتولیت‌های ستونی کوچک. F- استروماتولیت‌های بدون لایه‌بندی با سطح خارجی شبیه بافت مغزی شکل (cerebrum) همراه با حفرات مدور تا طویل کشیده. G- تصویر میکروسکوپی تجمع لخته‌ای گل‌های آهکی در استروماتولیت‌های مرکب که در تناوب با لامینه‌های میکروبی منظم هستند. H- همراهی لامینه‌های میکروبی منظم با لخته‌های میکروبی نامنظم که حاکی از رشد در هم آنهاست.

استروماتولیت‌های گنبدی (Domed stromatolites)

استروماتولیت‌های گنبدی از مهمترین و فروان‌ترین نوع استروماتولیت‌های کربناته در نهشته‌های زیربخش کربناته واحد شیلی سازند لالون در ایران مرکزی است. استروماتولیت‌ها تغییرات زیادی در نسبت اندازه گنبدها،

نوع آرایش در برش عرضی (لامینه‌ای منظم، نامنظم تا توده‌ای) و الگوی آرایش قاعده (اتصال جانبی باز تا فشرده) نشان می‌دهند. این نوع استروماتولیت‌ها معادل استروماتولیت‌های گنبدی (LLH) (Logan et al. 1964) است و شامل دو نوع اتصال جانبی فشرده (LLH-C) و

گلی در استروماتولیت‌های گنبدی نوع اول موید محیط‌رسوبی آرام با شرایط انرژی پایین لاگونی است. آلتیرمن (Altermann 2007) نیز محیط رسوبی استروماتولیت‌های گنبدی با اتصال جانبی باز را بخش‌های عمیق ساب تایدال در زیرموجسار هوای آرام تفسیر می‌کند. در رسوبات سازند لالون نیز در بیشتر موارد گنبد‌های استروماتولیتی به صورت توده‌های جاسازی شده (embedded) در بین نهشته‌های شیلی-گلسنگ‌های پلتی قرار دارند که موید محیطی آرام در زیر موجسار هوای آرام و ساب تایدال عمیق است. لازم به ذکر است که ارتباط جانبی استروماتولیت‌های گنبدی و تنوع مورفولوژیکی در نهشته‌های سازند لالون نشان‌دهنده نرخ پایین رسوب‌گذاری در شرایط آرام انرژی در محیط‌های ساب تایدال در زیرموجسار هوای آرام است (Shapiro and West 1999; Adams and Grotzinger 1996; Glumac and Walker 2000).

استروماتولیت‌های ستونی (Columnar stromatolites)
 استروماتولیت‌های ستونی در نهشته‌های زیربخش کربناته واحد شیلی سازند لالون فراوانی کمتری دارند و معمولاً همراهی نزدیکی با استروماتولیت‌های گنبدی با اتصال جانبی فشرده (LLH-C) دارند. این نوع استروماتولیت‌ها معادل با استروماتولیت‌های ستونی (SH) (Logan et al. 1964) است که در نهشته‌های سازند لالون تنها به صورت نیمکره‌های عمودی برانباشته با شعاع قاعده ای ثابت دیده می‌شود (شکل ۴۷، g). استروماتولیت‌های ستونی در نهشته‌های سازند لالون به دو گونه دیده می‌شود. نوع اول به صورت ستون‌های کوچک با لایه‌بندی ضعیف و دارای سطح ناهموارند و گاهی حالت حدواسط بین این نوع استروماتولیت و استروماتولیت‌های توده‌ای مغزی شکل (non-laminated Cerebroid stromatolite) یا استروماتولیت‌های کورک‌دار (Pustular stromatolite)

اتصال جانبی باز (LLH-S) است (شکل ۴۷، c، d). استروماتولیت‌های با اتصال جانبی فشرده به صورت نیمکره‌های با ضخامت متفاوت دیده می‌شوند که هر نیمکره نیز از تناوب لامینه‌های تیره و روشن تشکیل شده است. لامینه‌های میکروبی در این نوع استروماتولیت دارای رشد متحدالمرکز با سطح محوری مشابه هستند به طوری که شعاع لامینه‌ها از مرکز به سمت خارج افزایش می‌یابد. از مهمترین خصوصیت این استروماتولیت‌ها، پوشیده شدن آنها به وسیله رسوبات شیلی-سیلتستونی است به طوری که ساختار کلی بوسیله عدم بر انبارش قائم (unstacked) نیمکره‌های میکروبی و گسترش جانبی با ضخامت متغیر تعریف می‌شود.

از طرف دیگر استروماتولیت‌های با اتصال جانبی باز (LLH-S) لایه‌بندی یکنواخت و منظم مشابه با LLH-C را نشان نمی‌دهند (شکل ۴۳، d) و در بیشتر موارد به صورت توده‌های گنبدی شکل بدون لایه‌بندی با سطح قاعده‌ای مدور دیده می‌شوند. در گاهی موارد دارای لایه‌بندی ضعیف با الگوی تحدب به سمت بالا هستند. سطح بالایی این نوع استروماتولیت‌ها غالباً صاف و در گاهی موارد چین خورده (wrinkle) است و بین نیمکره‌ها عمدتاً توسط گل‌های آهکی پلوئیدی پر شده است (شکل ۴۷، e).

در این نوع استروماتولیت‌ها رابطه مستقیمی بین گسترش لایه‌بندی و اندازه گنبد‌ها دیده می‌شود (Altermann and Herbig 1991; Altermann 2007) به طوری که در نهشته‌های سازند لالون با افزایش اندازه گنبد‌ها نظم لایه‌بندی از بین می‌رود و بیشتر لامینه‌ها به صورت نامنظم (crinkly) مشاهده می‌شوند. از سوی دیگر افزایش اندازه استروماتولیت‌های گنبدی می‌تواند منطبق با افزایش عمق محیط رسوبی باشد (Logan et al. 1964; Allwood et al. 2006; Van Kranendonk 2006, Harwood 2009). لایه‌بندی یکنواخت و رسوبات

می‌توان رسوب‌گذاری کربنات‌های واحد شیلی سازند لالون را در یک محیط کم عمق تحت تأثیر نوسانات جزر و مد تفسیر نمود. تغییرات مورفولوژی استروماتولیت‌های سازند لالون نشان می‌دهد که تأثیر دو فاکتور مورد اشاره (انرژی محیط رسوبی و نرخ رسوب‌گذاری) با توجه به روند افزایش عمق محیط رسوبی و تأثیر نوسانات امواج و جزرومد، بیشترین تأثیر را داشته‌اند. براساس مطالعات لوگان و همکاران (Logan et al. 1974) با افزایش روند عمق حوضه، ارتفاع و پهنای استروماتولیت‌ها افزایش می‌یابد. در نهشته‌های سازند لالون نیز استروماتولیت‌های سطح بیشتر در محیط‌های کم عمق همچون سوپراتایدال و بخش‌های بالایی اینترتایدال و استروماتولیت‌های ستونی یا گنبدی در محیط‌های عمیق‌تر همچون بخش‌های پایینی اینترتایدال و ساب‌تایدال تشکیل شده‌اند. از طرف دیگر افزایش عمق محیط رسوبی همراه با کاهش شوری و افزایش تأثیر نوسانات جریان می‌باشد. در محیط‌های سوپراتایدال و تا اندازه‌ای بخش‌های بالایی اینترتایدال، استروماتولیت‌های سطح به دلیل شوری بالا و سطح انرژی کم عمومی‌ترین مورفولوژی مشاهده شده در زیر بخش کربناته واحد شیلی سازند لالون است. افزایش انرژی جریان به سمت سدهای آلیتی موجب کاهش استروماتولیت‌های سطح و افزایش استروماتولیت‌های ستونی یا گنبدی می‌شود.

یکی از ویژگی‌های مهم زیربخش کربناته واحد شیلی سازند لالون توسعه گسترده پشته‌های سدی است که موجب جدایش رسوبات کربناته جزر و مدی از شیل‌ها و سیلتستون‌های دریایی شده است. پشته‌های سدی به علت تشکیل در مناطق پر انرژی، همانند رخساره‌های آواری دارای ساخت‌های جریان‌ی (current Structures) هستند و از گرینستون‌های با طبقه‌بندی مورب که در بیشتر موارد حالت عدسی شکل دارند، تشکیل شده

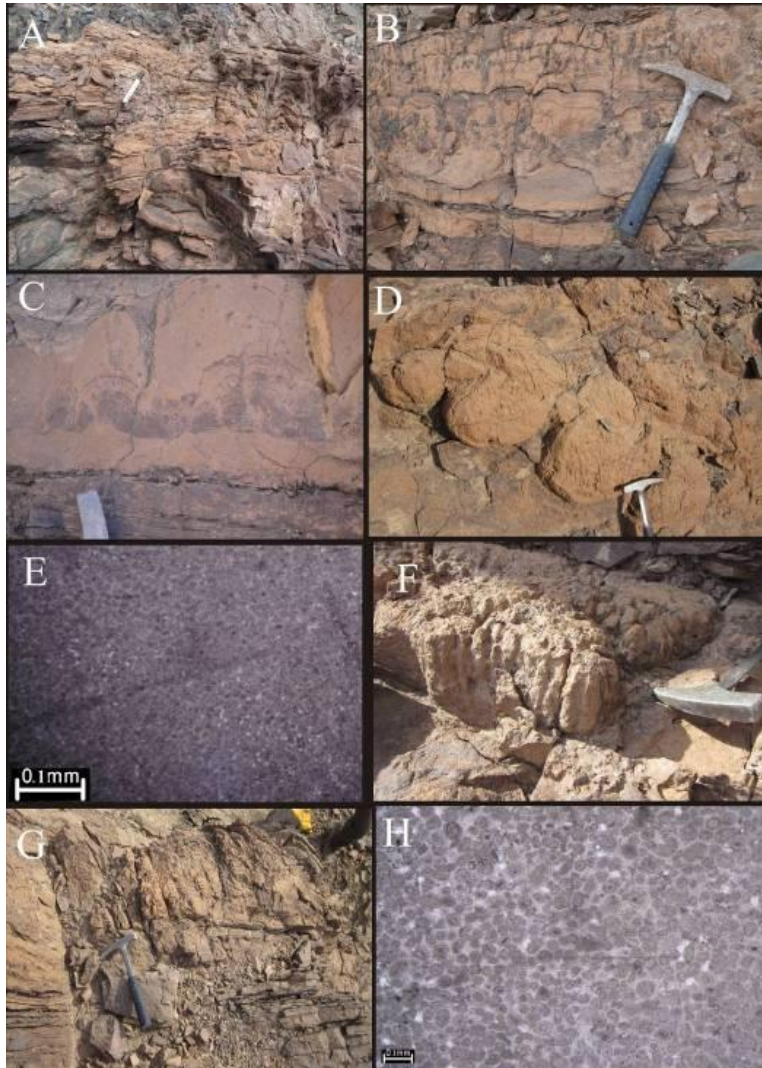
دیده می‌شود. این استروماتولیت‌ها دولومیتی بوده و در بیشتر موارد عرض و طول ستون‌ها بدون تغییر و همسان است. در نوع دوم لایه‌بندی منظم و دارای تناوبی از لایه‌های تیره و روشن است. یکی از ویژگی‌های مهم این نوع استروماتولیت‌ها عدم ارتباط جانبی آنهاست. انرژی جریان و نرخ رسوب‌گذاری تأثیر زیادی بر روی مورفولوژی، لایه‌بندی و میزان ارتباط جانبی ساختارهای میکروبی دارد (Hofmann 2000; Altermann 2002, 2004; Allwood et al. 2007; Schopf et al. 2007a, 2007b). بر همین اساس عدم ارتباط جانبی این استروماتولیت‌ها و فشردگی بالای ساختارهای استروماتولیتی حاکی از انرژی بالای جریان و نرخ بالای رسوب‌گذاری است. چنین شرایطی در نهشته‌های سازند لالون منطبق بر محیط‌های بالای موجسار هوای آرام در بخش‌های بالایی و تا حدی پایینی اینترتایدال است که با تغییرات زیادی در انرژی محیط رسوبی و نرخ رسوب‌گذاری همراه است.

محیط رسوبی رسوبات زیر بخش کربناته واحد شیلی سازند لالون

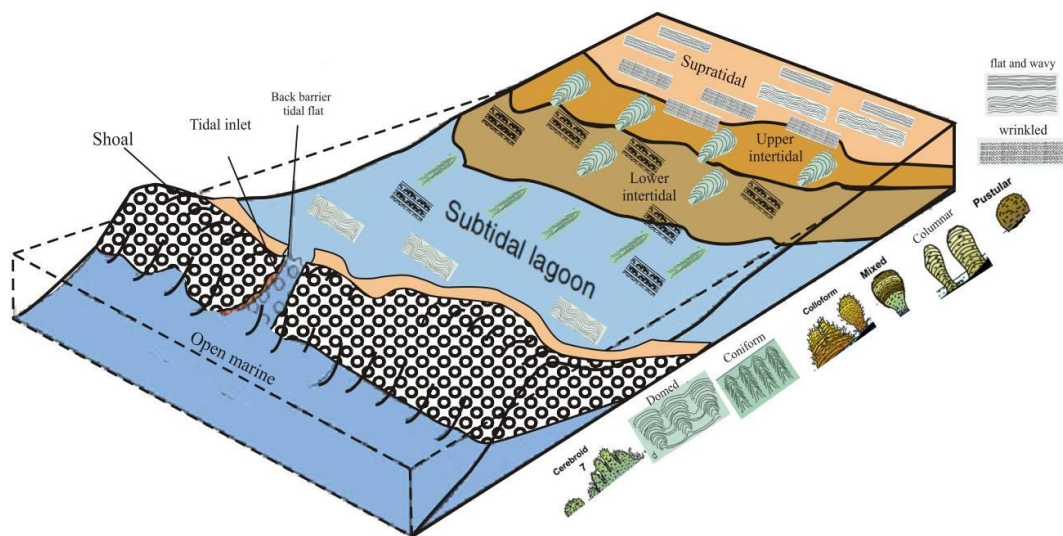
بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که مورفولوژی استروماتولیت‌ها تحت کنترل انرژی محیط رسوبی و نرخ رسوب‌گذاری است (James and Bourque 1992; Hofman 1994; Harwood 2009). با این وجود بسیاری از استروماتولیت‌های قدیمه و عهد حاضر در محیط دریایی کم عمق به خصوص پهنه‌های جزرومدی محافظت شده با شوری و دمای بالا ایجاد می‌شوند که یکی از خصوصیت مهم چنین محیط‌هایی تغییر انرژی و نرخ رسوب‌گذاری است. نهشته‌های کربناته سازند لالون نیز از این قاعده مستثنی نیست. با توجه به استروماتولیت‌های شناسایی شده و نوع برانبارش رخساره‌ای و شواهد جزرومدی (ساختارهای فیزیکی)،

که به وسیله بخش‌های ساب تایدال از اینترتایدال- سوپراتایدال جدا می‌شوند بر جای گذاشته شده‌اند (Pratt 1982)(شکل ۸).

است. این سنگ‌ها عمدتاً از آئید (با فابریک متحدالمرکز و هسته میکریتی شده بیوکلاست و کوارتز) با فراوانی بیش از ۸۵ درصد تشکیل شده (شکل HV) و به طور گسترده در پشت جزایر سدی (back barrier tidal flat)



شکل ۸-۷- A- مخروط‌های منفرد با لایه‌بندی محدب به سمت بالا و الگوی جناغی به عنوان استروماتولیت‌های مخروطی (Coniform) - B- استروماتولیت گنبدی با اتصال جانبی فشرده (LLH-C) که به سمت بالا به استروماتولیت‌های مسطح تبدیل می‌شود. C- استروماتولیت گنبدی با اتصال جانبی فشرده (LLH-C)، لامینه‌های میکروبی در این نوع استروماتولیت رشد متحدالمرکزی را با سطح محوری مشابه نشان می‌دهند. شعاع لامینه‌ها از مرکز به سمت خارج افزایش می‌یابد. D- استروماتولیت‌ها با اتصال جانبی باز (LLH-S)، بدون لایه‌بندی یکنواخت و منظم با سطح بالایی چین خورده (wrinkle) تا کورک‌دار. E- رسوبات بین نیمکره‌ها به صورت مادستون پلت‌دار. F- استروماتولیت‌های ستونی با نیمکره‌های عمودی برانباشته با شعاع قاعده‌ای ثابت با لایه‌بندی ضعیف. G- استروماتولیت‌های ستونی با لایه‌بندی منظم و لامینه‌های تیره و روشن. H- تصویر میکروسکوپی گرینستون آئیدی در پشته‌های سدی.



شکل ۸- مدل رخساره‌ای کربنات‌های واحد شیلی سازند لالون در ایران مرکزی همراه با نحوه توزیع انواع استروماتولیت‌ها

تأثیر فعالیت گریزینگ

مهمترین فاکتورهای تأثیرگذار بر روی استروماتولیت‌ها در طول زمان زمین‌شناسی از پرکامبرین تا عهد حاضر فعالیت گریزینگ موجودات است به طوری‌که در مقایسه با استروماتولیت‌های پالئوزوئیک زیرین، تغییرات در مورفولوژی و ساختار استروماتولیت‌ها مویده تغییرات تکاملی در جانداران سازنده استروماتولیت‌ها و محیط تشکیل آنهاست (Hofmann 1973). کمبود استروماتولیت‌های ستونی و گنبدی در رسوبات کم عمق مزوزوئیک و سنوزوئیک به فعالیت گریزینگ موجودات نسبت داده می‌شود (Riding 2000). با این وجود فراوانی کم جانداران پرسلولی با فعالیت گریزینگ در طول پرکامبرین و پالئوزوئیک زیرین موجب شده است که استروماتولیت‌ها با تنوع و فراوانی بالا در بیشتر حوضه‌های آبی عمیق و نواحی جزر و مدی و زیرجزر و مدی گسترش یابند. اما نکته‌ای که در ارتباط با

استروماتولیت‌های زیربخش کربناته واحد شیلی سازند لالون بسیار حائز اهمیت است وجود فراوانی بالای جانداران سازنده اثرفسیل‌ها با فعالیت گریزینگ است. وجود اثرات گریزینگ با فراوانی و تنوع بالا شامل *Monomorphichnus*, *Rusophycus*, *Cruziana*, *Dimorphichnus*, *Didymaulichnus*, *Diplichnites* و *Taphrhelminthopsis* حاکی از فعالیت بندپایان از جمله تریلوبیت‌ها در این رسوبات است. اثرفسیل‌های حاصل از فعالیت بندپایان در رخساره‌های کم انرژی محیط‌های آرام با بستر گلی نرم و غنی از مواد غذایی منطبق بر ایکنوفاسیس کروزیانا در رخساره‌های دور از ساحل (offshore) و زیرجزر و مدی (subtidal) است که بیشترین گستردگی را دارند (بایت گل و همکاران ۱۳۸۹؛ بایت گل و همکاران زیر چاپ). در نهشته‌های رسوبی سازند لالون فعالیت تریلوبیت‌ها و دیگر بندپایان بیشترین تأثیر را بر روی گسترش و پراکندگی سیانوباکتری‌های

رسوب‌گذاری می‌باشد. در نهشته‌های مورد مطالعه با افزایش روند عمق حوضه، ارتفاع و پهنای استروماتولیت‌ها افزایش می‌یابد به طوری که استروماتولیت‌های سطح بیشتر در محیط‌های کم عمق همچون سوپراتایدال و بخش‌های بالایی اینترتایدال ایجاد می‌شود در حالیکه استروماتولیت‌های ستونی یا گنبدی در محیط‌های عمیق‌تر همچون بخش‌های پایینی اینترتایدال و ساب تایدال ایجاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی با کد شماره ۲/۲۱۶۰۶ معاونت پژوهشی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود. در انتها از داوران محترم که با نظرات مفید خود به ارتقای سطح علمی این مقاله کمک نموده‌اند سپاسگزاریم.

منابع

آقائباتی، ع. ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
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.
بایت گل. آ، ر. موسوی حرمی و ا. محبوبی زیر چاپ.
اترفسیل کروزیانا و روزفیکوس: مطالعه موردی از توالی‌های اردوویسین، بلوک کلمرد، ایران مرکزی: فصلنامه علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

اندولیتیک داشته است. رخساره‌های آواری سازند لالون که در خلیج دهانه‌ای بر جای گذاشته شده‌اند بیشترین فعالیت و گستردگی جانداران گریزینگ دیده می‌شود. اثر مخرب این جانداران بر روی رشته‌های ژلاتینی سیانوباکتری‌های اندولیتیک موجب شده است که استروماتولیت‌ها در این نواحی ایجاد نشوند. کاهش فعالیت گریزینگ حاصل از بندپایان در رخساره‌های کربناته سازند لالون موجب شده است که استروماتولیت‌ها توانایی رشد و حفظ شدگی را از بخش‌های سوپراتایدال تا ساب تایدال را داشته باشند.

نتیجه‌گیری

بررسی واحد کربناته نهشته‌های سازند لالون در ایران مرکزی نشان می‌دهد که نهشته‌های کربناته مورد مطالعه این سازند در پشت جزایر سدی آئیدی به صورت پهنه‌های جزرومدی گسترده از محیط‌های ساب تایدال تا بخش‌های بالایی سوپراتایدال ایجاد می‌شود. مهمترین رخساره‌ها در زیربخش کربناته واحد شیلی سازند لالون استروماتولیت‌ها با شکل و تنوع مختلف می‌باشند. رخساره‌های استروماتولیتی در نهشته‌های سازند لالون مورفولوژی‌های متغییری را نشان می‌دهند که شامل استروماتولیت‌های مسطح، مسطح همراه با ترک‌های مختلف، مسطح نامنظم، کورک‌دار، توده‌ای مغزی شکل، مرکب، مخروطی، گنبدی و ستونی می‌باشد. بررسی ماکروفابریک (لایه‌بندی، ساختار و مورفولوژی) میکروبیالیت‌های زیر بخش کربناته واحد شیلی سازند لالون یک راه کار عملی جهت تفکیک مورفولوژیکی، رخساره‌ای و محیطی میکروبیالیت‌ها براساس یافته‌های موجود در این مطالعه ارائه می‌دهد. تغییر مورفولوژی استروماتولیت‌ها در نهشته‌های مورد مطالعه حاکی از تغییر شرایط محیطی شامل انرژی محیط و نرخ

- Adams, R.D., and J.P., Grotzinger, 1996, Lateral continuity of facies and parasequences in Middle Cambrian Platform Carbonates, Carrara Formation, Southeastern California, U.S.A: *Journal of Sedimentary Research*, v. 66, p.1079-1090.
- Allwood, A.C., M.R. Walter, B.S. Kamber, C.P. Marshall and I.W. Burch, 2006, Stromatolite reef from the Early Archean era of Australia: *Nature*, v. 441(8), p.714–718.
- Allwood, A.C., M.R. Walter and B.S. Kamber, 2007, 3.43 billion-year-old stromatolite reef from the Pilbara Craton of Western Australia: Ecosystem-scale insights to early life on Earth: *Precamb. Res.*, v. 158, p.198–227 .
- Altermann, W. 2002, The evolution of life and its impact on sedimentation, in *Precambrian Sedimentary Environments: A Modern Approach to Ancient Depositional Systems*, ed. by W. Altermann, P.L. Corcoran. Special Publication International Association of Sedimentologists, v. 33, p. 15–32.
- Altermann, W. 2004, Altermann, Precambrian stromatolites: Problems in definition, classification, morphology and stratigraphy, in *The Precambrian Earth: Tempos and Events*, ed. by P.G. Eriksson, W. Altermann, D.R. Nelson, W. Mueller, O. Catuneanu: *Developments in Precambrian Geology* Elsevier, Amsterdam, p. 564–574 .
- Altermann, W. 2007, The early Earth's record of enigmatic cyanobacteria and supposed extremophilic bacteria at 3.8to2.5Ga, in *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environment*, ed. by J. Seckbach. *Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, v 11 (Springer, Heidelberg), Chap. 8.
- Altermann, W., J.Kazmierczak, A. Oren, D. Wright, 2006, Microbial calcification and its impact on the sedimentary rock record during 3.5 billion years of Earth history: *Geobiology*, v. 4, p.147–166 .
- Altermann, W, and H.G. Herbig, 1991, Tidal flats deposits of the Lower Proterozoic Campbell Group along the south- western margin of the Kaapvaal Craton, Northern Cape Province: South Africa. *J. Afr. Earth Sci.*, v. 13(3– 4), p. 415–435.
- Bouougri, E., and H. Porada, 2002, Mat-related sedimentary structures in Neoproterozoic peritidal passive margin deposits of the West African Craton (Anti-Atlas, Morocco): *Sedimentary Geology*, v. 153, p. 85–106.
- Bouougri, E.H, and H. Porada, 2007, Siliciclastic biolaminites indicative of widespread microbial mats in the Neoproterozoic Nama Group of Namibia: South Africa. *J. Afr. Earth Sci.*, v. 48, p.38-48.
- Draganits, E. and N. Noffke, 2004, Siliciclastic stromatolites and other microbially induced sedimentary structures in an early Devonian barrier-island environment (Muth Formation, NW Himalayas): *J. Sed. Res.*, v. 74, p. 191–202.
- Gerdes, G., T.Klenke, and N. Noffke, 2000, Microbial signatures in peritidal siliciclastic sediments: a catalogue. *Sedimentology*, v. 47, p. 279–308.
- Glumac, B., and K.R. Walker, 2000, Carbonate deposition and sequence stratigraphy of the Terminal Cambrian Grand Cycle in the Southern Appalachians , U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, v. 70, p. 952– 963.
- Hamedi, M.A., A.J., Wright, R.J., Aldridge, A.J., Boucot, D.L., Bruton, B.D.E., Chatterton, P., Jones, R.S., Nicoll, R.B. Rickards, & J.R.P. Ross, 1997, Cambrian to Silurian of East-Central Iran: new biostratigraphic and

- biogeographic data: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* v. 7, 412–424.
- Harwood C.L. and D.Y. Sumner, 2011, Microbialites of the Neoproterozoic Beck Spring Dolomite, Southern California: *Sedimentology*, v. 58, p.1648–1673.
- Hofmann, H.J. 1973, Stromatolites: Characteristics and utility: *Earth Sci. Rev.* v. 9, p. 339–373.
- Hoffman, P.F. 1974, Shallow and deepwater stromatolites in lower Proterozoic platform-to-basin facies change, Great Slave Lake: Canada. *Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol.* v. 58(5), p. 856–867.
- Hoffman, P.F. 1976, Environmental diversity of Middle Precambrian stromatolites, in *Stromatolites*, ed. by M.R. Walter. *Developments in Sedimentology*, v. 20 p. 599–612.
- Hofman H.J. 1994, Quantitative stromatoliteology. *J Paleontol*, v. 68, p.704–709.
- Hofmann, H.J. 2000, Archean stromatolites as microbial archives, in *Microbial Sediments*, ed. by R.E. Riding, S.M. Awramik, p. 315–327.
- Jahnerta, R.J. L.B. Collins, 2011, Significance of subtidal microbial deposits in Shark Bay, Australia: *Marine Geology*, v. 286, p.106–111.
- James NP, Bourque PA, 1992, Reefs and mounds. In: Walker RG, James NP (Eds.) *Facies models: response to sea level change*, Chap 17: Geological association of Canada.
- Kennard, J.M., and N.P. James, 1986, Thrombolites and stromatolites: two distinct types of microbial structures: *Palaios*, v. 1, p. 492–503.
- Kruse, P.D., and Zhuravlev, A.Yu. 2008. Middle–Late Cambrian Rankenella–Girvanella reefs of the Mila Formation, northern Iran. *Can. J. Earth Sci.* 45: 619–639.
- Kushan, B. 1973, Stratigraphie und Trilobitenfauna in der Mila-Formation (Mittelkambrium–Tremadoc) im Alborz-Gebirge (N- Iran): *Palaeontographica A*, v. 144, p. 113–165.
- Lasemi, Y., 2001, Facies Analysis, Depositional Environments and Sequence Stratigraphy of the Upper Pre-Cambrian and Paleozoic Rocks of Iran: *Geol. Surv. of Iran*, 180 pp. (in Persian).
- Lasemi, Y., and H. Amin-Rasouli, 2007, Archaeocyathan buildups within an entirely siliciclastic succession: new discovery in the Toyonian Lalun Formation of northern Iran, the Proto-Paleotethys passive margin of northern Gondwana. *Sedimentary Geology*, v. 201, p. 302–320.
- Logan, B.W., R. Rezak, R.N.Ginsburg, 1964, Classification and environmental significance of algal stromatolites. *J. Geol.* v. 72, p.68–83.
- Logan, B.W., J.F., Read, G.M., Hagan, P., Hoffman, R.G., Brown, P.J., Woods and C.D. Gebelein, 1974, Evolution and diagenesis of quaternary carbonate sequences, Shark Bay, Western Australia: *AAPG Memoir* 22, 358p.
- Noffke, N., G., Gerdes, T. Klenke, and W.E. Krumbein, 2001, Microbially induced sedimentary structures; a new category in the classification of primary sedimentary structures: *J. Sed. Res.*, v. 71, p.649–656.
- Porada, H. and E.H., Bouougri, 2007, Wrinkle structures – a critical review: *Earth-Sci. Rev.*, v. 81, p.199–215.
- Pratt, B.R. and N.P. James, 1982, Cryptalgal-metazoan bioherms of Early Ordovician age in the St. George Group, western

- Newfoundland: *Sedimentology*, v. 29, p.543–569.
- Reid, P.R., N.P. James, I.G. Macintyre, C.P. Dupraz, R.V. Burne, 2003, Shark Bay stromatolites: microfabrics and reinterpretation of origins: *Facies*, v. 49, p. 299–324.
- Riding, R., 1999, The term stromatolite: towards an essential definition: *Lethaia*, v. 32, p. 321–330.
- Riding, R., 2005, Phanerozoic reefal microbial carbonate abundance: comparisons with metazoan diversity, mass extinction events, and seawater saturation state. *Rev. Esp. Micropaleontol*, v. 37, p. 23–39.
- Schopf, J.W. A.B. Kudryavtsev, A.D. Czaja, A.B. Tripathi, 2007a, Evidence of Archean life: Stromatolites and microfossils. *Precamb. Res.* v. 158, p. 141–155.
- Ruttner, A., M.H. Nabavi, and J. Hajian, 1968, Geology of the Shirgesht Area (Tabas area, East Iran), *Geol. Surv. Iran, Rep.* v. 4, p. 33–40.
- Schopf, J.W. M.R. Walter, C. Ruiji, 2007b, Earliest evidence of life on Earth. *Precamb. Res.* v. 158, p. 139–140.
- Semihaktov, M.A., C.D., Gebelein, P., Cloud, S.M. Awramik, and W.C., Benmore, 1979, Stromatolite morphogenesis – progress and problems: *Can. J. Earth Sci.*, v. 16, p.992–1015.
- Shapiro, R.S., and R.R. West, 1999, Late Paleozoic stromatolites: new insights from the Lower Permian of Kansas: *Lethaia*, v. 32, p.131-139.
- Simonson, B.M. and K.E. Carney, 1999, Roll-up structures: evidence of in situ microbial mats in Late Archean deep shelf environments: *Palaios*, v.14, p.13–24.
- Van Kranendonk, M.J., 2006, Volcanic degassing, hydrothermal circulation and the flourishing of early life on Earth: A review of the evidence from c. 3490-3240 Ma rocks of the Pilbara Supergroup, Pilbara Craton, Western Australia: *Earth Sci. Rev.* v. 74, p.197–240.
- Whalen, M.T., D. Jed, J.P. Eberli, P.W. Homewood, 2002, Microbial carbonates as indicators of environmental change and biotic crises in carbonate systems : examples from the Late Devonian, Albertabasin, Canada: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 181, p. 127-151.

