

بازسازی محیط رسوب‌گذاری نهشته‌های میکروبیالی سازند نجمه به سن ژوراسیک بالایی در منطقه پاهه کرمانشاه

میثم عیسی‌نژاد^۱، مهدی دارائی^{۲*}، نارام بایت‌گل^۲، میلاد ایمانی سقین‌سرا^۱، افشین زهدی^۳ و جواد ربانی^۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

۲ - استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

نویسنده مسئول: daraeimehdi@iasbs.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

سازند نجمه با تنوعی از ساختارهای میکروبیالی توسط یک ناپیوستگی فرسایشی بر روی شیل‌ها و کربنات‌های تیره‌رنگ سرگلو قرار گرفته است. گذر از سازند سرگلو به سن ژوراسیک میانی به سازند نجمه به سن ژوراسیک بالایی نشان‌دهنده یک تغییر ناگهانی در نوع محیط رسوب‌گذاری است، بطوری که محیط از یک اینتراشلف با غلبه شیل سیاه غنی از ماده آلی و آهک‌های پلاژیک به یک محیط رمپ کم‌عمق با غلبه رسوبات میکروبیالی تغییر یافته است. این تغییر محیط که در پی یک پسروی آب دریا و بعد از یک انقطاع در رسوب‌گذاری ایجاد شده است، با شواهدی از جمله پرش‌های اینتراکلاستی، فابریک‌های فنسترال، بلورهای دروغین تیخیری، و ساختارهای متنوع میکروبی همراه است که نشان‌دهنده سیطره شرایط اقلیمی گرم و خشک با شوری بیش از حد آب دریا همراه با تنش‌های محیطی در ژوراسیک پسین است. مجموعه رخساره‌های سازند نجمه شامل پنج میکروفاسیس و دو رخساره سنگی می‌باشد که دربرگیرنده کمربندهای رخساره‌ای فراجزومدی، بین جزومدی و زیر جزومدی است. براساس تقسیم‌بندی ماکروفابریک‌ها، رسوبات میکروبیالی سازند نجمه شامل ترمبولیت و استروماتولیت است. توالی رسوبی این سازند غالباً از استروماتولیت تشکیل یافته است که خود شامل دو نوع مسطح و گنبدی است. این استروماتولیت‌ها دارای پنج نوع لامینه‌بندی (میکروفابریک) هستند که بیشترین نوع لامینه‌بندی، به صورت لامینه موازی میکرایت با اسپاریت می‌باشد. استروماتولیت‌ها در یک محیط فراجزومدی تا بین جزومدی تشکیل یافته‌اند. همچنین، ترمبولیت نیز دیگر ساختار میکروبیالی سازند نجمه است که با ماکروفابریک لخته‌ای و بدون لامینه در بالای شیل‌های قرمز قاعده‌ی چرخه‌های رسوبی در محیط زیر جزومدی کم عمق نهشته شده‌اند.

واژگان کلیدی: سازند نجمه، ژوراسیک بالایی، محیط جزومدی، استروماتولیت، ترومبولیت

پیشگفتار

پروتوزوآ در بسترهای رسوب‌گذاری همراه است. شکل‌گیری این مجموعه‌ها، نیاز به فوق اشباع بودن محیط از کربنات کلسیم دارد (رایدینگ، ۲۰۰۰). ارگانیسیم‌های اصلی درگیر در تشکیل میکروبیالیته‌ها، سیانوباکتری‌ها هستند که در محیط کم‌عمق و اکسیژن‌دار تکثیر و رشد می‌یابند (رایدینگ، ۲۰۰۰).

فرایندهای متابولیکی مانند فتوسنتز توسط سیانوباکتری^۲ و احیاء سولفات توسط سایر باکتری‌های هتروتروف^۳ می‌تواند سبب افزایش قلیائیت محیط شده و باعث نهشت

میکروبیالیت^۱ به‌عنوان یک اصطلاح کلی برای اشاره به رسوبات زیستی-رسوبی تشکیل شده توسط به دام انداختن ذرات و چسبیدن آن‌ها به یکدیگر، یا ته‌نشینی مستقیم در تعامل با مجموعه‌های میکروبی کف‌زی استفاده می‌شود (رایدینگ، ۲۰۰۱؛ بن‌یوک و همکاران، ۲۰۱۵؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ a, b). تشکیل کربنات‌های میکروبی با حضور میکروبه‌ها (ارگانیسیم‌های میکروسکوپی) از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و تک‌یاخته‌ها یا

³ Heterotroph

¹ Microbialite

² Cyanobacteria

جوامع سیانوباکتری با سلطه‌ی گونه‌های میکروبی کروی‌شکل (کوکوسی)^{۱۱} است (کنارد و جیمز، ۱۹۸۶). سازند نجمه به سن ژوراسیک پسین در منطقه شمال باختر کرمانشاه با لیتولوژی غالب کربنات‌های استروماتولیتی و ترمبولیتی توسعه یافته است. هدف از این مطالعه، تعیین نوع محیط رسوب‌گذاری سازند نجمه و جایگاه محیطی توالی‌های این سازند بر اساس شواهد رخساره‌ای سنگی، ریزرخساره‌ای و انواع فابریک‌های (مورفولوژی) استروماتولیتی است.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

توالی ژوراسیک بالایی سازند نجمه با گستردگی بالا در مقیاس ورقه‌ی عربی، بخصوص در کشور عراق و کویت و نیز بخش جنوب باختری ایران قابل ردیابی است (شکل ۱) و اهمیت ویژه‌ای از لحاظ یک سنگ مخزن مستعد در یک سیستم نفتی دارد (الشهران و نارین، ۲۰۰۳). سازند نجمه برای اولین بار توسط دونینگتون (۱۹۵۹) معرفی گردید و برش الگوی آن در چاه نجمه شماره ۲۹ (Najmah-29) در عراق واقع شده است. سعدونی (۱۹۹۷) سن سازند نجمه را آکسفوردین-کیمریجین^{۱۲} تعیین نمود. مرز زیرین این سازند با سازند سرگلو به صورت ناپوسته است، در حالی که مرز بالایی آن با سازند گوتنیا به صورت پیوسته می‌باشد (الشهران و نارین، ۲۰۰۳). سازند نجمه بعد از یک انقطاع در رسوب‌گذاری، با زیر آب رفتن سازند سرگلو در طی چرخه تراز بالای (HST) آب دریا رسوب‌گذاری نموده است (سعدونی، ۱۹۹۷).

منطقه مورد مطالعه، بخشی از کمربند چین‌خورده-رورانده زاگرس و در شمال باختر استان کرمانشاه، در مرز بین ایران و عراق واقع شده است (شکل b ۲). این کمربند حاصل برخورد قاره‌ای بخش شمال‌خاوری ابر قاره گندوانا (بخش‌های مرتبط با ورقه عربی) و بخش جنوب‌باختری ابرقاره لوراسیا (بخش‌های ایرانی) است (شکل a ۲؛ علوی، ۲۰۰۴). توالی رسوبی مورد مطالعه (سازند نجمه) به عنوان بخشی از نهشته‌های دریایی نفوتتیس می‌باشد. با این حال، توالی رسوبی مذکور، در مقایسه با دیگر نواحی ایران (ایران مرکزی و فروافتادگی دزفول)، در شرایط محیطی و اقلیمی

رسوبات کربناتی شود (کنور و کرمباین، ۲۰۰۰؛ رایدینگ، ۲۰۰۰). فرش‌های میکروبی^۴ از جمله مجموعه‌هایی هستند که توسط نهشته‌های کربناتی میکروبیال ایجاد می‌گردند. جهت‌گیری متراکم لامینه‌ای و درهم‌تنیده سلول‌های کوکوبیدی و رشته‌ای^۵ منعکس‌کننده ساختارهای رسوبی حاصله است (فلوگل، ۲۰۰۴). همچنین، استولز (۲۰۰۰) توده‌های میکروبی را تحت عنوان زیست‌لایه‌های^۶ تشکیل یافته از توده‌های تک‌یاخته‌ای ریز متراکم در یک ماتریکس لانه زنبوری از مقدار قابل توجهی مواد پلیمری خارج سلولی (EPS^۷) در نظر گرفت. EPS یک ماتریکس محافظ و چسبنده است که میکروب‌ها را به لایه‌های زیرین متصل می‌کند و حاوی کانال‌های داخلی آب منفذی است که انتقال مواد مغذی و اکسیژن و همچنین حذف مواد زائد را تسهیل می‌کند (بایت‌گل و دارائی، ۲۰۲۰؛ بایت‌گل و همکاران ۲۰۲۱a). فعل و انفعالات زیستی بسیاری از میکروارگانیسم‌ها می‌تواند سبب تولید EPS گردد، اما در توده‌های میکروبی، سیانوباکتری‌ها به عنوان مهم‌ترین ارگانیسم تولیدی EPS شناخته می‌شوند (دوپراز و همکاران، ۲۰۰۹). از دیدگاه کانی‌سازی زیستی^۸، ماتریکس EPS نشان‌دهنده مکانی است که ذرات کربناته در آن رشد می‌کنند (دوپراز و همکاران، ۲۰۰۹). این فرایندها منجر به تشکیل ساختارهای اولیه سنگی می‌شود، که در سازند نجمه باعث ایجاد دو دسته اصلی ساختار میکروبیال یعنی استروماتولیت^۹ و ترومبولیت^{۱۰} (آیتکن، ۱۹۶۷) شده است. استروماتولیت‌ها با یک ماکروفابریک چند لایه مشخص می‌شوند که توسط تجمع حادثه‌ای از طریق فعل و انفعالات به دام انداختن، چسبانیدن و سیمانی‌شدن ذرات توسط زیست‌لایه‌ها تشکیل می‌شوند. لایه‌های منفرد موجود در استروماتولیت‌ها با تعادل پویا بین دوره‌های مکرر رسوب‌گذاری (عمدتاً توسط سیانوباکتری‌های رشته‌ای عمودی جهت‌دار، که ذرات را به دام انداخته و به یکدیگر اتصال می‌دهند) و سنگ‌شدگی متناوب توده‌های سیانوباکتری ساخته می‌شوند که با تشکیل لامینه‌های پیوسته میکرابیتی در سطح زیست‌لایه‌ها مشخص می‌شوند (رید و همکاران ۲۰۰۰). در مقابل، فابریک لخته‌ای در ترومبولیت‌ها نشان‌دهنده کلنی‌های گسسته یا اشکال رشد

⁹ Stromatolite

¹⁰ Thrombolite

¹¹ Cucuci

¹² Callovian-Oxfordian

⁴ Microbial mats

⁵ Coccoid and filamentous cells

⁶ Biofilm

⁷ Extracellular Polymeric Substance

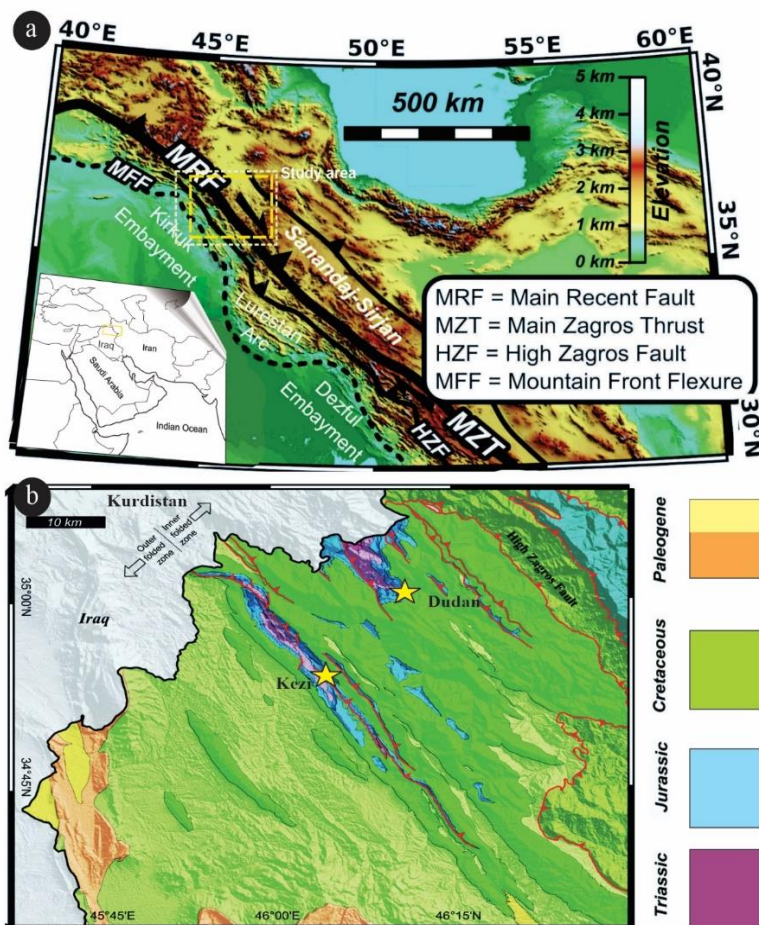
⁸ Organomineralization

برش دودان به واسطه یک مرز ناپیوستگی فرسایشی بر روی شیل‌ها و کربنات‌های تیره‌رنگ سازند سرگلو (بازوسین-کالوین) قرار گرفته است (شکل a ۳) و مرز بالایی آن نیز به صورت ناپیوسته با سازند گرو (نئوکرومین) می‌باشد. در برش کزی (شکل b ۳) این سازند مانند برش دودان با یک مرز ناپیوستگی فرسایشی از توالی سازند سرگلو جدا می‌شود ولی مرز بالایی آن در این برش به صورت ناگهانی به سازند گوتنیا (تیتونین) با سنگ‌شناسی برش با قطعات استروماتولیتی تبدیل می‌شود.

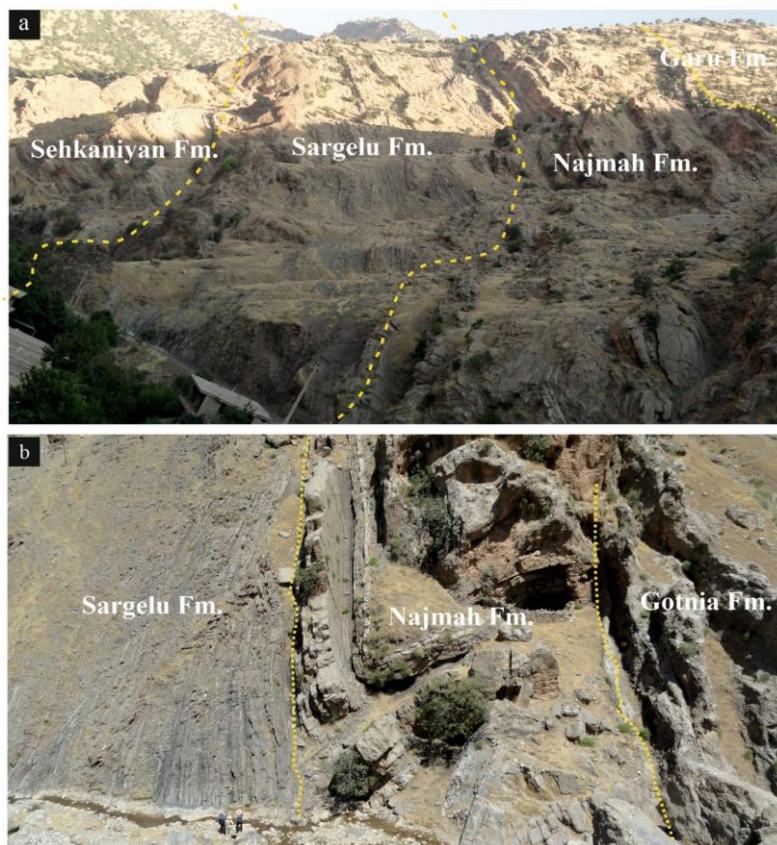
کاملاً متفاوتی رسوب‌گذاری شده است (مطیعی، ۱۳۷۲؛ جلیلیان ۱۳۹۳؛ زهدی و ربانی ۱۳۹۸). در این مطالعه، دو برش چینه‌شناسی با هدف مطالعه شرایط رسوب‌گذاری محیط دیرینه سازند نجمه انتخاب شده است. این برش‌ها شامل برش دودان با ضخامت ۱۰۴ متر در شهرستان پاوه (به طول جغرافیایی $46^{\circ}11'14.6''E$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ}01'01.6''N$) و برش کزی با ضخامت ۱۴ متر در شهرستان جوانرود (با طول جغرافیایی $46^{\circ}08'25.1''E$ و عرض جغرافیایی $34^{\circ}51'50.6''N$) است. سازند نجمه در

Period	Epoch/ Era	Lurestan	Khuzestan	Coastal Fars	Interior Fars
JURASSIC	Upper	Gotnia Najmah	Gotnia Najmah	Hith	KHAM GROUP
	Middle	Sargelu	Sargelu	Surmeh	
	Lower	Alan Mus Adaiyah	Alan Mus Adaiyah	Neyriz	Neyriz

شکل ۱. چینه‌شناسی و تطابق جانبی سازندهای ژوراسیک حوضه زاگرس (ستوده‌نیا، ۱۹۷۲؛ الا و همکاران، ۱۹۸۰).



شکل ۲. (a) نقشه کمر بند چین خورده-روانده زاگرس به همراه محدوده مورد مطالعه. (b) نقشه زمین‌شناسی برش‌های مورد مطالعه که با علامت ستاره مشخص شده‌اند (تاوانی و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۳. (a) تصویر صحرایی از برش دودان در شهرستان پاوه (دید به سمت شمال باختر). (b) تصویر صحرایی از برش کزی در شهرستان جواترود (دید به سمت شمال).

مرتبط از جمله رای‌دینگ (۲۰۰۰) و شناسایی میکروفابریک آن‌ها براساس تحقیقات ونین و همکاران (۲۰۱۴) صورت پذیرفت. در نهایت با ادغام مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی، رخساره‌های اصلی و نیز انواع ماکروفابریک و میکروفابریک‌های نهشته‌های میکروبی تعیین گردید و با مقایسه نتایج به دست آمده با رخساره‌های استاندارد، مدل‌های رخساره‌ای و مطالعات پیشین (سعدونی، ۱۹۹۷؛ شارلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ فاکس و اهلبرانت، ۲۰۰۲)، شرایط محیط رسوبگذاری و مدل رسوبی سازند نجمه مشخص گردید.

رخساره‌های رسوبی

براساس ادغام نتایج بررسی‌های پتروگرافی و صحرایی، در مجموع پنج ریزرخساره F1-F5 (ریزرخساره F2 براساس محیط قرارگیری به دو زیر رخساره استروماتولیت (دولو) باندستون با فابریک فنسترال و استروماتولیت (دولو) باندستون تقسیم‌بندی شده است) و دو رخساره سنگی در سازند نجمه شناسایی شد. این رخساره‌ها را

مواد و روش‌ها

این مطالعه، با استفاده از مطالعات صحرایی و پتروگرافی در راستای شناسایی انواع رخساره‌ها و نیز نهشته‌های میکروبیالی انجام گردیده است. مطالعات صحرایی شامل عکسبرداری از توالی‌های رسوبی، نمونه‌برداری منظم سنگی، بررسی محتویات فسیلی، اندازه‌گیری مشخصات سنگ‌شناسی، ساخت، فابریک، هندسه و ضخامت لایه‌ها در کنار بررسی روند چرخه‌های رسوبی (ریزشوندگی، درشت‌شوندگی، نازک‌شوندگی و ضخیم‌شوندگی) بوده است (شکل ۴). طی مطالعات پتروگرافی تعداد ۱۱۵ عدد برش‌نازک از مجموع دو برش تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی پتروگرافی، مشخصات فابریکی از جمله نوع و فراوانی اجزای سنگ، میزان گل و سیمان، جورشدگی و گردشگی دانه‌های رسوبی مدنظر قرار گرفت. برای نام‌گذاری سنگ‌ها از طبقه‌بندی دانه‌ها (۱۹۶۲) استفاده شد. تعیین انواع مختلف نهشته‌های میکروبیالی (انواع استروماتولیت و ترومبولیت)، توصیف و تفسیر انواع ماکروفابریک‌ها ساختارهای میکروبی براساس تحقیقات

جزرمدی^۲ و کمربند رخساره‌ای زیرجزرمدی کم عمق تا عمیق^۳ می‌باشد (جدول ۱، شکل ۴).

می‌توان در سه کمربند رخساره‌ای قرار داد که از کم‌عمق‌ترین به عمیق‌ترین، شامل کمربند رخساره‌ای فراجزرمدی^۱، کمربند رخساره‌ای فراجزرمدی تا بین

جدول ۱. لیتوفاسیس و ریزرخساره‌های سازند نجمه و نوع محیط رسوب‌گذاری آن‌ها

Microfacies type (F)	Sedimentary features	Skeletal and non-skeletal components	Other features	Sedimentary Interpretation
(F1) Dolostone – Lime mudstone	Planar, locally stromatolitic beds, with thickening upward cycles	Abundant dolomite, Skeletal components very rare or absent	occasionally dolomites with Planar-e structure	High-energy Supratidal environment
(F2a) Stromatolite (dolo) boundstone with fenestral fabric	Thin–thick layers of planar crypto algal structures	Mixed laminations of dense micrite and laminated micrite	some fenestral pores	High-energy supratidal environment
(F2b) Stromatolite (dolo) boundstone	Thin–thick layers of planar crypto algal structures of microbial crusts as dolomitic strata	Abundant microbial laminae. Local cyanobacteria and Peloids	partially with organic rich matrix	Moderate- to high-energy tidal flat (intertidal–subtidal) environment
(F3) Peloid oncoid microbial (dolo) boundstone	Layers of microbial crusts creating boundstone texture	Peloid, oncoid microbial crust	Clotted fabrics in the groundmass	Low to moderate- energy intertidal
(F4) Bioclastic calcisphere mudstone–wackestone	Massive, thickening upward beds, locally with stromatolite laminae	Calcispheres, rare Cephalopods, and very rare Radiolarians	Micritic groundmass, partially altered	Shallow subtidal environment
(F5) Thrombolite	Same as F2	Same as F2	Same as F2 and F3	Low energy shallow subtidal environment
Lithofacies type (L)	Sedimentary features	Skeletal and non-skeletal components	Other features	Sedimentary Interpretation
(L1) Stromatolitic breccia	Massive to Planar stromatolitic with weakly sorting and very angular grains	Unknown	Non-Occurrence in Doudan Section	Peritidal environment
(L2) Red shale	Recognizable based on Sheet like features	Unknown	Occurs in the base of the succession	Low-energy deep subtidal (Open marine) environment

به صورت مادستون آهکی با فابریک گل‌پشتیبان و بدون ذرات اسکلتی قابل شناسایی است (شکل ۵ c). تفسیر: وجود دولومیت در یک زمینه گل‌پشتیبان ریز تا متوسط بلور و نبود آلوکم اسکلتی در ریزرخساره دولوستون می‌تواند در ارتباط با بخش بالایی (پروکسیمال) موقعیت فراجزرمدی (سوپراتایدال) باشد (الشهران و کندال، ۲۰۰۳، بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۰۱۶). فابریک سطوح دولومیتی‌شده به رنگ قهوه‌ای ممکن است در ارتباط با آلتراسیون دولومیت‌ها در اثر قرارگیری در فازهای دیاژنزی^۲ جوی باشد. رخداد این ریزرخساره به صورت مادستون آهکی، ممکن است در ارتباط با بخش تحتانی (دیستال) موقعیت فرا جزرمدی باشد (پرات، ۲۰۰۱).

کمربند رخساره‌ای فرا جزرمدی

ریزرخساره دولوستون^۱ (F1): این ریزرخساره اکثراً در بخش رأسی سازند نجمه در هر دو برش قابل شناسایی است. این ریزرخساره بدون آلوکم اسکلتی و دارای فابریک گل‌پشتیبان است. اجزاء تشکیل‌دهنده آن اکثراً از نوع دولومیت ریز تا متوسط بلور است (شکل ۵ a, b). دولومیت‌ها، تقریباً هم اندازه و از نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل، همراه با سطوح بلوری نامنظم دیده می‌شوند که همراه با فضاهای خالی بین‌بلورین هستند. این دولومیت‌ها معمولاً متراکم و قهوه‌ای رنگ بوده و معادل فابریک مسطح یا صفحه‌ای نوع S (planar-s) در تقسیم‌بندی سیبلی و گرگ (۱۹۸۷) می‌باشند. همچنین در مواردی این رخساره

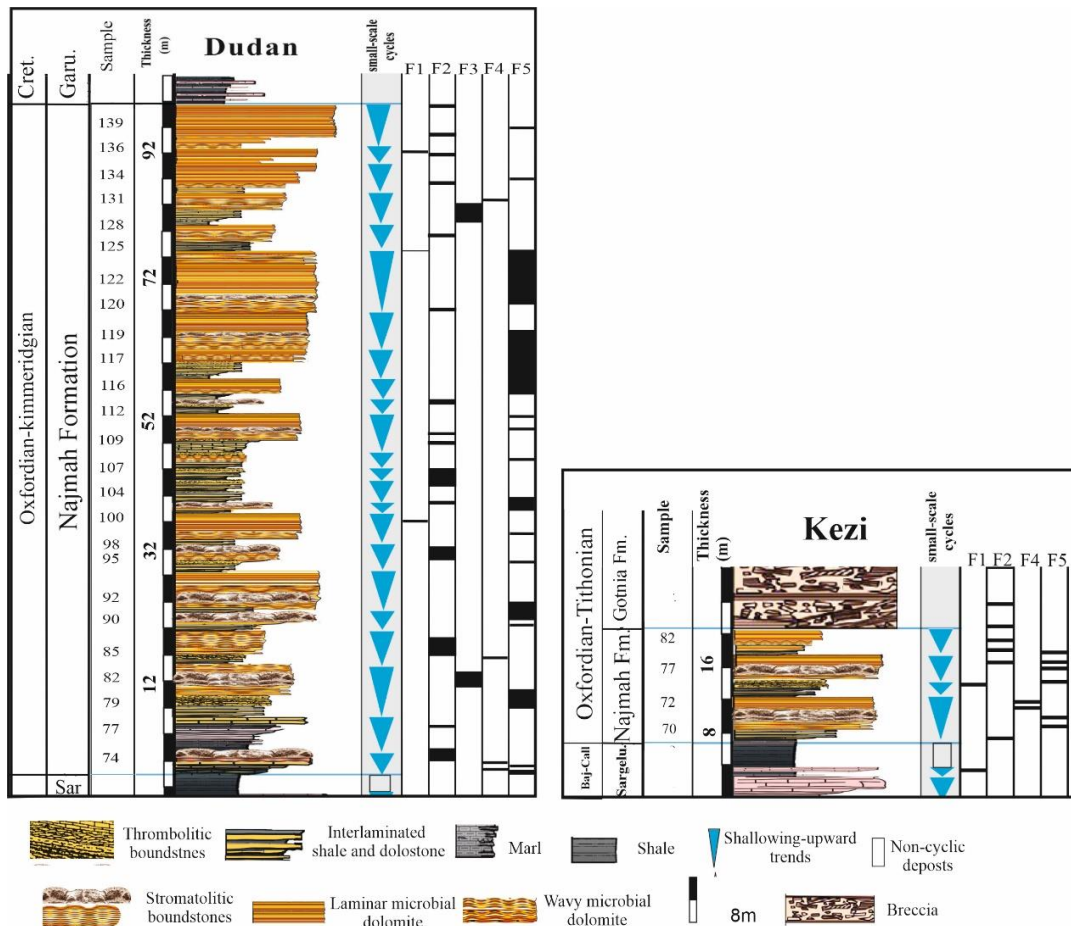
¹ Dolostone

² Diagenetic phases

¹ Supratidal

² Intertidal–Supratidal

³ Deep – shallow subtidal



شکل ۴. لاک رسوبی سازند نجمه به همراه توزیع رخساره‌ها در طول برش دودان (Dudan) و کزی (Kezi)

رشد و تکثیر میکروبیالیت‌ها در زون نورانی آب‌های کم عمق هستند (بن‌یوک و همکاران ۲۰۱۵).

استروماتولیت (دولو) باندستون با فابریک فنسترال^۴ (F2-a): استروماتولیت مسطح با شواهدی از فابریک فنسترال و فضای خالی قالبی مهم‌ترین مشخصه این ریزرخساره می‌باشد (شکل e ۵) که در زیر میکروسکوپ بصورت لامینه‌های موازی میکرایت با تناوبی از میکرایت پلوییدی به همراه تخلخل فنسترال دیده می‌شود. همچنین، این ریزرخساره دارای شواهدی از تبخیری‌ها است که در بعضی موارد به صورت کوبیک‌های ژیپس و انیدریت دیده می‌شود (شکل f ۵).

تفسیر: استروماتولیت مسطح با فابریک فنسترال و فضاهای خالی قالبی به همراه شواهدی از کانی‌های تبخیری بیانگر خروج مکرر محیط رسوب‌گذاری از آب در منطقه فراجزومدی و تشکیل تبخیری در اثر قرارگیری در شرایط هابیرسالیین است (فلوگل، ۲۰۰۴). در واقع،

برش استروماتولیتی^۱ (L1): لیتوفاسیس برش استروماتولیتی (LF-1) در بخش‌های بالایی سازند نجمه بخصوص در برش کزی به صورت قطعات خردشده استروماتولیت با لامینه‌های به هم ریخته و در هم شکسته با قطعات نامنظم نیمه‌زاویه‌دار تا زاویه‌دار با جورشدگی بد قطعات دیده می‌شود (شکل d ۵).

تفسیر: رخساره برش استروماتولیتی می‌تواند نشان دهنده‌ی منطقه بین جزرومدی تا فراجزومدی باشد که تحت تأثیر رخنمون سطحی قرار گرفته و باعث خشک‌شدگی^۲ و تخریب طبقات گلی، یا انحلال میان لایه‌های تبخیری^۳ و سپس ریزش لایه‌های فوقانی استروماتولیتی و تشکیل برش استروماتولیتی شده است. همچنین، این فرایند می‌تواند در نتیجه اثر متقابل فشارهای تکتونیکی در شکل‌گیری قطعات زاویه‌دار با جورشدگی ضعیف ایجاد شده باشد. استروماتولیت‌ها به عنوان سازنده قطعات این لیتوفاسیس برشی، نشان‌دهنده

³ Evaporite

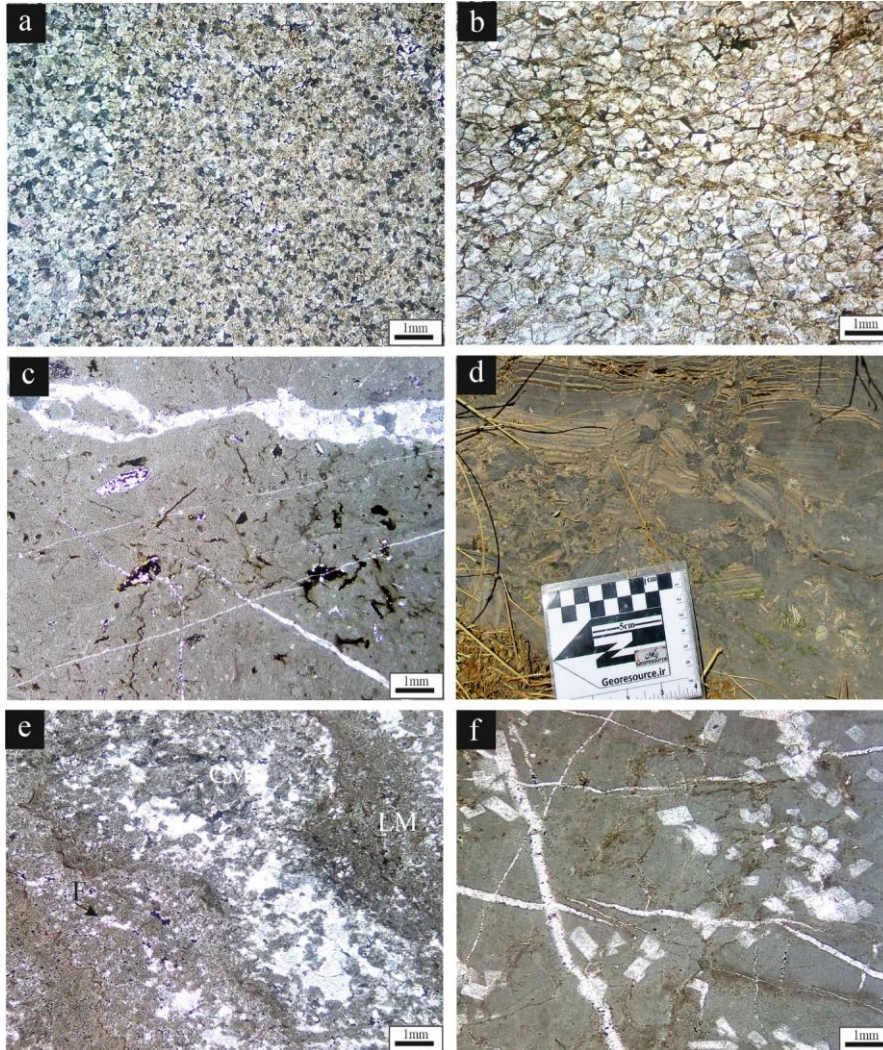
⁴ Stromatolite (Dolo) boundstone with fenestral fabric

¹Stromatolitic breccia

² Desiccation

منطقه بین جزرومدی تا بخش تحتانی منطقه فراجزرومدی می‌باشد (ونین و همکاران، ۲۰۱۴).

استروماتولیت‌های مسطح با تخلخل فنسترال^۵ بخصوص در بخش فوقانی توالی سازند نجمه، بیانگر موقعیت فوقانی



شکل ۵. (a) دولومیت ریز تا متوسط بلور به صورت مسطح نیمه‌شکل‌دار (نمونه SD-100 با نور XPL). (b) دولومیت درشت تا متوسط بلور بصورت مسطح نیمه‌شکل‌دار (نمونه Sk-66 با نور XPL). (c) مادستون آهکی (نمونه Sk-2 با نور XPL). (d) استروماتولیت برشی (برش کزی). (e) میکرایت لامینه‌ای (LM) - میکرایت لخته‌ای (CM) با فابریک فنسترال (نمونه SD-113 با نور XPL). (f) بلورهای دروغین روبوهدرال تبخیری در رخساره استروماتولیت (نمونه SD-83 با نور XPL).

به رنگ زرد نخودی تا خاکستری می‌باشد که در صحرا در بخش‌های میانی و بالایی چرخه‌های کم‌عمق شونده دیده می‌شود. این چرخه‌ها در قاعده دارای شیل هستند و گاهی در قسمت‌های رأسی استروماتولیت‌های پرشی شده مشاهده می‌شود. بر اساس ماکروفابریک استروماتولیت‌های موجود در سازند نجمه به دو دسته استروماتولیت‌های مسطح و گنبدی^۲ با مشخصات ذیل قابل تقسیم‌بندی هستند: ۱. استروماتولیت‌های مسطح^۳ که به صورت

کمر بند رخساره‌ای بین جزرومدی

استروماتولیت (دولو) باندستون^۱ (F2-b): این ریزرخساره گسترش بسیار بالایی در سازند نجمه در هر دو برش مطالعه شده دارد و تنها ریزرخساره تشکیل دهنده قطعات گراولی برش‌های سازند گوتنیا می‌باشد. سنگ‌شناسی غالب آن، آهک‌های استروماتولیتی (میکروبیالیت با ساختار داخلی چند لایه؛ رای‌دینگ، ۲۰۰۰)، متوسط تا ضخیم لایه

³ Stratiform stromatolite

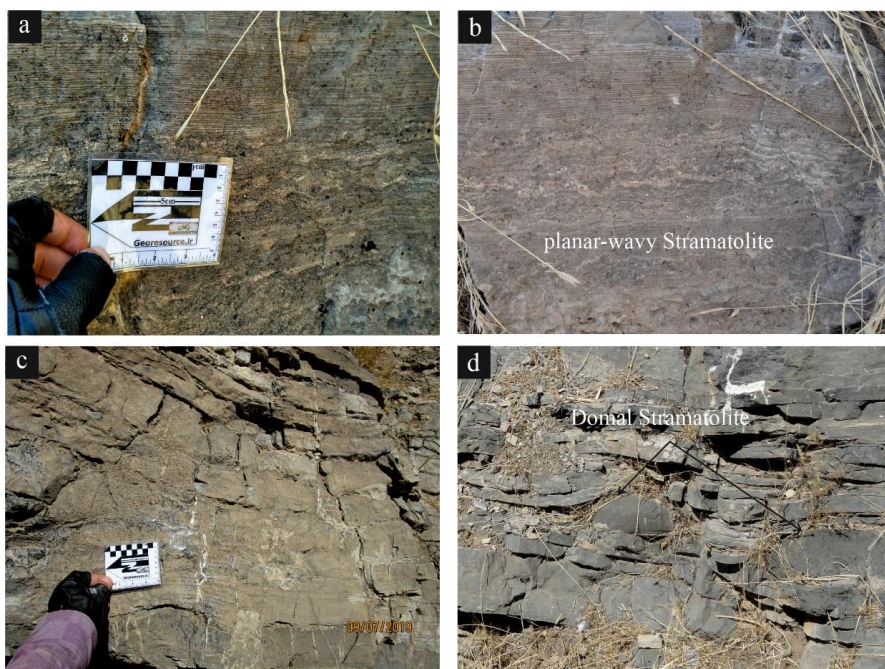
⁵ Fenestral porosity

¹ Stromatolite (Dolo) boundstone

² Planar and domal macrofabric

گرینستون تشکیل شده‌اند. در مطالعات میکروسکوپی، استروماتولیت‌های سازند نجمه حاوی لامینه‌بندی هستند که بصورت متناوب بر روی یگدیگر قرار گرفته‌اند. غالباً، لامینه‌بندی استروماتولیت‌ها به صورت فابریک مسطح و بدون آلوکم اسکلتی بوده و در برخی موارد با لامینه‌های موج نیز مشاهده می‌شوند. زمینه این ریزرخساره با فابریک باندستون از لایه‌های تیره و روشن استروماتولیت و سیمان کلسیتی تشکیل شده است.

لامینه‌های مسطح و موجی هستند (شکل ۶ a, b)، و استروماتولیت‌های گنبدی (شکل ۶ c) که به صورت ساختارهای میکروبی گنبدی شکل و در بعضی موارد به صورت استروماتولیت گنبدی جدا از هم دیده می‌شوند (شکل ۶ d). استروماتولیت‌های چینه‌ای غالباً دارای رخصاره دولومادستونی هستند در حالیکه انواع موجی و گنبدی که در آن‌ها ضخامت لامینه‌ها از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر در تغییر است، از تناوب دولومادستون و



شکل ۶. (a, b) استروماتولیت چینه‌ای به صورت مسطح تا موجی (برش دودان، برش کزی). (c) استروماتولیت گنبدی (برش دودان). (d) استروماتولیت گنبدی جدا از هم (برش کزی)

میکرایت لخته‌ای با مخلوطی از میکرایت لامینه‌ای و پلویید (شکل ۷ f).

تفسیر: استروماتولیت‌ها رسوبات کربناته چندلایه هستند که در دریاهای کم‌عمق دریایی توسعه داشته‌اند و معمولاً منشأ میکروبی دارند (گروتزینگر و نول، ۱۹۹۹). استروماتولیت‌ها با یک ماکروفابریک چند لایه مشخص می‌شود که توسط تجمع دوره‌ای از طریق به دام انداختن، اتصال و سیمانی شدن ذرات توسط فعالیت‌های زیستی پدید آمده‌اند. لایه‌های منفرد موجود در استروماتولیت‌ها با تعادل پویا بین دوره‌های مکرر رسوب‌گذاری (عمدتاً توسط سیانوباکتری‌ها) و سنگ‌شدگی متناوب فرش میکروبی^۳ تولید می‌شوند (رید و همکاران، ۲۰۰۰). بر اساس مطالعات

با این حال فابریک‌های میکروسکوپی مشاهده شده در این ریزرخساره، به پنج رده قابل دسته‌بندی هستند (ونین و همکاران، ۲۰۱۴): ۱. میکرایت توده‌ای^۱ - سیمان کلسیتی: متشکل از تناوب میکرایت‌های توده‌ای و بدون لامینه‌بندی با سیمان کلسیتی (شکل ۷a)، ۲. میکرایت لخته‌ای - اسپار ریزیلور: با تناوبی از میکرایت با فابریک لخته‌ای و سیمان کلسیتی ریزیلور (شکل ۷b)، ۳. میکرایت لامینه‌ای - اسپار ریزیلور: متشکل از میکرایت با مخلوطی از ساختار لامینه‌ای و فابریک پلوییدی در تناوب با سیمان کلسیتی ریزیلور (شکل ۷c, d)، ۴. ژیروانالا - سیمان کلسیتی: متشکل از تناوب ژیروانالا^۲ با سیمان کلسیتی (شکل ۷e)، ۵. میکرایت لخته‌ای - مخلوط میکرایت پلوییدی: متشکل از تناوب

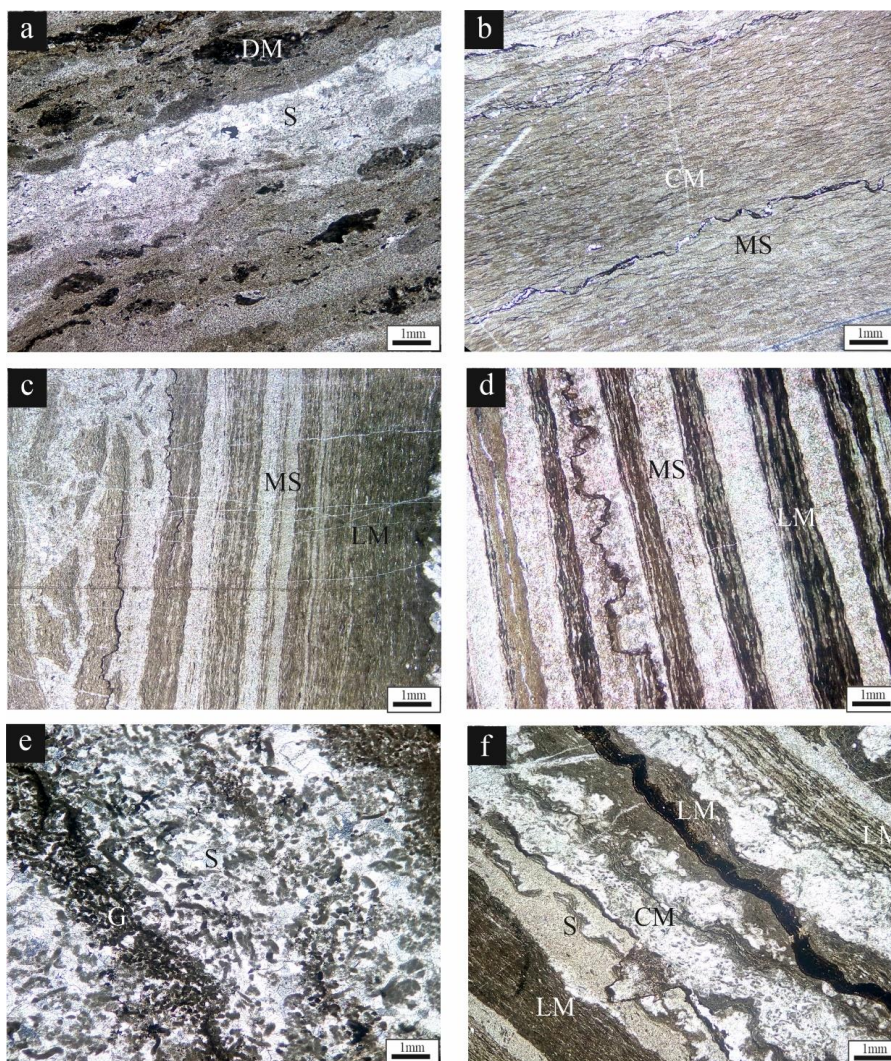
³ Microbial mat

¹ Dense micrite

² Girvanella

(میکروفابریک ۵) و همچنین مخلوطی از این میکروفابریک‌ها، تحت تأثیر عمل به دام انداختن و چسباندن توسط فعالیت‌های میکروبیالی در بخش عمیق‌تر (دیستال) محیط بین جزرومدی تشکیل می‌شوند (گونزالس و همکاران، ۲۰۱۴). وجود میکرایت، بیانگر انرژی محیط آرام در حین رسوب‌گذاری ولی لامینه‌های پلوییدی لخته‌ای (میکروفابریک ۵) ممکن است در ارتباط با انرژی محیطی متوسط تا بالا در بخش دیستال تا پروکسیمال پهنه جزرومدی باشد (ونین و همکاران، ۲۰۱۴).

صحرایی، استروماتولیت‌های گنبدی به طور عمده در ناحیه پروکسیمال منطقه بین جزرومدی توزیع می‌شوند، در حالی که استروماتولیت‌های چینه‌ای در منطقه دیستال زیرمحیط بین جزرومدی توسعه دارند (آندریس و لاگو، ۲۰۱۵؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۸ a, b). تناوب لامینه ژيروانلا با سیمان کلسیتی (میکروفابریک ۴)، حاکی از منطقه کم‌عمق زون بین جزرومدی محیط رسوب‌گذاری سازند نجمه می‌باشد (پرات، ۲۰۰۱). استروماتولیت‌های غنی از میکرایت لامینه‌ای (میکروفابریک ۳)، میکرایت لخته‌ای (میکروفابریک ۲) و لخته‌ای-پلوییدال



شکل ۷. انواع لامینه‌بندی در استروماتولیت (a) لامینه‌بندی با میکرایت توده‌ای (DM) با لامینه اسپارایت (S)، (نمونه SK-83 نور XPL). (b) لامینه میکرایت لخته‌ای (CM) با سیمان اسپاری ریزبلور (MS)، (نمونه SK-69 نور XPL). (c) لامینه‌بندی با میکرایت لامینه‌ای (LM) با سیمان اسپاری ریزبلور (MS)، (نمونه SD-78 نور XPL). (d) تناوب لامینه‌های با ضخامت تقریباً یکسان تیره‌رنگ با لامینه‌های روشن در بخش‌های میانی تا فوقانی سازند نجمه (نور XPL، برش دودان، شماره مقطع SD-105). (e) ژيروانلا (G) با اسپارایت، (نمونه SD-83 نور XPL). (f) میکس لامینه میکرایت لامینه‌ای (LM) با اسپارایت (S) با میکرایت لخته‌ای (CM) با میکرایت لامینه‌ای که در اینجا تحت نفوذ ماده آلی قرار گرفته است، (نمونه SD-120 با نور XPL).

کلسی‌اسفر هم در محیط کم‌عمق و هم عمیق گزارش است. حضور کلسی‌اسفر در یک زمینه میکرایتی و همراهی این ریزرخساره با توالی‌های میکروبیالی سبب می‌شود تا بتوان این ریزرخساره را به کمر بند رخساره‌ای زیر جزرمدی کم عمق با انرژی نسبتاً کم نسبت داد (شرفی و همکاران، ۲۰۲۱).

(دولو) باندستون ترومبولیتی - میکروبیالی^۲ (F5): این ریزرخساره نیز، مانند استروماتولیت، در بیشتر بخش‌های سازند نجمه در هر دو برش وجود دارد. ترومبولیت‌ها برخلاف استروماتولیت‌ها، لایه‌بندی ندارند و دارای فابریک لخته‌ای هستند (شکل a ۹) که توسط سیانوباکتری‌ها تشکیل می‌شود و در سطح مقطع نیز به صورت اجتماعات میکروبی با فابریک لخته‌ای دیده می‌شوند (شکل b, c ۹). فابریک لخته‌ای شاخصه اصلی ترومبولیت است که به رنگ تیره و دارای لبه‌های مشخص و نامنظم است و از میکرایت یا دولومیکرایت تشکیل شده است. زمینه این ریزرخساره به طور عمده دولومیتی شده است و آلوکم اسکلتی نادر است؛ آلوکم غیراسکلتی در بعضی موارد شامل پلت است. تفسیر: امروزه ترومبولیت‌ها به طور فعال در محیط‌های دریایی در حال شکل‌گیری هستند (پتراش و همکاران، ۲۰۱۲). مانند سایر میکروبیالیته‌ها، ترومبولیت‌ها نشان‌دهنده تأثیر متقابل بین جوامع میکروبی با رسوب‌گذاری و سنگ‌شدگی هستند (رایدینگ، ۲۰۰۰). ترومبولیت‌های مشاهده شده در سازند نجمه، نوعی ساختارهای زیستی- رسوبی هستند که از طریق فعل و انفعالات میکروبی‌ها و رسوبات، تشکیل شده، دارای فابریک لخته‌ای بوده و گروه عمده‌ای از میکروبیالیته‌ها را تشکیل می‌دهند (رایدینگ، ۲۰۰۶). این فابریک به رنگ تیره و دارای لبه‌های مشخص و نامنظم و تشکیل‌یافته از میکرایت یا دولومیکرایت است و به عنوان چارچوب ترومبولیت در نظر گرفته می‌شود (آیتکن، ۱۹۶۷). در مورد پیدایش ترومبولیت‌ها، عقیده بر این است که ترومبولیت‌ها زیستی هستند و مزوکلات‌های^۴ آن‌ها احتمالاً مشتق شده از سنگ‌شدگی کلنی‌های میکروبی در رسوبات هستند (مایشرال و همکاران، ۲۰۱۰). اکثر پژوهشگران، اتفاق نظر دارند که ترومبولیت‌ها، نوع متمایزی از میکروبیالیته‌ها را نشان می‌دهند که در اثر افزایش سطح آب دریا و گسترش

(دولو) باندستون میکروبیالی حاوی پلوئید و آنکوئید^۱ (F3): این ریزرخساره باندستونی حاوی پلوئیدهای فراوان همراه با آنکوئید و پوشش‌های میکروبی و بدون آلوکم اسکلتی است. پلوئیدها در این ریزرخساره دارای جورشدگی و گردشدگی خوبی هستند. در بعضی موارد بین دانه‌های پلوئیدی را سیمان کلسیتی پر کرده است. آنکوئیدها در این ریزرخساره، در اندازه بسیار کوچک حدود یک تا دو میلی‌متر و تقریباً هم‌اندازه (میکروآنکوئید) می‌باشند (شکل a ۸).

تفسیر: سیمان اسپارایتی و فراوانی دانه‌ها خود گواهی است که این ریزرخساره در پایین‌ترین بخش پهنه‌ی بین جزرمدی تشکیل شده است (دانهام، ۱۹۶۲). با توجه به فراوانی پلت‌ها و حضور آنکوئید در این ریزرخساره، محیط تشکیل این ریزرخساره دارای گردش مناسب آب بوده است. آنکوئیدها شرایط انرژی بالا در یک محیط زیر جزرمدی کم عمق تا بین جزرمدی را نشان می‌دهند و پلوئیدها بطور کلی در طی دوره کمبود رسوب‌گذاری ایجاد می‌شوند (گراذینسکی و همکاران، ۲۰۰۴؛ سیلینگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۰؛ نصیری و همکاران، ۲۰۲۰). بطور کلی، موقعیت تشکیل این رخساره را می‌توان به بخش‌های دیستال تا پروکسیمال منطقه بین جزرمدی نسبت داد.

کمر بند رخساره‌ای زیر جزرمدی

مادستون-وکستون-پکستون با یوکلستی دارای کلسی‌اسفر^۲ (F4): این ریزرخساره با فراوانی کلسی‌اسفر همراه با خرده‌های بایوکلاستی، غالباً از نوع دوکفه‌ای، مشخص می‌شود. این ریزرخساره با گستردگی کم در سازند نجمه حضور دارد. زمینه این ریزرخساره میکرایتی است و همچنین توده‌های میکروبیالیته با ابعاد میکروسکوپی در این ریزرخساره نیز وجود دارند (شکل b ۸).

تفسیر: کلسی‌اسفرها معمولاً به صورت میکروفسیل‌های آهکی توخالی و کروی از منشأهای مختلف هستند. برخی از کلسی‌اسفرها به عنوان شواهدی از کیست‌های تولید مثلی جلبک‌های سبز داسی‌کلاداسه‌آ در نظر گرفته می‌شوند که پس از مرگ، کلسیتی شده‌اند (کازمیرسکی و کرمیر، ۲۰۰۵؛ شیرزاده اصفهانی و همکاران، ۲۰۲۰).

⁴ mesoclots

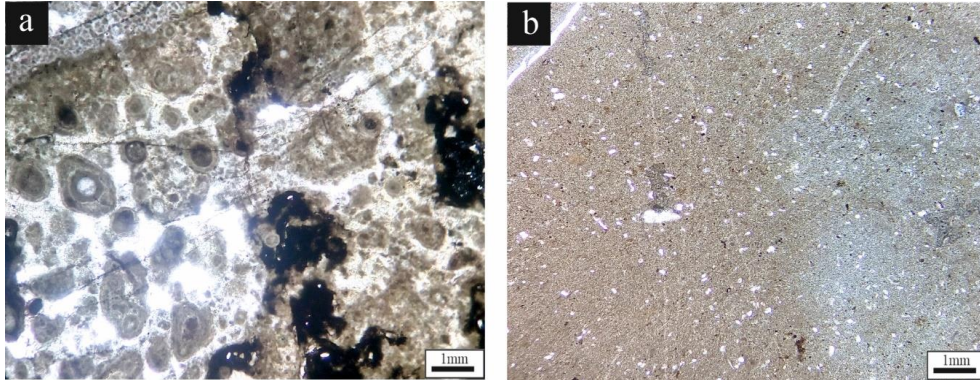
¹ Peloid oncoid microbial (dolo) boundstone

² Bioclast calcisphere mudstone-wackestone-packstone

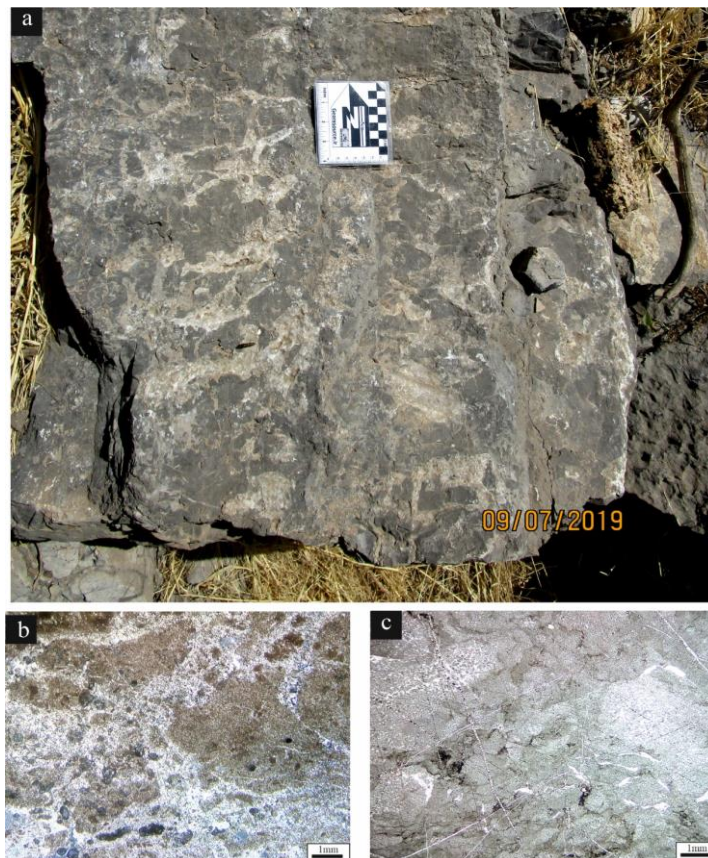
³ Thrombolite-Microbialite (Dolo) boundstone

استروماتولیت‌ها، در رخساره‌های زیرجزرمدی سازند مورد مطالعه، غالب هستند (دونگ‌ژی و همکاران، ۲۰۱۳). اگر چه ممکن است تشکیل ترمبولیت در محیط عمیق‌تر، نسبت به استروماتولیت، ارتباط مستقیمی با گروه‌های خاص میکروبی نداشته باشد، اما محیط نسبتاً عمیق‌تر و آرام‌تر برای تشکیل ترمبولیت‌ها در نهشته‌های سازند نجمه مطلوب‌تر است (ژنارت و کولینز، ۲۰۱۲؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۴).

جوامع میکروبی و تعامل آن‌ها با محیط زیست تولید می‌شوند (شاپیرو، ۲۰۰۰؛ رای‌دینگ، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶؛ تانگ و همکاران، ۲۰۱۳). به عبارتی دیگر، میکروبیالیت‌ها عمدتاً از فعالیت سیانوباکتری‌ها ناشی می‌شوند، اگرچه روزن‌داران و پرسلولی‌های کوچک نیز ممکن است در شکل‌گیری آن‌ها مؤثر باشند (رای‌دینگ، ۲۰۰۶). بطور کلی، انرژی و میزان گردش آب، مورفولوژی رشد ماکروسکوپی و مزوسکوپی میکروبیالیت‌ها را کنترل می‌کنند. ترمبولیت‌ها برخلاف



شکل ۸. (a) رخساره (دولو) باندستون میکروبیالی حاوی پلویید و آنکوئید همراه با اثراتی از نفوذ ماده آلی (نمونه SD-113 نور XPL). (b) رخساره مادستون - وکستون - پکستون بایوکلستی دارای کلسی اسفر (نمونه SD-12 با نور XPL).



شکل ۹. (a) عکس صحرایی از رخساره ترمبولیت باندستون (عکس از برش کزی) (b) ترمبولیت باندستون با فابریک پلوییدال لخته‌ای (XPL, SD-69). (c) ترمبولیت باندستون با فابریک لخته‌ای (XPL, SD-89).

بیانگر تشکیل آن چرخه در یک محیط بین جزرومدی تا فراجزرومدی است (آندریس و لاگو، ۲۰۱۵؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۰۱۸a؛ شکل b ۱۰). افزون بر این، همانگونه که در بخش آنالیز رخساره‌ای ذکر شد، بخش‌های بین جزرومدی تا فراجزرومدی هر چرخه، حاوی استروماتولیت‌های چینه‌ای در قاعده، تا گنبدی شکل در قسمت‌های فوقانی هستند که لامینه‌های تشکیل‌دهنده این استروماتولیت‌ها، حالت‌های مسطح و موج از خود نشان می‌دهند. همچنین، حالت‌های مسطح، احتمالاً در ارتباط با بخش بین جزرومدی بوده، و حالت‌های موج به بخش‌های فرا جزرومدی نسبت داده می‌شوند (شکل ۱۱).

بحث

شروع رسوب‌گذاری سازند نجمه بعد از یک انقطاع در رسوب‌گذاری با زیر آب رفتن نهشته‌های سازند سرگلو همراه بوده است (سعدونی، ۱۹۷۷). در گذر از مرز کالوین به آکسفوردین (مرز ژوراسیک میانی تا پسین)، یک جابجایی چشمگیر در شرایط محیطی از نهشته‌های دریایی عمیق سرگلو با نهشته‌های شیل سیاه و آهک خاکستری حاوی فسیل دوکفه‌ای بوسیترا (پوزیدونیا) با تراکم زیاد، به نهشته‌های دریایی کم‌عمق سازند نجمه که عمدتاً دارای نهشته‌های میکروبی و استروماتولیتی است، رخ داده است (ایمانی سقین سرا ۱۴۰۰؛ عیسی‌نژاد، ۱۴۰۰). بنابراین، پلتفرم رسوب‌گذاری، در بخش قاعده‌ای ژوراسیک بالایی (آکسفوردین زیرین) بصورت یک پلتفرم رمپ کربناته، گسترش یافته است و سازند نجمه، به واسطه یک ناپیوستگی فرسایشی، بر روی نهشته‌های دریایی عمیق حوضه اینتراشلفی سازند سرگلو نهشت یافته است (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ زیگلر، ۲۰۰۱). این توالی رسوبی، به سمت بالا، به رسوبات برشی سازند گوتنیا تبدیل می‌شود (شکل ۱۲). وجود شواهد تبخیری (ژپیس و انیدریت)، دولومیتی‌شدن گسترده و کمبود یا نبود فسیل‌های جانوری، حاکی از یک محیط دریایی فراشور^۱ در یک شرایط اقلیمی گرم و خشک در زمان نهشته شدن سازند نجمه است (مور و وید، ۲۰۱۳). وجود برش‌های اینتراکستی، در کنار وجود فابریک‌های فنسترال به‌همراه بلورهای دروغین تبخیری، احتمالاً بیانگر رخداد انحلال در توالی‌های استروماتولیتی (دولومیت استروماتولیتی) دارای

رخساره سنگی شیل آهکی^۱ (L2): لیتوفاسیس شیل آهکی در سازند نجمه معمولاً به رنگ قرمز تا خاکستری روشن و بدون لامینه‌بندی می‌باشد. این لیتوفاسیس، در بعضی مواقع با میان‌لایه‌های نازکی از مارن نیز همراه است. شیل‌ها، در قاعده هریک از چرخه‌های کم‌عمق‌شونده به سمت بالای سازند نجمه، حضور دارند. همانگونه که بیان شد این چرخه‌ها در بالا به کربنات‌های میکروبی و گاهی برشی‌شده تبدیل می‌شوند. به سمت بالای توالی سازند نجمه، از ضخامت شیل کاسته می‌شود و به تدریج از قاعده چرخه‌ها حذف می‌شود.

تفسیر: شیل معمولاً در محیط‌های عمیق و در شرایط محیطی آرام نهشته می‌شود. حضور این شیل‌ها در کنار ریزرخساره ترمبولیتی می‌تواند نشان‌دهنده یک محیط آرام زیر جزرومدی یا زیر جزرومدی عمیق باشد (دونگ‌ژو و همکاران، ۲۰۱۳؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۷).

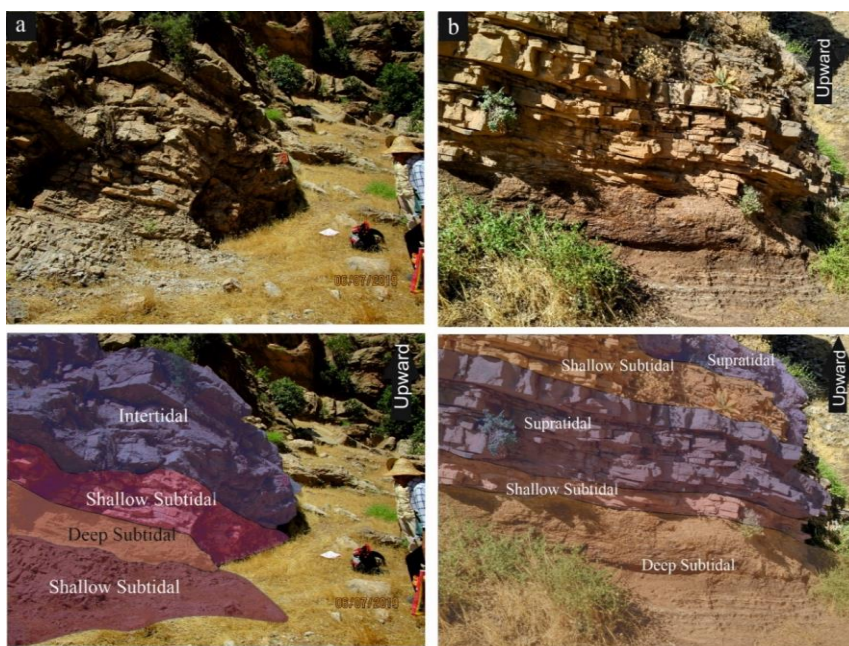
چرخه‌های رسوبی سازند نجمه

بطور کلی سازند نجمه در هر دو برش کزی و دودان یک توالی چرخه‌ای کلاسیک می‌سازد که از تعدادی چرخه‌های به سمت بالا کم‌عمق‌شونده تشکیل شده است (شکل ۴). هر کدام از این چرخه‌ها بیانگر یک تغییر رو به بالای محیطی از بخش زیر جزرومدی عمیق تا بین جزرومدی-فرا جزرومدی می‌باشند (شکل a, b ۱۰). از قاعده، به سمت بخش‌های میانی و بالایی سازند نجمه، افق‌های شیلی نازک تا ضخیم، در قاعده چرخه‌های مذکور قابل شناسایی هستند، که بیانگر محیط‌های زیر جزرومدی عمیق تا کم عمق می‌باشند. با این حال، این افق‌های شیلی به سمت بالای سازند ناپدید می‌شوند. به طور کلی، به نظر می‌رسد که در سازند نجمه، چرخه‌هایی که فاقد شواهد خروج از آب می‌باشند (مثل سطوح فرسایشی و افق‌های برشی در رأس چرخه‌ها و نیز تخلخل‌های فنسترال)، احتمالاً در مناطق زیر جزرومدی عمیق تا بین جزرومدی نهشته شده‌اند به نحوی که بخش قاعده‌ای آن‌ها بیانگر بخش زیرجزر و مدی عمیق و بخش فوقانی آن‌ها نشانگر بخش بین جزرومدی است (شکل a ۱۰). در مقابل، وجود تخلخل‌های فنسترال، و شواهد خروج از آب، از جمله برشی‌شدن در رخساره‌های استروماتولیتی، در بخش فوقانی هریک از چرخه‌های کم عمق شونده سازند نجمه،

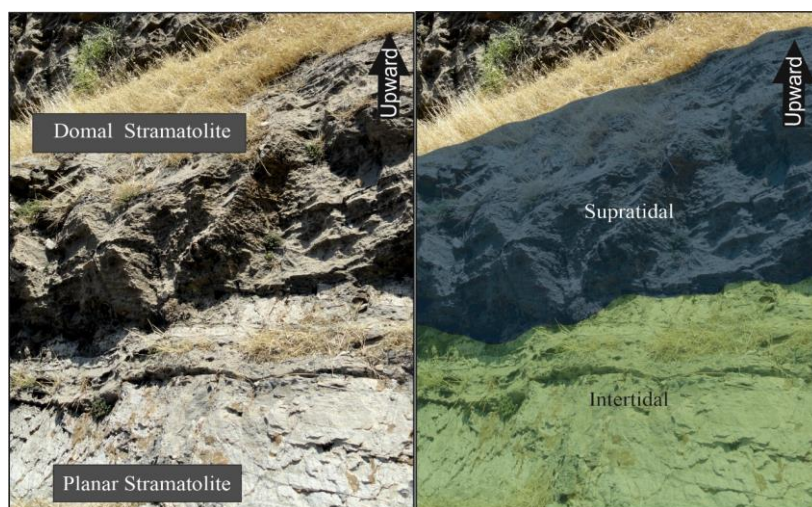
¹ Red calcareous shale

بخش زیر جزرومدی نیز رخساره‌های کلسی‌اسفر و کستون-پکستون (F4)، ترمبولیت باندستون (F5) و شیل قرمز (L2) نهشته می‌شده است. این توزیع کمربندهای رخساره‌ای سبب شده است که چرخه‌های کم‌عمق‌شونده سازند نجمه به گونه‌ای توسعه یابند که در زیر آن‌ها افق‌های شیلی به رنگ قرمز، در بخش میانی تناوبی از رخساره‌های ترومبولیتی و استروماتولیتی و در بخش رأسی هر چرخه رخساره‌ی دولوستون دیده شوند که گاهی با شواهدی از رخنمون و خروج از آب همراه هستند (مانند فرایند برشی شدن).

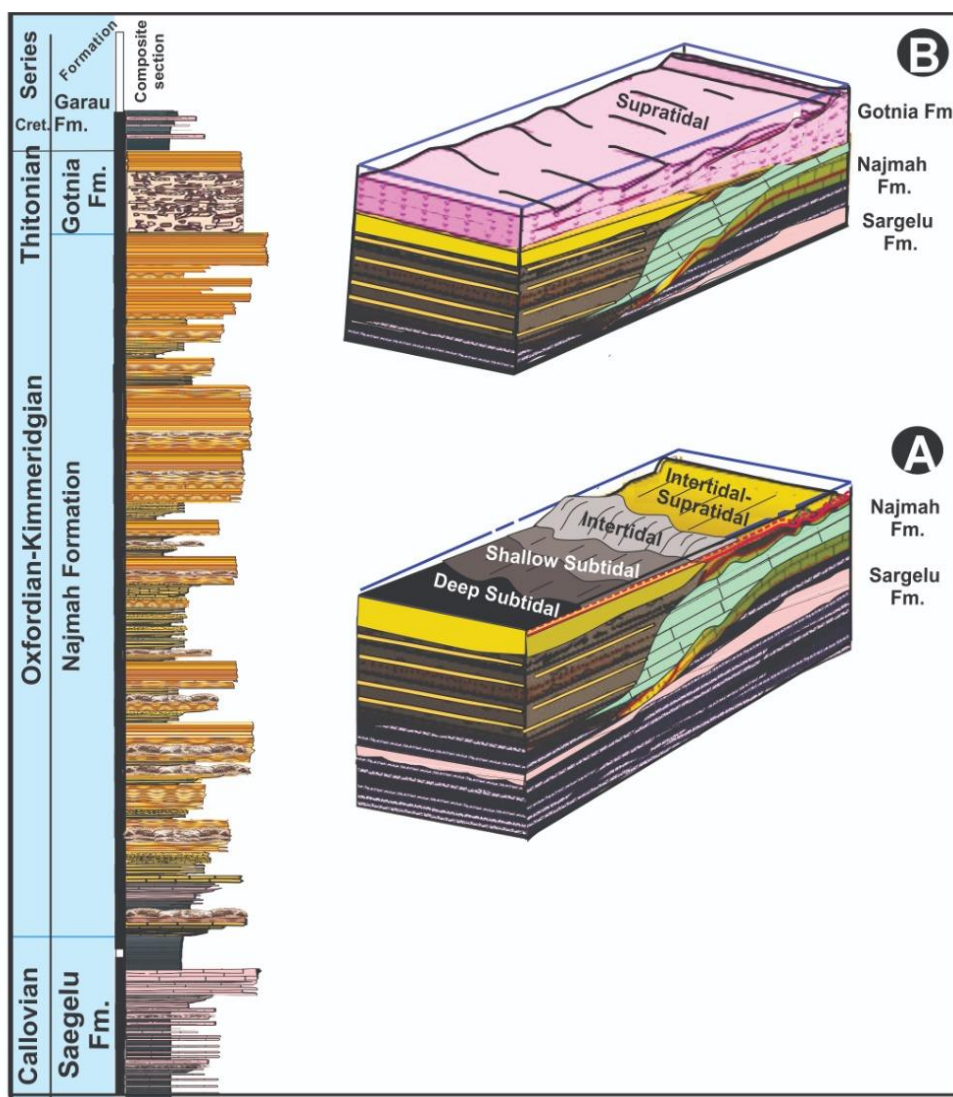
میان‌لایه‌های تبخیری است. سازند نجمه، براساس رخساره‌های شناسایی‌شده، در یک محیط رمپ کم‌عمق متشکل از زیرمحیط‌های فراجزرومدی، بین جزرومدی و زیر جزرومدی نهشته شده است. این کمربندهای رخساره‌ای به صورت چرخه‌هایی با روند کم‌عمق‌شونده به سمت بالا نهشته شده‌اند. در بخش فرا جزرومدی، رخساره دولوستون (F1)، استروماتولیت (دولو) باندستون با فابریک فنسترال (F2-a) و برش استروماتولیتی (L1)، در بخش بین جزرومدی رخساره‌هایی باندستون استروماتولیتی (F2-b) و باندستون میکروبیالی حاوی پلوئید و آنکوئید (F3)، و در



شکل ۱۰. (a) بازسازی تفسیری و شماتیک (عکس پایینی) از توالی‌های چرخه‌ای مرتبط با موقعیت‌های زیر جزرومدی عمیق و کم‌عمق تا بین جزرومدی (برش دودان). (b) بازسازی تفسیری و شماتیک (عکس پایینی) از توالی‌های چرخه‌ای مرتبط با موقعیت‌های زیر جزرومدی عمیق و کم‌عمق تا فرا جزرومدی در سازند نجمه (برش دودان).



شکل ۱۱. بازسازی تفسیری و شماتیک (سمت راست) از توالی‌های مرتبط با موقعیت فرا جزرومدی در سازند نجمه (برش دودان)



شکل ۱۲. مدل تغییرات محیط رسوب‌گذاری از سازند سرگلو به سازند نجمه در برش مورد مطالعه که نشان از تغییرات شدید محیط از یک محیط درون شلفی با شیل سیاه غنی از ماده آلی سازند سرگلو به یک محیط کم عمق با رسوبات میکروبیالی در سازند نجمه (a) و در نهایت در گوتنیا به یک محیط فرا جزرومدی با سنگ‌شناسی استروماتولیت‌های برشی شده تبدیل می‌شود (b).

پلویید، و ۶. میکرایت لخته‌ای- میکرایت لامینه‌ای با فابریک فنسترال می‌باشند. هریک از میکروفابریک‌های ذکر شده، برای تعیین دقیق موقعیت کمربند رخساره‌های مورد مطالعه در مدل محیط رسوب‌گذاری سازند نجمه به کار می‌روند.

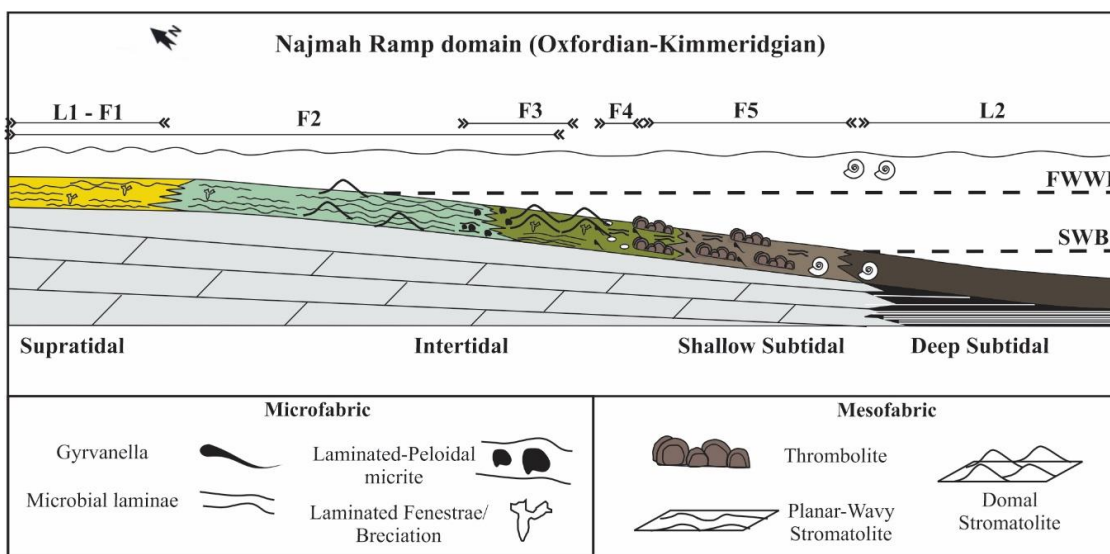
براساس مطالعه ونین و همکاران (۲۰۱۴)، موقعیت ماکروفابریک و مزوفابریک‌های میکروبیالی در سیستم‌های ساحلی تا محیط رمپ به این صورت است که در یک سیستم ساحلی تا محیط پری‌تایدال، مزوفابریک استروماتولیت به همراه ماکروفابریک‌های مسطح و موجی غالب هستند و ماکروفابریک موجی و گنبدی در موقعیت

میکروبیال‌های سازند کربناته نجمه از لحاظ فابریک به سه دسته: ۱. ماکروفابریک، ۲. مزوفابریک و ۳. میکروفابریک قابل طبقه‌بندی هستند (ونین و همکاران، ۲۰۱۴). دسته اول شامل: رخساره‌های استروماتولیت گنبدی و چینه‌ای با ساختار مسطح تا موجی می‌باشد. دسته دوم شامل رخساره‌های استروماتولیت (F2) و ترومبولیت (F5) می‌باشد و دسته سوم شامل میکروفابریک‌هایی است که به صورت: ۱. میکرایت توده‌ای^۱ سیمان کلسیتی، ۲. میکرایت لخته‌ای- میکرواسپار، ۳. میکرایت لامینه‌ای لخته‌ای- میکرواسپار، ۴. ژیروانلا- سیمان کلسیتی، ۵. میکرایت لخته‌ای- مخلوط میکرایت و

^۱ Dense micrite

جزرومدی تا فراجزومدی می‌باشد. همچنین، لامینه‌های لخته‌ای و پلیویدی، اکثراً مرتبط با یک موقعیت پرانرژی محیط بوده که فعالیت میکروبی مؤثر در تشکیل این لایه‌ها بیشتر به صورت به دام افتادن ذرات بوده است، اما لامینه‌های میکرایتی خوب‌حفظ‌شده نشان‌دهنده‌ی شرایط عمیق و کم انرژی محیط است که فعالیت میکروبی مؤثر بیشتر به صورت رسوب‌گذاری به حالت معلق بوده است (شکل ۱۳) (ونین و همکاران، ۲۰۱۴).

بین جزرومدی تا فراجزومدی و ماکروفابریک چینه‌ای در موقعیت فراجزومدی قرار دارد. در یک محیط پری‌تایدال، آنکوئید و پلیویدها نیز بیانگر موقعیت بین جزرومدی با انرژی جریانی متوسط تا بالا می‌باشند. درحالی‌که، در موقعیت زیر جزرومدی یک رمپ با انرژی جریانی پایین، مزوفابریک ترومیولیت با ماکروفابریک‌های مزوکلاتی و میکروفابریک لخته‌ای ته‌نشین می‌گردد که معمولاً در بخش کم‌عمق زیر جزرومدی قرار دارند. میکروفابریک فنسترال در استروماتولیت‌ها، بیانگر محیط‌های بین



شکل ۱۳. مدل محیط رسوبی سازند نجمه به همراه توزیع میکروفابریک‌ها و ساختارهای میکروبی در طول پلتفرم رسوب‌گذاری

قرار داده‌اند. بر اساس نتایج این مطالعه، قسمت پایین و میانی این توالی با سطوح ضخیم از واریزه‌های صخره‌های مرجانی که با ساختارهای زیستی مرجانی- میکروبی با میکروارگانیزم‌های پوشاننده و استروماتوپورویدها مشخص می‌شود. به سمت بالای توالی، به سنگ‌های آهکی حاشیه جزرومدی به سن کرتاسه زیرین تبدیل می‌شود. بر اساس تجزیه و تحلیل رخساره‌ای، در این توالی چهار رخساره شناسایی شد که شامل گرینستون/ پکستون بایوکلاستی ریزدانه، گرینستون/ رودستون اینتراکلاستی تا بایوکلاستی درشت، باندستون مرجانی تا استروماتوپوروییدی، و کستون فنسترال آنکوئیدی تا بایوکلاستی پری‌تایدال است. نکته قابل توجه که در نتایج پلس و همکاران (۲۰۱۶) و نیز بسیاری از دیگر مطالعات هم‌ارز مشاهده می‌شود، حضور ساختمان‌های زیستی مرجانی یا مرجانی- استروماتوپوروییدی در توالی‌های هم‌ارز سازند نجمه است؛ ساختمان‌هایی که تاکنون در

همچنین نتایج برخی مطالعات در دیگر مناطق تتیس، بر روی توالی‌هایی به سن ژوراسیک بالایی، قابل مقایسه با سازند نجمه هستند. در بررسی پیتر اولچوی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی بایگانی رسوبی ژوراسیک لهستان، در بخش شلف شمالی تتیس، در مجموع ۲۲ رخساره تفکیک شد که نمایانگر توالی‌های رمپ بیرونی، میانی و رمپ‌های داخلی بودند. رخساره‌های مذکور هم فازهای پیشرونده و هم در فازهای پسرونده نهشته شده‌اند. نکته حائز اهمیت این است که رخساره‌های میکروبی- اسفنجی، آلیتی، آنکوئیتی، گاستریود و نیز لیتوفاسیس‌های سیلتی و مارن مهم‌ترین رخساره‌های ثبت‌شده در این توالی‌ها هستند که در شرایط محیطی نسبتاً مشابهی با سازند نجمه نهشته شده‌اند. جورج پلس و همکاران (۲۰۱۶)، رسوبات کربنات توده Buila-Vânturarița، در رومانی را که عمدتاً از کربنات‌های سفید و عظیم تشکیل شده‌اند و به بازه ژوراسیک بالایی- کرتاسه پایینی تعلق دارند، مورد مطالعه

فقدان اجزاء فسیلی گونه‌های زیستی، نشان‌دهنده‌ی شرایط محیطی فراشور در زمان رسوب‌گذاری سازند نجمه بوده است. وجود اینتراکلیست‌های برشی شده که در اثر انحلال میان‌لایه‌های تبخیری به صورت فروریزی تشکیل یافته‌اند، تأییدی بر این فرضیه می‌باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان صورت پذیرفته است. از سردبیر و اعضای محترم هیئت تحریریه نشریه رسوب‌شناسی کاربردی که با نظرات سازنده و راهنمایی‌های ارزنده خود در طول مراحل انتشار این مقاله به نویسندگان یاری رساندند کمال تشکر را داریم. نویسندگان این مقاله، مراتب قدردانی خود را از داوران محترمی که با نظرات مفید و ارزنده خود بر کیفیت این نوشتار افزودند اعلام می‌دارند.

منابع

ایمانی سقین‌سرا، ا. (۱۴۰۰) محیط رسوب‌گذاری و چینه‌نگاری سکانسی سازندهای سرگلو، نجمه و گوتنیا به سن ژوراسیک میانی - بالایی در کمر بند چین‌خورده - رورنده زاگرس (برش‌های کزی و دودان در شمال غرب کرمانشاه)، با تأکید بر شناسایی واحدهای مستعد سنگ مخزن در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی، رساله کارشناسی‌ارشد دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان، ۲۰۰ص.

جلیلیان، ع. ح (۱۳۹۳) رخساره‌ها، محیط‌رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند سورمه (ژوراسیک) در منطقه فارس. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۲، شماره ۳، ص ۹۰-۱۰۴.

زهدی، ا. و ربانی، ج (۱۳۹۸) سازوکار تشکیل کنگلومراهای درون حوضه‌ای: مطالعه موردی در تریاس و ژوراسیک منطقه زنجان. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۴، ص ۵۷-۷۰.

عیسی‌نژاد، م (۱۴۰۰) بررسی محیط رسوب‌گذاری و پتانسیل هیدروکربنی سازندهای سرگلو، نجمه و گوتنیا در کمر بند چین‌خورده - رورنده زاگرس (کرمانشاه) با استفاده از داده‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمی، رساله کارشناسی‌ارشد دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان، ۱۶۸ص.

مطیعی، ه (۱۳۷۲) چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶ص.

سازند نجمه گزارش نشده‌اند و این سازند، در مقابل، تحت سیطره ساختمان‌های زیستی میکروبی (استروماتولیت‌ها و ترومبولیت‌ها) است. در بررسی‌های ارنست و همکاران (۲۰۱۴) بر روی میکروبیالیت‌های سازند اسمک‌آور^۱ در شمال خاوری خلیج مکزیک، مشخص گردید که میکروبیالیت‌های این سازند از استروماتولیت‌ها (ساختار متوسط‌مقیاس چندلایه)، ترومبولیت‌ها (ساختار متوسط‌مقیاس لخته شده)، و لیولیت‌ها (بدون ساختار تا ساختار مترکم) تشکیل شده‌اند. در این مطالعه، ترمبولیت‌ها با ضخامت ۵۸ متر و در مساحتی به وسعت ۶/۲ کیلومتر مربع حضور داشتند. این رسوبات برای حدود ۳۰ سال هدف اکتشاف هیدروکربنی بوده‌اند و همچنان اکتشافات میدانی جدید در این منطقه انجام می‌شود و ترمبولیت‌ها در این سازند به عنوان سنگ مخزن مطرح هستند.

نتیجه‌گیری

مجموعه رخساره‌های رسوبی شناسایی شده برای سازند نجمه شامل پنج میکروفاسیس و دو رخساره سنگی می‌باشد که دربرگیرنده کمر بندهای رخساره‌ای فراجزرومدی، بین جزرومدی و زیر جزرومدی است. در بخش فرا جزرومدی، ریزرخساره دولوستون (F1)، استروماتولیت (دولو) باندستون با فابریک فنسترال (F2-a) و لیتوفاسیس برش استروماتولیتی (L1)، در بخش بین جزرومدی ریزرخساره‌های باندستون استروماتولیتی (F2-b) و باندستون میکروبیالی حاوی پلویید و آنکویید (F3)، و در بخش زیر جزرومدی نیز ریزرخساره‌های کلسی‌اسفر و کستون - پکستون (F4)، ترمبولیت باندستون (F5) و شیل قرمز (L2) نهشته می‌شده است. سازند نجمه به سن ژوراسیک بالایی، بر اساس مجموعه رخساره‌ای و ریزرخساره‌ای شناسایی شده، در یک محیط رمپ کم عمق نهشته شده است که در آن تنوعی از ساختارهای میکروبی بزرگ‌مقیاس تا ریزمقیاس گسترش دارند. بر این اساس، در این سازند ترمبولیت‌ها در عمیق‌ترین بخش و در موقعیت زیرجزرومدی، استروماتولیت مسطح در موقعیت بین جزرومدی، و استروماتولیت موجی و گنبدی در موقعیت بین جزرومدی تا فرا جزرومدی قرار می‌گیرند. همچنین وجود شواهد تبخیری مثل بلورهای ژپس و انیدریت و

¹ Smackover

- Mississippian carbonate ramp in the Esfahan-Sirjan Basin, Iran: implications for the amplitudes and frequencies of sealevel fluctuations along the southern margin of the Paleotethys. *International Journal of Earth Sciences*, 107: 2233–2263.
- Bayet-Goll, A., Daraei, M., Taher, S. P. M., Etemad-Saeed, N., de Carvalho, C. N., Zandkarimi, K., ... and Nasiri, Y (2020) Variations of the trace fossil Zoophycos with respect to paleoenvironment and sequence stratigraphy in the Mississippian Mobarak Formation, northern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 551, 109754.
- Bayet-Goll, A., Daraei, M., Geyer, G., Bahrami, N., and Bagheri, F (2021a) Environmental constraints on the distribution of matground and mixground ecosystems across the Cambrian Series 2–Miaolingian boundary interval in Iran: A case study for the central sector of northern Gondwana. *Journal of African Earth Sciences*, 176: 104-120.
- Bayet-Goll, A., Buatois, L. A., Mángano, M. G., and Daraei, M (2021b) The interplay of environmental constraints and bioturbation on matground development along the marine depositional profile during the Ordovician Radiation. *Geobiology*, 1–38.
- Bahniuk, A. M., Anjos, S., França, A. B., Matsuda, N., Eiler, J., Mckenzie, J. A., and Vasconcelos, C (2015) Development of microbial carbonates in the Lower Cretaceous Codó Formation (north-east Brazil): Implications for interpretation of microbialite facies associations and palaeoenvironmental conditions. *Sedimentology*, 62(1): 155–181.
- Dongjie, T., Xiaoying, S., Ganqing, J., Yunpeng, P., Wenhao, Z., Yuan, W., and Min, L (2013) Environment controls on Mesoproterozoic thrombolite morphogenesis: a case study from the North China Platform. *Journal of palaeogeography*, 2(3): 275–296.
- Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional textures. *AAPG Special Volumes*, 1: 108–121.
- Dunnington, H. V (1959) Najmah Formation. In Van Bellen et al. (ed.): *Lexique Stratigraphique Int., Asie, Fasc.10a, Iraq*, 333p.
- Dupraz, C., Reid, R. P., Braissant, O., Decho, A. W., Norman, R. S., and Visscher, P. T (2009) Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, 96(3): 141–162.
- Dupraz, C., Visscher, P. T., Baumgartner, L. K., and Reid, R. P (2004) Microbe–mineral interactions: early carbonate precipitation in a hypersaline lake (Eleuthera Island, Bahamas). *Sedimentology*, 51(4): 745–765.
- Aitken, J. D (1967) Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta. *Journal of Sedimentary Research*, 37(4): 1163–1178.
- Ala, M. A., and Moss, B. J (1979) Comparative petroleum geology of southeast Turkey and northeast Syria. *Journal of Petroleum Geology*, 1(4): 3–27.
- Alavi, M (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American journal of science*, 304: 1–20.
- Alsharhan, A. S., and Kendall, C. S. C (2003) Holocene coastal carbonates and evaporites of the southern Arabian Gulf and their ancient analogues. *Earth-Science Reviews*, 61(3-4): 191–243.
- Andrés, G. M. P., and Lago, B. B (2015) Sedimentary factors controlling thickness of stratiform stromatolites, from laminae to metre-thick packages (Sinemurian, Iberian Basin). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 28: 2.
- Bayet-Goll, A., and Daraei, M (2020) Palaeoecological, sedimentological and stratigraphical insights into microbially induced sedimentary structures of the lower Cambrian successions of Iran. *Sedimentology*, 67 (6): 3199–3235.
- Bayet-Goll, A., Neto De Carvalho, C., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., and Nasiri, Y (2014) Depositional environments and ichnology of the deep-marine succession of the Amiran Formation (upper Maastrichtian–Paleocene), Lurestan Province, Zagros Fold–Thrust Belt, Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 401: 13–42.
- Bayet-Goll, A., Chen, J., Moussavi-Harami, R., and Mahboubi, A (2015) Depositional processes of ribbon carbonates in middle Cambrian of Iran (Deh-Sufiyan Formation, Central Alborz). *Facies*, 61, 9.
- Bayet-Goll, A., Myrow, P. M., Aceñolaza, G. F., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A (2016) Depositional controls on the ichnology of Paleozoic wave-dominated marine facies: new evidence from the Shirgesht Formation, central Iran, *Acta Geologica Sinica*, 90 (5): 1572–1597.
- Bayet-Goll, A., Nazarian Samani, P., Neto de Carvalho, C., Monaco, P., Khodaie, N., Morad Pour, M., Kazemeini, H., Zareiyani, M. H (2017) Sequence stratigraphy and ichnology of Early Cretaceous reservoirs, Gadvan formation in southwestern Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 81: 294–319.
- Bayet-Goll, A., Shirezadeh-Esfahani, F., Daraei, M., Monaco, P., Sharafi, M., Akbari Mohamadi, A (2018^a) Cyclostratigraphy across a

- Nasiri, Y., Bayet-Goll, A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Monaco, P (2020) Paleoenvironmental control on trace fossils across a Mississippian carbonate ramp succession, Mobarak Formation, east of Central and Eastern Alborz, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 165: 103800.
- Olchowy, P., Krajewski, M., and Felisiak, I (2019) Late Jurassic facies succession of the Kleszczów Graben area (southern border of the Łódź Depression, peri-Tethyan shelf, central Poland). *Geological Quarterly*, 63(4): 657–682.
- Pratt, B. R (2001) Calcification of cyanobacterial filaments: *Girvanella* and the origin of lower Paleozoic lime mud. *Geology*, 29(9): 763–766.
- Pleş, G., Bucur, I. I., and Săsăran, E (2016) Depositional environments, facies and diagenesis of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous carbonate deposits of the Buila-Vânturarişă Massif, Southern Carpathians (Romania). In *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 86(2): 165–183.
- Reid, R. P., Visscher, P. T., Decho, A. W., Stolz, J. F., Bebout, B. M., Dupraz, C., ... and DesMarais, D. J (2000) The role of microbes in accretion, lamination and early lithification of modern marine stromatolites. *Nature*, 406(6799): 989–992.
- Riding, R (2000) Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial–algal mats and biofilms. *Sedimentology*, 47: 179–214.
- Riding, R (2006) Cyanobacterial calcification, carbon dioxide concentrating mechanisms, and Proterozoic–Cambrian changes in atmospheric composition. *Geobiology*, 4: 299–316.
- Sadooni, F. N (1997) Stratigraphy and petroleum prospects of Upper Jurassic carbonates in Iraq. *Petroleum Geoscience*, 3(3), 233–243.
- Sadooni, F. N. (1997). Stratigraphy and petroleum prospects of Upper Jurassic carbonates in Iraq. *Petroleum Geoscience*, 3: 233–243.
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., ... and Simmons, M. D (2001) Arabian Plate Sequence Stratigraphy. *Gulf PetroLink*, Manama, Bahrain, 371p.
- Seeling, M., Emmerich, A., Bechstädt, T., and Zühlke, R (2005) Accommodation/sedimentation development and massive early marine cementation: Latemar vs. Concarena (Middle/Upper Triassic, Southern Alps). *Sedimentary Geology*, 175 (1–4): 439–457.
- Setudehnia, A (1978) The mesozoic sequence in south-west Iran and adjacent areas. *Journal of Petroleum Geology*, 1: 3–42.
- Flügel, E (2004) *Microfacies analysis of limestones: Analysis, Interpretation and Application*. Springer, Berlin, Heidelberg. 976p.
- Fox, J. E., and Ahlbrandt, T. S (2002) *Petroleum geology and total petroleum systems of the Widyan Basin and interior platform of Saudi Arabia and Iraq (Vol. 2202)*. US Department of the Interior, US Geological Survey. 26p.
- Gradziński, M., Tyszka, J., Uchman, A., and Jach, R (2004) Large microbial-foraminiferal oncoids from condensed Lower–Middle Jurassic deposits: a case study from the Tatra Mountains, Poland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 213(1–2): 133–151.
- Grotzinger, J. P., and Knoll, A. H (1999) Stromatolites in Precambrian carbonates: evolutionary mileposts or environmental dipsticks?. *Annual review of earth and planetary sciences*, 27(1): 313–358.
- Jahnert, R. J., and Collins, L. B (2012) Characteristics, distribution and morphogenesis of subtidal microbial systems in Shark Bay, Australia. *Marine Geology*, 303: 115–136.
- Kennard, J. M., and James, N. P (1986) Thrombolites and stromatolites: two distinct types of microbial structures. *Palaios*, 492–503.
- Knorre, H. V., and Krumbein, W. E (2000) Bacterial calcification. In: Riding R. E., Awramik S.M. (eds) *Microbial Sediments*. Springer, Berlin, Heidelberg, 25–31.
- Kremer, B., and Kaźmierczak, J (2005) Cyanobacterial mats from Silurian black radiolarian cherts: phototrophic life at the edge of darkness. *Journal of Sedimentary Research*, 75(5): 897–906.
- Mancini, E. A., Llinas, J. C., Parcell, W. C., Aurell, M., Badenas, B., Leinfelder, R. R., and Benson, D. J (2004) Upper Jurassic thrombolite reservoir play, northeastern Gulf of Mexico. *AAPG bulletin*, 88(11): 1573–1602.
- Moore, C. H., and Wade, W. J (2013) *Carbonate reservoirs: Porosity and diagenesis in a sequence stratigraphic framework*. Elsevier. Newnes. 392p.
- Myshrall, K. L., Mobberley, J. M., Green, S. J., Visscher, P. T., Havemann, S. A., Reid, R. P., and Foster, J. S (2010) Biogeochemical cycling and microbial diversity in the thrombolitic microbialites of Highborne Cay, Bahamas. *Geobiology*, 8(4): 337–354.
- Alsharhan, A. S. and Nairn, A. E. M (2003) *Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East*. Elsevier Science. 878p.
- Petrash, D. A., Gingras, M. K., Lalonde, S. V., Orange, F., Pecoits, E., and Konhauser, K. O (2012) Dynamic controls on accretion and lithification of modern gypsum-dominated thrombolites, Los Roques, Venezuela. *Sedimentary Geology*, 245: 29–47.

- Shapiro, R. S (2000) A comment on the systematic confusion of thrombolites. *Palaios*, 15(2): 166-169.
- Shapiro, R. S., and Awramik, S. M (2006) *Favosamacteria cooperi* new group and form: a widely dispersed, time-restricted thrombolite. *Journal of Paleontology*, 80(3): 411-422.
- Sharafi, M., Rodríguez-Tovar, F. J., Janočko, J. Bayet-Goll, A., Mohamadi, M (2021) Environmental significance of trace fossil assemblages in a tide-wave-dominated shallow-marine carbonate system (Lower Cretaceous), northern Neo-Tethys margin, Kopet-Dagh Basin, Iran. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 111: 103-126.
- Sibley, D. F., and Gregg, J. M (1987) Classification of dolomite rock textures. *Journal of sedimentary Research*, 57(6): 967-975.
- Stolz, J (2000) *Soziologie der Fremdenfeindlichkeit: theoretische und empirische Analysen*. Campus Verlag.
- Suarez-Gonzalez, P., Quijada, I. E., Benito, M. I., Mas, R., Merinero, R., and Riding, R (2014) Origin and significance of lamination in Lower Cretaceous stromatolites and proposal for a quantitative approach. *Sedimentary Geology*, 300: 11-27.
- Tang, D., Shi, X., Jiang, G., and Zhang, W (2013) Microfabrics in Mesoproterozoic microdigitate stromatolites: evidence of biogenicity and organomineralization at micron and nanometer scales. *Palaios*, 28(3): 178-194.
- Tavani, S., Parente, M., Vitale, S., Iannace, A., Corradetti, A., Bottini, C., ... and Mazzoli, S (2018) Early Jurassic rifting of the Arabian passive continental margin of the Neo-Tethys. Field evidence from the Lurestan region of the Zagros fold-and-thrust belt, Iran. *Tectonics*, 37(8): 2586-2607.
- Vennin, E., Olivier, N., Brayard, A., Bour, I., Thomazo, C., Escarguel, G., ... and Hofmann, R (2014) Microbial deposits in the aftermath of the end-Permian mass extinction: A diverging case from the Mineral Mountains (Utah, USA). *Sedimentology*, 62(3): 753-792.