

چارچوب محیط رسوبگذاری و شرایط پالئواکولوژیکی سازند سرگلو (ژوراسیک میانی) در ناحیه اورمان، کرمانشاه

میلاد ایمانی سقین‌سرا^۱، نارام بایت‌گل^{۲*}، مهدی دارائی^۳، میثم عیسی‌نژاد^۴، افشین زهدی^۵ و جواد ربانی^۶

۱ و ۴- دانشجوی کارشناسی‌ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

۲ و ۳- استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

۵ و ۶- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

نویسنده مسئول: bayetgoll@iasbs.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۷ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

بر اساس آنالیز رخساره‌ای و داده‌های رسوب‌شناسی صحرایی و ادغام آن با محاسبات آماری، ۵ میکروفاسیس (MF) و ۲ رخساره‌سنگی (LF) در نهشته‌های سازند سرگلو (ژوراسیک میانی) در زیرپهنه لرستان شناسایی شده است. توالی رخساره‌ای شناسایی شده دلالت بر محیط رسوبی اینتراشلفی و بخش عمیق کف حوضه متشکل از کمرندهای رخساره‌ای حوضه/شلف خارجی، شیب و شلف میانی است که به صورت دوره‌ای با جریان‌های توفانی و توربیدیتی همراه بوده است. توالی رخساره‌ای رسوبی شناسایی شده نشان می‌دهد که در میان عوامل اصلی کنترل‌کننده رخساره‌ای، دو عامل میزان اکسیژن و جریان‌های داخل حوضه‌ای مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی نهشته‌های سازند سرگلو می‌باشند. مطالعه آماری بر روی توزیع آماری فراوانی اندازه و کج‌شدگی مرتبط با ریزرخساره‌های حاوی پوزیدونیا بخصوص ریزرخساره وکستون-پکستون دارای پوزیدونیا (MF-G) حاکی از شکل‌گیری سازند سرگلو در کمرندهای رخساره‌ای کم انرژی و عمیق (حوضه/شلف خارجی)، پراثری و کم‌عمق شیب حوضه و شلف میانی می‌باشد. رخداد گسترده توالی‌های حاوی گونه‌های پوزیدونیا به میزان تأمین مواد مغذی و نرخ تأمین اکسیژن توسط جریان‌های دریایی مرتبط شده است. الگوی توزیع فراوانی پوزیدونیا در ریزرخساره وکستون - پکستون دارای پوزیدونیا منجر به تجزیه این ریزرخساره به چهار نوع زیررخساره (MF-G1, MF-G2, MF-G3, MF-G4) شده است که هر یک از آن‌ها نشان‌دهنده الگویی از کج‌شدگی‌های آماری از لحاظ فراوانی اندازه پوزیدونیا و تغییر در جایگاه کمرندهای رخساره‌ای است. در این خصوص، کج‌شدگی چپگرد بیانگر شیب حوضه، کج‌شدگی راستگرد بیانگر شلف میانی، و کج‌شدگی بایمدال بیانگر حوضه/شلف خارجی است.

واژگان کلیدی: سازند سرگلو، ژوراسیک میانی، حوضه اینتراشلفی، پوزیدونیا

پیشگفتار

دوکفه‌ای پلاژیک مرتبط با دوکفه‌ای‌های پوزودونیا در نهشته‌های آهکی ژوراسیک میانی در حوضه‌های مختلفی از جهان گزارش شده است (نگرا و همکاران، ۲۰۱۱) این تجمعات از دوکفه‌ای‌های پوزودونیا در سازند سرگلو فراوان دیده می‌شود، چنانکه وجود صرفاً دوکفه‌ای‌های پوزودونیا و عدم حضور موجودات کف‌زی در نهشته‌های سازند سرگلو بررسی شرایط پالئواکولوژیکی این نهشته‌ها را از لحاظ عمق، نوع استراتژی رفتاری و شرایط زیست‌دیرینه‌شناسی (دما، شوری، اکسیژن، مواد غذایی و انرژی هیدرودینامیکی) دوکفه‌ای‌های پوزودونیا موجود در حوضه

تجمعات خرده‌های دوکفه‌ای پلاژیک بدون مفصل^۱ در نهشته‌های دریایی نسبتاً عمیق را تحت عنوان فیلامنت^۲ معرفی می‌کنند (اتاچفینی و کارن، ۲۰۰۶؛ زاگرانی و همکاران، ۲۰۰۸، ناوارو و همکاران، ۲۰۰۹، نگرا و همکاران، ۲۰۱۱، مولینا و همکاران، ۲۰۱۸، توماسویچ و همکاران، ۲۰۲۰). تجمعات این خرده‌های دوکفه‌ای پلاژیک بطور غالب در محیط دریایی عمیق همراه با نهشته‌های پلاژیک و همی‌پلاژیک دیده شده است (مولینا و همکاران، ۲۰۱۸، توماسویچ و همکاران، ۲۰۲۰). تجمعات خرده‌های

² filaments

¹ disarticulated bivalve shells

کربناته سازند سرگلو معرفی گردیدند. در مطالعات پتروگرافی، نام‌گذاری برش‌های نازک بر اساس طبقه‌بندی دانهام (۱۹۶۲) انجام گردید. تعیین کمرندهای رخساره‌ای سازند سرگلو با استفاده از مدل ارایه شده برای شلف‌های کربناته (فلوگل، ۲۰۱۰) بر اساس ریزرخساره‌های شناسایی شده صورت پذیرفت. مطالعات آماری بر روی توزیع اندازه، فراوانی و کج‌شدگی ضخامت پوسته‌های دوکفه‌ای پوزیدونیا با ضخامت‌های متغییر (از ۰/۵ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر)، با استفاده از روش شمارش نقطه‌ای در محیط نرم‌افزار جی میکروویژن (J-Microvision) و ترسیم نمودارهای ستونی و فراوانی در محیط نرم‌افزار اکسل، انجام گردید.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بخشی از کمرند چین‌خورده و رورانده زاگرس به شمار می‌آید. این کمرند، یک زون ساختاری مهم مرتبط با حاشیه شمال‌خاوری ورقه عربی محسوب می‌گردد، که در طی زمان زمین‌شناسی و حاصل برخورد قاره‌ای بخش شمال‌خاوری ابر قاره گندوانا (بخش‌های مرتبط با ورقه عربی) و بخش جنوب‌باختری ابرقاره لوراسیا (بخش‌های ایرانی)، طی فازهای مختلف تکتونیکی، ایجاد شده است (علوی، ۲۰۰۴، آگارد و همکاران، ۲۰۱۱). در بخش ایرانی کوهزاد زاگرس یک زون خردشده به‌عنوان زونی محصور شده مابین زون سندج-سیرجان (SSZ) و کمرند چین‌خورده زاگرس (ZFB) حاصل از فعالیت‌های تکتونیکی گسل عهد حاضر اصلی زاگرس (MRF)، و راندگی اصلی زاگرس (MZT) ایجاد گردیده است (آگارد و همکاران، ۲۰۰۵). فعالیت این گسل‌ها، سبب روراندگی و چین‌خوردگی رخساره‌های آهکی و رادیولاریت بیستون به سن تریاس تا کرتاسه، و بقایای افیولیتی بر روی کمرند چین‌خورده و رورانده زاگرس در منطقه کرمانشاه شده است (مولنار، ۲۰۰۶، وروبل-داوو، ۲۰۱۰، آگارد و همکاران، ۲۰۱۱). در مقیاس پوسته‌ای، زون خردشده، حاصل از برخورد حاشیه ورقه عربی با بلوک ایران بوده است.

در این مطالعه، ۲ برش از توالی‌های به سن ژوراسیک میانی در منطقه اورامان در شمال‌باختر- باختر استان کرمانشاه انتخاب گردیده است (شکل ۱a,b). این برش‌ها عبارتند از: برش دودان (طول جغرافیایی 46°11'14.6"E و عرض

سرگلو ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه از تغییرات تنوع، فراوانی دوکفه‌ای‌های پوزودونیا جهت تفکیک و بررسی تفاوت زیرمحیط‌های رسوبی مختلف در نهشته‌های رسوبی سازند سرگلو استفاده می‌شود.

سازند سرگلو در مناطق نسبتاً گسترده‌ای از شمال و شمال‌خاور عراق، و نیز مناطق اورامان ایران (پاوه و جوانرود) از ایران گسترش دارد. بر اساس مطالعات عبدالله (۲۰۱۰) در شمال-شمال‌خاور عراق، بخش زیرین سازند سرگلو، متشکل از سازند سه‌کانیان به سن ژوراسیک پیشین بوده، و بخش بالایی این سازند، توسط سازندهای نجمه در شمال و سازند نئوکالکان در بخش مرکزی و جنوب عراق به سن ژوراسیک پسین پوشانده شده است. سازند سرگلو بدلیل داشتن شرایط خاص از لحاظ پتانسیل تشکیل یک سنگ‌منشأ مستعد هیدروکربنی، در طی سال‌های اخیر مورد توجه اکثر زمین‌شناسان بوده است (الشهران و مگرا، ۱۹۹۴). با این حال، مطالعات اندکی در بخش ایرانی این حوضه رسوبی انجام شده است. در این مطالعه سعی بر آن است که این سازند را در بخش ایرانی زاگرس با هدف آنالیز رخساره‌ای جهت تعیین کمرندهای رخساره‌ای، شرایط محیط رسوبگذاری و ارایه مدل محیط رسوبگذاری مورد مطالعه قرار دهیم. همچنین، در این مطالعه سعی بر ارزیابی فاکتورهای رسوب‌شناختی و آماری تجمعات فسیل‌های جانوری (عمدتاً گونه‌های دوکفه‌ای‌های پوزودونیا) جهت درک و بازسازی شرایط محیطی حاکم بر محیط رسوبگذاری سازند سرگلو است.

مواد و روش‌ها

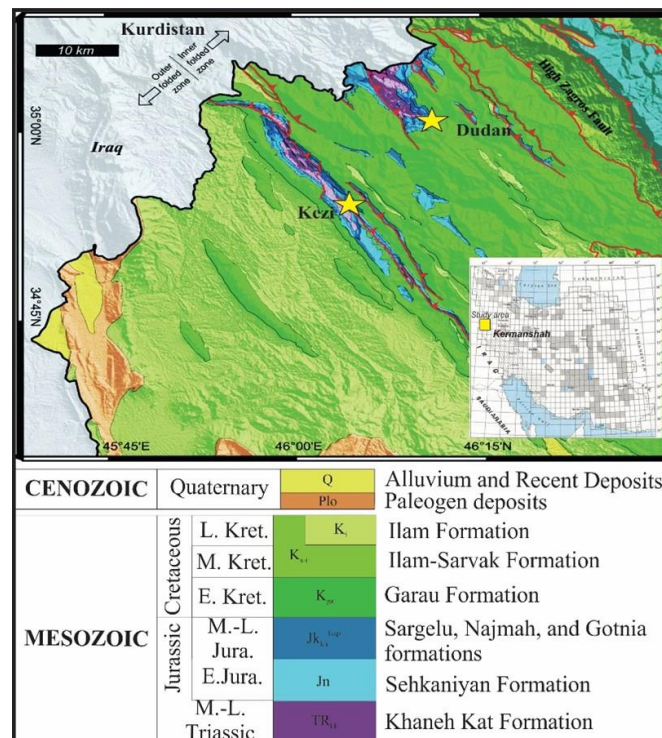
در این مطالعه، از ادغام مطالعات صحرایی و پتروگرافی در راستای تفکیک کمرندهای رخساره‌ای، تعیین مدل رسوبی و تفسیر شرایط پالئوآکولوژیکی نهشته‌های سازند سرگلو استفاده شده است. مطالعات صحرایی برش‌های مد نظر شامل برداشت‌های لیتولوژی و سنگ‌چینه‌ای، بافت و ساخت‌های رسوبی، ژئومتری یا هندسه واحدها، بررسی محتویات فسیلی، تعیین رخساره‌های سنگی، ضخامت ظاهری، بررسی روند چرخه‌های رسوبی (ریزشوندگی، درشت‌شوندگی، نازک‌شوندگی و ضخیم‌شوندگی)، برداشت سیستماتیک نمونه‌های سنگی (۱۳۸ نمونه سنگی) و تهیه لاگ رسوبی بوده است. همچنین با توجه به مشاهدات پتروگرافی نهشته‌های کربناته، ریزرخساره‌ها در بخش

فرسایشی، تبدیل شده است. این میان‌لایه‌های چرت و شیل بصورت موجی و نواری (در اصطلاح، باندل^۵ گفته می‌شود) نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. (شکل ۲ c). در مابین طبقات باندل، ساختارهای تکتونیکی نظیر ساخت بودیناژ^۶ و توپی-بالشی نیز قابل شناسایی می‌باشد (شکل ۲ d). مرز بالایی سازند سرگلو، با سازند نجمه با یک سطح فرسایشی مشخص می‌شود که با تبدیل ناگهانی شیل قرمز به سنگ‌آهک همراه است.

نتایج

بر اساس مطالعات رخساره‌ای و میکروفاسیس، ۵ ریزرخساره و ۲ رخساره سنگی شناسایی گردید، که در این خصوص، محیط رسوبگذاری سازند سرگلو از عمیق به کم‌عمق به سه کمربند رخساره‌ای ۱. شلف خارجی/حوضه، ۲. شیب (کلسی‌توریدیت؛ برش دودان و کزی) و ۳. شلف میانی (تمپستایت؛ برش کزی) طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۱).

جغرافیایی (طول جغرافیایی و $35^{\circ}01'01.6''N$ و $46^{\circ}08'25.1''E$ عرض جغرافیایی $34^{\circ}51'50.6''N$). سازند سرگلو در بخش قاعده‌ای، توسط یک سطح ناگهانی و فرسایشی، که عمدتاً یک سطح پیریتی شده می‌باشد (در برش دودان)، و بصورت تدریجی (در برش کزی) از توالی‌های دولومیت توده‌ای سازند سه‌کانیان^۳ به سن ژوراسیک پیشین متمایز گردیده است. لیتولوژی سازند سرگلو در برش‌های مورد مطالعه، در بخش قاعده، عمدتاً حاوی شیل سیاه غنی از مواد آلی بصورت متورق، به همراه میان‌لایه‌های مارن و فسیل‌هایی از گونه‌های دوکفه‌ای پوزیدونیا^۴ می‌باشد (شکل ۲ a, b). در بخش‌های قاعده‌ای-میانی، این سازند حاوی چرخه‌هایی به سمت بالا ضخیم شونده، متشکل از لیتولوژی سنگ‌آهک لایه‌ای - موجی و توده‌ای، به همراه میان‌لایه‌هایی از شیل و مارن‌های سیاه غنی از مواد آلی می‌باشد. به سمت بخش‌های فوقانی سازند سرگلو، تدریجاً از ضخامت و گستردگی شیل و مارن‌های سیاه کاسته شده، و به سنگ‌آهک با میان‌لایه‌هایی از چرت و شیل قرمز رنگ، در برخی موارد، همراه با سطوح



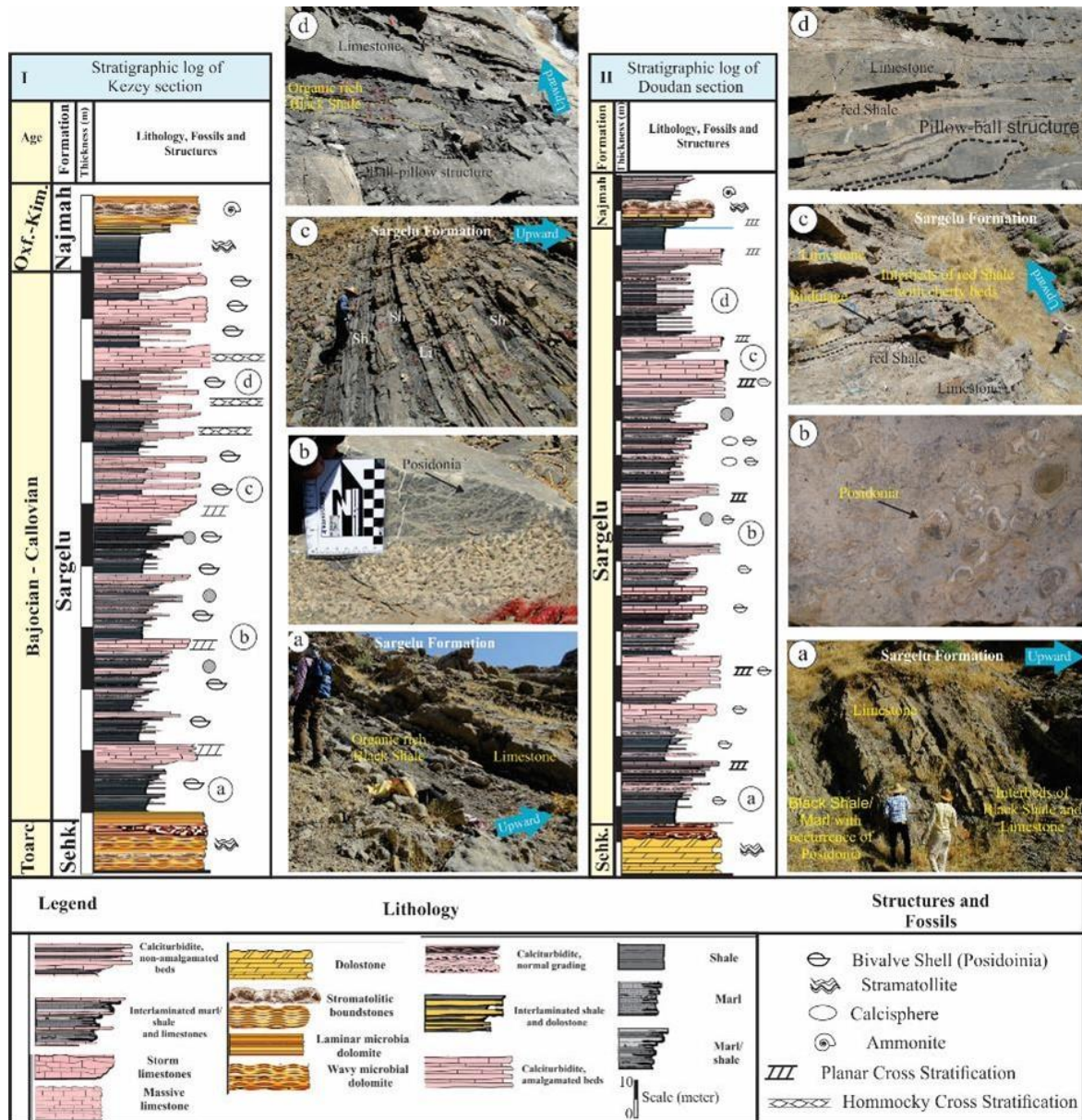
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان کرمانشاه و موقعیت برش‌های مورد مطالعه بر روی آن در شمال‌باختر منطقه همراه با گستردگی بالا از توالی‌های دوره ژوراسیک (اقتباس از تاوانی و همکاران، ۲۰۱۸ با تغییرات).

⁵ Bundle

⁶ Boudinage

³ Sehkaniyan Formation

⁴ Posidonia



شکل ۲. توالی رسوبی سازند سرگلو در برش‌های دودان (I) و کزی (II) در شمال‌باختر کرمانشاه. (a) تناوب سنگ‌شناسی شیل سیاه غنی از ماده آلی و سنگ‌آهک در قاعده سازند سرگلو. (b) فسیل‌های دوکفه‌ای پوزیدونیا. (c) بخش میانی-رأسی سازند سرگلو متشکل از باندل‌های چرت و سنگ‌آهک با میان‌لایه‌های شیل قرمز در قاعده چرخه‌های رسوبی، به‌همراه شواهدی از ساختارهای تکتونیکی بودیناژ. (d) ساختارهای تکتونیکی نوپی-بالشی مرتبط با بودیناژ.

ضخامت و اندازه خرده‌های بوسیترا از ۰/۵ میلی‌متر و کمتر، تا بیش از ۱ میلی‌متر و حتی در برخی موارد از ۵-۲ میلی‌متر متغیر می‌باشد. توزیع فراوانی این دوکفه‌ای‌ها الگویی چپگرد، راستگرد و بایمدال از لحاظ کج‌شدگی نمایش می‌دهد (شکل ۳). تغییر و تمایز هر یک از این الگوها (فراوانی بر اساس اندازه و کج‌شدگی دوکفه‌ای) از لحاظ کج‌شدگی منجر به شناسایی ۴ نوع زیررخساره (-MF) از G1 - MF-G4) مرتبط با ریزرخساره و کستون - پکستون دارای پوزیدونیا شده است، که بدلیل گستردگی بسیار بالا

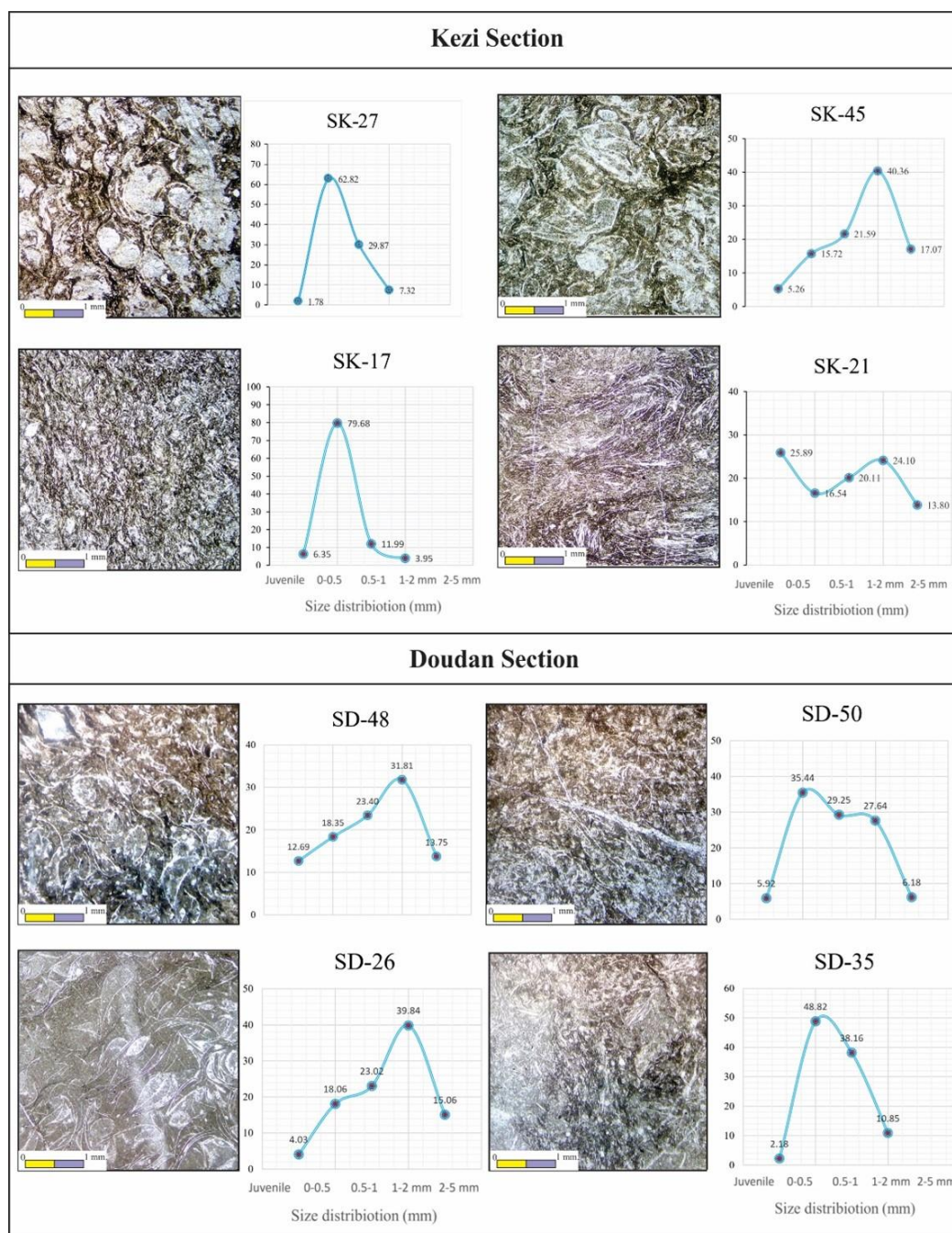
آنالیز آماری دوکفه‌ای‌های (پوزیدونیا) سازند سرگلو بر اساس محاسبات آماری بر روی توزیع دوکفه‌ای‌های پوزیدونیا برای برش‌های مورد مطالعه (شکل ۳) جهت پی‌بردن دقیق نوع کمربند رخساره‌ای (بخصوص، تفکیک نهشته‌های کلسی‌توربیدایتی از تمپستایتی در کمربندهای شیب حوضه و شلف میانی)، چنین به نظر می‌رسد که در طول توالی سازند سرگلو الگوهایی از توزیع اندازه‌های مختلف دوکفه‌ای‌های حفظ‌شده پوزیدونیا و خرده‌های آن‌ها (بوسیترا) قابل ردیابی است. تغییرات در توزیع

کج‌شدگی مشخص‌کننده بخش شیب حوضه با انرژی متوسط تا بالا بوده، و در نهایت، زیرخساره چهارم (MF-G4) دارای الگوی فراوانی راستگرد از لحاظ کج‌شدگی مشخص‌کننده بخش شلف میانی با انرژی متوسط تا بالا می‌باشد.

این ریزرخساره در توالی سازند سرگلو، آنالیز آماری کمربندهای رخساره‌ای قابل تعمیم به ریزرخساره مذکور و زیرخساره‌های مربوطه می‌باشد. زیرخساره اول (MF-G1) دارای الگوی فراوانی بایمدال از لحاظ کج‌شدگی می‌باشد، در حالی‌که، زیرخساره‌های دوم و سوم (MF-G2, MF-G1) دارای الگوی فراوانی چپگرد از لحاظ

جدول ۱. میکروفاسیسی‌های شناسایی شده سازند سرگلو، به همراه واحدهای چینه‌ای، مشخصات رسوبی، اجزای اسکلتی و غیراسکلتی و نوع محیط رسوبگذاری آن‌ها

Microfacies type (MF)	Sedimentary features	Skeletal and non-skeletal components	Other features	Sedimentary interpretation	Depositional environment
(MF- F) Mollusk Wackestone	Massive to cm-thick beds of non-amalgamated with graded of Posidonia	Bositra, rare Crinoid, rare-very rare of dolomite and pellet	Organic matter is decreased	Middle Shelf – Slope which locally occurred with intermittent pulse of moderately -high energy	Slope – Middle Shelf
(MF- G) Posidonia Wackestone - Packstone	Massive to cm thick of amalgamated beds, densely packed of Posidonia assemblages	Bositra, rare to very rarely, radiolarian, locally occurs of dolomite, and rare pyrite	Micritic groundmass occurred with organic rich matrix. Bioturbation locally occurred	Moderate – High energy Slope – middle Shelf	
(MF- G1) Posidonia Wackestone - Packstone	Same as G	Same as G	Bimodal-skewed pattern of frequency distribution	Moderate – High energy Slope	Slope
(MF- G2) Posidonia Wackestone - Packstone	Same as G	Same as G	Left-skewed pattern of frequency distribution	High energy Slope	
(MF- G3) Posidonia Wackestone - Packstone	Same as G	Same as G	Left-skewed pattern of frequency distribution	High energy Slope	
(MF- G4) Posidonia Wackestone - Packstone	Same as G	Same as G	Right-skewed pattern of frequency distribution	Moderate – High energy Middle Shelf	Middle Shelf
(MF- H) Posidonia Radiolarian Wackestone	Massive to cm thick of graded beds, with spare of Posidonia,	Bositra, moderately Radiolarians occurred, locally occurrence of Dolomite, Pellet. Pelloid	Same as G, Radiolarians are relative to chert lithologies.	Deep low – moderately energy Basin/ Outer Shelf	Basin – Outer Shelf
(MF- I) Radiolarite	Thin cm-thick layers of Densely packed Radiolarian assemblages	Radiolarian abundantly occurred	The groundmass is micritic and organic rich	Depp low energy Basin environment (Outer Shelf)	
(MF- J) Organic Rich (Dolomitic)Mudstone	Thin cm-thick of sheet like layers of organic rich black shale	Bositra abundantly occurred	The groundmass has contained organic matter	Depp low energy Basin (Outer Shelf)	
Lithofacies type (LF)	Sedimentary features	Skeletal and non-skeletal components	Other features	Sedimentary Interpretation	Depositional Environment
(LF- A) Organic Rich Black Shale / Marl	Recognized based on Sheet like features	Posidonia	Occurred in the base of successions	Low energy Deep Basin/Outer Shelf environment	Basin – Outer Shelf
(LF- B) Black Limestone	laminated to wavy and massive structure	Posidonia	Occurred in the middle to top of succesions	Moderate – high energy Slope to Middle Shelf environment	Slope – Middle Shelf



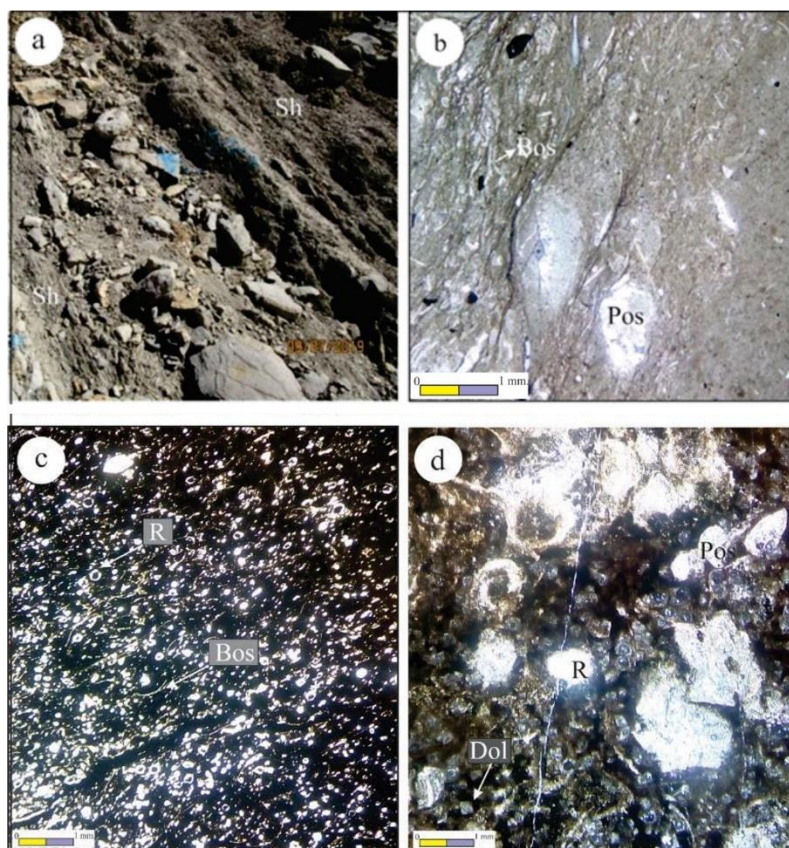
شکل ۳. توزیع آماری اندازه دوکفه‌ای‌های پوزیدونیا و خرده‌های آن‌ها (بوسیترا) در سازند سرگلو (برش‌های کزی و دودان، کرمانشاه).

ریزرخساره شیل / مادستون (دولومیتی) غنی از مواد آلی (MF-J): این رخصاره متشکل از شیل سیاه غنی از ماده آلی (بعنوان یک رخصاره سنگی LF-A؛ شکل a ۴)، است که به صورت ریزرخساره مادستون / شیل با ماتریکس گلی غنی از ماده آلی (MF-J) با زمینه تیره‌رنگ مشاهده می‌شود (شکل a, b ۴). این رخصاره حاوی فسیل دوکفه‌ای پوزیدونیا می‌باشد.

کمربندهای رخصاره‌ای سازند سرگلو

کمربند رخصاره‌ای A (حوضه / شلف خارجی):

کمربند شلف خارجی / حوضه شامل عمیق‌ترین رخصاره‌ها در توالی رسوبی سازند سرگلو، دربرگیرنده رخصاره سنگی شیل سیاه غنی از ماده آلی (LF-A) و شامل ریزرخساره‌های شیل / مادستون غنی از مواد آلی (MF-J)، رادیولاریت (MF-) I، و پوزیدونیا رادیولارین و کستون - پکستون (MF-H) می‌باشد.



شکل ۴. تصاویر صحرایی و میکروسکوپی مجموعه رخساره‌ای A (رخساره‌های حوضه/ شلف خارجی) سازند سرگلو در جنوب‌باختر ایران (کرمانشاه). (a) رخساره‌سنگی شیل سیاه غنی از ماده آلی (Sh) در قاعده سازند سرگلو (برش کزی). (b) میکروفاسیس مادستون (دولومیتی) غنی از مواد آلی، همراه با نمونه‌های سالم پوزیدونیا (Pos) و خرده‌های بوسیترا (Bos) (نور XPL، برش دودان، شماره مقطع SD-16). (c) ریزرخساره رادیولاریت، متشکل از گونه‌های زیستی رادیولر (R)، به‌همراه خرده‌های بوسیترا (Bos) (نور XPL، برش کزی، شماره مقطع SK-60). (d) ریزرخساره پوزیدونیا رادیولارین و کستون - پکستون، با توزیع یکنواخت گونه‌های رادیولر، و اجزای حفظ شده پوزیدونیا (Pos)، در بافت پکستونی حاوی دولومیت ریزبلور (نور XPL، برش دودان، شماره مقطع SD-64).

ارگانسیم‌های حفار و فوناهای زیستی یا شواهدی از وجود خرده‌های اسکلتی نشان‌دهنده محیط‌های با سطح اکسیژن پایین یا آنکسیک^۲ در طول تهنشینی این رخساره است (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۷، 2018a, b).

ریزرخساره وکستون دارای پوزیدونیا و رادیولر (MF-H): این ریزرخساره با پراکندگی بالا در بخش میانی-فوقانی سازند سرگلو، متشکل از دوکفه‌های پوزیدونیا و خرده‌های آن‌ها (اندازه حدوداً ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر) و نیز رادیولر با غلبه نسبی دوکفه‌های بر رادیولرها می‌باشد. (شکل ۴ d). در مشاهدات صحرایی به صورت لایه‌های نازک تا متوسط با لامیناسیون موازی و سطح قاعده‌ای و بالایی تدریجی دیده می‌شود. لامینه‌های موجود در این رخساره به صورت موازی با گسترش جانبی زیاد و به ندرت نامنظم دیده می‌شوند. در بیشتر موارد این رخساره در

تفسیر: با توجه به سنگ‌شناسی شیل و مادستونی، این رخساره به‌عنوان عمیق‌ترین بخش محیط رسوبگذاری سازند سرگلو تفسیر می‌شود. بنابراین این رخساره در مدل ارایه شده برای رخساره‌های شلف کربناته، رخساره حوضه-ای تشکیل یافته در زیر قاعده تأثیر امواج توفانی^۱ محسوب می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰، بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۰). رنگ سیاه در زمینه توالی شیل سیاه سازند سرگلو ممکن است بدلیل تمرکز بالای ماده آلی، در نتیجه شرایط بی‌هوایی حاکم در بستر آب دریا باشد (شرفی و همکاران، ۱۳۹۹، موسوی‌زاده، ۱۳۹۸). حفظ‌شدگی ماده آلی این رخساره، ممکن است بدلیل واقع شدن سازند سرگلو در یک حوضه بسته و اینتراشلفی، در نتیجه فرونشینی مستمر کف حوضه یا طی مراحل اولیه بالا آمدن سطح آب دریا رخ داده باشد (لنوسیز، ۲۰۱۶). در کل عدم وجود آشفستگی زیستی یا

^۲ anoxic

^۱ Storm wave base (SWB)

کمربند رخساره‌ای B (شیب حوضه)

رخساره سنگی سنگ‌آهک سیاه به همراه شواهد سری A تا E توالی بوما مهم‌ترین ساختار رسوبی این کمربند محسوب می‌گردد، همچنین، این توالی‌ها دارای ساختارهای تکتونیکی نظیر بودیناژ و ساختار توپی-بالشی نیز می‌باشد. ساختارهای مشخص‌کننده توالی بوما از قاعده تا بخش رأسی شامل: ۱- رسوبات توده‌ای با دانه‌بندی تدریجی^۴ (Ta)، ۲. لامیناسیون موازی مسطح^۵ (Tb)، ۳. ریبیل^۶ و لامینه‌های موج یا بهم ریخته^۷ (Tc)، ۴. لامیناسیون موازی^۸ در توالی شیل (Td)، و ۵. توالی شیل لامینه‌ای تا همگن^۹ (Te) (شکل ۵ a, b) است.

ریزررخساره‌های این کمربند نیز شامل ریزرخساره‌های وکستون - پکستون دارای پوزیدونیا (MF-G) با سه نوع زیررخساره^{۱۰} (MF-G1, MF-G2, MF-G3)، و وکستون دارای نرم تن (MF-F) می‌باشد که شواهد صحرایی را تأیید می‌کنند.

ریزررخساره وکستون - پکستون دارای پوزیدونیا (MF-G1 - MF-G3): این ریزرخساره، با توزیع و گستردگی بسیار بالایی در سرتاسر سازند سرگلو قابل شناسایی می‌باشد، بطوریکه بیش از ۶۰ درصد از کل رخساره‌های سازند سرگلو را تشکیل می‌دهد. این رخساره بصورت لایه‌های آهکی نازک تا متوسط لایه با گسترش چینه‌شناسی بالا در طول ستون سازند سرگلو است، بطوریکه به سمت بخش‌های عمیق حوضه (به سمت باختر در برش کزی) عمدتاً در تناوب با رخساره‌های شیلی/مادستونی تا وکستونی (MF-H and MF-J) دیده می‌شود. دوکفه‌ای‌های پوزیدونیا و خرده‌های آن‌ها (بوسیترا)^{۱۱} با گستردگی بالا، اصلی‌ترین گروه اسکلتی تشکیل‌دهنده این رخساره می‌باشد، که از توزیع و تراکم بسیار بالایی در توالی‌های سازند سرگلو برخوردار است. در برخی موارد، پوزیدونیا با حفظ‌شدگی بسیار خوب نیز قابل شناسایی می‌باشد (MF-G1؛ شکل ۵c). در برخی موارد، اثراتی از زیست‌آشفته‌گی^{۱۲} در زمینه رسوبات قابل شناسایی می‌باشد (MF-G2, MF-G3؛ شکل ۵d). توزیع فراوانی اندازه خرده‌های پوزیدونیا از ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر (MF-G1)، به

تناوب با رخساره‌های شیلی و مادستونی دیده می‌شود بافت این رخساره در اکثر موارد وکستون بوده و گاهاً بافت مادستون نیز مشاهده می‌شود. وجود چرت در توالی‌های سازند سرگلو حاکی از فرایند سیلیسی شدن^۳ می‌باشد، که طی آن پوسته سیلیسی رادیولرها حل و سپس به شکل چرت نهشته شده است. این فرایند جزء فرایندهای دیاژنزی (از نوع نئومورفیسم^۳) محسوب می‌شود.

تفسیر: ظهور خرده‌های پوزیدونیا، همراه با گونه‌های رادیولر، می‌تواند بیانگر یک جابجایی تدریجی و میان‌مدت در سطح اکسیژن‌رسانی ستون آب دریا باشد (جاش، ۲۰۰۷). با توجه به تغییرات در بافت این رخساره، از بافت مادستونی مرتبط با بخش‌های عمیق و کم‌انرژی به بافت وکستونی، می‌توان به تغییرات انرژی آب دریا و عمق در محدوده نهشت آن پی برد. وجود شواهدی همانند صدف‌های دوکفه‌ای پلاژیک، لامیناسیون ریز موازی، محتوی مواد ارگانیک بالا در نتیجه رنگ سیاه، عدم وجود ارگانیسیم‌های بنتیک از وجود شرایط کم اکسیژن بستر رسوبی حمایت می‌کند. وجود لامیناسیون ریز موازی با گسترش جانبی بالا، اشاره به عدم وجود ارگانیسیم‌های حفار و شرایط آرام رسوبی دارد (عبدالله، ۲۰۱۴، مولینا و همکاران، ۲۰۱۸، بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶).

ریزررخساره رادیولاریت (MF-I): این ریزرخساره با گستردگی بسیار کم و به شکل افق‌های چرتی در بخش‌های فوقانی سازند سرگلو بوده، و متشکل از گونه‌های مختلف رادیولر با پوسته‌ای از جنس سیلیس، به رنگ سفید با اشکال مدور یا کلاه‌خودمانند می‌باشند، که در زمینه‌ای غنی از ماده آلی توزیع یافته‌اند (شکل ۴ c).

تفسیر: رخداد ناگهانی و گستردگی کم این رخساره در بخش‌های میانی سازند سرگلو، حاکی از یک حادثه کوتاه مدت از لحاظ تأمین اکسیژن بستر دریا در طی رسوبگذاری می‌باشد (جاش، ۲۰۰۷، عبدالله و همکاران، ۲۰۱۵). رخداد محلی رادیولر احتمالاً حاکی از محیط کم‌انرژی بستر و انتقال اکسیژن توسط جریان‌های ایجاد شده از بخش‌های پرانرژی کم‌عمق‌تر به بخش‌های کم‌انرژی بستر باشد (جاش، ۲۰۰۷).

⁸ Parallel lamination

⁹ Laminated to Homogenous

¹⁰ Subfacies

¹¹ Bositra

¹² Bioturbation

³ Silicification

⁴ Massive graded

⁵ Plane parallel lamination

⁶ Ripple

⁷ Wavy or Contorted laminae

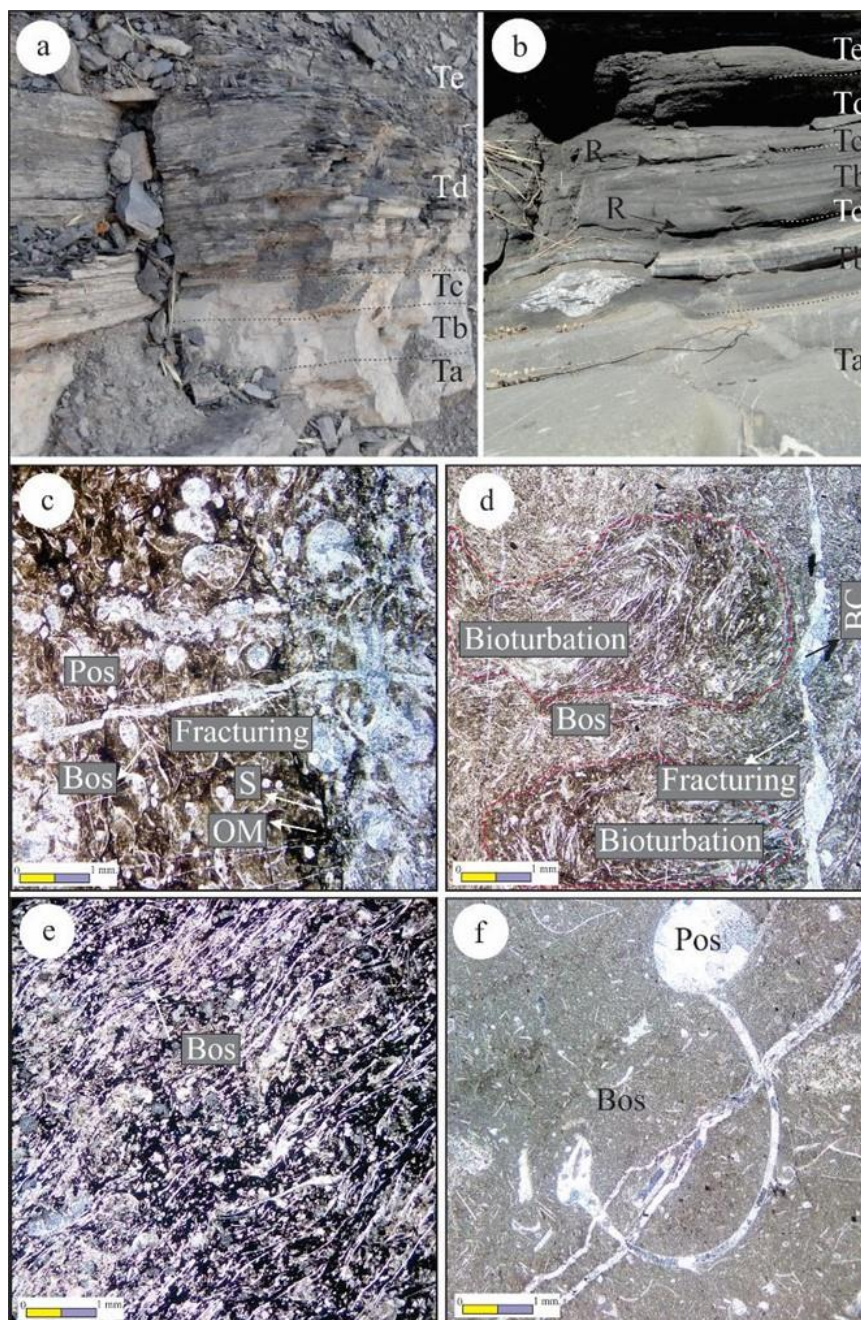
پلاژیک کفه‌های متصل با حفظ‌شدگی بالا قرار گرفته شده در زمینه میکرایتی و رسوب داخلی میکرایت در داخل کفه‌ها حاکی از ته‌نشینی آن‌ها در محیط‌های کم انرژی در بخش دنباله جریان‌ات رخدادی همچون توربیدایت است (نصیری و همکاران، ۱۳۹۸؛ زهدی و ربانی، ۱۳۹۸). نهشته‌های مادستونی همراهی با این رخساره خاص نهشته‌های پلاژیک یا همی‌پلاژیک می‌باشند و احتمالاً در نتیجه تناوب جریان‌ات رخدادی و جریان پلاژیک در حوضه ایجاد شده‌اند. برخلاف دیدگاه برخی از پژوهشگران (ویگنال، ۱۹۹۳؛ اتر، ۱۹۹۶؛ روهل و همکاران، ۲۰۰۱) که اکثراً رخداد گسترده پوزیدونیا را صرفاً مرتبط با بسترهای کم انرژی معرفی نموده‌اند (جاش، ۲۰۰۷)، به نظر می‌رسد که وجود بافت پکستون در این رخساره، حاکی از حضور این گونه‌های جانوری در بسترهای پرانرژی می‌باشد. بطور کلی، وجود زیست‌آشفستگی، و بافت پکستون، بیانگر انرژی‌های بالایی کوتاه مدت و تشکیل رسوبات در قاعده امواج توفانی می‌باشد (جاش، ۲۰۰۷). وجود دانه‌بندی تدریجی نرمال، سطح قاعده فرسایشی و لامیناسیون‌های موازی و ریپلی‌جریانی منطبق بر بخش Td و Te توالی بوما از فرایند جریان‌ات توربیدایتی در این حوضه حمایت می‌کند (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۴ و 2016a). رخداد گسترده پوزیدونیا با پوسته‌های حفظ‌شده به شکل پوزیدونیا با اندازه بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر با حفظ‌شدگی بسیار خوب و عدم وجود شواهد زیست‌آشفستگی (نمونه‌های SK-21, SD-50 در شکل ۳) که بر اساس مطالعات آماری الگوی بایمدال از لحاظ کج‌شدگی نشان می‌دهند، بیانگر تشکیل رخساره در شرایط (زیررخساره اول)، بیانگر وجود شرایط مناسب از لحاظ تأمین مواد غذایی، تأثیر ناچیز جریان‌ات گراویته‌ای و توفانی و اکسیژن‌رسانی بستر می‌باشد (روهل و همکاران، ۲۰۰۱؛ توماسویچ و همکاران، ۲۰۲۰؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۲). در طی شرایط آرام حین رسوبگذاری، تأثیر ناچیز جریان‌ات دریایی سبب رسوبگذاری به حالت معلق در کف بستر رسوبی شده و در نتیجه، دوکفه‌ای‌های پوزیدونیا فرصت کافی برای تکثیر و حفظ شدن پوسته‌های خود داشته‌اند. همچنین، ممکن است تغییر در پیکربندی ستون آب دریا سبب اکسیژن‌رسانی ضعیف کف بستر در طی رسوبگذاری رخساره‌های رسوبی باشد (پاریش و کورتیس، ۱۹۸۲؛ پارتیش، ۱۹۹۳). با اینکه در اکثر مطالعات پژوهشی صورت گرفته بر روی گونه‌های

همراه زیست‌آشفستگی (SD-35, SD50) در برش دودان و SK-17, SK-21 در برش کزی؛ می‌باشد (شکل ۶). زمینه رخساره اکثراً متشکل از میکرایت بوده، و در برخی موارد از بلورهای پراکنده دولومیت ریز تا متوسط‌بلور در متن مادستونی نیز تشکیل یافته است. در برخی از موارد، زمینه میکرایتی غنی از ماده آلی می‌باشد. گاهی (کمتر از ۱۰ درصد نمونه‌ها) به دلیل افزایش تراکم و غلبه اجزای اسکلتی، بافت از وکستون به پکستون تغییر می‌یابد. توزیع اجزای غیراسکلتی در این رخساره بسیار کم می‌باشد، با این حال، ممکن است پلت در برخی موارد قابل شناسایی باشد. در بیشتر موارد خرده‌های دوکفه‌ای پلاژیک عمدتاً بصورت بدون مفصل می‌باشند که خردشدگی و شکستگی بالایی را از خود نشان می‌دهد، جورشدگی بافتی رسوب نیز ضعیف می‌باشد. در مقابل به سمت بخش‌های عمیق‌تر حوضه (کف حوضه) دوکفه‌ای پلاژیک خردشدگی و شکستگی کمتری را از خود نشان می‌دهند و در بیشتر موارد بصورت تجمعات کفه‌های متصل با حفظ‌شدگی بالا و رسوب داخلی میکرایت دیده می‌شوند. به طور کلی، این رخساره قابل تقسیم به چهار زیررخساره بر اساس تغییرات در صدف و فراوانی دوکفه‌ای‌ها است: ۱. انواع سالم دوکفه‌ای متشکل از پوزیدونیاها بزرگ (در اندازه ۵-۲ میلی‌متر) با حفظ‌شدگی بسیار خوب آن‌ها و الگوی فراوانی و کج‌شدگی بایمدال (MF-G1)، ۲. خرده‌های دوکفه‌ای به اندازه ۱-۰/۵ و ۲-۱ میلی‌متر و کج‌شدگی چپگرد (MF-G2)، ۳. خرده‌های دوکفه‌ای به اندازه ۱-۰/۵ تا ۲-۱ میلی‌متر (در برخی موارد) و همراه با انواع جنینی پوزیدونیا با الگو کج‌شدگی چپگرد (MF-G3)، ۴. خرده‌های دوکفه‌ای به اندازه ۲-۱ میلی‌متر و کج‌شدگی راستگرد (MF-G4). سه زیررخساره اول متعلق به کمربند شیب حوضه هستند و زیررخساره ۴ متعلق به کمربند شلف میانی است.

تفسیر: این رخساره بسته به موقعیت چینه‌شناسی آن و رخساره‌های مجاور آن و همچنین تغییرات خصوصیات تافونومیک دوکفه‌ای پلاژیک (میزان خردشدگی، سایش، جورشدگی نسبت مفصل‌دار بودن در مقابل بدون مفصل) در بخش‌های پایینی شیب در نزدیک کف حوضه تا بخش‌های کم عمق‌تر بالایی شیب ته‌نشین شده است. وجود دوکفه‌ای نابر جای پلاژیک بدون مفصل حاکی از حمل و ته‌نشینی آن‌ها بوسیله جریان‌ات توربیدایت است (نصیری و همکاران، ۱۳۹۸). در مقابل وجود دوکفه‌ای

گونه‌های زیستی با گستردگی بسیار بالا در پلتفرم‌های
کریناته شده است (جاش، ۲۰۰۷).

پوزیدونیا، آن‌ها را مقاوم به شرایط بی‌هوای اقیانوسی
معرفی شده است (روهل و همکاران، ۲۰۰۱)، با این حال،
شرایط نیمه‌هوای اقیانوسی نیز سبب تکثیر و رشد این



شکل ۵. تصاویر صحرایی و رخساره‌ای گروه B (رخساره‌های شیب حوضه) توالی‌های سازند سرگلو در جنوب‌باختر ایران (کرمانشاه). (a) سری ۱ تا ۵ توالی بوما (برش دودان). (b) سری ۱ تا ۵ توالی بوما بعنوان نهشته‌های حاصل از جریان‌ات توربیدیتی (برش کزی). (c) میکروفاسیس و کستون - پکستون دارای پوزیدونیا با گستردگی و توزیع بالای دوکفه‌ای‌های حفظ‌شده پوزیدونیا (Pos)، و پوسته‌های خردشده آن‌ها (Bos) در زمینه میکرایتی. (نور XPL، برش کزی، شماره مقطع SK-21). (d) و کستون - پکستون دارای پوزیدونیا همراه با آثار زیست‌آشفتگی (Bioturbation) و زمینه میکرایتی. (نور XPL، برش کزی، شماره مقطع SK-26). (e) و کستون - پکستون دارای پوزیدونیا با خردشده‌های دوکفه‌ای بوسیترا (در حد ۱ میلی‌متر و بزرگ‌تر) (نور XPL، برش کزی، شماره مقطع SK-55). (f) رخساره و کستون دارای نرم‌تن، تشکیل یافته از زمینه میکرایتی و دوکفه‌ای‌های پلاژیک پوزیدونیا (نور XPL، برش دودان، شماره مقطع SD-17).

کمربند رخساره‌ای C (شلف میانی)

این کمربند عمدتاً شامل ریزرخساره چهارم مرتبط با ریزرخساره وکستون-پکستون دارای پوزیدونیا (MF-G4) می‌باشد. این کمربند رخساره‌ای تنها در بخش‌های فوقانی برش کزی رخنمون داشته، و بر اساس شواهدی از جمله، لامیناسیون موزای، دانه‌بندی تدریجی نرمال، چینه‌بندی مورب هوموکی^۵ و آثار قالب‌های ناودانی^۶ مرتبط با رخساره سنگی سنگ‌آهک سیاه قابل شناسایی می‌باشد (شکل a) (۶).

ریزرخساره وکستون-پکستون دارای پوزیدونیا (MF-G4): اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده این رخساره عمدتاً از خرده‌های دوکفه‌ای پلاژیک پوزیدونیا می‌باشد که در زمینه میکرایتی قرار گرفته است. تجمعات خرده‌های دوکفه‌ای پلاژیک از پوزیدونیا عمدتاً حاوی نشانه‌های از خردشدگی و سایش بالا است و بیشتر کفه‌ها بصورت بدون مفصل دیده می‌شوند. جهت‌یافتگی خرده‌های اسکلتی تغییرات زیادی را نشان می‌دهد در گاهی موارد خرده‌های اسکلتی از دوکفه‌ای‌های پلاژیک دارای جهت‌یافتگی ترجیحی موازی یا مایل با سطح لایه‌بندی می‌باشند. این رخساره عمدتاً در تناوب با رخساره‌های شیلی/مادستونی در چرخه‌های ضخیم شونده به سمت بالا دیده می‌شود. در این ریزرخساره، خرده‌های پوزیدونیا (بوسیترا) در اندازه‌های مختلف (از ۰/۱ تا ۵ میلی‌متر) و پوزیدونیا‌های با حفظ‌شدگی خوب (در اندازه ۲ تا ۵ میلی‌متر) به همراه زیست‌آشفته‌گی قابل شناسایی می‌باشد (MF-G4) که در (شکل b, c, ۶). با این حال، بر اساس مطالعات آماری، الگوی توزیع فراوانی و کج‌شدگی راستگرد (SK-45, SD-48؛ شکل ۳) در این کمربند رخساره‌ای را می‌توان وجه متمایزکننده آن با کمربند رخساره‌ای شیب در نظر گرفت.

تفسیر: قاعده فرسایشی و حالت موج طبقات رسوبی با چینه‌بندی مورب هوموکی و ساختارهای قالب ناودانی تأییدی بر جریانات تمپستایتی بخش شلف میانی حوضه رسوبگذاری سازند سرگلو در برش کزی هستند (شکل a) (شرفی و همکاران، ۲۰۲۱، a, b، شرفی و همکاران، ۱۳۹۹، زهدی و ربانی، ۱۳۹۸). توزیع فراوانی و الگوی

در سازند سرگلو، غلبه پوزیدونیا با پوسته خرد شده (بوسیترا) به همراه زمینه میکرایتی و بافت وکستون تا پکستون در برخی از نمونه‌های این ریزرخساره (زیررخساره دوم)، برخلاف انواع حفظ‌شده و سالم پوزیدونیا، بیانگر تأثیر نیروی گراویته‌ای حاصل از افزایش ناگهانی شیب حوضه در تشکیل رخساره می‌باشد. قرارگیری موقعیت رخساره در بسترهای شیب‌دار سبب به هم‌ریختگی و تلاطم رسوبات در اثر نیروی ثقل گردیده و بعداً توسط حمل سریع اجزا رسوبی به سمت بسترهای کم‌انرژی رسوبگذاری آن‌ها به حالت معلق^۱ شده است (جاش، ۲۰۰۷). در سوی مقابل، در سازند سرگلو توزیع و گستردگی خرده‌های پوزیدونیا در اندازه‌های مختلف (از ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر) به همراه زیست‌آشفته‌گی با الگوی کج‌شدگی چپگرد (SD-35, SD50 - SK-17, SK-21؛ شکل ۳) (زیررخساره سوم) حاکی از تشکیل رخساره تحت تأثیر جریانات کلسی‌توربیدایتی^۲ بصورت دوره‌ای در ستون آب دریا می‌باشد.

ریزرخساره وکستون دارای نرم‌تن (MF-F): این رخساره از اجزای اسکلتی متشکل از دوکفه‌ای‌های کامل^۳ پوزیدونیا و خرده‌های آن‌ها (بوسیترا) و نیز دارای اجزاء نرم‌تنان با صدف آراگونیتی اولیه می‌باشد که از تراکم متوسط در بافت رسوبی برخوردار هستند (شکل e ۵). اجزای غیراسکلتی نیز شامل پلت و پلویید می‌باشد، که گاهی به وفور نیز ممکن است یافت شوند. زمینه رسوبی رخساره عمدتاً متشکل از میکرایت می‌باشد. با این حال، گاهاً زمینه دولومیت متوسط‌بلور نیز ممکن است باشد. کاهش میزان ماده آلی و وجود زیست‌آشفته‌گی در زمینه رسوبی از دیگر شاخصه مهم این رخساره می‌باشد.

تفسیر: دیواره کاملاً حفظ‌یافته و کلسیتی پوزیدونیا (شکل j، ۳-۱۱) به همراه شواهدی از کاهش ماده آلی در این ریزرخساره حاکی از تشکیل رخساره در نزدیکی زون یوفوتیک^۴ (زون مرتبط با وجود نور، و تأمین مواد غذایی) و شرایط نیمه‌هوازی-هوازی می‌باشد (Röhl et al, 2001; Jach, 2007; Tomašových et al, 2020). زمینه میکرایتی و گل‌پشتیان حاکی از رسوبگذاری به حالت معلق می‌باشد. با این حال، وجود مقداری زیست‌آشفته‌گی می‌تواند تا حدودی تناوب توالی‌های کلسی‌توربیدایتی را با شیل‌های بخش عمیق حوضه ایجاد نماید (شکل f، ۳-۱۱).

⁴ Euphotic zone

⁵ Hummocky cross stratification (HCS)

⁶ Gutter cast

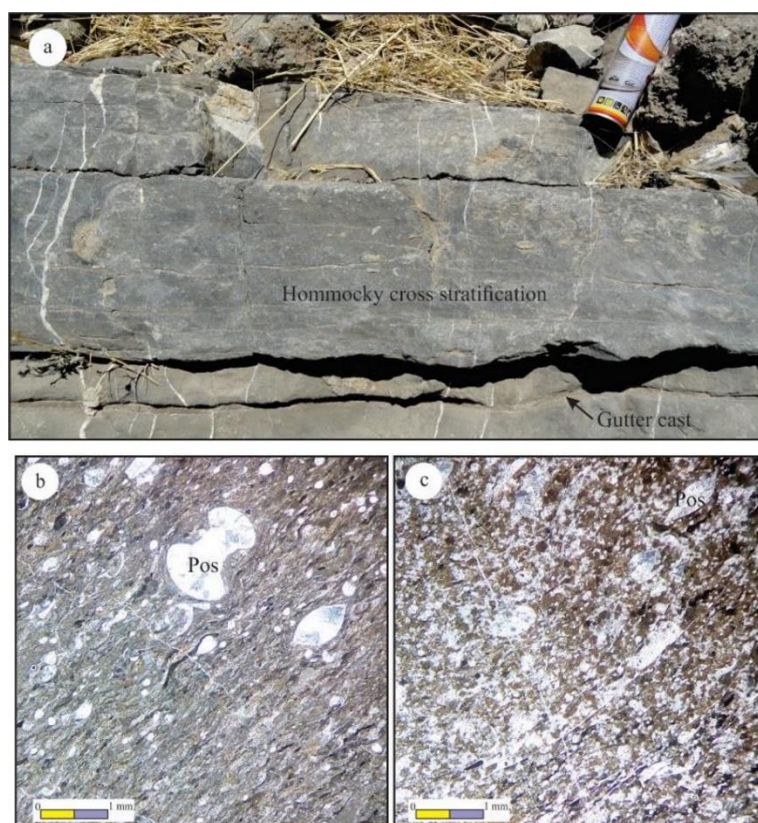
¹ Suspension precipitation

² Turbidity currents

³ Bulk Posidonia

شلف میانی (قاعده تأثیر امواج توفانی)^۷ نسبت داده شود (MF-G4). این رخداد حاکی از تأثیر امواج توفانی بصورت دوره‌ای در طی رسوبگذاری سازند سرگلو می‌باشد. قرارگیری موقعیت رخساره در بسترهای قاعده تأثیر امواج توفانی (SWB)، سبب آشفته‌گی رسوبات و تشکیل ساختارهای مختص جریان‌ات تمپستایتی (از جمله چینه‌بندی مورب هموموکی) گردیده و سبب رسوبگذاری به حالت آشفته شده است (جاش، ۲۰۰۷؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۵؛ نصیری و همکاران، ۲۰۲۰).

کج‌شدگی متفاوت خرده‌های پوزیدونیا در این رخساره حاکی از تفاوت در جایگاه محیط رسوبگذاری نسبت به توالی‌های توربیدایتی می‌باشد. بنابراین، الگوی کج‌شدگی راستگرد بر اساس آنالیزهای آماری بر روی پوزیدونیا (SK-45؛ شکل ۳) در برش کزی بیانگر رخساره تمپستایتی به عنوان نماینده شلف میانی (توماسویچ و همکاران، ۲۰۲۰) در حوضه رسوبگذاری سازند سرگلو می‌باشد. خرده‌های پوزیدونیا در اندازه‌های مختلف به همراه زیست‌آشفته‌گی این رخساره می‌تواند به شرایط پرانرژی و توفانی محیط



شکل ۶. تصاویر رخساره‌ای و میکروفاسیس گروه C (رخساره‌های شلف میانی) توالی سازند سرگلو در جنوب‌باختر ایران (کرمانشاه). (a) تصویر صحرایی تناوب لیتولوژی سنگ‌آهک (Li) با میان‌لایه‌های چرتی (Ch) بصورت باندل در بخش میانی- بالایی سازند سرگلو (برش کزی). (b) ساختار چینه‌بندی مورب هموموکی (HCS) در توالی سنگ‌آهک سازند سرگلو (برش کزی). (c) میکروفاسیس وکستون - پکستون دارای پوزیدونیا با توزیع دوکفه‌ای‌های حفظ‌شده پوزیدونیا (Pos) به اندازه ۲ تا ۵ میلی‌متر، و پوسته‌های خردشده آن‌ها (Bositra) در زمینه میکرایتی (نور XPL، برش کزی، شماره مقطع SK-63). (d) میکروفاسیس وکستون - پکستون دارای پوزیدونیا با توزیع دوکفه‌ای حفظ‌شده پوزیدونیا (Pos) به اندازه ۲ تا ۵ میلی‌متر، و خرده‌های آن (Bositra) در زمینه میکرایتی (نور XPL، برش کزی، شماره مقطع SK-65).

بحث

مدل رسوبی سازند سرگلو

رسوبگذاری سازند سرگلو در منطقه مورد مطالعه از پایه گردیده است. از آنجایی‌که، توالی‌های مورد مطالعه بدون هرگونه شواهدی از تغییر تدریجی کمربندهای وسیع رخساره‌ای و فراوانی رخساره‌های کم‌عمق مشخص‌کننده پلاتفرم کربناته رمپ هموکلینال^۱ (فلوگل، ۲۰۱۰) است، و

در این مطالعه، با توجه به نوع و فراوانی اجزا کربناته، تغییرات جانبی و عمودی رخساره‌ها و ریزرخساره‌های شناسایی شده در طول توالی مورد مطالعه، مدل محیط

^۱ Homoclinial Ramp

^۷ Storm wave base (SWB)

هیدرودینامیکی با انرژی کم است (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۲). اگرچه وجود مجموعه‌های تک جنسی از پوزودونیا و عدم وجود فوناهای با تنوع بالا حاکی از شرایط آنکسیک در کف بستر رسوبی حوضه سرگلو است. اما همچنانکه اشاره شد شرایط جریان توربیدیتی یا تمپستایتی که موجب ته‌نشینی رخساره دوکفه‌ای پلاژیک و کستون تا پکستون با نشانه‌های دانه‌بندی تدریجی نرمال و ساختارهای مرتبط با توالی بوما یا تمپستایت می‌شود، موجب تامین اکسیژن به کف حوضه رسوبی در طول ته‌نشینی این رخساره‌ها با شواهدی از زیست‌آشفستگی می‌شود، در نتیجه این رخساره‌ها با کاهش حفظ‌شدگی مواد ارگانیک همراه هستند. بر این اساس می‌توان اشاره نمود در زمان افزایش جریان‌ات توربیدیتی یا تمپستایتی به داخل حوضه سرگلو رخساره‌های با شواهدی از زیست‌آشفستگی بالا و حفظ‌شدگی کم مواد ارگانیک همراه می‌باشند. اما در طول ته‌نشینی آرام رسوبات در قلمرو پلاژیک سازند سرگلو با رخساره‌های غنی از مواد ارگانیک و خرده‌های دوکفه‌ای پلاژیک مادستون/وکستون و شیل‌های سیاه لامینه‌ای بدون آشفستگی زیستی عدم وجود جریان‌ات توربیدیتی یا تمپستایتی تامین کننده اکسیژن به محیط رسوبی موجب حفظ‌شدگی بالای مواد ارگانیکی در این رخساره‌ها می‌شود.

به‌طور کلی، سازند سرگلو با گستردگی بالا در شمال‌باختر ایران عمدتاً در منطقه اورامانات، و بعنوان بخشی از کمربند چین‌خورده-رورانده زاگرس یکی از مهم‌ترین سنگ‌منشأ هیدروکربنی دوره ژوراسیک میانی محسوب می‌گردد (موریس، ۱۹۸۱؛ استانی، ۱۹۹۰؛ الشهران و مگرا، ۱۹۹۴؛ الحسینی، ۱۹۹۷؛ شارلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ زیگلر، ۲۰۰۱؛ جاسیم و بادی، ۲۰۰۶)، که در یک حوضه اینتراشلفی، در اثر ترکیبی از فرورانش و ریف‌تینگ دریای مدیترانه در بخش شمالی و بالآمدگی خط عمان در بخش جنوبی ورقه عربی تحت تأثیر عوامل تکتونیکی نهشت یافته است (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۲). حوضه رسوبگذاری سازند سرگلو با گستردگی بالا در شمال‌خاور عراق (ناحیه کردستان) و باختر ایران (اورامانات)، تحت تأثیر فرونشینی و ناپایداری بلوک موصل شکل و تکامل یافته است (عبدالله و همکاران، ۲۰۱۵). گسترش سازند سرگلو در دوره ژوراسیک میانی در مدار

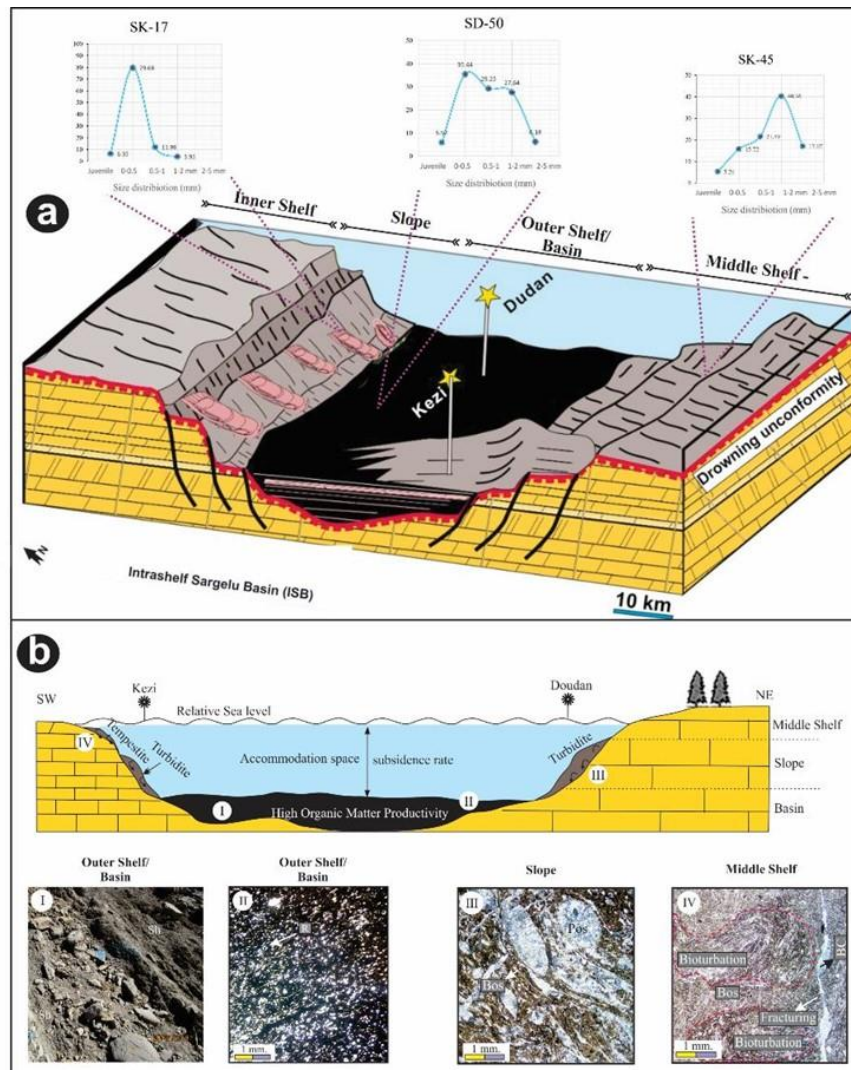
از سوی دیگر، با نبود شواهدی از رخساره‌های شاخص سدی و لاگونی از جمله رخساره‌های چارچوب‌ساز ریفی مشخص‌کننده پلاتفرم‌های کربناته شلف لبه‌دار^۲ (فلوگل، ۲۰۱۰) همراه است، بنابراین به نظر می‌رسد که شکل‌گیری سازند سرگلو در یک پلاتفرم متفاوت نسبت به رمپ‌های هموکلینال و شلف‌های لبه‌دار صورت گرفته است. شواهدی همچون وجود رخساره‌های شاخص مناطق عمیق حوضه‌ای (شیل حاوی پوزیدونیا و غنی از ماده آلی) و تغییرات رخساره‌ای عمودی و جانبی به سمت مناطق دارای شیب (رخساره‌های کلسی‌توربیدیتی)، و نبود شواهدی از ارتباط با رخساره‌های مشخص‌کننده آب‌های آزاد دریایی^۳ حاکی از ته‌نشینی رسوبات سازند سرگلو در یک پلاتفرم اینتراشلفی در منطقه اورامان می‌باشد (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۲). نام این حوضه اینتراشلفی با توجه به وجود مقطع تیپ آن در منطقه اقلیم کردستان شمال عراق حوضه اینتراشلف سرگلو نام‌گذاری شده است (برای مثال، عبدالله و همکاران، ۲۰۱۵). به‌رحال، براساس مطالعات بایت‌گل و همکاران، (۲۰۲۲) تفاوت قابل‌ملاحظه در نوع سیستم رسوبی و رخساره‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها موجب شده است که فرایندهای رسوبی در منطقه اورامان از شمال‌باختر ایران کاملاً متفاوت در نظر گرفته شود. بر این اساس و نام منطقه اورامان یا هورامان از نواحی مورد مطالعه، حوضه اینتراشلفی شمال‌باختر ایران تحت عنوان حوضه اینتراشلف هورامان نام‌گذاری شده است (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۲). ریز بودن دانه‌ها و مقدار کم آلومک‌ها در رخساره‌های شناسایی شده نشان‌دهنده ته‌نشست این رخساره‌ها در حوضه‌های اینتراشلفی است. نرخ انباشتگی این نوع نهشته‌های پلاژیک تا همی‌پلاژیک آهکی یکنواخت و آرام بوده و در نتیجه مجموعه رخساره‌های تشکیل شده در چنین شرایطی شامل سنگ‌آهک‌های کم انرژی، ریزدانه و تقریباً یکنواختی است که تغییرات رخساره‌ای کمی را نشان می‌دهند. وجود صرفاً خرده‌های دوکفه‌ای پلاژیک پوزودونیا و عدم حضور موجودات کفزی، دانه‌های غیراسکلتی و کوارتز در غالب رخساره‌ها که به ترتیب عمدتاً در بخش کم‌عمق سکوی کربناته و در مناطق نزدیک ساحل محدود هستند، می‌تواند دلیل دیگری بر عمیق بودن این رخساره‌ها باشد. همچنین فراوانی خرده‌های دوکفه‌ای پلاژیک و زمینه گل فراوان که نشان‌دهنده رژیم

³ Open marine

² Rimmed Shelf

متر بوده و سنگ‌شناسی آن در قاعده شامل آهک‌های سیاه رنگ بیتومندار، آهک‌های دولومیتی و شیل‌های متورق سیاه‌رنگ غنی از موادآلی و در قسمت‌های رأسی از میان‌لایه‌های نازک چرت سیاه‌رنگ تشکیل یافته است (دانگینتون و همکاران، ۱۹۵۹).

طول جغرافیایی ۴۳ تا ۵۰ درجه شمالی، و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۷ درجه خاوری بوده است (زیگلر، ۲۰۰۱). در برش الگو واقع در شمال عراق (اقلیم کردستان) سازند سرگلو متشکل از رسوبات شیل سیاه، غنی از مواد آلی، و متورق به سن باژوسین- باتونین با ضخامت ۱۱۵



شکل ۷. مدل رسوبی سازند سرگلو به سن ژوراسیک میانی تا بالایی در جنوب باختر ایران (کرمانشاه). a. این مدل بصورت یک حوضه رسوبی اینتراشلفی می‌باشد، که سازند سرگلو با گستردگی بالای آن، در زیرمحیط‌های حوضه، شلف خارجی و حوضه، شلف میانی / شیب مشخص می‌گردد. الگوهای آماری فراوانی و کج‌شدگی بیانگر زیرمحیط‌های مختص خود هستند. b. نیمرخ عرضی مدل محیط رسوبگذاری اینتراشلفی سازند سرگلو به همراه ریزرخساره‌هایی که مشخص‌کننده زیرمحیط‌های رسوبگذاری مختص خود می‌باشند.

به رخداد گسترده رسوبات حوضه‌ای عمیق در سازند سرگلو، می‌توان چنین تصور نمود که شاید بستر رسوبی این سازند از نرخ فرونشینی بالایی در طی زمان رسوبگذاری برخوردار بوده است. احتمال دیگر این است که سازند سرگلو در طی یک پیشروی دریایی گسترده تشکیل یافته است که مرتبط با سطح چینه‌نگاری موسوم به حداکثر

سازند سرگلو به سن ژوراسیک میانی، با توجه به گستردگی بالای لایه‌های دریایی عمیق شیلی سیاه غنی از ماده آلی، و آهک‌های سیاه تا خاکستری رنگ (شکل‌های a، c؛ a، ۲؛ ۴)، احتمالاً طی یک حادثه بی‌هوازی در یک حوضه محدود رسوبگذاری نموده است (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱؛ عبدالله و همکاران، ۲۰۱۵؛ بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه

۲۰۲۰؛ شرفی و همکاران، ۲۰۱۲). از این‌رو، در این مطالعه، رخداد گسترده گونه‌های جانوری پوزیدونیا (بوسیترا) در سازند سرگلو چنین شرایطی از لحاظ تفاسیر محیط رسوبگذاری فراهم نموده است.

در سال‌های اخیر، پوزیدونیا و گونه‌های مختلف آن تحت عنوان جاندارانی پلاژیک و همی‌پلاژیک مختص به شرایط کم اکسیژنی نسبت داده شده‌اند (آبراهن، ۱۹۹۴؛ روهل و همکاران، ۲۰۰۱؛ عبدالله و همکاران، ۲۰۱۵). با این حال، در این مطالعه، همانند مطالعات برخی از پژوهشگران (آبراهن، ۱۹۹۴؛ ریواس و همکاران، ۲۰۰۹؛ نگرا و همکاران، ۲۰۱۱؛ مولینا و همکاران، ۲۰۱۸؛ توماسویچ و همکاران، ۲۰۲۰) وجود بوسیترا در موقعیت‌های شلف میانی و خارجی یا شیب/حوضه تحت تأثیر جریان‌ات توربیدیتی نیز تأیید شده است. در رسوبات سازند سرگلو تجمعات بوسیترا در هردو بسترهای دانه درشت (رخساره کلسی‌توربیدیت و توالی توفانی) و دانه ریز (غنی از گل، رخساره‌های کم‌انرژی) یافت می‌گردد. بر اساس برخی مطالعات پیشین (فورزیش و همکاران، ۱۹۹۱؛ ریواس و همکاران، ۱۹۹۷) تجمعات بوسیترا بیانگر یک استراتژی زیستی مشابه در بسترهای ریزدانه و درشت‌دانه هستند (استراتژی کف برفی^۱). بوسیترا بعنوان یک ارگانسیم جانوری مرتبط با شرایط کم اکسیژن یا نیمه‌احیایی^۲ در بسترهای رسوبی سخت نشده یا سطح مشترک آب-رسوب است (کاسول و همکاران، ۲۰۰۹) که گاهاً توانایی حضور در شرایط نیمه‌اکسیژنی در ستون آب-رسوب را به صورت شناگر دارد. از سطح مشترک آب-رسوب به سمت پایین، این بخش بطور کاملاً نبود اکسیژن است. بر اساس مطالعه کاسول و همکاران (۲۰۰۹) نهشت گونه‌های جانوری بوسیترا بطور عمده در طی اکسیژنی‌شدن مجدد در اثر جریان‌ات بستر در مرز اکسیداسیون-احیاء^۳ سطح مشترک رسوب-آب رخ می‌دهد. فاکتورهای مذکور به همراه تأمین مواد غذایی (کاسول و کاو، ۲۰۱۳) طی جریان‌ات امواج یا توربیدیت، فاکتوری مهم در فعالیت بوسیترا و افزایش چگالی و ضخامت پوسته‌های بوسیترا محسوب می‌گردد. بنابراین، تمرکز پوسته‌های بوسیترا ممکن است تحت تأثیر تنش‌های محیطی افزایش یا کاهش یابد. مجموعه‌های بنتیک که منحصراً توسط اجتماعات هترتروفیک (تأمین

غرقابی یا MFS می‌باشد (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱). شکل‌گیری بخش‌های قاعده‌ای سازند سرگلو در ناحیه کردستان از شمال عراق و معادل‌های جانبی آن در سرتاسر ورقه عربی (از جمله، توالی‌های شیل سازند دروما در کویت و عربستان سعودی، شیل‌های سازند مرآت در قطر و امارات) نیز مرتبط با سطح MFS می‌باشد (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱). به هر حال به نظر می‌رسد که فرونشینی تکتونیکی بستر حوضه عامل مهمی در گسترش فضای رسوبگذاری برای نهشت رسوبات سازند سرگلو بوده است. در مقیاس ورقه عربی، حرکات حاصل از فعالیت‌های ریفتینگ، سبب ایجاد فضای رسوبگذاری قابل توجه در زمان ژوراسیک میانی شده است، که سبب ایجاد فضای رسوبگذاری در حوضه‌های اینتراشلفی شده است (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱، بایت‌گل و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، علاوه بر اثرات ناشی از بالاآمدگی جهانی سطح دریاها، پیشروی سطح نسبی آب دریا در حوضه سرگلو، ممکن است حاصل از نرخ غرق‌شدگی بالای این سازند در نتیجه سوبسیدانس بالای حوضه اینتراشلفی در طی زمان رسوبگذاری بوده باشد. بر این اساس، شواهدی چون اختلاف ستبرای سازند سرگلو در فواصل کوتاه نشان می‌دهد که نقش فرونشینی در اثر تکتونیک محلی در معماری رخساره‌ای سازند سرگلو بیشتر از نقش تغییرات جهانی سطح دریاها (یوستازی) بوده است (زیگلر، ۲۰۰۱). تشکیل حوضه رسوبگذاری سرگلو در شمال-شمال‌خاور عراق ناشی از فرونشینی و ناپایداری بلوک موصل نیز تأییدی بر ایده شکل‌گیری این حوضه در نتیجه فرونشینی حاصل از تکتونیک محلی می‌باشد (عبدالله و همکاران، ۲۰۱۵).

شرایط زیستی محیط دیرینه

تعیین گونه‌های زیستی و مطالعه رفتار و عکس‌العمل آن‌ها در مقابل تنش‌های محیطی، می‌تواند در بازسازی شرایط زیست‌شناختی (از جمله: تأمین مواد غذایی، و میزان اکسیژن‌رسانی در چینه‌بندی آب) حوضه‌های رسوبگذاری و نهایتاً تعبیر و تفسیر جایگاه گونه‌های زیستی در بخش‌های مختلف حوضه رسوبگذاری کاربرد بسزایی داشته باشد (مولینا و همکاران، ۲۰۱۸؛ توماسویچ و همکاران،

³ Redox boundry

¹ Snowshoe strategy

² suboxic or dysoxic

اندازه جمعیت پوزیدونیا تحت شرایط محیطی مساعد، مانند، میزان تأمین مواد مغذی بالا می‌باشد. این عامل سبب افزایش نرخ تجمع گونه‌های جنینی و حفظ‌شدگی گونه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر می‌شود که مواد مغذی و اکسیژن در دسترس توسط جریان‌ات توریدایتی در توالی‌های شیب حوضه تا جریان‌ات توفانی بخش شلف میانی حوضه سازند سرگلو تأمین می‌شده است. درحالی‌که، میزان تأمین مواد مغذی و اکسیژن در دسترس کم، خصوصاً در بخش عمیق حوضه و شلف خارجی سبب تجمع زیستی و نرخ تولیدمثل پایین پوزیدونیا می‌گردد (توماوسویچ و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، در طی دوره‌های تأمین مواد مغذی در دسترس بسیار کم، مجموعه دوکفه‌ای‌ها چندان قادر به زیست و تولیدمثل نبوده، درحالی‌که، افزایش شدید میزان مواد مغذی سبب تکثیر ارگانسیم‌های فرصت طلب از جمله پوزیدونیا و در نتیجه نرخ تولیدمثل بالا و تجمعات پوسته‌ای شده است (کاسول و کاو، ۲۰۱۳؛ مولینا و همکاران، ۲۰۱۸).

برخی از توالی‌های حاوی بوسیترا، با زیست‌آشفستگی شدید، نشان می‌دهد که محتوای اکسیژن در آب منفذی منجر به کلنی‌شدن جانداران گردیده است (جاش، ۲۰۰۷). تغییرات ضخامت و اندازه پوسته‌های پوزیدونیا، حاکی از تغییر در شرایط و جایگاه آن‌ها در حوضه‌های رسوبگذاری می‌باشد (توماوسویچ و همکاران، ۲۰۲۰). از این رو، گونه‌های ۵-۲ میلی‌متری همراه با نمونه‌های جنینی (نابالغ) این دوکفه‌ای‌ها حاکی از یک بستر کم‌انرژی در توالی‌های حوضه و شلف خارجی سازند سرگلو که زیر قاعده امواج توفانی قرار داشته و با میزان زیست‌آشفستگی کم، نسبت داده می‌شود (الگوی بایمدال؛ MF-G1) (توماوسویچ و همکاران، ۲۰۲۰). درحالی‌که، خرده‌های بوسیترا با اندازه ۰/۵ میلی‌متر و کمتر، تا اندازه کمتر از ۱ میلی‌متری، بیانگر شرایط پرانرژی بستر رسوبی می‌باشد که سبب خردشدگی دوکفه‌ای‌ها تا اندازه کوچک‌تر همراه با زیست‌آشفستگی در توالی‌های کلسی‌توریدایتی شیب حوضه گردیده است (کج‌شدگی چپگرد؛ MF-G2، MF-G3). خرده‌های بوسیترا با اندازه بیش از یک میلی‌متر تا اندازه ۵-۲ میلی‌متری، همراه با زیست‌آشفستگی نسبتاً شدید، بیانگر شرایط پرانرژی و توفانی مرتبط با بخش شلف میانی سازند سرگلو است (کج‌شدگی راستگرد؛ MF-G4).

انرژی و تغذیه از مواد آلی تولید شده توسط موجودات زیستی) در آهک‌ها و ریزرخساره‌های فیلامنتی (تجمعی از خرده‌ها بوسیترا) ساخته می‌شوند، بیانگر بخش نیمه‌نورانی تا نورانی^۴ ستون آب می‌باشد، جایکه، جریان‌ات بستر با منشأ غنی از مواد غذایی در طول ستون آب، و در اثر شکستگی توپوگرافی شیب حوضه توسعه می‌یافته است (پومار و همکاران، ۲۰۱۹). در حوضه سرگلو وجود فرونشینی تفریقی بالا همراه با بالا آمدن جهانی سطح آب دریا در طول تهنشینی این سازند یک نوع تغییر در شرایط تروفیک از سکوی کربناته کم عمق با شرایط یوتروفیک به سکوی کربناته عمیق با شرایط الیگوتروفیک در طول ژوراسیک میانی صورت می‌گیرد (oligotrophy to eutrophy). این شرایط موجب تخریب شرایط بهینه محیط رسوبی از نظر دما، اکسیژن، نور، عمق، شوری و کاهش تولید کربنات و محدودیت وجود جانداران کفزی در حوضه‌های رسوبی ژوراسیک همچون حوضه سرگلو می‌شود. وجود فراوانی بالا از دوکفه‌ای‌های پوزیدونیا با استراتژی رفتاری شناگر (nektonic to nektoplanktic) (اسچمن، ۱۹۹۴) در حوضه‌های رسوبی ژوراسیک میانی حاکی از قدرت بالای این جانداران برای تحمل این تغییرات شرایط تروفیک در طول عمیق شدن حوضه رسوبی است (فورزیش و همکاران، ۱۹۹۱؛ اتر، ۱۹۹۶؛ ریواس و همکاران، ۱۹۹۷). تجمعات گونه‌های بالغ پوزیدونیا در این سازند، احتمالاً در اثر افزایش جریان‌ات (اسچورنیک و گریتیفیس، ۱۹۹۳) و تولید فزاینده پلانکتون (مولینا و همکاران، ۲۰۱۸) است. در چنین شرایطی این موجودات از فرصت کافی و مناسب برای زیست و تولیدمثل خود نسبت به مجموعه‌های زیستی مرتبط با مکان‌های عمیق‌تر و کم انرژی برخوردار می‌شده‌اند (توماوسویچ و همکاران، ۲۰۲۰). میزان تأمین مواد مغذی برای تغذیه پوزیدونیا بستگی به میزان فسفر تولیدشده از فتوپلانکتون‌های^۵ دریایی دارد (فلورس و همکاران، ۲۰۱۲). مقادیر بالا در توزیع باریم زیستی (Ba_{bio}) و فسفر ارگانیکی (P_{org}) با بهره‌وری بالا در تجمعات زیستی طی بازوسین پیشین همراه است (مولینا و همکاران، ۲۰۱۸). بیشترین مقدار Ba_{bio} به‌همراه گردش منفی ایزوتوپ کربن و تغییر در افزایش فراوانی پوزیدونیا (بیش از ۹۰ درصد حجم کل سنگ) بیانگر فرصت‌طلبی بالای آن‌ها، و افزایش سریع

⁵ phytoplankton⁴ Oligophotic or aphotic

نتیجه‌گیری

مدل محیط رسوبگذاری سازند سرگلو به سن ژوراسیک میانی در ناحیه اورامانات، کرمانشاه از شمال‌باختر ایران را می‌توان یک حوضه اینتراشلفی با زیربخش‌های حوضه/شلف خارجی، شیب و شلف میانی در نظر گرفت. در بخش حوضه/شلف خارجی، ریزرخساره‌های شیل/مادستون (دولومیتی) غنی از موادآلی، رادیولاریت و وکستون-پکستون دارای پوزیدونیا و رادیولر با زمینه گلی و بافت میکرایتی حاکی از نهشت رسوبات به حالت معلق در شرایط کم انرژی و زیر قاعده تأثیر امواج توفانی نهشته شده است. به سمت بخش‌های کم‌عمق‌تر یعنی شیب و شلف میانی، ریزرخساره‌های وکستون-پکستون دارای پوزیدونیا و ریزرخساره وکستون دارای نرم‌تن نهشته شده‌اند. وجود شواهدی از ساختارهای بودیناژ همزمان با رسوبگذاری و ساختارهای توبی-بالشی مؤید وجود نهشته‌های بخش شیب مرتبط با جریانات کلسی‌توریدایتی سازند سرگلو در برش دودان و کزی می‌باشد. در حالیکه، لایه‌بندی مورب هوموکی و آثار قالب‌های ناودانی بیانگر بخش شلف میانی حوضه رسوبگذاری در برش کزی می‌باشد

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان جهت فراهم آوردن امکانات لازم جهت انجام این پروژه (گرات پژوهشی با شماره ۱۰۰/۱۵۱/۱۱۹۷۲) قدردانی می‌نماید. از داوران محترم این نشریه که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود. از جناب آقای دکتر موسوی حرمی سردبیر محترم و خانم صحرارو از هیئت تحریریه به جهت نقطه نظرات ارزنده‌شان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- زهدی، ا.، ربانی، ج (۱۳۹۸) ساز و کار تشکیل کنگلومراهای درون حوضه‌ای: مطالعه موردی در تریاس و ژوراسیک منطقه زنجان، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۴، ص ۵۷-۷۰.
- شرفی، م.، مصدق، ح.، بایت‌گل، ع.، احمدی، ل (۱۳۹۹) رخساره‌ها و محیط‌رسوبی سازند مبارک در ناحیه کهنک، البرز مرکزی، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۱۶، ص ۱۶۰-۱۷۸.
- موسوی‌زاده، س (۱۳۹۸) لایه‌های قرمز اقیانوسی کرتاسه، مدلی برای بررسی تغییرات سریع شرایط ژئوشیمیایی در محیط‌های رسوبی عمیق، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۴، ص ۳۴-۴۵.
- نصیری، ی.، بایت‌گل، ع.، محبوبی، ا.، موسوی‌حرمی، س.، مصدق، ح (۱۳۹۸) کاربرد زنجیره مارکوف در تفسیر توالی‌های رسوبی، مطالعه موردی نهشته‌های کربناته سازند مبارک (البرز خاوری، شمال ایران). دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۳، ص ۷۷-۹۳.
- Abdula, R (2010) Petroleum source rock analysis of the Jurassic Sargelu Formation, northern Iraq (Doctoral dissertation, Colorado School of Mines). 180p.
- Abdula, R. A., Balaky, S. M., Nurmohamadi, M. S., Piroui, M (2015) Microfacies analysis and depositional environment of the Sargelu Formation (Middle Jurassic) from Kurdistan Region, northern Iraq. *Dannish Journal of Geology and Mining Research*, 1(1): 1-26.
- Aberhan, M (1994) Guild-structure and evolution of Mesozoic benthic shelf communities. *Palaios*, 19: 516-545.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F (2005) Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International journal of earth sciences*, 94(3): 401-419.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Wortel, R. (2011) Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*, 148(5-6): 692-725.
- Alavi, M (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American journal of science*, 304(1): 1-20.
- Al-Husseini, M. I (2000) Origin of the Arabian Plate structures: Amar collision and Najd rift. *GeoArabia*, 5(4): 527-542.
- Alsharhan, A. S., & Magara, K (1994) The Jurassic of the Arabian Gulf Basin-facies, depositional setting and hydrocarbon habitat, in Embry, A.F., B. Beauchamp, and D.J. Glass, eds., *Pangea-global environments and resources*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir, 17: 397-412.
- Bayet-Goll, A., Neto De Carvalho, C., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Nasiri Y (2014) Depositional environments and ichtology 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., Mahboubi, A. (2015) Depositional processes of ribbon carbonates in middle Cambrian of Iran

- foreland basin overprinted onto the outer edge of a vast hydrocarbon-rich paleozoic-mesozoic passive-margin shelf: chapter 11.
- Caswell, B. A., Coe, A. L., Cohen, A. S (2009) New range data for marine invertebrate species across the early Toarcian (Early Jurassic) mass extinction. *Journal of the Geological Society*, 166(5): 859-872
- Caswell, B. A., & Coe, A. L (2013) Primary productivity controls on opportunistic bivalves during Early Jurassic oceanic deoxygenation. *Geology*, 41(11): 1163-1166.
- Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional textures.
- Etter, W (1996) Pseudoplanktonic and benthic invertebrates in the Middle Jurassic Opalinum Clay, northern Switzerland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 126(3-4): 325-341.
- Flores, J. A., Filippelli, G. M., Sierro, F. J., Latimer, J. C (2012) The "White Ocean" hypothesis: a late Pleistocene Southern Ocean governed by coccolithophores and driven by phosphorus. *Frontiers in microbiology*, 3: 233.
- Flügel, E (2012) *Microfacies analysis of limestones*. Springer Science & Business Media.
- Fürsich, F. T., Oschmann, W., Jaitly, A. K., Singh, I. B. (1991). Faunal response to transgressive-regressive cycles: example from the Jurassic of western India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 85(3-4): 149-159.
- Jach, R (2007) Bositra limestones-a step towards radiolarites: case study from the Tatra Mountains. In *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 77: 161-170.
- Jassim, S. Z., Buday, T (2006) Late Toarcian-Early Tithonian (Mid-Late Jurassic) Megasequence AP7, chapter 10. *Geology of Iraq*, first edition: Brno, Czech Republic, Prague and Moravian Museum, 117-123.
- Johnson, M. P., White, M., Wilson, A., Würzberg, L., Schwabe, E., Folch, H., Allcock, A. L (2013) A vertical wall dominated by *Acesta excavata* and *Neopycnodonte zibrowii*, part of an undersampled group of deep-sea habitats. *PLoS One*, 8(11): 79917.
- Leonowicz, P (2016) Nearshore transgressive black shale from the Middle Jurassic shallow-marine succession from southern Poland. *Facies*, 62(2):16.
- Lopez Correa, M., Freiwald, A., Hall-Spencer, J., Taviani, M (2005) Distribution and habitats of *Acesta excavata* (Bivalvia: Limidae) with new data on its shell ultrastructure. In *Cold-water corals and ecosystems* (pp. 173-205). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Molina, J. M., Reolid, M., Mattioli, E (2018) Thin-shelled bivalve buildup of the lower Bajocian, (Deh-Sufiyān Formation, Central Alborz). *Facies*, 61: 9. <https://doi.org/10.1007/s10347-015-0436-6>.
- Bayet-Goll, A., Monaco, P. M., Mahmudy-Gharaei, M.H., Jalili, F (2016a) Depositional environments and ichnology of Upper Cretaceous deep-marine deposits in the Sistan Suture Zone, Birjand, Eastern Iran. *Cretaceous Research*, 60: 28-51.
- 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., Kazemini, H., Zareiyan, 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 (2018a) Cyclostratigraphy across a 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., De Carvalho, C. N., Daraei, M., Monaco, P., Sharafi, M (2018b) Sequence stratigraphic and sedimentologic significance of the trace fossil rhizocorallium in the upper triassic nayband formation, Tabas block, Central Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 491: 196–217.
- 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., and Imani-Seginsara, M (2022) Paleogeographic reconstruction and sequence architecture of the middle-upper Jurassic successions of Hawraman Basin (NW Iran): Implications for tectono-depositional processes of the northeastern passive margin of the Arabian Plate. *Geological Journal*. In press. <https://doi.org/10.1002/gj.4407>.
- Bellen, R. V., Dunnington, H. V., Wetzel, R., Morton, D. M (1959) *Lexique Stratigraphique International Asia. Fascicule, 10a, Iraq, Paris.*
- Beydoun, Z. R., Clarke, M. H., Stoneley, R (1992) Petroleum in the Zagros basin: a late tertiary

- (Mid-Cretaceous), Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran. *Palaeoworld*, 21: 202–216.
- Sharafi, M., Rodríguez-Tovar, F. J., Janočko, J., Bayet-Goll, A., Mohammadi, M., & Khanehbad, M (2021a) 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. *International Journal of Earth Sciences*. doi:10.1007/s00531-021-02101-0.
- Sharafi, M., Rodríguez-Tovar, F. J., Bayet-Goll, A., Richiano, S (2021b) Ichnofabric analysis of shallow to deep marine Carboniferous sediments, from the southern Paleotethys margin, Alborz Basin (northern Iran): approaching autogenic and allogenic environmental controls, *Historical Biology*.
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Simmons, M. D (2001) Sequence stratigraphy of the Arabian Plate. *GeoArabia*, 2(37): 1.
- Stoneley, R (1990) The Middle East basin: a summary overview. *Geological Society, London, Special Publications*, 50(1): 293-298.
- Tavani, S., Parente, M., Vitale, S., Iannace, A., Corradetti, A., Bottini, C., 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.
- Tomašových, A., Schlögl, J., Michalík, J., Donovalová, L (2020) Non-condensed shell beds in hiatal successions: instantaneous cementation associated with nutrient-rich bottom currents and high bivalve production. *Italian Journal of Geosciences*, 139(1): 76-97.
- van Erkom Schurink, C., & Griffiths, C. L (1993) Factors affecting relative rates of growth in four South African mussel species. *Aquaculture*, 109(3-4): 257-273.
- Wignall, P. B (1993) Distinguishing between oxygen and substrate control in fossil benthic assemblages. *Journal of the Geological Society*, 150(1): 193-196.
- Wrobel-Daveau, J. C., Ringenbach, J. C., Tavakoli, S., Ruiz, G. M., Mase, P., de Lamotte, D. F (2010) Evidence for mantle exhumation along the Arabian margin in the Zagros (Kermanshah area, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 3(4): 499-513.
- Ziegler, M. A (2001) Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia* 6 (3): 445-504.
- South Iberian paleomargin: development of opportunists after oceanic perturbations. *Facies*, 64(3): 1-17.
- Molnar, M (2006) Tertiary development of the Zagros Mountains. *Earth History. Geology*, 418 (9).
- Murris, R. J (1981) Middle East—Stratigraphic Evolution and Oil Habitat. *AAPG Bulletin*, 65(7): 1358-1358.
- Navarro, V., Molina, J. M., Ruiz-Ortiz, P. A (2009) Filament lumachelle on top of Middle Jurassic oolite limestones: event deposits marking the drowning of a Tethysian carbonate platform (Subbetic, southern Spain). *Facies*, 55(1): 89-102.
- Nasiri, Y., Bayet-Goll, A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R (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.
- Negra, M. H., Zagrarni, M. F., Hanini, A., Strasser, A (2011) The filament event near the Cenomanian-Turonian boundary in Tunisia: filament origin and environmental significance. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 182(6): 507-519.
- Parrish, J. T (1993) Climate of the supercontinent Pangea. *The Journal of Geology*, 101(2): 215-233.
- Parrish, J. T., Curtis, R. L (1982) Atmospheric circulation, upwelling, and organic-rich rocks in the Mesozoic and Cenozoic eras. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 40(1-3): 31-66.
- Pomar, L., Molina, J. M., Ruiz-Ortiz, P. A., & Vera, J. A (2019) Storms in the deep: Tempestite and beach-like deposits in pelagic sequences (Jurassic, Subbetic, South of Spain). *Marine and Petroleum Geology*, 107: 365-381.
- Rivas, V., Rix, K., Frances, E., Cendrero, A., Brunnsden, D (1997) Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. *Geomorphology*, 18(3-4): 169-182.
- Röhl, H. J., Schmid-Röhl, A., Oschmann, W., Frimmel, A., Schwark, L (2001) The Posidonia Shale (Lower Toarcian) of SW-Germany: an oxygen-depleted ecosystem controlled by sea level and palaeoclimate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 165(1-2): 27-52.
- Sharafi, M., Ashuri, M., Mahboubi, A., & Moussavi-Harami, R (2012) Stratigraphic application of Thalassinoides ichnofabric in delineating sequence stratigraphic surfaces