متغیرهای محیطی مجموعه مرجانی کربنیفر پسین (اشکوب باشکیرین) سازند سردر در برش زلدو (کوه‌های ازبک‌کوه، خاور ایران مرکزی)

مهدی بادپا [۱*]، کاوه خاکسار [۲]، علیرضا عاشوری [۳] و محمد خانه‌باد [۴]

[۱] دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۲] استادیار، گروه آب و خاک، مرکز آموزش عالی امام خمینی، مؤسسه آموزش عالی علمی- کاربردی جهاد کشاورزی، کرج، ایران
[۳] استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۴] استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۷/ ۱۱/ ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: ۰۳/ ۰۴/ ۱۳۹۳

چکیده

مجموعه غنی از مرجان‌های کربنیفر در سازند سردر، در برش چینه‌شناسی زلدو وجود دارد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، بیش از ۲۰۰ مقطع میکروسکوپی از مرجان‌ها و میکروفاسیس افق‌های دارای این سنگواره‌ها برای تشخیص متغیرهای محیطی مطالعه شدند. اجتماع مرجانی مورد مطالعه به دیرینگی باشکیرین (کهن‌ترین اشکوب کربنیفر پسین) است و در ۲ افق قراردارد، بر پایه ژئومتری کلنی‌ها و فاصله میان آنها، فراوانی و توزیع مرجان‌ها و نیز مطالعه ریزرخساره، زیستگاه مرجان‌های افق اول از نوع "چمنزارهای مرجانی ساب نوع B1" است و افق دوم یک "بیوستروم مرجانی ساب نوع C2" را تشکیل می‌دهد. این مرجان‌ها در محیط‌های لاگون به سوی سد و در دریای باز به سوی سد در یک سکوی کم‌ژرفا گسترش داشتند. مجموعه مرجانی مورد مطالعه، در آب‌های کم‌ژرفای گرم و شفاف با شوری عادی و اکسیژن بالا در زون نوری زندگی می‌کردند. مرجان‌های روگوزای فاسیکولیت *Fomichevella* و *Heintzella* با بیشترین فراوانی، چهارچوب اصلی این مجموعه را تشکیل می‌دهند. کلنی‌های روگوزای *Fomichevella* و *Minatoa* بیشترین گوناگونی و کلنی تابولای *Michelinia* کمترین فراوانی و گوناگونی را دارند.

کلیدواژه‌ها: کربنیفر، متغیرهای محیطی، باشکیرین، مرجان، ازبک‌کوه، سازند سردر.

***نویسنده مسئول:** مهدی بادپا
E-mail: Mahdibadpa110@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

سازند سردر در مناطق گسترده‌ای از کوه‌های ازبک‌کوه (در شمال بلوک طبس) رخنمون دارد. کامل‌ترین برونزد این سازند در کوه‌های ازبک‌کوه در برش زلدو جای گرفته است. در این برش فسیل‌های مرجان، فراوانی و گوناگونی بالایی دارند؛ بادپا و همکاران (۱۳۹۰ و ۱۳۹۳) مجموعه ای از مرجان‌های سازند سردر را در این برش معرفی کردند. هدف این مقاله تحلیل متغیرهای محیطی مجموعه مرجان‌های باشکیرین، همراه با تحلیل ریزرخساره برای تشخیص عوامل محیطی و دیرین‌بوم‌شناختی (پالئواکولوژیک) است. این مطالعه با جدیدترین روش‌های دیرین‌بوم‌شناسی برای مطالعه مرجان‌ها که توسط Aretz (2010)، Said et al. (2010)، Rodríguez & Somerville (2010) و Zhang et al. (2009 & 2010) ارائه شده، منطبق است.

۲- موقعیت جغرافیایی

برش زلدو (یا زلودو) در دره‌ای به همین نام، در نزدیکی کوه بزمرده و کوه تیغ معدنو در مرکز کوه‌های ازبک‌کوه جای گرفته است که در مختصات جغرافیایی "۴۲ ′۳۹ °۳۴ عرض شمالی و "۴۸ ′۱۱ °۵۷ طول خاوری در ۲۷ کیلومتری جاده عشق‌آباد به بردسکن و کاشمر قرار گرفته است. برای دسترسی به این برش می‌توان پس از عبور از روستای ازبک‌کوه، وارد جاده خاکی گوشه‌کمر شد و پس از طی مسافت ۲۳ کیلومتر پس از گذر از جاده شمال روستای شیشتو به برش زلدو رسید (شکل‌های ۱ و ۲).

۳- چینه‌شناسی عمومی

سازند سردر، در بسیاری از نقاط بلوک طبس، ستبرای متغیری از نهشته‌های شیلی و ماسه‌سنگی دارد که دارای تناوبی از ماسه‌سنگ‌های آهکی، کوارتزآرنایت و یا سنگ‌آهک‌های ماسه‌ای است (آقانباتی، ۱۳۸۳). این سازند در شمال بلوک طبس (کوه‌های ازبک‌کوه)، سیمایی متفاوت با برش الگو دارد و از واحدهای کربناتی بیشتری نسبت به دیگر برش‌ها تشکیل شده است. در برش مورد مطالعه سازند سردر به دیرینگی ویزئن پسین- مسکووین بوده که ستبرای آن حدود ۲۷۷ متر است. مرز زیرین آن با سازند شیشتو (شکل‌های ۲- A و ۳) و مرز بالایی آن با سازند غیررسمی زلدو(به دیرینگی قزلین پسین- آسلین) ناپیوستگی‌همشیب است (شکل‌های ۲- B و ۳). به باور سهرابی (۱۳۸۴) سازند سردر در این برش به ۳ پاره سازند آواری در زیر، کربناتی در بخش میانی و آواری- کربناتی در بالا قابل تفکیک است. پاره سازند دوم از سنگ‌آهک‌های خاکستری متوسط تا ستبرلایه دارای قلوه‌های چرتی در بخش‌های‌میانی و سنگواره‌های مرجانی تشکیل شده است. سنگواره‌های مرجانی سازند سردر در سرتاسر کوه‌های ازبک‌کوه رخنمون دارند. Flügel (1974 & 1994)؛ بادپا (۱۳۸۸) و بادپا و همکاران (۱۳۹۳) فسیل‌های مرجانی اشکوب باشکیرین را در این برش معرفی کردند (جدول ۱ و شکل ۳). مطالعه حاضر به بررسی متغیرهای محیطی مرجان‌های افق باشکیرین سازند سردر (جدول۱ و شکل ۳) می‌پردازد. بر پایه مطالعات Leven et al. (2006) بر پایه روزن‌بران و سهرابی (۱۳۸۴) بر پایه کنودونت‌ها و روزن‌بران؛ افق مورد مطالعه به دیرینگی باشکیرین پیشین-میانی است. Gorgij & Boomeri (2010) دو جنس *Minatoa* و *Fomichevella* را به سن باشکیرین از این سازند معرفی کردند. بر پایه مطالعات بادپا و همکاران (۱۳۹۳) مرجان‌های اشکوب باشکیرین در برش زلدو در دو زیست‌زون باشکیرین پیشین و باشکیرین میانی قرار دارد.

- زیست‌زون ۱: یک کلنی بزرگ به ابعاد ۲× ۲/۵ متر و به ستبرای ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر (شکل های ۵- B و C) است که در ۱۶۷ متری قاعده سازند سردر جای گرفته است. این زیست‌زون شامل یک جنس فاسلوویید (*Fomichevella*) است که در موقعیت رشد، فسیل شده است. شاخه‌های این مرجان بدون رشد قائم هستند و بدون شیب، در امتداد بستر و بیشتر در یک راستای مشخص جهت‌یابی شده‌اند. زمینه از نوع

بیوکلستیک وکستون است. این مرجان‌ها در محیط لاگون به سوی سد در یک سکوی کربناتی زندگی می‌کردند. سهرابی (۱۳۸۴) این افق را بر پایه زیست‌زون روزن‌بران *Eostaffellina paraprotvae- Endothyra bashkirica* و زیست‌زون کنودونتی *Idiognathodus sinuatus- I. primulus / I. corrugates- I. sulcatus* به دیرینگی "باشکیرین پیشین یا نامورین B, C" تعیین سن کرد (شکل ۳).

– **زیست‌زون ۲:** به ستبرای ۵ تا ۱۵ متر در فاصله ۱۷۳ متری از قاعده سازند سردر جای گرفته است. این افق از مرجان‌های کلنی فاسیکولیت و سریویید روگوزا و تابولا، براکیوپود، گاستروپودهای کوچک، کرینویید و بریوزوآهای فراوان تشکیل شده است. زمینه از نوع بیوکلستیک وکستون و بیوکلستیک پکستون است. مرجان‌های این توالی بیشتر به شکل ریف‌های تکه‌ای (Patch reef) دیده‌می‌شوند. این مرجان‌ها در محیط لاگون به سوی سد و دریای باز به سوی سد در یک سکوی کربناتی زندگی می‌کردند و بیشتر در موقعیت رشد، فسیل شدند. بنابراین آثار شکستگی در آنها کمتر دیده می‌شود. سهرابی (۱۳۸۴) از بالای این افق، زون روزن‌بران *Pseudostaffella compressa- Pseudostaffella antique- Eostaffella amabilis* و زون کنودونتی *Idiognathodus sulcatus parva* را گزارش کرد که به دیرینگی باشکیرین میانی است (شکل ۳).

۴– ژئومتری کلنی‌ها و مجموعه‌های مرجانی

زیست‌زون اول، از یک کلنی بزرگ فاسیکولیت (*Fomichevella*) با طول ۲۵۰ سانتی‌متر، پهنای ۲۰۰ سانتی‌متر و ستبرای ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر (شکل‌های ۶– B و C) تشکیل شده و شاخه‌های این کلنی فاسلوییید بدون شیب، سطح لایه را پوشانده است.

سنگواره‌های مرجانی زیست‌زون ۲ شامل ۷ جنس و ۱۲ گونه است (جدول ۱). همه مرجان‌های این افق به فرم اجتماعی بوده و از کلنی‌های فاسیکولیت و سریویید تشکیل شده است.

– **کلنی‌های فاسیکولیت:** ۳ جنس روگوزای *Fomichevella, Paraheritschioides, Heintzella* و یک جنس تابولای *Multithecopora* کلنی‌های فاسیکولیت این افق را تشکیل داده‌اند (شکل‌های ۶ و ۷). کلنی‌های *Fomichevella, Heintzella* در این برش به‌صورت انواع کلنی‌های همی‌اسفریکال، بوته‌ای و حاشیه‌ای دیده می‌شوند. کلنی‌های همی‌اسفریکال به ابعاد ۱۴×۱۰ سانتی‌متر (شکل‌های ۷– A و F)، ۸۰ ×۱۲۰ سانتی‌متر و ۵۰ × ۸۰ سانتی‌متر دیده می‌شوند. ۲ کلنی بوته‌ای به ابعاد ۶۰×۸۰ سانتی‌متر؛ یک کلنی به طول ۴۰، پهنای ۱۷ و ستبرای ۱۲ سانتی‌متر (شکل ۶– D) و نیز کلنی دیگری به طول ۱۸۰، پهنای ۱۴۰ و ستبرای ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر است. کلنی‌های فاسیکولیت *Multithecopora* سازنده کلنی‌های کوچک‌تر هستند. این مرجان‌ها به ابعاد ۷× ۸، ۵× ۱۰، ۶× ۱۵ و ۴× ۹ سانتی‌متر دیده می‌شوند که بیشتر به شکل کلنی همی‌اسفریکال هستند ولی برخی از این انواع نیز به‌صورت دندرویید نیز دیده می‌شوند (شکل ۷– E).

– **کلنی‌های سریویید:** دو جنس روگوزای *Minatoa* و *Kleopatrina* و یک جنس تابولای *Michelinia* کلنی‌های سریویید مرکب (Compund) این افق را تشکیل می‌دهند. کلنی‌های سریویید *Minatoa* و *Kleopatrina* در این افق به ابعاد ۶×۱۰،۶×۱۳، ۸×۱۵ و همچنین ۸۰×۱۲۰ سانتی‌متر دیده می‌شوند (شکل‌های ۷– B، C و G). مرجان‌های تابولای *Michelinia* نیز سازنده کوچک‌ترین کلنی مرجانی این افق به ابعاد ۱/۵×۲ و ۱×۳ سانتی‌متر هستند.

در زیست‌زون موردمطالعه، فراوانی نمونه‌ها (از چپ به راست) به‌ترتیب زیر است: *Fomichevella, Heintzalla, Minatoa, Multithecopora, Paraheritschioides, Kleopatriana, Michelinia*. همچنین گوناگونی گونه‌ها در این مجموعه به‌ترتیب شامل موارد زیر است: *Fomichevella* (۳ گونه)، *Minatoa* (۳ گونه) و *Heintzalla* (۲ گونه). از جنس‌های زیر یک گونه در برش مورد مطالعه شناسایی شده است: *Multithecopora, Paraheritschioides, Klepatrina (Porfirivella), Michelinia*.

در مجموعه مورد مطالعه *Fomichevella* بیشترین گوناگونی و فراوانی و *Michelinia* کمترین گوناگونی و فراوانی را دارند. حجم زیای مرجانی در افق مورد مطالعه به گونه‌ای است که ۵۰ تا ۸۰ درصد محتویات این افق را تشکیل می‌دهند. این مجموعه مرجانی بیشتر در موقعیت‌های زندگی، فسیل شدند. موقعیت‌های رشد در این کلنی‌ها قابل شناسایی است و شواهد حمل و نقل قابل ملاحظه (مانند برگشتگی، جورشدگی، خردشدگی و شکستگی) ناچیز است.

۵– ریزرخساره و شواهد محیطی

خانه‌باد (۱۳۹۱) با مطالعه ریزرخساره رخساره‌های آهکی سازند سردر در برش زلدو، بر پایه نوع دانه‌های سازنده، زمینه و درصد فراوانی؛ آنها را در ۵ گروه رخساره‌ای A، B، C، D و E وابسته به کمربندهای رخساره‌ای ساحلی، کشندی، لاگون، سدی و دریای باز قرار داد. مرجان‌های مورد مطالعه، از زیست‌زون ۱ تا آخرین لایه‌های زیست‌زون ۲ (در زیر ماسه‌سنگ کوارتزآرنایت)، در ستبرایی حدود ۳۰ متر قرار دارند (شکل‌های ۳ و ۵). بیشترین تجمع آنها در فاصله ۱۷۳ متری از قاعده سازند سردر به ستبرای ۵ تا ۱۵ متر است. مطالعه مقاطع میکروسکوپی نشان‌دهنده این است که در فضای میان مرجان‌ها سیمان‌شدگی گسترده‌ای رخ نداده و رسوب پیرامون مرجان‌ها بیشتر میکریتی است (شکل ۸– C) که بیشتر تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی تبدیل به دولومیت نیز شده‌اند (شکل ۸– D). در نتیجه در طی گسترش رخساره‌های مرجانی، احتمالاً بستر نرم یا دست کم باثبات بود و فراوانی خرده‌های اسکلتی موجودات، تا حدی مواد کافی برای اتصال کلنی‌ها را فراهم کرد، ولی به اندازه کافی برای تشکیل ریف‌های *Fomichevella* پایدار نبود؛ به باور Zhang et al. (2009) کلنی‌های *Fomichevella* در صورت وجود یک سکونتگاه پایدار، چهارچوب اصلی ریف‌های کربنیفر را تشکیل می‌دهند. بر پایه مطالعات ریزرخساره، بیشتر کلنی‌های مورد مطالعه در سنگ‌آهک‌های "بیوکلستیک وکستون" در محیط لاگون قرار دارند (شکل ۸– F). برخی از "مرجان‌های فاسیکولیت *Fomichevella, Heintzella* و *Multithecopora*" نیز در سنگ‌آهک‌های "بیوکلستیک پکستون" دریای باز وجود دارند (شکل ۸– E). در مقاطع مورد مطالعه وجود مقادیر بالای گل در میان دانه‌ها (شکل ۸– C) نشان‌دهنده وجود یک محیط کم‌انرژی و آرام است (Adachi at al., 2004). چیرگی مرجان‌های فاسیکولیت در اجتماعات مرجانی نیز نشان‌دهنده محیط‌های کم‌انرژی است (Zhang et al., 2010). در برخی از مقاطع، فراوانی پلوییدها و بیوکلست‌های شکسته بیانگر چرخش محدود آب است، ولی این سطح بالای انرژی، دایمی نبوده است؛ زیرا شواهد موجود در سازند سردر در برش مورد مطالعه نشان می‌دهد بازه زمانی طولانی با انرژی کم در منطقه وجود داشت که اجازه ته‌نشینی گل آهکی معلق را داده است و در دوره‌های رسوبی کوتاه‌مدت و پرانرژی پلوییدها افزایش یافته و بیوکلست‌ها شکسته شده‌اند (Said et al., 2010). یادآور می‌شود که به دلیل فراوانی موجودات استنوهالین از جمله مرجان‌ها و حضور فسیل‌های دریای باز مانند کرینوییدها (شکل ۸– B)، براکیوپود (شکل ۸– G) و بریوزآ در این مجموعه رخساره‌ای؛ محیط لاگون در توالی مورد مطالعه محصور نبوده و با دریای باز ارتباط داشته است. حضور مرجان‌ها و براکیوپودها و گوناگونی زیستی بالا نشان‌دهنده سطح اکسیژن دیرینه بالا و شوری عادی محیط دریایی (حدود ۳۶ تا ۴۰ ppm) است (Fürsich, 1993). از دید دما، فراوانی مرجان‌ها و رشد گسترده جانداران، مجموعه مورد مطالعه نشان‌دهنده دریاهای گرمسیری است. آرایش فشرده کورالیت‌ها (شکل ۸– A) و بر هم‌کنش متداول میان کلنی‌ها (شکل ۸– H) و میان انواع مختلف جانداران اسکلتی نشان می‌دهد که تولید آلی بسیار بالا بوده است. رشد عمودی به‌نسبت محدود بوده است؛ زیرا کلنی‌های فاسیکولیت به اندازه‌های

عمودی بزرگ نمی‌رسند وکورالیت‌های آنها روی یکدیگر رشد نمی‌کنند (Rodríguez et al., 1994).

۶- زیستگاه‌های مرجانی برش مورد مطالعه

مرجان‌ها، یکی از اجزای عمده اجتماعات کف‌زی در آب‌های کم‌ژرفای دریایی در زمان کربنیفر هستند. در گذشته، از دید چگونگی قرارگیری مرجان‌ها در توالی‌های رسوبی آنها را در دو دسته بیوستروم‌ها و بیوهرم‌ها قرار می‌دادند؛ ولی به تازگی آنها را به ۱۱ فرم مختلف تقسیم‌بندی می‌کنند. بنابراین برای تشخیص آنها اطلاعات تکمیلی از جمله بستر، تعداد انواع مرجان و ارتباط آنها با هم، چگونگی آرایش کورالیت‌ها در لایه، محیط رسوب و ریزرخساره توالی و نیز مشارکت دیگر گروه‌های فسیلی در ارتباط با اجتماعات مرجانی مورد نیاز است.

Hill (1941 & 1981) اجتماعات مرجان‌های کربنیفر را به ۳ نوع تقسیم کرد.

- زیای *'Cyathaxonia'*: این مرجان‌ها از دید تاکسونومیکی شامل جنس‌های جهان شمول و Long-range هستند و در بیشتر موارد ریخت‌شناسی بسیار ساده‌ای دارند. در یک مجموعه فسیلی حضور این زیا دلیلی است بر اجتماعات آب‌های ژرف‌تر که در ارتباط با حوضه‌های درون قاره‌ای است. زیای *'Cyathaxonia'* معمولاً در شرایط بی‌نور، بی‌هوازی، آب‌های سرد، شوری بالا (؟) و نیز در آب‌های کدر و گل‌آلود با توربیدیته بالا یافت می‌شوند. این مرجان‌های کوچک، شاخی‌شکل و بدون دیس اپیمنت بیشتر در رخساره‌های مخلوط کربناتی- سیلیسی آواری متداول هستند (Denayer & Hosgör, 2014).

- زیای *'caninid – clisiophyllid'*: مرجان‌های بزرگ انفرادی دیس اپیمنت‌دار، شاخص آب‌های کم‌ژرفا و وجود شرایط بوم‌شناختی مساعد برای زیست مرجان‌هاست.

- زیای مرجان‌های ریف: شاخص آب‌های کم‌ژرفا و وجود شرایط بوم‌شناختی ایده‌آل برای زیست مرجان‌هاست. Hill (1981) همه مرجان‌های کلنی را شاخص آب‌های کم‌ژرفا دانسته و در گروه ریف‌ها رده‌بندی کرده است. از دید تقسیم بندی زیای مرجانی که توسط Hill (1981) در تریتیس ارائه شد، اجتماعات مرجانی مورد مطالعه در گروه ریف‌ها قرار می‌گیرد، ولی امروزه ریف‌ها تعریف گسترده‌تر و متفاوتی با آنچه وی ارائه داد دارند.

Sando (1980) با مطالعات آماری، بر پایه موقعیت همه مرجان‌های کلنی کربنیفر پیشین، شاخص زیستگاه‌های آب‌های کم‌ژرفا (SWHI) را برای آنها تعریف و جایگاه آنها را در یک نیمرخ ایده‌آل رخساره‌های رسوبی مشخص کرد. به باور Sando (1980) "همه مرجان‌های کلنی کربنیفر پیشین" در آب‌های کمتر از ۵۰ متر زندگی می‌کردند. از آنجایی که بیشتر جنس‌های اشکوب باشکیرین در برش مورد مطالعه به فرم کلنی هستند، مطالعات آماری Sando (1980) می‌تواند ایده‌ای برای ژرفای بیشینه ۵۰ متر برای زیای مورد مطالعه هم باشد. بر پایه مطالعات Zhang et al. (2010) مرجان‌های فاسیکولیت *Fomichevella* که بیشترین گوناگونی و فراوانی را در برش مورد مطالعه دارند، شاخص محیط‌های کم‌ژرفا و کم‌انرژی هستند. این اطلاعات بر پایه داده‌های رسوب‌شناسی و ریزرخساره‌ها (خانه‌باد، ۱۳۹۱) نیز تأیید می‌شود.

جدیدترین مدل برای تفسیر و تقسیم‌بندی اجتماعات مرجانی توسط Aretz (2010) ارائه شد. وی زیستگاه‌های مرجان‌های کربنیفر را بر پایه فراوانی، توزیع افقی و عمودی مرجان‌ها در لایه‌ها و فاصله میان کلنی‌ها، در ۴ نوع و ۱۱ زیرنوع تقسیم‌بندی کرد. در این مدل اجتماعات مرجانی به فرم‌های زیر شناخته می‌شوند: نوع A (جوامع مرجانی سطوح پایین) : شامل زیرنوع‌های A1و A2. " نوع B (چمنزارهای مرجانی)": شامل زیرنوع‌های B2 و B1. "نوع C (بیوستروم‌های مرجانی)": شامل زیرنوع‌های C2, C1 و C3. "نوع D (بیوهرم‌های مرجانی)": بیوهرم‌ها شامل زیرنوع‌های D1, D3, D2 و D4 هستند. بر پایه این مدل، اجتماعات مرجانی اشکوب باشکیرین در برش زلدو در دو زیستگاه بوم‌شناختی مختلف قرار داشتند و از این دید قابل تقسیم به دو زیست‌زون بوم‌شناختی هستند.

- زیست‌زون بوم‌شناختی ۱، چمنزارهای مرجانی (Coral meadow): به باور Aretz (2010) چمنزارهای مرجانی، جوامع دریایی با فراوانی بالای مرجان‌ها هستند که بیشتر قلمرو یک تاکسای مرجانی است. بیشترین حجم برای تسلط گونه‌های مرجانی ممکن است به ۹۰ درصد برسد ولی عمدتاً نیمی از کلنی‌ها به یک گونه تعلق دارند (شکل ۳). همچنین در چمنزارهای مرجانی فرم رشد چیره کلنی، "فاسلوییید" است و مرجان‌های توده‌ای کمتر حضور دارند. بر پایه بود یا نبود کلنی‌های پراکنده (Patches) چمنزارهای مرجانی را می‌توان به دو زیرنوع B1 و B2 تفکیک کرد (Aretz, 2010). زیرنوع B1 بدون کلنی‌های پراکنده و تکه‌ها (Patches) است و الگوی توزیع منظم‌تری را نشان می‌دهد (شکل‌های ۶- A و C). زیرنوع B2 دارای تکه‌ها (Patches) است. بنابراین الگوهای توزیع نامنظمی را ایجاد می‌کنند. پیدایش زیرنوع B1 بیشتر درون سنگ‌آهک‌های با لایه‌بندی خوب است و زیرنوع B2 بیشتر در محیط‌های با ورودی بالای رسوبات سیلیسی آواری دانه‌ریز یافت می‌شود (Aretz, 2010).

در برش مورد مطالعه زیست‌زون ۱، شامل یک لایه کلنی فاسلوییید است که تنها از جنس *Fomichevella* تشکیل شده است. ابعاد کلنی فاسلوییید مورد مطالعه در طول و عرض ۲۰۰×۲۵۰ سانتی‌متر با ستبرای ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر است (شکل‌های ۶- B و C). در چمنزارهای مرجانی کلنی‌سازی فشرده بیشتر روی سطح بستر به‌صورت حاشیه‌ای است (شکل‌های ۶- B و C). این فرم متداول‌ترین نوع رشد مرجان‌های فاسیکولیت است (Said et al., 2010). با توجه به همه شواهد موجود (وجود غالباً یک تاکسای‌مرجانی، فرم رشد فاسلوییید، نبود مرجان‌های سریوییید، نبود کلنی‌های پراکنده (Patches) و حضور این مرجان‌ها درون سنگ‌آهک‌های با لایه بندی خوب)، زیست‌زون اول به دیرینگی باشکیرین پیشین در برش زلدو یک زیستگاه مرجانی از نوع چمنزارهای مرجانی B1 بوده است.

- زیست‌زون بوم‌شناختی ۲، بیوستروم مرجانی: برخلاف دیدگاه عمومی در مورد تعریف بیوستروم‌ها، به باور Rodríguez et al. (1994) بیوستروم‌ها الزاماً توده‌های نازک مرجان‌ها با گسترش افقی زیاد نیستند بلکه بیوستروم‌های مرجانی بزرگ با ستبرای چندین ده متر و گسترش افقی چندین کیلومتر نیز در شمال باختر ایرلند و جنوب اسپانیا دیده شده است.

Aretz (2010) بیوستروم‌ها را به سه دسته C1 (هیدرودینامیکی)، C2 (زیستی) و C3 (حدواسط) تقسیم کرد. subtype C1، بیوستروم‌های هیدرودینامیکی هستند که از واریزه‌های‌کلنی تشکیل شده‌اند این زیرنوع "نشان‌دهنده سطوح بالای انرژی" است. از دید بافتی نیز C1 بیشتر به‌صورت رودستون یا فلوتستون‌های مرجانی هستند.

subtype C2 بیوستروم‌های‌کنترل شده به‌صورت زیستی و شامل باندستون‌های مرجانی و گرینستون‌های مرجانی‌کوچک هستند؛ این زیرنوع شامل کلنی‌های درجا و کلنی‌های تنها کمی جابه‌جاشده هستند. این نوع بیوستروم‌ها با چیرگی مرجان‌های فاسلوییید شناخته می‌شود. بنابراین نشان‌دهنده محیط‌ها کم‌انرژی هستند. البته مرجان‌های سریوییید نیز در این زیرنوع دیده می شود. افزایش فرم‌های سریوییدها در این اجتماعات، سطوح بالاتر انرژی را نشان می‌دهد. کلنی‌های فاسلوییید نسبت به مرجان‌های (سریوییید) توده‌ای، استحکام کمتری دارند و در نتیجه راحت‌تر قطعه‌قطعه می شوند.

subtype C3 حدواسط میان دو نوع بیوستروم یادشده است و بیشتر ترکیبی از دو زیرنوع بالاست. به باور Aretz (2010) بسیاری از بیوستروم‌ها از این نوع هستند و بنابراین نشان‌دهنده گوناگونی بسیارگسترده‌ای از دید بافتی نیز هستند. این نوع

بیوستروم متداول‌ترین بیوستروم‌های کربنیفر است و گسترده‌ترین شکل‌پذیری بوم‌شناختی را نشان می‌دهد.

Aretz (2010) از دید تعداد تاکساهای مرجانی درون بیوستروم، آنها را به انواع یک‌گونه‌ای (monospecific) و چندگونه‌ای (polyspecific) تقسیم کرد.

اجتماع مرجانی زیست‌زون دوم باشکیرین در برش مورد مطالعه، شامل جنس‌های گوناگونی است که در آن کلنی‌های فاسیکولیت چیرگی داشتند؛ این کلونی‌ها بیشتر به‌صورت درجا وجود دارند و آثار حمل‌ونقل (مانند قطعه‌قطعه شدن) ناچیز است. همچنین جنس فاسیکولیت *Fomichevella* که بیشترین گوناگونی و فراوانی را در برش مورد مطالعه دارد، شاخص محیط‌های کم‌ژرفا و کم‌انرژی است. وجود کلنی‌های سریویید در برخی از لایه‌ها به همراه فاسیکولیت‌ها و نیز قطعه‌قطعه نشدن قابل توجه، نشان‌دهنده افزایش سرعت آب (در مقایسه با افق‌هایی که تنها مرجان‌های فاسیکولیت دارند) است ولی این افزایش انرژی به حدی نبوده است تا شاخه‌های فاسیکولیت را به‌طور گسترده‌ای قطعه‌قطعه کند.

با توجه به همه شواهد موجود، وجود تاکسای مرجانی گوناگون، چیرگی کلنی‌های فاسیکولیت، وجود کلنی‌های درجا، جابه‌جایی‌های کم و حمل‌ونقل ناچیز کلنی‌ها، زیست‌زون دوم به دیرینگی باشکیرین میانی در برش زلدو یک زیستگاه مرجانی از نوع بیوستروم‌های کنترل شده به‌صورت زیستی (C2) بوده است. این بیوستروم polyspecific ۵ تا ۱۵ متر ستبرا داشت و همه مرجان‌های آن به شکل ریف‌های تکه‌ای (Patches) بودند (شکل ۷). همانند دیگر بیوستروم‌های کربنیفر در نقاط مختلف دنیا (Aretz & Nudds, 2005 & 2007)، مرجان‌های تابولا به عنوان یکی از اجزای فرعی در ساختار بیوستروم مورد مطالعه مشارکت داشت (شکل‌های ۷- E و ۸- H و جدول ۱)؛ همچنین همان‌گونه که در شکل‌های ۸- B و G دیده می‌شود، فضای باز میان شاخه‌های مرجان‌های فاسیکولیت می‌توانسته پناهگاه دیگر معلق‌خواران مانند براکیوپودها و کرینوییدها و نیز مرجان‌های تابولا (شکل ۸- H) باشد.

۷- نتیجه‌گیری

در برش مورد مطالعه مرجان‌های روگوزا و تابولای فاسیکولیت (*Fomichevella, Paraheritschioides , Heintzella* و *Multithecopora*) در یک سکوی کم‌ژرفای کربناتی در محیط‌های لاگون تا دریای باز به فرم گنبدی‌شکل و حاشیه‌ای وجود داشتند. زیستگاه جنس‌های سریویید (*Michelinia, Kleopatrina, Minatoa*) با فرم رشد همی‌اسفریکال، در محیط‌های پرانرژی‌تر لاگون به سوی سد قرار داشته است.

مرجان‌های مورد مطالعه در محیط دریایی با اکسیژن بالا و شوری عادی قرار داشتند. انرژی هیدرودینامیک در بیشتر موارد کم تا متوسط بود. شرایط محیط برای گسترش جانداران اسکلتی گوناگون، مناسب بوده است؛ زیرا گوناگونی بسیار بالا و رقابت برای فضا نشان‌دهنده تولید آلی بالاست. فراوانی مرجان‌ها نشان از حضور آنها در محیط‌های دریایی گرمسیری عرض‌های پایین دارد.

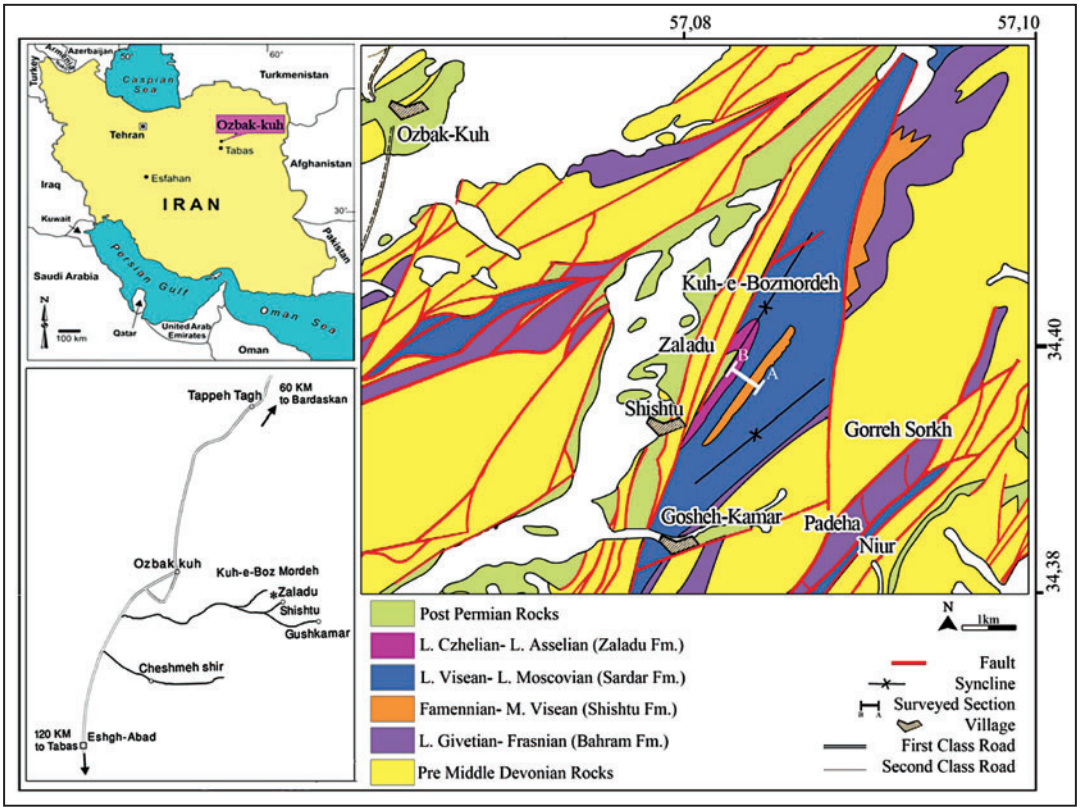
با توجه به حضور مرجان‌های فراوان در محیط لاگون و نیز فراوانی دیگر موجودات استنوهالین همچون کرینوییدها، براکیوپودها و بریوزوآها در مجموعه رخساره‌ای لاگون مورد اشاره دربر گرفته شده نبوده و با دریای باز ارتباط داشته است.

از دید چگونگی قرارگیری مرجان‌ها در توالی‌های رسوبی، در گذشته آنها را در دو دسته بیوستروم‌ها و بیوهرم‌ها قرار می‌دادند؛ ولی به تازگی آنها را به ۱۱ نوع مختلف تقسیم‌بندی می‌کنند. بنابراین برای تشخیص آنها اطلاعات تکمیلی در ارتباط با اجتماعات مرجانی مورد نیاز است. زیستگاه‌های مرجان‌های مورد مطالعه، در ۲ زیست‌زون قابل تفسیر است که نشان‌دهنده دو زیستگاه بوم‌شناختی متفاوت است. زیست‌زون اول تنها شامل مرجان‌های فاسیکولیت فاسلوییدِ بوده و چمنزارهای مرجانی (زیرنوع B1) را در دریای دیرینه تشکیل می‌داده است. زیست‌زون دوم اجتماعی از فرم‌های مختلف مرجان‌های فاسیکولیت، سریویید و تابولاست که همگی به شکل کلنی‌های تکه‌ای (Patches) در این افق قرار گرفته اند. این کلنی‌ها زیستگاهی از نوع " بیوستروم polyspecific از نوع C2 به ستبرای ۵ تا ۱۵ متر" را تشکیل دادند.

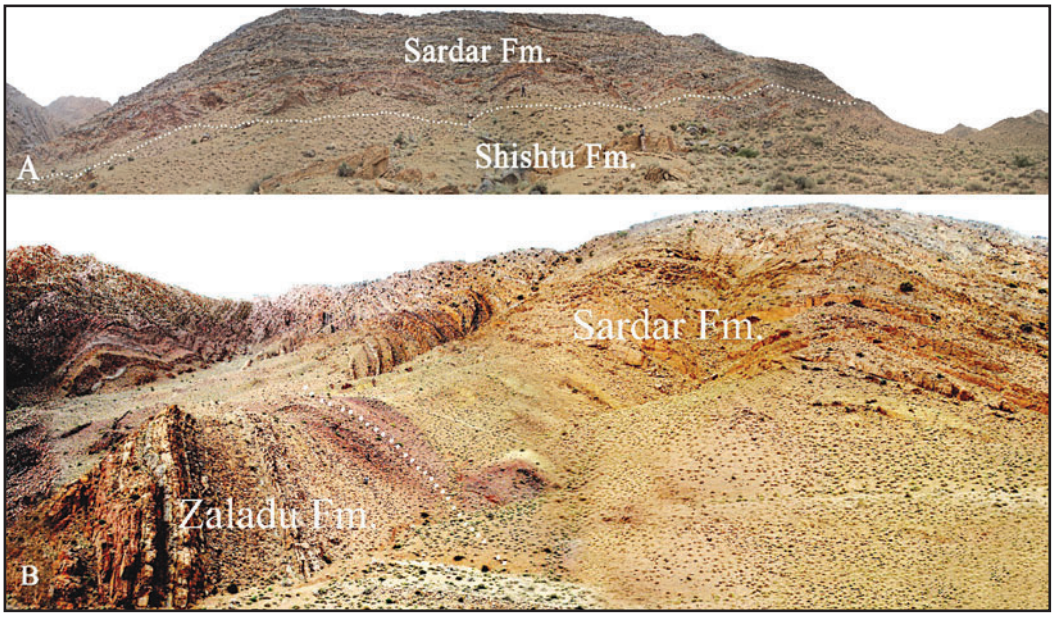
در بیوستروم مورد مطالعه، کلنی‌های فاسیکولیت *Fomichevella* و *Heintzella* بیشترین فراوانی و کلنی‌های *Fomichevella* و *Minatoa* بیشترین گوناگونی را دارند. کلنی *Michelinia* کمترین فراوانی و گوناگونی را در میان مرجان‌های مورد مطالعه دارند.

سپاسگزاری

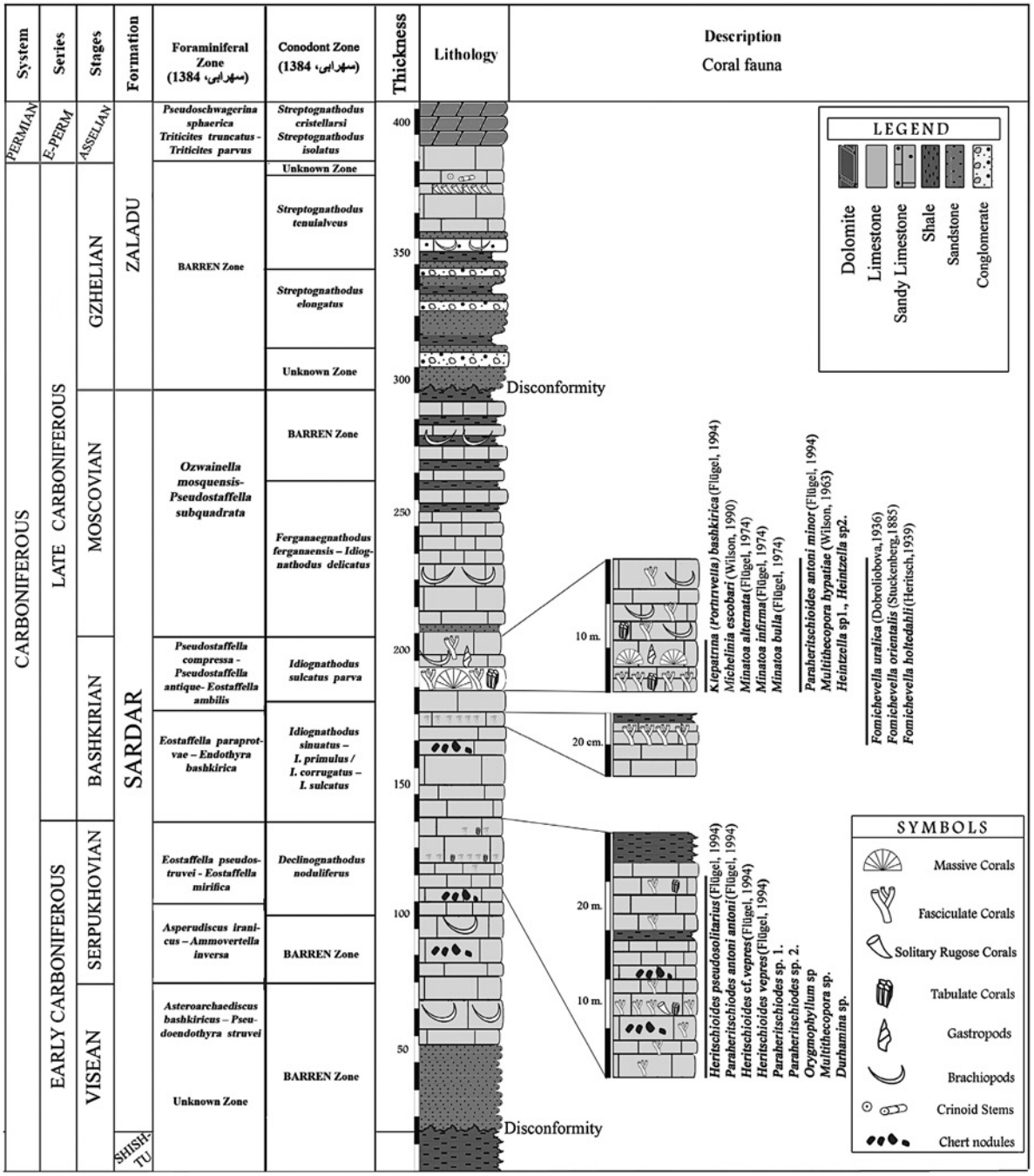
برش مورد مطالعه توسط آقای دکترعباس قادری به نگارندگان معرفی شد که بدین وسیله از ایشان سپاسگزاری می‌شود. از همراهی و یاری مهندس علی بهزادی‌نسب و مهندس روزبه یزدان‌فر در نمونه برداری صحرایی، از زحمات مهندس میعاد بادپا در تهیه اشکال، از خانم مهندس سهرابی کارشناس‌محترم سازمان زمین‌شناسی کشور، آقای دکتر گرگیج استاد دانشگاه سیستان و بلوچستان، پروفسور Edouard Poty و دکتر Julien Denayer از دانشگاه Liege بلژیک و نیز دکتر Markus Aretz از دانشگاه Toulouse فرانسه برای فرستادن مقالات، مشورت‌ها و نظرات ارزنده‌ای که ارائه کردند سپاسگزاریم.



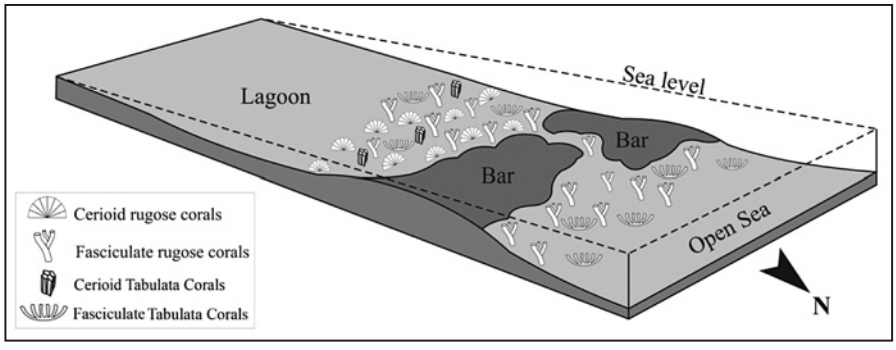
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی برش مورد مطالعه.



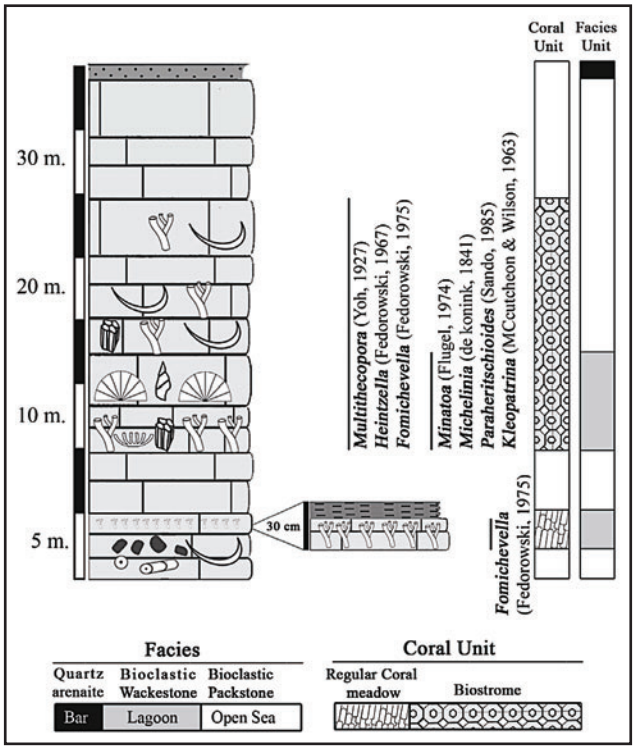
شکل ۲- A) نمایی از سازند سردر در برش زلدو. مرز زیرین سازند سردر با سازند شیشتو؛ B) ناودیس زلدو. مرز بالای سازند سردر با زلدو.



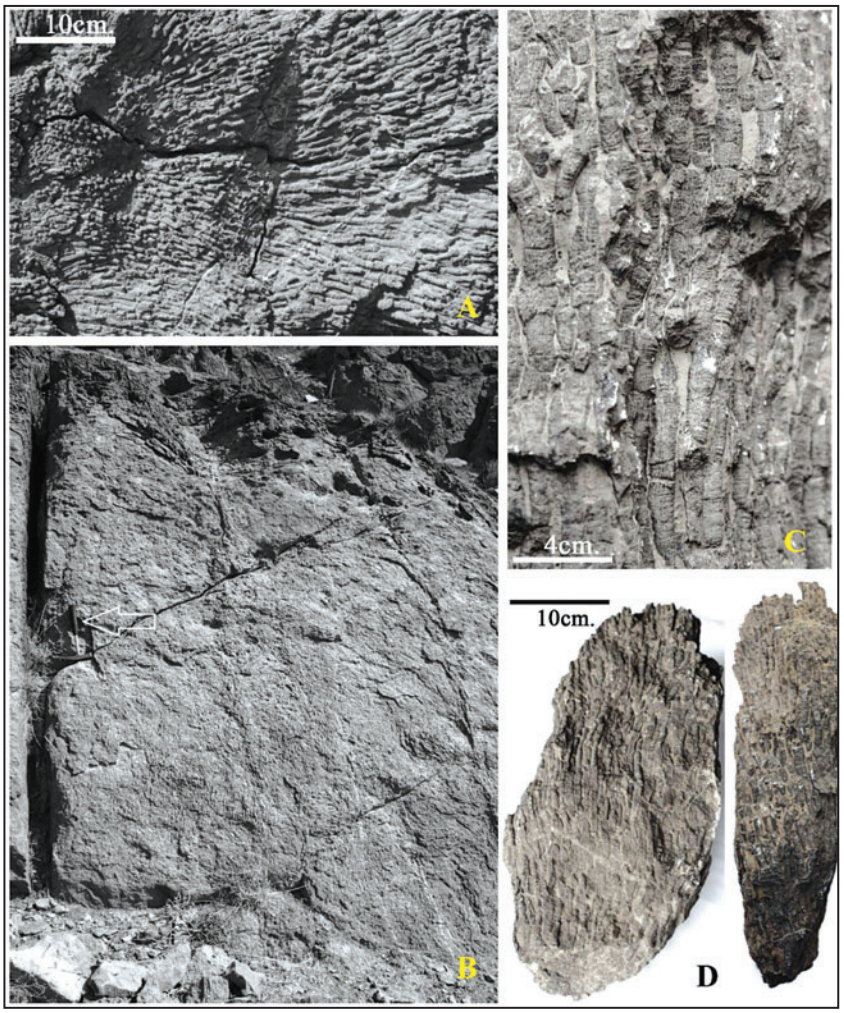
شکل ۳- ستون چینه‌شناسی سازند سردر در برش زلدو.



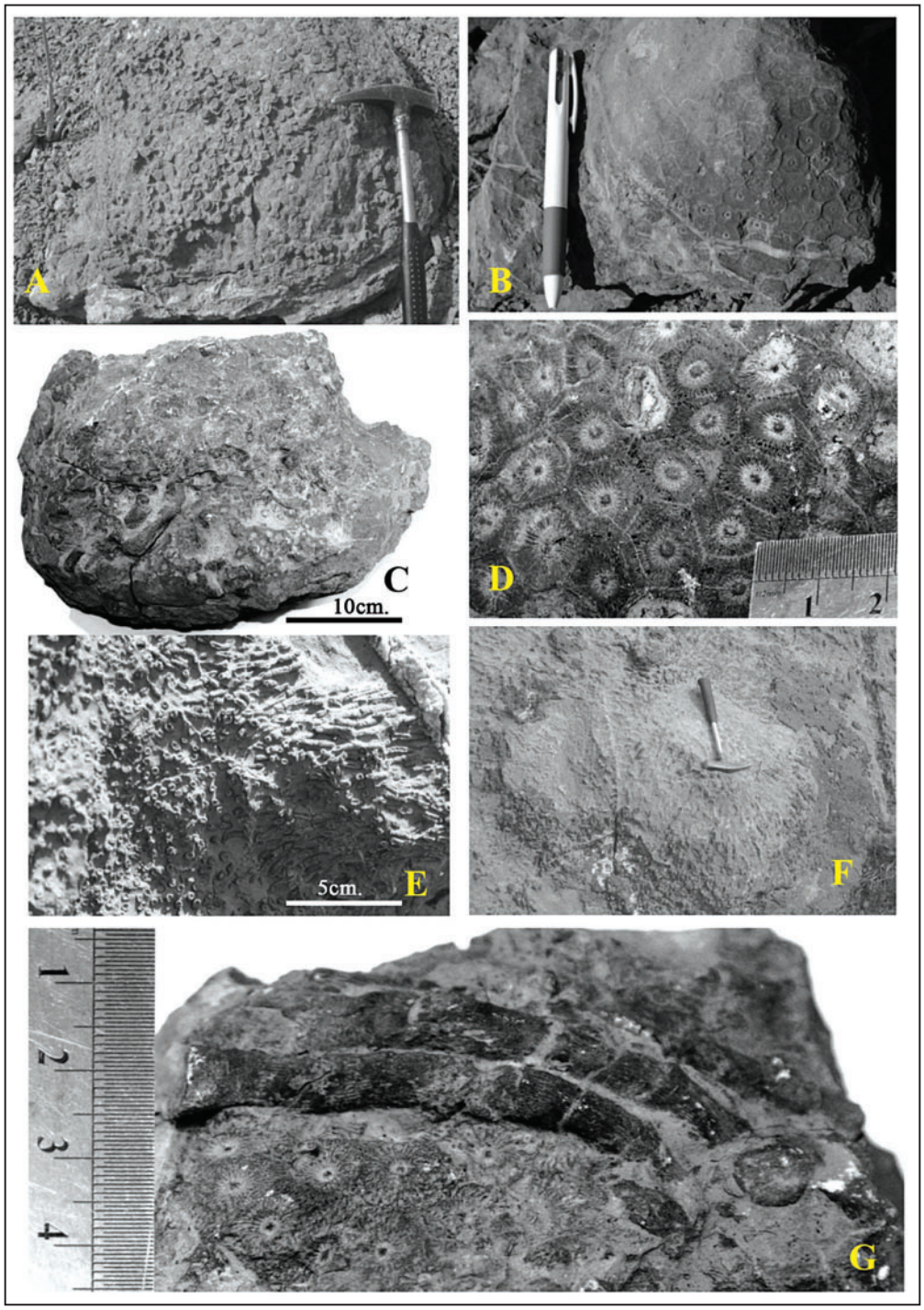
شکل ۴- مدل رسوبی افق مرجانی باشکیرین سازند سردر در برش زلدو. گستره مرجان‌های سریویید روگوزا و تابولا تنها در محیط لاگون است و مرجان‌های فاسیکولیت روگوزا و تابولا در گستره پهناوری از لاگون تا دریای باز تداوم داشتند. لاگون مورد مطالعه، دربر گرفته شده نبوده و با دریای باز ارتباط داشته است.



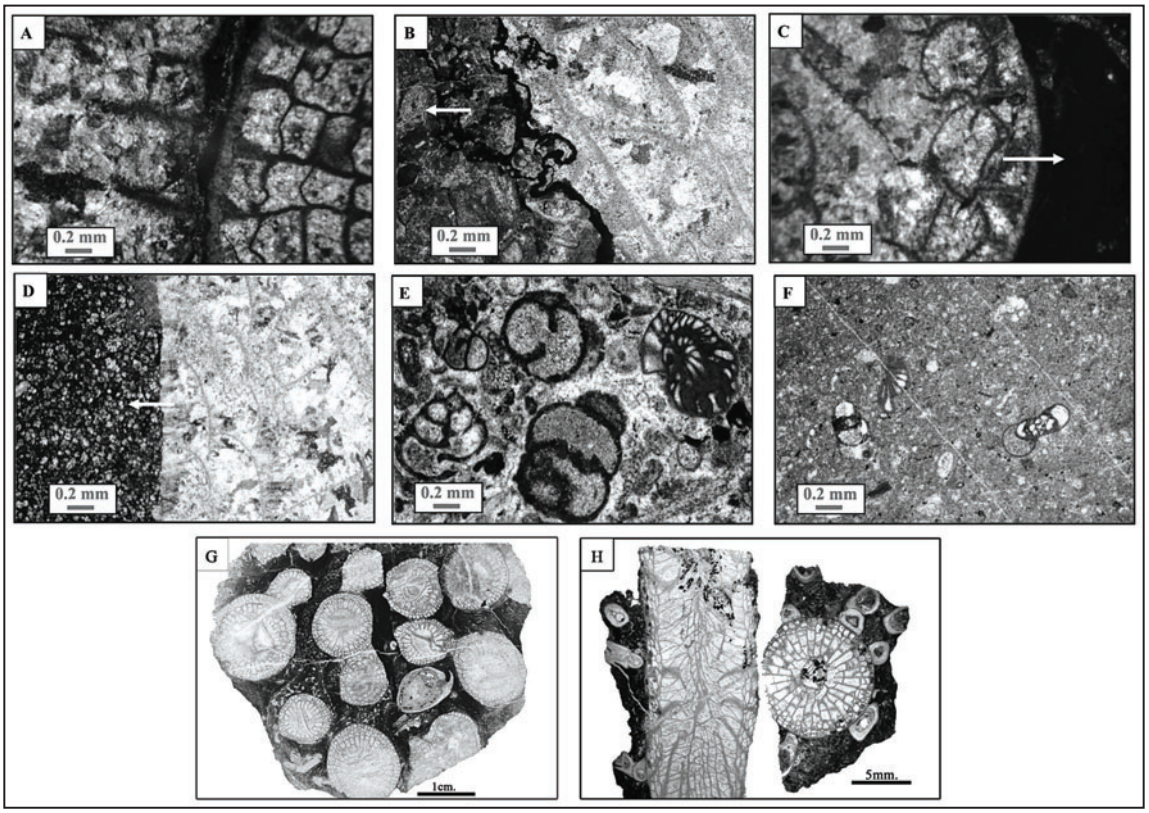
شکل ۵- جایگاه مرجان‌های باشکیرین در ستون چینه‌شناسی، موقعیت زیستگاه‌های مرجانی و رخساره‌های رسوبی.



شکل ۶- حضور کلنی‌های فاسلوییدFomichevella, Heintzella در رخساره لاگون؛ A تا C) کلنی فشرده فاسلوییدو تشکیل چمنزار مرجانی (Regular Coral Meadow): A) باندستون مرجانی دارای تراکم فشرده و جهت‌یابی مشخص؛ B) لایه بزرگ کلنی فاسیکولیت به ابعاد ۲×۲/۵ متر و ستبرای ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر. مقیاس با چکشی که با فلش سفیدرنگ نشان داده شده مشخص است؛ C) شاخه‌های کلنی فاسلوییدشکلB. تولیدمثل این مرجان‌ها به‌صورت حاشیه‌ای بوده است. این نوع فرم رشد متداول‌ترین نوع رشد در کلنی‌های فاسیکولیت است؛ D) کلنی بوته‌ای فاسیکولیت فاسلوییدکلنی‌های موجود در بیوستروم مرجانی).



شکل ۷- کلنی‌های پراکنده تکه‌ای (Patchهای) سازنده بیوستروم. A) کلنی فاسیکولیت همی‌اسفریکال *Heintzella*؛ B تا D) کلنی *Minatoa*؛ E) کلنی فاسیکولیت *Multithecopora*؛ F) رشد قارچی *Fomichevella* در رخساره‌دریای باز؛ G) قرارگیری مرجان *Fomichevella* روی کلنی *Minatoa* در محیط لاگون.



شکل ۸- A) آرایش فشرده میان کورالیت‌های مرجانی؛ B) همراهی مرجان‌ها با کرینوییدها؛ C) رسوب گلی پیرامون مرجان‌ها؛ D) دولومیتی شدن فضای گلی میان مرجان‌ها؛ E) پکستون روزن‌بردار؛ F) وکستون روزن‌بردار (همه مقاطع میکروسکوپی در نور XPL هستند)؛ G) براکیوپود در میان کورالیت‌های فاسیکولیت *Fomichevella*؛ H) مرجان تابولای *Multithecopora* در پیرامون مرجان روگوزای *Paraheritschioides* رشد کرده است.

جدول ۱- مرجان‌های کربنیفر پسین سازند سردر در برش زلدو. S-B: تاکساهای اولین افق مرجانی به سن سرپوخووین پسین- باشکیرین پیشین (؟)؛ B: تاکساهای دومین افق مرجانی به سن باشکیرین پیشین- میانی.

Taxa	S-B	B
RUGOSE CORALS		
Heritschioides pseudosolitarius (Flügel, 1994)	X	
Heritschioides vepres (Flügel, 1994)	X	
Heritschioides cf.*vepres* (Flügel, 1994)	X	
Paraheritschiodes antoni antoni (Flügel, 1994)	X	
Paraheritschiodes sp. 1.	X	
Paraheritschiodes sp. 2	X	
Orygmophyllum sp.	X	
Durhamina sp.	X	
Fomichevella uralica (Dobroliobova,1936)		X
Fomichevella holtedahli (Heritsch,1939)		X
Fomichevella orientalis (Stuckenberg,1885)		X
Heintzella sp1.		X
Heintzella sp2.		X
Paraheritschioides antoni minor (Flügel, 1994)		X
Klepatrina (Porfirivella) bashkirica (Flügel, 1994)		X
Minatoa bulla (Flügel, 1974)		X
Minatoa alternata (Flügel, 1974)		X
Minatoa infirma (Flügel, 1974)		X
TABULATA CORALS		
Multithecopora sp.	X	
Michelinia escobari (Wilson, 1990)		X
Multithecopora hypatiae (Wilson, 1963)		X

کتابنگاری

آقانباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور،۶۰۶ ص.

بادپا، م.، ۱۳۸۸- مطالعه مرجان‌های سازند سردر در برش زلدو، کوه‌های ازبک کوه (خاور ایران مرکزی) بر اساس مرجان‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۱۴ ص.

بادپا، م.، خاکسار، ک.، عاشوری، ع. و خانه‌باد، م.، ۱۳۹۳- مرجان‌های باشکیرین (کربنیفر پسین) سازند سردر در برش زلدو، کوه‌های ازبک‌کوه، خاور ایران مرکزی، مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی. جلد۵۴، شماره ۱، ص۳۹-۵۸.

بادپا، م.، عاشوری، ع. و خاکسار، ک.، ۱۳۹۰- مطالعه مرجان‌های سرپوخووین (نامورین پیشین) سازند سردر در برش زلودو،کوه‌های ازبک کوه (خاور ایران مرکزی)، دوفصلنامه رخساره‌های رسوبی، دانشگاه فردوسی مشهد. جلد۴، شماره ۱، ص ۱ تا ۱۶.

خانه‌باد، م.، ۱۳۹۱- محیط رسوبی، دیاژنز و ژئوشیمی رسوبات کربونیفر شرق ایران مرکزی، رساله دکترا، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۴۷ ص.

سهرابی، ز.، ۱۳۸۴- بیواستراتیگرافی سیستم‌های کربونیفر (سازند سردر)- پرمین (سازند جمال) در منطقه ازبک کوه (برش زلودو) بر اساس روزن‌بران با نگرش ویژه بر کنودونت‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷۸ ص.

References

Adachi, N., Ezaki, Y. & Liu, J., 2004- The origins of peloids immediately after the end Permian extinction, Guizhou Province, South China: Sedimentary Geology164: 161-178.

Aretz, M. & Nudds, J., 2005- The coral fauna of the Holkerian /Asbian boundary stratotype section (Carboniferous) at Little Asby Scar (Cumbria, England) and implications for the boundary. Stratigraphy 2: 167–190.

Aretz, M. & Nudds, J., 2007- Palaeoecology of the Late Vise´an (Dinantian) coral-chaetetid biostrome at Little Asby Scar (Cumbria, Great Britain). In Hubmann, B. & Piller, W.(eds): Fossil corals and sponges. Proceedings of the Ninth International Symposium on Fossil Cnidaria and Porifera, Graz 2003. Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen 17: 365–381.

Aretz, M., 2010- Habitats of colonial rugose corals: the Mississippian of western Europe as example for a general classification. Lethaia,10: 1-15.

Denayer, J. & Hoşgör, I., 2014- Lower Carboniferous Rugose Corals from the Hakkari Area (SETurkey): a key to the understanding of the Arabian Plate palaeobiogeography in the Carboniferous. Journal of Asian Earth Sciences. 79: 345-357.

Flügel, H. W., 1974- Minatoa, eine neue Rugosengattung aus der SardarII-Formation (Bashkirium) Ostirans. Archiv für Lagerstattenforschung in den Ostalpen, Sonderband 2, Festschrift O.M.Friedrich. p. 95-107.

Flügel, H. W., 1994- Rugosa aus dem Karbon der Ozbak-Kuh-Gruppe Ost-Irans (Teil 2: Korallen des Sadar II-Member, Bashkirium): Jahrbuchder Geologischen Bundesanstalt. p. 599 - 616.

Fürsich, F. T., 1993- Palaeoecology and evolution of Mesozoic salinity-controlled benthic macroinvertebrate associations. Lethaia, 26: 327-348.

Gorgij, M. N. & Boomeri, M.,2010 - Two Carboniferous coral assemblages of Ozbak-Kuh and Klmard areas, Eastern Central Iran (Zaladou and Gachal sections). Stratigraphy and Sedimentology Researches. 40(3): 103-118.

Hill, D., 1941- A monograph on the Carboniferous rugose corals of Scotland. Palaeontographical Society London 91–94: 1–215.

Hill, D., 1981- Supplement 1, Rugosa and Tabulata. In: Teichert, C. (Ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology, Part F. Coelenterata, Geological Society of America and University of Kansas Press; Boulder, Colorado and Lawrence, Kansas. 1-762.

Leven, E. Ja., Davydov, V. I. & Gorgij, M. N., 2006- Pennsylvanian stratigraphy and fusulinids of central and eastern Iran, Palaeontologia Electronica.1-36.

Rodríguez, S. & Somerville, I., 2010- Appearance of fasciculate rugose corals in the Viséan and Serpukhovian: A review. Palaeoworld 19: 306–315.

Rodríguez, S., Arribas, M. E., Falces, S., Moreno-Eiris, E. & Dela Peña, J. A., 1994- The Siphonodendron Limestone of Los Santos de Maimona Basin: development of an extensive reef-flat during the Visean in Ossa Morena, SW Spain. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 72: 203-214.

Said, I., Rodríguez, S., Berkhli, M., Cózar1, P. & Gómez-Herguedas, A., 2010- Environmental parameters of a coral assemblage from the Akerchi Formation (Carboniferous), Adarouch Area, central Morocco. Journal of Iberian Geology 36 (1): 7-19.

Sando, W. J., 1980- The paleoecology of Mississippian corals in the western conterminous United States. Acta Palaeontologica Polonica 25: 619–631.

Zhang, Y. L., Gong, E. P., Wilson, M. A., Guan, C. Q. & Sun, B. L., 2010- A large coral reef in the Pennsylvanian of Ziyun County, Guizhou (South China): The substrate and initial colonization environment of reef-building corals. Journal of Asian Earth Sciences. 37: 335–349.

Zhang, Y. L., Gong, E. P., Wilson, M. A., Guan, C. Q., Sun, B. L. & Chang, H. L., 2009- Paleoecology of a Pennsylvanian encrusting colonial rugose coral in south Guizhou, China. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 280: 507–516.