

بررسی محیط رسوبی سنگ مخزن بنگستان (سازند ایلام) در یکی از چاههای اکتشافی مجاور گسل کازرون

طاهره حبیبی^۱ فاطمه مرادی دوره^{۲*} روح الله حسین زاده^۳

۱. دانشیار بخش علوم زمین، گروه زمین شناسی نفت، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

۲*. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی نفت، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

۳. مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

1.Email: thabibi@shirazu.ac.ir, 2*. moradifatemeh7899@gmail.com

چکیده

سازند ایلام به سن کنیاسین-سانتونین یکی از مخازن کربناته مهم در زاگرس است که به دلیل تداخل و تراوایی مناسب در برخی بخش ها، نقش کلیدی در ذخیره و تولید نفت در میدان بزرگ جنوب غرب ایران ایفا میکند. در این پژوهش مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از خرده های حفاری از یکی از چاههای اکتشافی مجاور گسل کازرون جهت تعیین محیط رسوبی دیرین این سازند مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات میکروسکوپی حاکی از تشکیل این توالی در قالب ۵ ریزخساره شامل ۱- وکستون بایوکلستی ۲- پکستون بایوکلستی دارای روزن داران کفزی بدون منفذ ۳- رودستون بایوکلستی حاوی میلیولید و رودیست ۴- پکستون - گرینستون بایوکلستی حاوی جلبک و روتالیا و روزن داران کفزی بدون منفذ ۵- گرینستون بایوکلستی حاوی میلیولید و روتالیا است. ریزخساره های شماره ۱ تا ۳ در زیر محیط لاگون محدود شده و ریزخساره های شماره ۴ و ۵ در زیر محیط لاگون باز از رمپ داخلی ته نشین شده اند.

کلیدواژه‌ها: سنگ مخزن بنگستان، سازند ایلام، محیط دیرینه، رمپ داخلی

Investigating the sedimentary environment of the Bangestan reservoir (Ilam formation) in one of the exploration wells adjacent to the Kazeroun fault

Tahereh Habibi¹ Fatemeh Moradi Doreh^{2*}, Rohollah Hoseinzadeh³

1- Associate Professor, Department of earth sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran, Email: thabibi@shirazu.ac.ir

2*- Department of earth sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- Exploration management of the National Iranian Oil company

Abstract

The Ilam Formation (Coniacian-Santonian in age) is renowned as a hydrocarbon reservoir succession in the Zagros sedimentary basin which shows good porosity and permeability. This study deals with the microfacies analyses and depositional environment of the reservoir in one drilling hole adjacent to the Kazeroun fault. The study succession, contains various fauna and flora belonging to foraminifera (benthic), bivalve, gastropod, echinoid, and algae. This assemblage enabled to distinguish 5 microfacies in the study area include: 1-bioclastic wackestone 2- imperforate foraminifera bioclastic packstone 3-miliolid rudist bioclastic rudstone 4-Rotalia-algae imperforate foraminifera bioclastic packstone-grainstone 5-Rotalia miliolid bioclastic grainstone. Microfacies types 1-3 were constructed in the restricted inner ramp, while the rest represents open lagoonal setting of the inner ramp.

Keywords: Bangestan reservoir, Ilam Formation, paleo depositional environment, inner ramp.

مقدمه

واحدهای سنگ چینه ای بخش شیلی لافان و سازند ایلام به عنوان بخشی از واحدهای سنگ چینه ای گروه بنگستان، به سن کرتاسه بالایی (سانتونین-کامپانین) در حوضه زاگرس محسوب می شوند (Stoneley 1975). این دو واحد سنگی به طور هم شیب و تدریجی بر روی سازند سروک قرار می گیرد و مرزی نسبتاً مشخص را تشکیل می دهد. حد بالایی سازند ایلام نیز به صورت تدریجی و هم شیب با سازند گورپی پوشیده می شود که عمدتاً از شیل های مارنی و سنگ آهک های رسی تشکیل شده است. این مرز در برخی از نواحی، به ویژه در مناطقی با فعالیت تکتونیکی

بالا، به صورت ناپیوسته ظاهر می‌شود و گاهی به دلیل عملکرد گسل‌های امتدادلغز، با تغییرات چشمگیر در ضخامت و نوع رسوبات همراه است (Motiei, 1993). سازند ایلام به‌ویژه در جنوب غرب ایران، نقشی کلیدی در ساختارهای زمین‌شناسی و منابع هیدروکربنی منطقه ایفا می‌کند (مطیعی ۱۳۸۲). بخش شیلی لافان هم‌ارز سازند سورگاه و در فارس ساحلی جایگزین این سازند می‌شود و بنابراین بعنوان واحد سنگی جدا کننده دو سازند سروک و ایلام به حساب می‌آید. سازند ایلام عمدتاً از سنگ آهک‌های فسیل‌دار، دولومیت و مارن تشکیل شده که به دلیل ویژگی‌های مخزنی مناسب، میزبان میدین بزرگ نفتی مانند اهواز، گچساران و مارون است (فولادوند و همکاران ۱۴۰۰). ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ساختاری این سازند آن را به یکی از مهم‌ترین اهداف اکتشافی و توسعه‌ای در صنعت نفت ایران تبدیل کرده است. با این حال، در بخش‌هایی که تحت تأثیر عملکردهای تکتونیکی گسل‌های فعال مانند گسل کازرون قرار گرفته‌اند، این مرز ممکن است به صورت ناپیوسته دیده شود. در چنین مناطقی، تغییرات سنگ‌شناسی و چینه‌ای ناشی از جابه‌جایی‌های عمقی و افقی سازندها، موجب شکل‌گیری شرایط متنوع مخزنی شده است (James & Wynd, 1965). هدف از این مطالعه بررسی ویژگی‌ها و خواص مخزنی سازند ایلام در یکی از چاههای اکتشافی اطراف گسل کازرون است.

بحث

در این تحقیق، جهت شبیه‌سازی محیط رسوبی و تحلیل رخساره‌ها و ویژگی‌های مخزنی سازند ایلام، در چاه شماره ۱ اکتشافی واقع در مجاورت گسل کازرون، از ۱۳۶ عدد مقطع نازک سنگی تهیه شده از خرده‌های حفاری استفاده شده است. سنگ‌شناسی غالب این توالی از آهک، آهک مارنی و دولومیتی تشکیل شده است. در این مطالعه، بافت‌های رسوبی، ترکیب کانی‌شناسی، اندازه و نوع دانه‌ها، ساختارهای رسوبی، و همچنین حضور فسیل‌ها ثبت و تحلیل شدند. این اطلاعات در نهایت برای شناسایی رخساره‌ها، طبقه‌بندی آنها و بررسی ویژگی‌های مخزنی و با استفاده از سیستم‌های استاندارد چون طبقه‌بندی فولک (Folk, 1980) و دانهام (Dunham, 1962) و فلوگل (2010) مورد استفاده قرار گرفت. سپس محیط دیرینه توالی مورد مطالعه بازسازی گردید.

توصیف و تفسیر ریزرخساره‌ها:

مطالعات پتروگرافی کربنات‌های سازند ایلام منجر به شناسایی ۵ ریزرخساره شده است که در ادامه توصیف ویژگی‌های هر ریزرخساره آمده است.

۱- رخساره MF1 (وکستون بایوکلستی) عمدتاً از اجزای زیستی مانند دوکفه‌ای‌ها و خارپوستان تشکیل شده است که حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد ترکیب آن را شامل می‌شوند. این اجزا به صورت پراکنده در یک ماتریکس گل‌آهکی جای گرفته‌اند (شکل A1). دوکفه‌ای‌ها اغلب به صورت تکه‌تکه یا تقریباً کامل حفظ شده‌اند، در حالی که خارپوستان به دلیل ساختار شکننده‌تر معمولاً به شکل قطعات کوچک دیده می‌شوند. این ویژگی‌ها نشان‌دهنده محیطی با انرژی کم است که در آن رسوب‌گذاری با حفظ بقایای زیستی امکان‌پذیر بوده است. از روزنداران کفزی نیز *Textularia miliolid* به میزان کم حضور دارند. تنوع کم روزنداران کفزی نیز نشانگر قسمتهای کم عمق لاگون محدود شده است.

۲- رخساره MF2 (پکستون بایوکلستی دارای روزنداران کفزی بدون منفذ) به طور عمده از روزنداران کفزی بدون منفذ تشکیل شده است که حدود ۵۰ درصد ترکیب این رخساره را شامل می‌شوند. در این میان، *miliolid* و *Textularia* بیشترین فراوانی را داشته و به عنوان اجزای شاخص شناسایی شده‌اند، روزنداران بدوم منفذ مانند *Cuneolina*، *Dicyclina* و سایر انواع روزنداران کفزی در مقادیر کمتری حضور دارند. علاوه بر روزنداران، اجزای بایوکلستی دیگری نیز در این رخساره وجود دارند که شامل دوکفه‌ای‌ها به میزان غالب و قطعات خارپوست، استراکد و جلبک سبز نیز دیده می‌شود. بقایای کاروفیت نیز به مقادیر کمتری وجود دارد. این اجزا به طور پراکنده در یک زمینه میکربیتی قرار گرفته‌اند و ساختار کلی رخساره را شکل داده‌اند (شکل B1). رخساره MF2 از نظر بافتی دارای جورشدگی ضعیفی است که نشان‌دهنده شرایط

نهشته‌گذاری با جریان‌های کم‌انرژی یا محیط‌های نسبتاً آرام دریایی است. این ریز رخساره با وجود روزن‌داران بدون منفذ درشت‌تر و خرده‌های صدف بی‌مهرگان در در بخش‌های عمیق‌تر لاگون محدود شده تشکیل شده است و در زمانهای کوتاهی ورود ابهای شیرین از خشکی به این ریز رخساره وجود داشته است.

۳- رخساره MF3 (رادستون بایوکلستی حاوی میلیولید و رودیست): اجزای اصلی تشکیل دهنده این رخساره را خرده‌های صدف دوکفه‌ایهای رودیست، مرجان، خارپوست تشکیل می‌دهد (شکل ۱-C,D). همین‌طور قطعات بریوزوئر و استراکد نیز دیده می‌شود. قطعات درشت رودیست‌ها به عنوان یکی از اجزای اصلی این رخساره نقش مهمی ایفا می‌کنند و حضور آن‌ها همراه با سایر خرده‌های بایوکلستی، ساختاری غالباً دانه‌پشتیان (grain-supported) ایجاد کرده که نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیط‌های با انرژی متوسط تا بالا است. از روزن‌داران بی‌منفذ نیز میلیولیدها حضور دارند. همراهی این روزن‌داران با فونای دریایی و نبود جلبکهای سبز نشانگر جدایش این بخش از پلتفورم توسط سد بیوکلستی است.

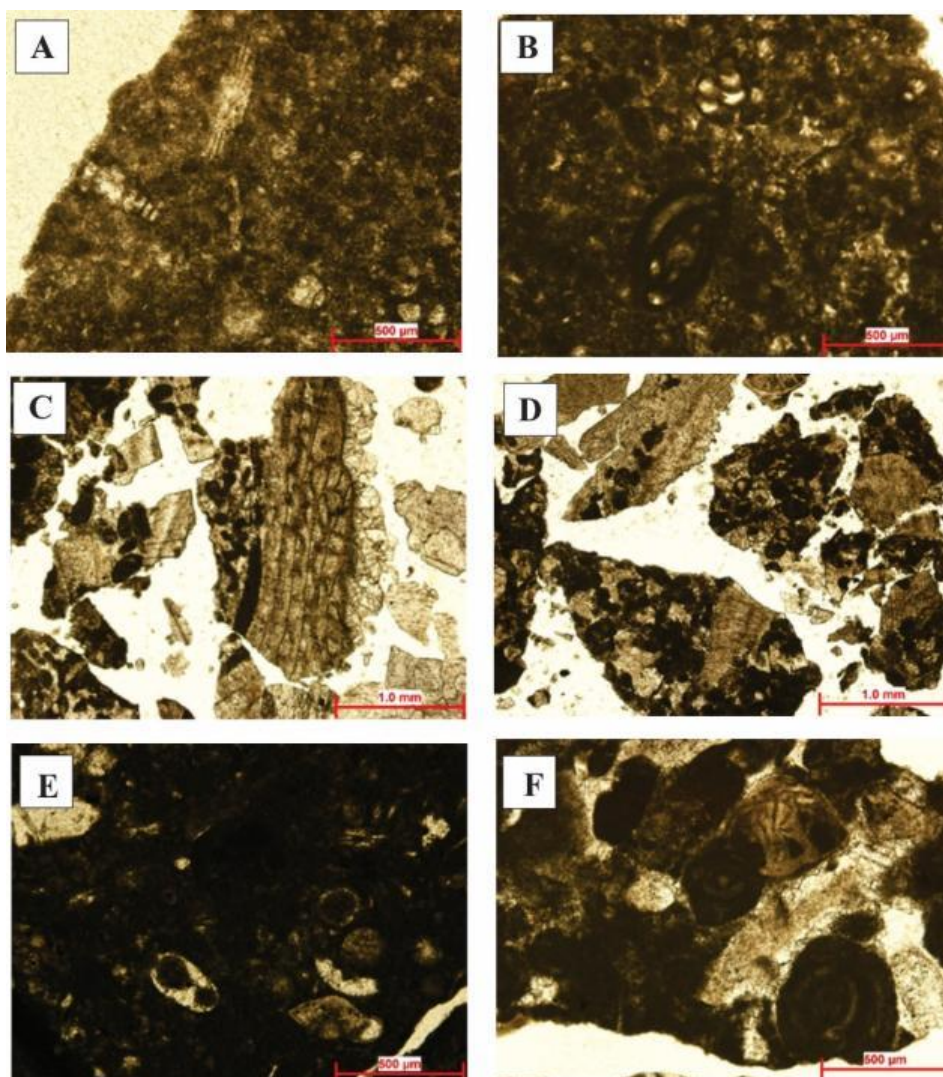
۴- رخساره MF4 (پکستون - گرینستون بایوکلستی حاوی جلبک و نئوروتالیا و روزن‌داران کفزی بدون منفذ): این رخساره عمدتاً از اجزای اسکلتی متنوعی تشکیل شده که شامل *Neorotalia miliolid* و *Textularia* با فراوانی ۳۰ تا ۴۰ درصد هستند. همچنین، روزن‌داران دیگری مانند *Dicyclina* و سایر روزن‌داران کفزی با فراوانی ۱۰ تا ۱۵ درصد نیز حضور دارند. اجزای بایوکلستی متعلق به بی‌مهرگان دریایی نظیر دوکفه‌ای گاهی (رودیست)، خارپوست، بریوزوئر، شکم‌پا و جلبک قرمز و سبز در این رخساره مشاهده می‌شوند. از اجزای غیر اسکلتی دانه‌های پلویید با فراوانی ۱۵ تا ۲۰ درصد در این رخساره حضور دارند که در زمینه‌ای از گل‌آهکی قرار گرفته‌اند (شکل ۱-E). این دانه‌ها به عنوان مواد پرکننده فضاهای خالی بین اجزای زیستی عمل کرده و ساختار ماتریکسی این رخساره را تکمیل می‌کنند. از نظر بافتی، رخساره MF4 ترکیبی از پکستون و گرینستون است. در برخی نواحی، دانه‌ها به طور مستقیم در تماس هستند و در بخش‌های دیگر، فضاهای خالی با سیمان آهکی پر شده‌اند. این ویژگی‌ها نشان‌دهنده محیطی با انرژی متغیر است که فرآیندهای رسوب‌گذاری در آن تغییرات متعددی را تجربه کرده‌اند. این رخساره مربوط به محیط‌های کم‌عمق دریایی مانند لاگون باز یا رمپ داخلی است که شرایط مناسبی برای رشد موجودات کربناته و تجمع بایوکلست‌ها فراهم کرده است.

۵- رخساره MF5 (گرینستون بایوکلستی حاوی میلیولید و نئوروتالیا): تشکیل دهنده‌گان این رخساره دارای تنوع کمتری نسبت به رخساره قبلی هستند. اجزای اسکلتی آن از روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ شامل *miliolid* و *Neorotalia* با فراوانی ۳۰ تا ۳۵ درصد تشکیل می‌شود. این روزن‌داران کفزی به دلیل ساختار مقاوم خود در برابر فرسایش، در این رخساره به خوبی حفظ شده‌اند و در کنار آن‌ها خرده‌های صدف بی‌مهرگان نظیر دوکفه‌ای و خارپوست با فراوانی بیشتر مشاهده می‌شوند که در زمینه‌ای از سیمان اسپاری قرار دارند (شکل ۱-F). این ترکیب زیستی نشان‌دهنده شرایط محیطی با انرژی متوسط تا بالا است که در آن فرآیندهای رسوب‌گذاری فعال و غنی از اجزای کربناته بوده‌اند. رخساره MF5 به طور عمده دارای بافت گرینستون است، این ویژگی‌ها نشان‌دهنده یک محیط کم‌عمق با انرژی نسبتاً بالا و فرآیندهای رسوب‌گذاری فعال است. حضور اجزای اسکلتی این محیط‌ها شرایط مناسبی برای رشد و تجمع اجزای کربناته نظیر روزن‌داران و بی‌مهرگان را فراهم می‌کنند. این رخساره حد بین رمپ داخلی و میانی را در حاشیه پلتفورم کربناته مشخص می‌کند.

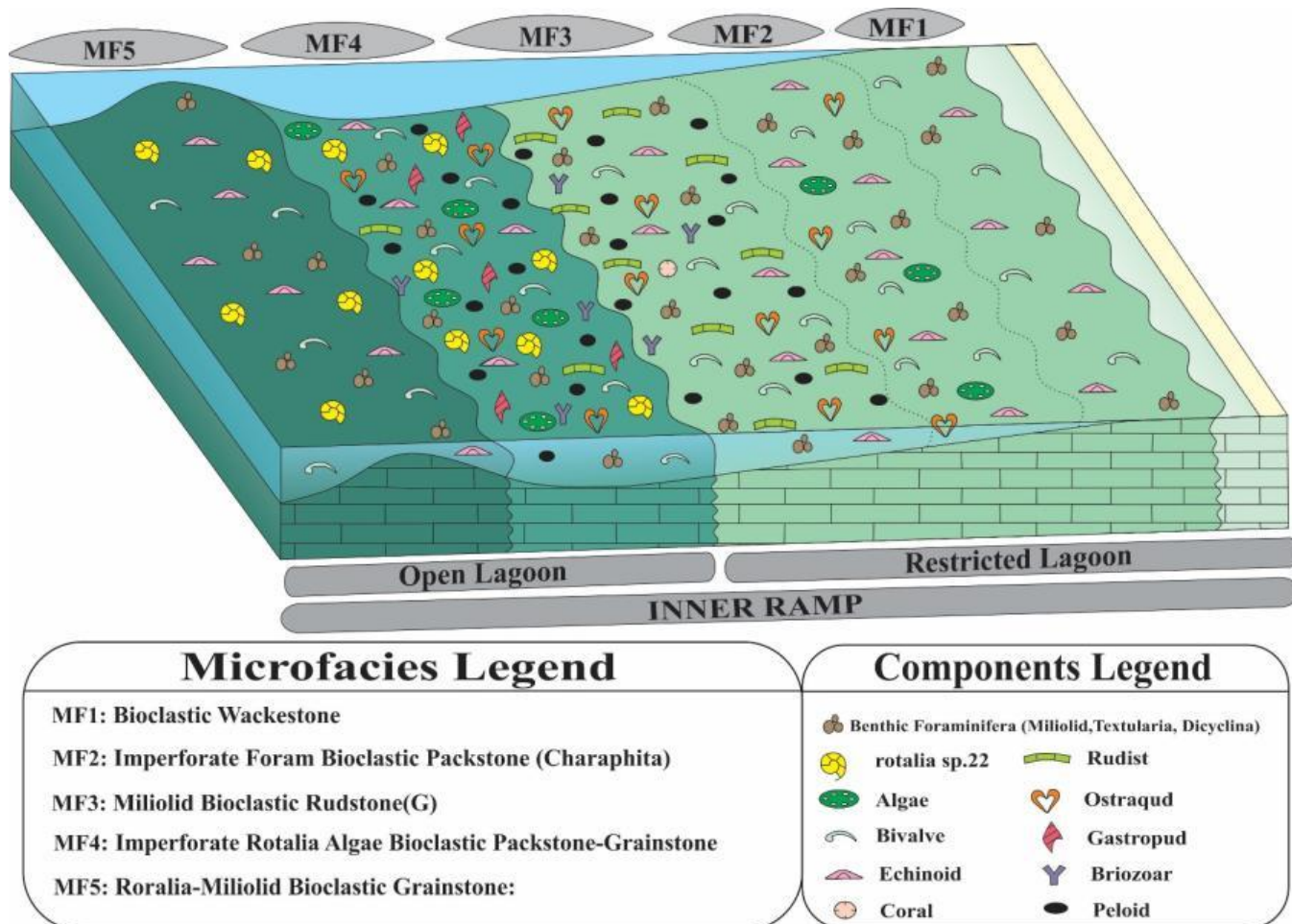
نتیجه‌گیری

محیط رسوبی

رخساره‌های حاوی اجزای اسکلتی نظیر روزن‌داران بدون منفذ مانند *Miliolid*، *Neorotalia* و *Textularia* همچنین بایوکلست‌هایی مانند دوکفه‌ای‌ها (*Bivalves*)، خارپوستان (*Echinoderms*) و جلبک‌ها (*Algae*) می‌باشند، نشان‌دهنده محیط‌های کم‌انرژی و کم‌عمق با فرآیندهای ته‌نشینی در بخش‌های داخلی رمپ یا لاگون‌ها هستند. حضور روزن‌داران بدون منفذ مانند *Miliolid* و *Neorotalia* به‌ویژه در نواحی کم‌انرژی و کم‌عمق، به وضوح نشان‌دهنده شرایط محیطی با جریان ضعیف و انرژی کم است، جایی که این موجودات در شرایط کم‌تحرك و با فرآیند رسوب‌گذاری آرام تکثیر و رشد می‌کنند. علاوه بر این، وجود دوکفه‌ای‌ها (*Bivalves*)، خارپوستان (*Echinoderms*) و جلبک‌ها (*Algae*) در این رخساره‌ها بر تنوع زیستی و شرایط زیستی مناسب در این محیط‌ها تأکید دارد. این موجودات به‌ویژه در نواحی کم‌عمق و کم‌انرژی زندگی می‌کنند، جایی که تجمع انواع بایوکلست‌ها امکان‌پذیر است (Flügel, 2010; Kummel, 1983). حضور دانه‌های پلوییدی در این رخساره‌ها نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیط‌های کم‌تحرك و بدون تأثیر جریان‌های قوی است. این دانه‌ها معمولاً در رسوبات گل‌آهکی ته‌نشین می‌شوند و شرایط نوری مناسب برای پهنه‌های لاگونی و رمپ‌های داخلی که محیط‌های مناسبی برای رشد و تکثیر جلبک‌ها و سایر بایوکلست‌های کربناته هستند، فراهم می‌کند (Müller, 1979). به‌طور کلی، این شرایط منجر به رسوب‌گذاری آرام و تجمع اجزای زیستی مختلف می‌شود، که در آن روزن‌داران، جلبک‌ها، دوکفه‌ای‌ها و خارپوستان به‌عنوان اجزای اصلی بایوکلستی نقش دارند. در نهایت، رخساره‌های رمپ داخلی (لاگون) به محیط‌های کم‌عمق، کم‌انرژی و کم‌تحرك در نواحی داخلی رمپ‌ها و لاگون‌ها تعلق دارند. ساختار دانه‌پشتیان (*grain-supported*) این رخساره به همراه سیمان‌های کلسیتی و میزان تخلخل پایین، حاکی از ته‌نشینی سریع ذرات زیستی است که پس از شکسته‌شدن توسط امواج و جریان‌ها، در نواحی رمپ میانی تجمع یافته‌اند. این محیط که در فاصله‌ای دورتر از خط ساحلی و بین مناطق کم‌عمق و رمپ بیرونی قرار دارد، تحت تأثیر جریان‌ها و طوفان‌ها و امواج دوره‌ای است. ویژگی‌های پتروگرافی مانند حضور قطعات زیستی درشت، سیمان‌های کلسیتی و بافت‌های متراکم بدون تخلخل اولیه قابل توجه، با رسوب‌گذاری در چنین محیطی سازگار هستند. شرایط رسوبی در این بخش از رمپ به دلیل جریان‌های آشفته و طوفان‌های فصلی، رسوبات بایوکلستی ضخیمی را ایجاد می‌کند که بیانگر یک محیط پراانرژی اما با ثبات نسبی در دوره‌های بین طوفان است. بررسی‌های رسوب‌شناسی و تحلیل توزیع عمودی و جانبی رخساره‌ها (شکل ۳) نشان می‌دهد که رخساره‌ها به‌طور تدریجی به یکدیگر تبدیل شده و هیچ دانه آگرگات، پیزوئید، آنکوئید و کورتئید که معمولاً در شلف‌های کربناته فراوان هستند، در این سازند یافت نمی‌شوند. این شواهد تأیید می‌کند که محیط رسوب‌گذاری بخشی از یک رمپ کربناته بوده است (Reading, 2009; Flügel, 2010). بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، سازند ایلام در قسمت‌های لاگونی یک پلت‌فرم کربناته از نوع رمپ نهشته شده است. (شکل ۲).



شکل ۱: تصاویر میکروسکوپی رخساره‌های رسوبی شناسایی شده در کرینات‌های سازند سروک در چاه شماره ۱ در اطراف گسل کازرون (XPL)، A: و کستون بایوکستی (عمق ۲۹۲ متری)؛ B: پکستون بایوکستی دارای روزن‌داران کف‌زی بدون منفذ (عمق ۲۰۲ متری)؛ C, D: رادستون بایوکستی حاوی میلیولید و رودیست (عمق ۱۸۲ متری)؛ E: پکستون - گرینستون بایوکستی حاوی جلبک و روتالیا و روزن‌داران کف‌زی بدون منفذ (عمق ۱۴۸ متری)؛ F: گرینستون بایوکستی حاوی میلیولید و نئوروتالیا (عمق ۲۰۰ متری).



شکل ۲: مدل شماتیکی از رمپ کربناته و موقعیت رخسارهای سازند ایلام بر روی آن، در چاه مورد مطالعه

نتیجه گیری

بر اساس مطالعات پتروگرافی انجام شده بر روی کربناته‌های سازند ایلام در چاه هدف، پنج رخساره رسوبی مختلف در این سنگ‌ها شناسایی شده است. تجزیه و تحلیل‌های رسوب‌شناسی و توزیع عمودی رخساره‌ها نشان می‌دهند که این کربنات‌ها در دو مجموعه رخساره‌ای لاگون محدود شده و لاگون باز در زیر رمپ داخلی نهشته شده‌اند.

منابع

- Embry, A. F., & Klovan, J. E. (1971). A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, NWT. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19(4), 730-781.
- Evans, J. P., et al. (2021). "Sedimentary Facies and Diagenesis: A New Perspective on Carbonate Systems." *Sedimentary Geology*, 410, 132-144.
- Flügel, E. (2004). *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation, and Application*. Springer-Verlag.
- Goudie, A., et al. (2022). "Sedimentary Processes and Depositional Systems in Modern Sedimentary Basins." *Sedimentology*, 69(7), 1852-1873.



-
5. Hart, B. S., & Lazarus, A. (2021). "Models of Sedimentology and Diagenesis in Shallow Marine Systems." *Geological Journal*, 56(5), 678-695.
 6. Leeder, M. R. (1999). *Sedimentology and Sedimentary Basins: From Turbulence to Tectonics*. Blackwell Science.