

## سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی واحد شیلی مخزن بنگستان با تأکید بر تعلق آن به سازند سروک در میدان نفتی لالی، فروافتادگی دزفول شمالی، زاگرس مرکزی

فاطمه سعدی‌راد<sup>۱\*</sup>، محبوبه حسینی‌برزی<sup>۲</sup>، عباس صادقی<sup>۳</sup> و محمدحسین آدابی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترا، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳ و ۴- استاد گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

نویسنده مسئول: f\_saadirad@sbu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۱ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۶

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

این مطالعه به سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی ۱۵ نمونه از واحد شیلی با ضخامت ۵ متر در فاصله ۴۵ متری از راس سازند سروک در مخزن بنگستان واقع در میدان نفتی لالی در راستای رفع ابهامات لیتواستراتیگرافی موجود در ارتباط با انتساب آن به زبانه‌ای از سازند سورگاه، می‌پردازد. پس از بررسی لاگ‌های پتروفیزیکی جهت تعیین موقعیت دقیق‌تر این واحد شیلی و نیز توصیف مغزه‌ها، پتروگرافی نمونه‌های برداشت شده توسط میکروسکوپ پلاریزان، انعکاسی، کاتدولومینسانس و الکترونی، نیز طی آنالیز پراش اشعه‌ایکس (کانی‌شناسی کل نمونه و کانی‌شناسی کانی‌های رسی) بررسی شد. بررسی مغزه‌ها حاکی از آن است که این واحد، از شیل‌های خاکستری پیریت‌دار تشکیل شده است. همچنین مطالعات پتروگرافی این واحد نمونه‌ها را مادستون‌های آرژیلی و مادستون عاری از فسیل نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نیمه کمی پراش اشعه‌ایکس (XRD) کانی‌شناسی این نهشته‌ها عمدتاً انواع کانی رسی، کلسیت، کوارتز و پیریت می‌باشد. نتایج این مطالعه، فراوانی متوسط کانی‌های رسی در نمونه‌های مورد نظر را ۵۶٪ نشان می‌دهد که در این میان رس‌های مخلوط لایه ایلیت/اسمکتیت بیش‌ترین مقدار را داشته و ایلیت و کایولینیت با فراوانی نسبی کمتر حضور دارند. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) کانی‌های رسی را غالباً با منشا تخریبی نشان می‌دهد. به دلیل فقدان فسیل، سن این واحد بر اساس موقعیت چینه‌شناسی آن که توسط رسوبات سنومانین سازند سروک محصور شده است، سنومانین تعیین گردید که با سن سازند سورگاه (تورونین- سانتونین پیشین) کاملاً متفاوت است. با توجه به عدم وجود ارگانسیم‌های مربوط به مناطق عمیق دریا در این واحد و همچنین، شناسایی ریزرخساره‌های کربناته لاگون و سد کربناته در لایه‌های محدود کننده آن، محیط آرام و احیایی لاگونی به این واحد منتسب می‌گردد که شباهتی به محیط دریایی عمیق سازند سورگاه ندارد. متداول‌ترین فرایندهای دیاژنزی در این واحد (سیمانی شدن، جانیشینی، تراکم شیمیایی و شکستگی) معرف تحمل محیط‌های نزدیک سطح تا تدفینی می‌باشند. با توجه به نتایج بدست آمده در بالا، این واحد شیلی با محیط رسوبی کم عمق، ضخامت کم، محتوی بالای کانی‌های رسی تخریبی و قرارگیری آن‌ها در فاصله ۴۵ متری زیر مرز سازندهای سروک و ایلام، به سازند سروک تعلق داشته و با شیل‌های دریایی عمیق سازند سورگاه قابل مقایسه نیست.

**واژگان کلیدی:** واحد شیلی، مخزن بنگستان، سازند سروک، سنومانین، سازند سورگاه، فروافتادگی دزفول شمالی

### پیشگفتار

بوده و بواسطه پیک‌های قابل ملاحظه در لاگ گاما به راحتی قابل تفکیک است. در مطالعات قبلی (سوهانی، ۱۳۶۲؛ محمودی، ۱۳۹۱ و عباسی، ۱۳۹۵) در میداین مجاور میدان لالی به دلیل نبود مشاهده فسیل شاخص و محدودیت‌هایی از جمله نبود مغزه کامل حفاری، عدم وجود برش‌نازک میکروسکوپی، از لحاظ میکروپالئونتولوژی سنی برای این واحد تعیین نشده است و در طی سالیان متمادی به عنوان زبانه‌ای از سازند سورگاه معرفی شده

در فروافتادگی دزفول شمالی، در میداینی مانند کارون، زیلویی و لالی واحدی شیلی با ضخامتی کم و متغیر مشاهده شده است که در میدان لالی این ضخامت به طور متوسط به حدود ۱۵ متر می‌رسد. این نهشته‌ها در چاه شماره ۲۰ از میدان لالی با ضخامت ۵ متر در داخل سازند سروک و در ۴۵ مانده به قاعده سازند ایلام قرار گرفته و عمدتاً شامل شیل‌های سبز تا خاکستری تیره پیریت‌دار

جنوبی به صورت بلوکی هورست مانند توسط دو میدان کارون در شمال و میدان زیلویی در جنوب (شکل ۱) احاطه می‌گردد (پورقاسم، ۱۳۸۷). در مطالعات قبلی صورت گرفته در این میدان، مخزن بنگستان را شامل سازندهای ایلام، واحد شیلی معادل سورگاه و سازند سروک گزارش نموده‌اند (عباسی، ۱۳۹۵) که سازند ایلام در این موقعیت با ضخامت متوسط ۱۰۲ متری در بردارنده سنگ‌آهک‌های ریز دانه و میان لایه‌هایی از مارن و شیل می‌باشد. حداکثر ضخامت سازند سروک در میدان لالی برابر با ۷۴۶ متر می‌باشد که عمدتاً از سنگ‌آهک، آهک دولومیتی، آهک شیلی و مقدار اندکی شیل تشکیل شده است.

بر مبنای بایواستراتیگرافی فرامینیفرها در چاه شماره ۲۰ میدان نفتی لالی و تعیین بایوزون *Rotalia sp.22 - algae assemblage zone* سنی معادل با سانتونین برای سازند ایلام در نظر گرفته شد. سن پیشنهادی برای سازند سروک در این چاه بر مبنای زون‌های زیستی - *Nezzazatinella* و *Dicyclina assemblage zone* و *Alveolinids assemblage* (بایوزون‌های ۲۵ و ۲۹) سنومانین تا تورونین زیرین پیشنهاد شده است (عباسی، ۱۳۹۵). سازند سورگاه به سن تورونین تا سانتونین پیشین با سنگ‌شناسی غالب شیل، شیل مارنی، و میان لایه‌های آهک شیلی عمیق دریایی به تدریج از سمت لرستان و ایلام به سوی خوزستان کاهش ضخامت می‌یابد (مطیعی، ۱۳۷۲؛ حدادی و همکاران، ۱۳۹۸؛ منجزی و همکاران، ۱۳۸۵) بطوریکه در تاق‌دیس کمستان (زون ایزه) به ضخامتی برابر با ۱۰ متر می‌رسد (قلاوند، ۱۳۸۸). این سازند در فارس ناپدید گشته و تاکنون گزارش نشده است (رازیانی و صادقی، ۱۳۹۱؛ صادقی و رازیانی، ۱۳۹۳).

### روش پژوهش

با استفاده از لاگ‌های پتروفیزیکی گاما، نوترون و مقاومت الکتریکی، این واحد در میدان لالی به دقت شناسایی و تفکیک گردید. پس از بررسی‌های مقدماتی اولیه، چاه شماره ۲۰ میدان لالی حائز مغزه در محدوده واحد شیلی، در راستای انجام این پژوهش انتخاب گردید. طی مطالعه و توصیف مغزه‌ها، تعداد ۱۵ عدد نمونه برداشت شد. در گام بعدی از نمونه‌های مناسب ۱۱ برش‌نازک شامل ۶ نمونه از کربناته‌های محصور کننده و ۵ نمونه از بخش شیلی تهیه و بر روی آن‌ها مطالعات پتروگرافی توسط میکروسکوپ

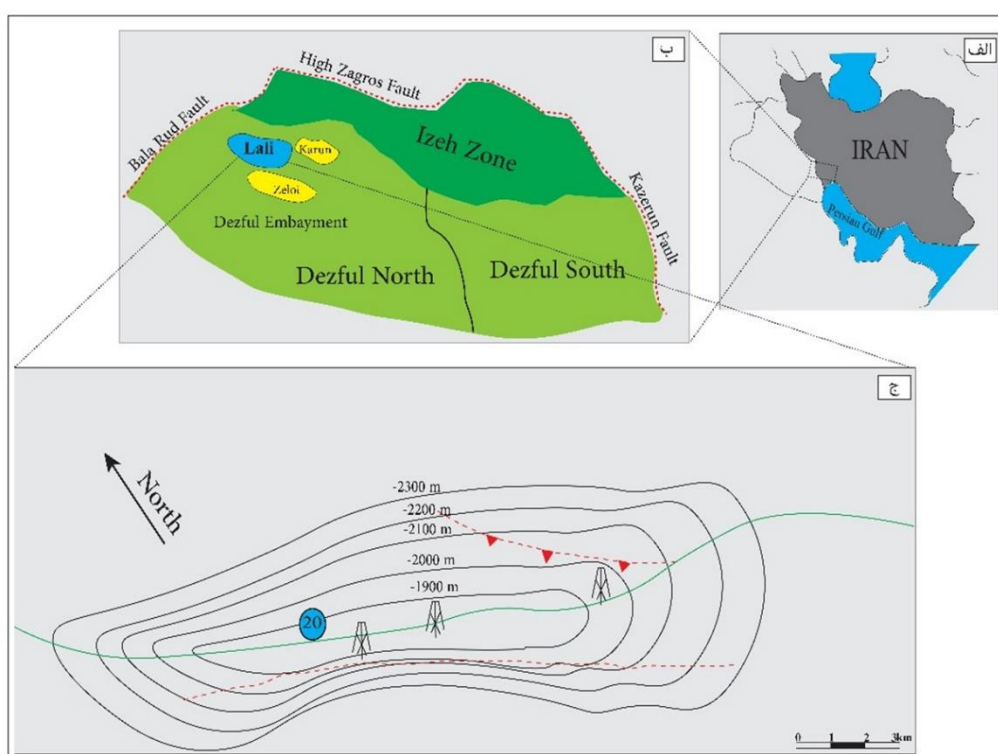
است. این مطالعه در جهت رفع ابهامات در ارتباط با انتساب این واحد به سازند سورگاه انجام گردید. در این پژوهش برای اولین بار بر اساس بررسی لاگ‌های پتروفیزیکی، توصیف مغزه، پتروگرافی میکروسکوپ نوری، بررسی کانی‌شناسی کل نمونه و کانی‌شناسی کانی‌های رسی بعنوان روشی قابل اعتماد جهت بازسازی محیط نهشتی و شرایط بالادست رسوبات این واحد شیلی مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که نوع و نحوه توزیع کانی‌های رسی بر روی خصوصیات مخزنی تاثیر مستقیم داشته از این رو شناسایی نوع، حجم و گستردگی این کانی‌ها در مطالعات پتروفیزیکی مخزن بنگستان از اهمیت چشمگیری برخوردار می‌باشد.

### زمین‌شناسی منطقه

سازند کربناته سروک به سن آلبین پسین تا تورونین میانی در نواحی جنوب باختر ایران و خلیج فارس نهشته شده و همراه با سازند کربناته ایلام مخزن بنگستان را بعنوان دومین مخزن نفتی بزرگ در ایران تشکیل می‌دهند. از ویژگی‌های بارز رسوبات کرتاسه در زاگرس عدم تشابه رخساره سنگی در زون‌های ساختاری مختلف، وقوع فازهای کوهزایی و حضور سطوح ناپیوستگی-فرسایشی متعدد در این توالی‌ها می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۲؛ آقائاتی، ۱۳۸۳). لازم به ذکر است ته‌نشست سازند سروک همزمان با ناآرامی‌های زمین‌ساختی ناشی از رخداد ساب‌هرسی‌نین (در اواخر سنومانین) به وقوع پیوسته است. وجود یک سطح فرسایشی متأثر از حرکات محلی دی‌پایرسم نمک و حرکات گسل‌های پی سنگی (احتمالاً مرتبط با فاز ساب‌هرسی‌نین) در این سازند، در سایر مناطق همجوار مانند فارس، دشت آبادان و همچنین فروافتادگی دزفول گزارش شده است (حاجی‌کاظمی و همکاران، ۲۰۱۲؛ رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۳؛ اسعدی و همکاران، ۲۰۱۸). میدان لالی با ابعادی به طول ۲۴ کیلومتر و عرض ۶ کیلومتر با روند عمومی زاگرس (شمال‌باختر- جنوب خاور) در ناحیه فروافتادگی دزفول شمالی و در حدود ۱۴۰ کیلومتری شمال خاوری اهواز، ۴۰ کیلومتری شمال باختری مسجد سلیمان و شمال باختر لالی در دامنه زمین خمش جبهه کوهستانی زاگرس واقع گردیده است. تاق‌دیس نامتقارن و کشیده لالی دارای محوری قوسی شکل بوده و توسط گسل‌های معکوس در یال‌های شمالی و

حرارت دیده در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد مورد اندازه‌گیری مجدد واقع شدند. قابل ذکر است که این آنالیز توسط دستگاه Philips PW1830 واقع در دانشگاه KU Leuven در کشور بلژیک صورت پذیرفت. سپس، نمونه‌هایی که بر اساس نتایج پراش اشعه ایکس، دارای تنوع کانی‌شناسی بیش‌تری بودند، توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) مدل SU 1500 هیتاچی ساخت ژاپن واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید بهشتی به منظور شناسایی منشا تخریبی و یا درجا بودن کانی‌های رسی استفاده گردید.

پلاریزان و انعکاسی در دانشگاه شهید بهشتی و دستگاه کاتدولومینسانس در دانشگاه KU Leuven در کشور بلژیک، انجام شد. جهت نام‌گذاری این نمونه‌ها از طبقه‌بندی فولک (۱۹۸۰) استفاده گردید. به منظور شناسایی نوع و الگوی توزیع کانی‌ها در این واحد شیلی، ۱۳ نمونه بطوریکه تمام این ضخامت را پوشش دهند با روش طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (Bulk XRD) تحت آنالیز کانی‌شناسی قرار گرفتند. پس از ارزیابی نتایج حاصله و جهت تعیین الگوی توزیع کانی‌های رسی به سه روش خشک شدن عادی (نرمال)، اشباع از بخار اتیلن گلیکول و



شکل ۱. الف و ب- نقشه موقعیت ساختاری فروافتادگی دزفول و میدان نفتی لالی و ج- موقعیت میدان و چاه مورد مطالعه (شماره ۲۰) در این فروافتادگی (اقتباس از شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب)

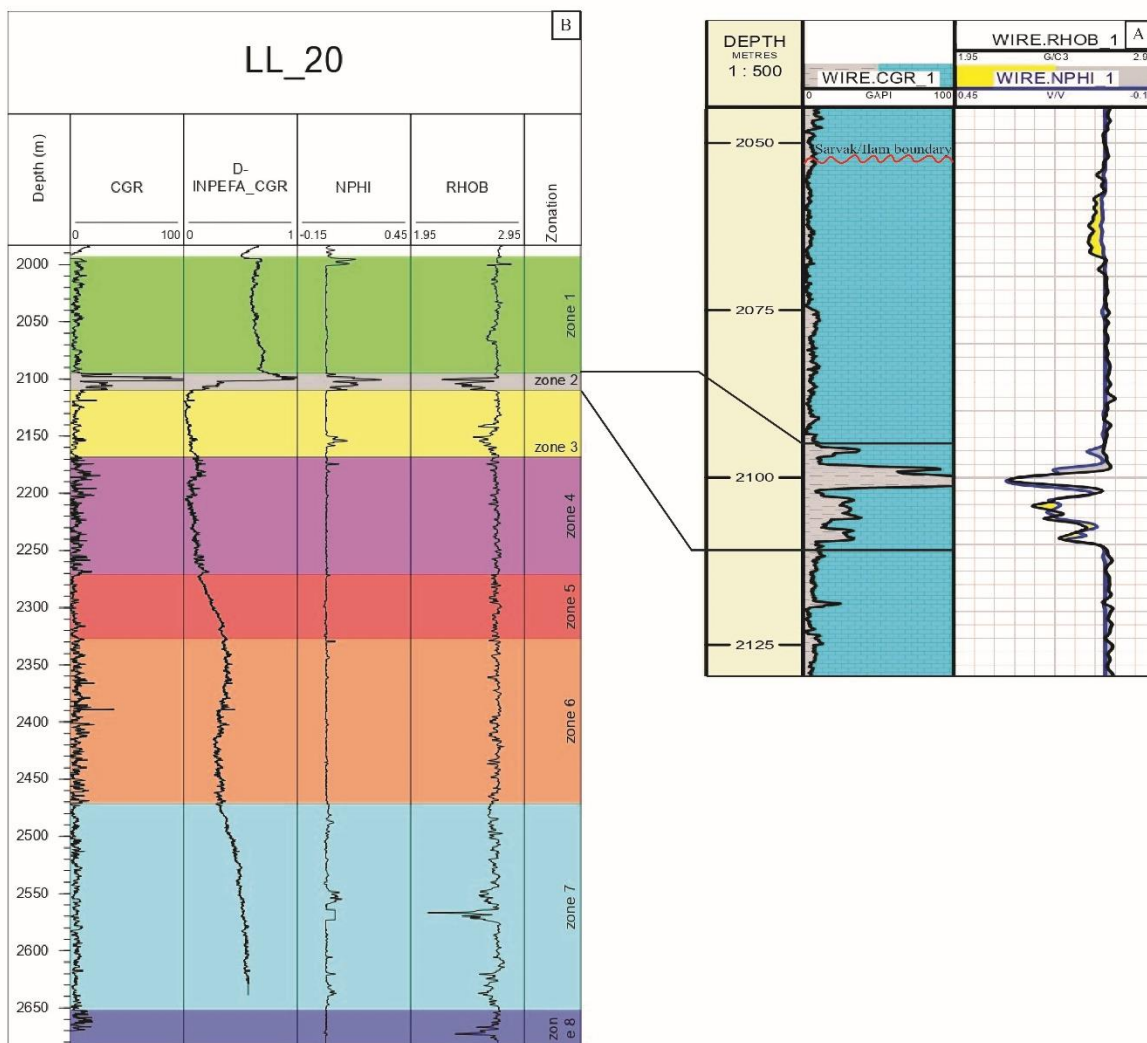
### ریزرخساره‌ها

سروک قرار گرفته‌اند (محمودی، ۱۳۹۱). واحد شیلی مورد نظر در زون‌بندی مخزن بنگستان در میدان نفتی لالی تمامی زون مخزنی ۲ را شامل می‌شود (شکل ۲ B). این واحد شیلی بر مبنای توصیف مغزه عمدتاً از شیل‌های خاکستری تیره پیریت‌دار و میان لایه‌های کربناته تشکیل شده است (شکل ۲ C). بر اساس مطالعات پتروگرافی اجزای تشکیل دهنده لایه‌های کربناته بالای واحد شیلی، شامل گل آهکی، سیمان کلسیتی، اجزای فسیلی مانند فرامینیفرهای بنتیک از جمله روتالیدا، میلیولید،

بررسی لاگ‌های گاما و نوترون چاه ۲۰ میدان لالی و روند افزایشی آن‌ها نشان‌دهنده حضور یک بخش ریزدانه و متخلخل در نزدیکی راس سازند سروک می‌باشد (شکل ۲). که بر این اساس، پیک‌های شدید بر روی لاگ گاما این بخش شیلی را بخوبی از کربنات‌های مجاور جدا می‌سازد. بر مبنای خصوصیات سنگ‌شناسی و پارامترهای مخزنی، مخزن بنگستان در این میدان به ۸ زون تقسیم شده که زون ۱ شامل تمامی سازند ایلام و زون‌های ۲ تا ۸ در سازند

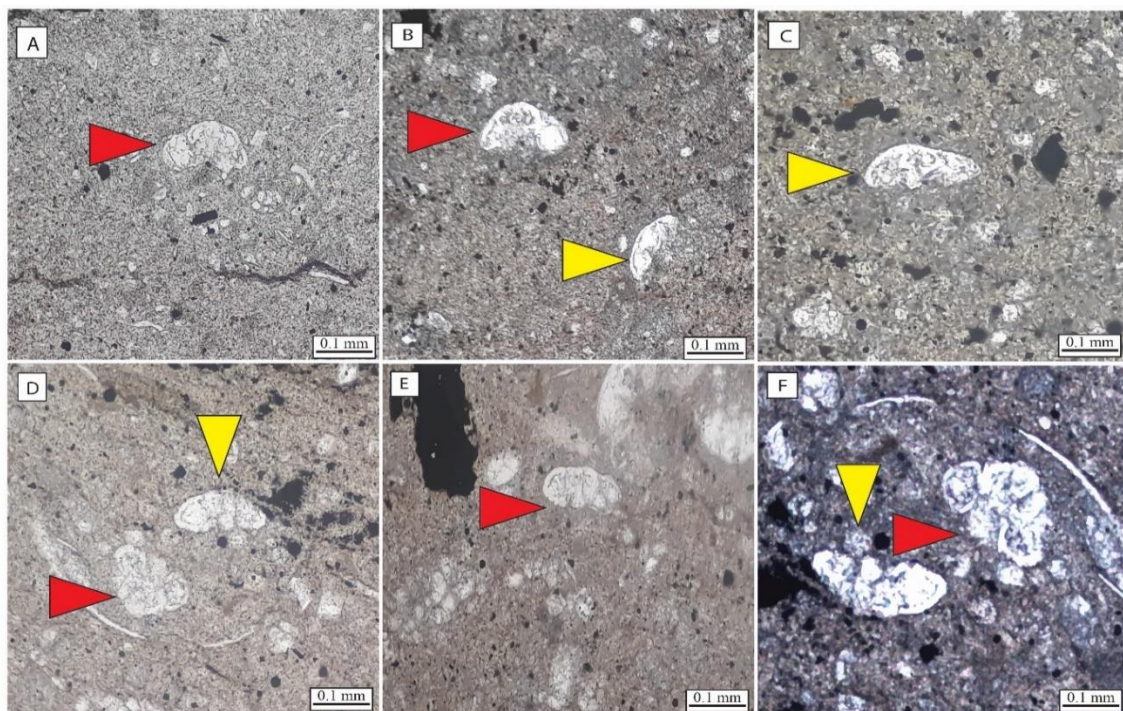
شیل‌ها، فرامینیفراهای بنتیک پلوییدی شده، سیمان‌های کلسیتی همراه با سیلیسی هستند. مطالعه رخساره‌ای این نهشته‌ها، حاکی از وجود ریزرخساره کربناته و کستون-پکستون حاوی بنتیک فرامینیفر در بالای واحد شیلی، (شکل ۴. A, B) رخساره گل‌سنگ<sup>۱</sup> عاری از فسیل (شکل ۴. B, C) مرتبط با واحد شیلی و ریزرخساره کربناته بنتیک فرامینیفر گریستون در زیر نهشته‌های مورد نظر می‌باشد (شکل ۴. F).

تکستولاریا، استراکد هستند. برای تعیین سن این نهشته‌های کربناتی از گونه‌های شناسایی شده جنس روتالیدا مانند *Rotorbinella mesogeensis* و *boixa* *Pararotalia* با انتشار چینه‌شناسی سنومانین و جوان‌تر از آن استفاده گردید (شکل ۳). در واحد شیلی مورد نظر و فور پیریت‌های شکل‌دار و بی‌شکل و نیز دولومیت‌های ریزدانه ثانویه همراه با ذرات کوارتزی در اندازه سیلت قابل توجه می‌باشد. عناصر تشکیل دهنده لایه‌های کربنات زیر این

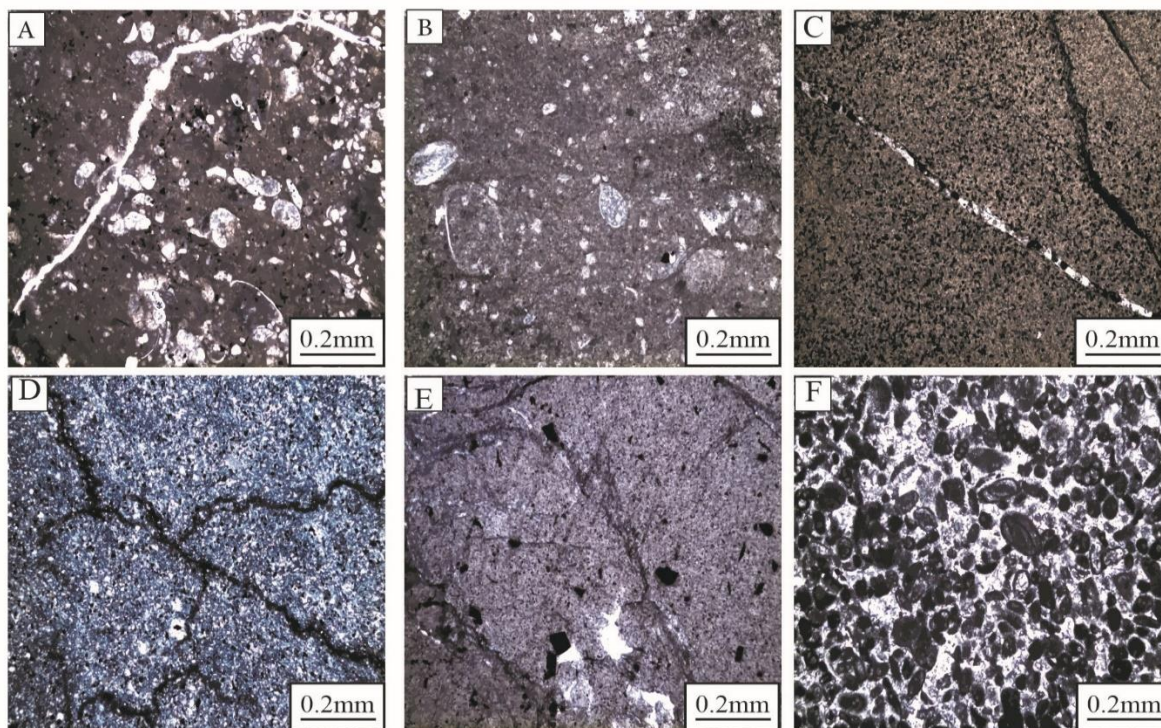


شکل ۲. A) ستون سنگ‌شناسی چاه ۲۰-میدان لالی در محدوده حاوی این زبانه شیلی و B) زون‌بندی مخزن بنگستان این چاه بر اساس نمودارهای پتروفیزیکی و C) تصویری از مغزه تهیه شده از واحد شیلی در چاه شماره ۲۰- میدان لالی

<sup>۱</sup> Mud rock



شکل ۳. گونه‌های روتالیدا به سن سنومائین در لایه‌های آهکی سازند سروک که بلافاصله بر روی واحد شیلی در میدان نفتی لالی قرار گرفته است. (A) فرامینیفر *Rotorbinella mesogeensis* (فلش قرمز رنگ) عمق ۲۱۰۰ متری. (B) روتالیدا *Pararotalia boixa* (فلش زرد رنگ) و *Rotorbinella mesogeensis* (فلش قرمز رنگ) عمق ۲۱۰۰ متری. (C) روتالیدا *Pararotalia boixa* (فلش زرد رنگ) عمق ۲۱۰۰.۵ متری. (D) *Rotorbinella mesogeensis* (فلش قرمز رنگ) عمق ۲۱۰۰.۵ متری. (E) *Rotorbinella mesogeensis* (فلش قرمز رنگ) عمق ۲۱۰۱ متری. (F) روتالیدا *Pararotalia boixa* (فلش زرد رنگ) و *Rotorbinella mesogeensis* (فلش قرمز رنگ) عمق ۲۱۰۱ متری.



شکل ۴. ریز رخساره‌های میکروسکوپی شناسایی شده در میدان نفتی لالی. (A) پکستون-وکستون حاوی بنتیک فرامینیفر عمق ۲۱۰۰ متری، (B) وکستون استراکدار عمق ۲۱۰۰.۵ متری، (C، D و E) تصاویری از گل سنگ با مقادیر متغیری محتوای کربناته، سیلیسی آواری و پیریت اعماق ۲۱۰۲، ۲۱۰۲، ۲۱۰۳ متری (F) بنتیک فرامینیفر گرینستون حاوی سیمان متئوریک عمق ۲۱۰۷ متری

## انواع فرایندهای دیاژنزی در واحد شیلی

در مطالعات پتروگرافی برش‌های نازک توالی شیلی فرآیندهای دیاژنزی زیر شناسایی شده است.

**سیمانی شدن<sup>۱</sup>:** از سیمان‌های مشاهده شده در این توالی می‌توان به ته‌نشست کلسیت در شکستگی‌ها به صورت هم‌بعد و دروزی اشاره کرد (شکل ۵ A, B). علاوه بر این، سیمان‌های سیلیسی از نوع کلسدونی و چرت از دیگر سیمان‌های تشکیل شده در برخی حفرات هستند (شکل ۶ C). در برخی موارد پیریت‌های دیاژنتیکی نیز بعنوان سیمان در تعدادی از شکستگی‌ها قابل رویت هستند.

**جانشینگی:** این فرایند به صورت سه پدیده دولومیتی شدن، پیریتی شدن و سیلیسی شدن مشاهده گردید.

**دولومیتی شدن<sup>۲</sup>:** بلورهای پراکنده دولومیت به صورت لوزی شکل ترجیحاً جانشین زمینه گلی و بصورت انتخاب کننده فابریک یکی از انواع فرایندهای جانشینگی در این واحد شیلی هستند. این دولومیت‌ها عمدتاً دارای مرکز ابری و حواشی روشن با خاموشی موجی هستند که در بررسی توسط میکروسکوپ کاتدولومینسانس دارای لومینسانس روشن مشخص می‌گردند (شکل ۵ D, E). این دولومیت‌ها بر اساس نتایج XRD دارای آهن و از نوع آنکریت می‌باشند.

**پیریتی شدن<sup>۳</sup>:** یکی از فرایندهای دیاژنزی است که تقریباً تمام نمونه‌ها را تحت تاثیر قرار داده است. این فرایند به صورت نودول، شکل‌دار مکعبی، فرومبوییدال و بی‌شکل در زمینه، حفرات و شکستگی‌ها دیده می‌شود. (شکل ۵ F, G) این کانی به دلیل اوپاک بودن به راحتی توسط نور انعکاسی و رنگ طلایی قابل شناسایی می‌باشد.

**سیلیسی شدن<sup>۴</sup>:** در قاعده این واحد شیلی، سیلیسی شدن به صورت کلسدونی و چرتی شدن قابل ملاحظه می‌باشد که با توجه به عدم وجود میکروارگانیسم‌ها با پوسته سیلیسی این پدیده را می‌توان به آزاد شدن سیلیس طی فرایند تبدیل اسمکتیت به ایلیت نسبت داد (صابری و همکاران، ۱۳۹۹). این پدیده می‌تواند در محیط‌های دیاژنتیکی نزدیک به سطح و همچنین محیط‌های عمیق‌تر دما بالا، در ارتباط با مهاجرت هیدروکربن و احیای سولفات باکتریایی رخ دهد (اسکوله و اسکوله، ۲۰۰۶).

استیلولیتی شدن<sup>۵</sup>: از پدیده‌های مرتبط با تراکم شیمیایی، گسترش استیلولیت‌های چند شاخه هستند که توسط مواد هیدروکربنی و کانی‌های رسی پر شده‌اند (شکل ۵ F). شکستگی<sup>۶</sup>: از دیگر پدیده‌های دیاژنزی مشاهده شده در این توالی شکستگی‌ها هستند و حداقل ۲ نسل در آن‌ها قابل شناسایی است که در ابعاد مختلفی تشکیل شده‌اند. عموماً شکستگی‌های نسل اول توسط نسل دوم قطع شده و توسط ته‌نشست سیمان‌های کلسیتی رگه‌ی و یا پیریت پر شده‌اند (شکل ۵ H, I).

## تفسیر توالی پاراژنتیکی و تاریخچه دیاژنتیکی واحد شیلی

توالی پاراژنتیکی در این واحد شیلی با توجه به فرایندهایی دیاژنزی شناسایی شده، محیط دیاژنزی دریایی، متیوریک و عمدتاً تدفینی را مشخص می‌نماید (شکل ۶). از فرایندهای انجام شده در محیط دریایی پیریت‌های درج‌ازا به شکل فرومبوییدال می‌باشند. پیریت‌های فرومبوییدال اغلب اتوژنتیک بوده و در محیط‌های احیایی و یا در ارتباط با تجزیه مواد آلی شکل می‌گیرند این نوع از پیریت‌ها همزمان با رسوبگذاری و یا کمی بعد از آن تشکیل می‌شوند (اولمرشول و همکاران، ۲۰۱۵). بلورهای مکعبی پیریت عمدتاً منشا جانشینگی داشته و به واسطه بلورهای شکل‌دار تشکیل شده در ماتریکس شناسایی شدند. از فرایندهای دیاژنزی منسوب به محیط نزدیک سطح، سیمان‌های کلسیتی هم‌بعد و دروزی، دولومیت‌های جانشینگی از نوع آهن‌دار، سیلیسی شدن می‌باشند. شکستگی‌ها و استیلولیتی شدن از مهم‌ترین عوارض دیاژنزی تدفینی می‌باشند. بر اساس این توالی بیش‌تر فرآیندهای دیاژنزی شناسایی شده این واحد طی مرحله مزوژنتیکی رخ داده‌اند.

## مطالعه پراش اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی (SEM)

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نیمه کمی پراش اشعه ایکس کل نمونه (Bulk XRD) که در جدول ۱ آورده شده است این شیل‌ها عمدتاً به ترتیب فراوانی شامل کانی‌های رسی، کلسیت، کوارتز، پیریت، و با مقادیر کمتر آنکریت، مارکاسیت و آاناتاز می‌باشند (شکل ۷). فراوانی نسبی

<sup>4</sup> Silicification

<sup>5</sup> Stylolitization

<sup>6</sup> Fracturing

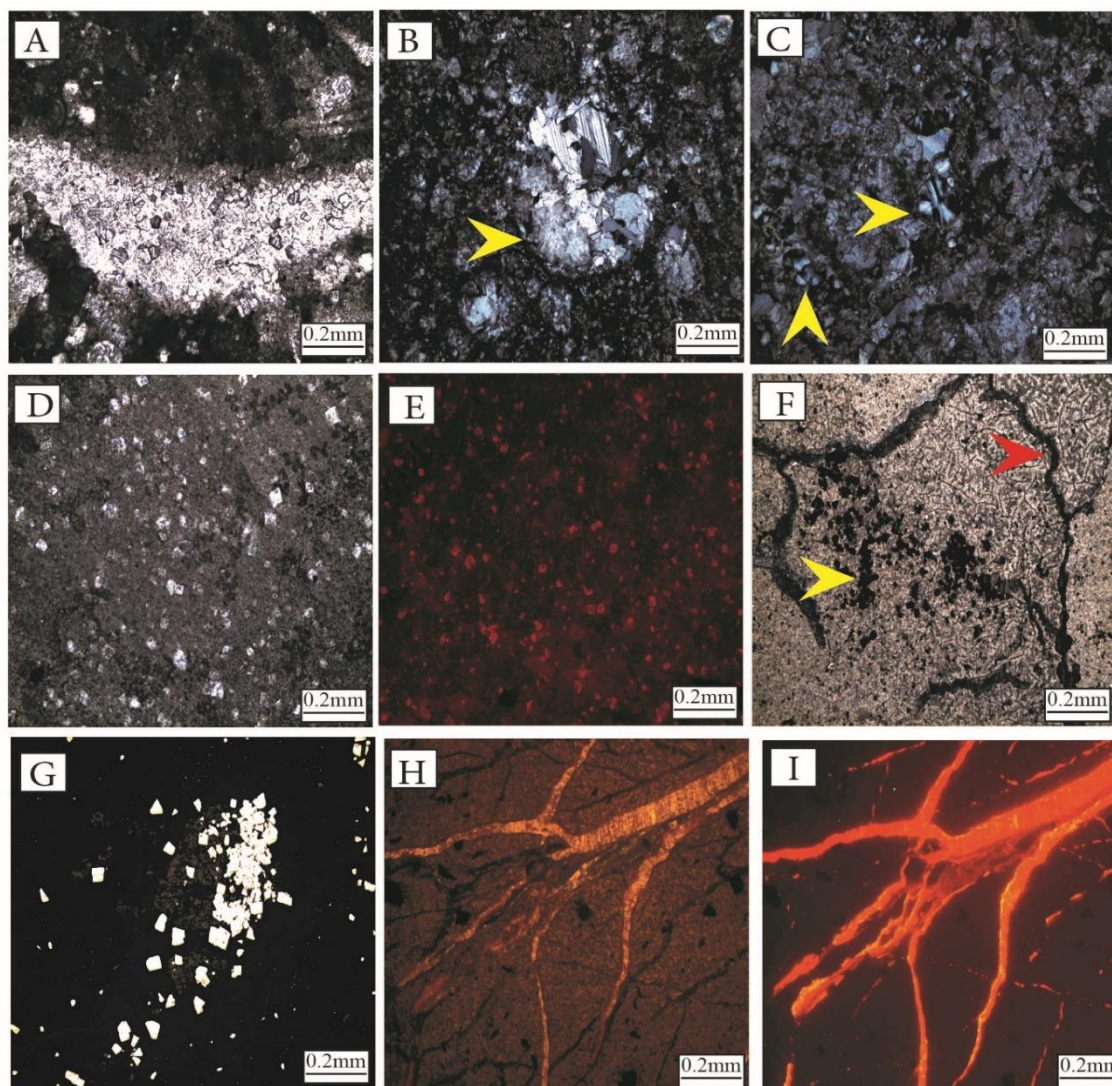
<sup>1</sup> Cementation

<sup>2</sup> Dolomitization

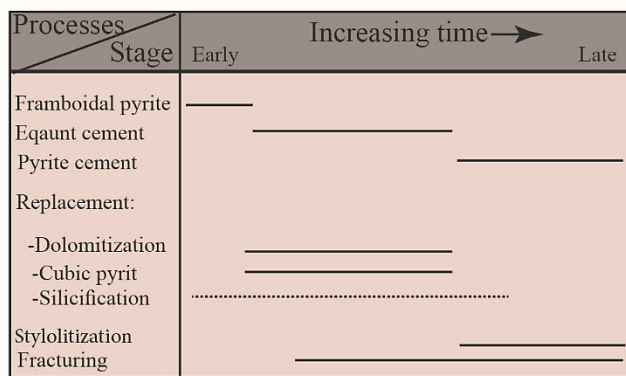
<sup>3</sup> Pyritization

پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۵) اغلب از نوع مارن و مارن رسی (جدول ۲) و در تقسیم‌بندی وانگ و کار (۲۰۱۳) مادستون آرژیلی و مادستون هستند (شکل ۸).  
 نتایج آنالیز نیمه کمی پراش اشعه ایکس کانی‌های رسی حاکی از وجود رس‌های لایه مخلوط لایه ایلیت/اسمکتیت (۹۷.۶ - ۳۰.۹٪ با میانگین ۰.۹۶٪) ایلیت (۱٪ تا ۹.۵٪ با میانگین ۱۲.۸٪) و کایولینیت (۰.۲٪ تا ۷۰.۹٪ و میانگین ۱۱.۷۵٪) است. در شکل ۹ روند تغییرات این نوع سه کانی رسی در این واحد شیلی نمایش داده شده است.

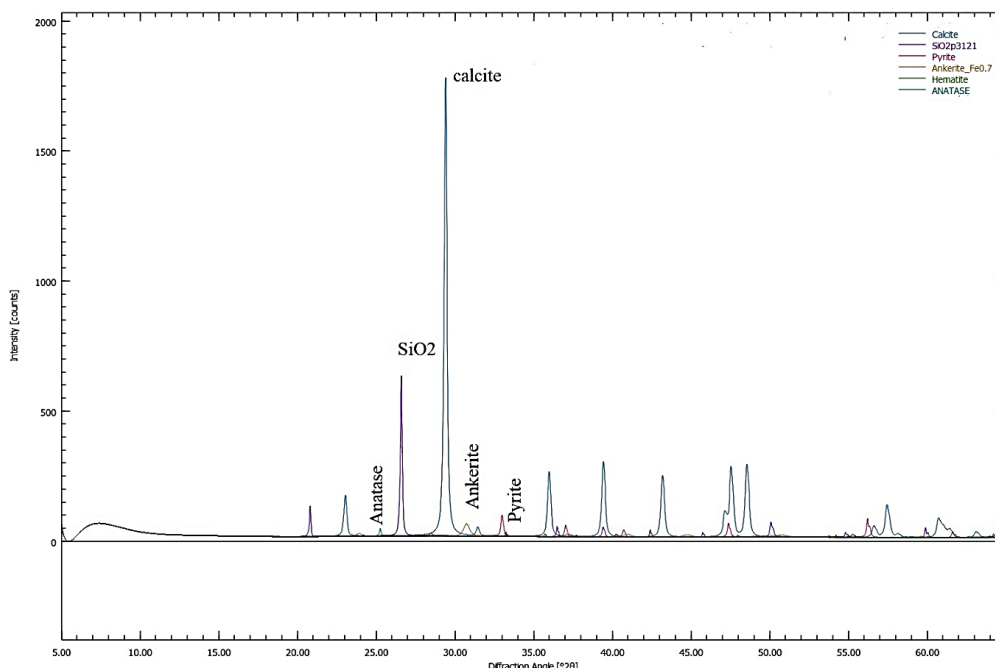
کانی‌های رسی از ۷۸٪ تا ۲۵٪ متغیر بوده و از میانگین ۵۶/۴۶٪ برخوردار هستند. کلسیت در این آنالیزها ۶۳٪ تا ۲٪ فراوانی نسبی داشته و دارای میانگین ۲۳/۸۵٪ می‌باشد. این در حالیکه این مقادیر برای فراوانی کوارتز نمونه‌ها در محدوده ۲۲٪ تا ۸٪ با متوسط میانگین ۱۲/۹۲٪ است. همچنین فراوانی نسبی پیریت در این شیل‌ها از ۲ تا ۵٪ متغیر بوده که مقدار متوسط آن ۲/۹۲٪ می‌باشد. علاوه بر این، آنکريت، مارکاسیت و آاناتاز از دیگر اجزای شناسایی شده با میزان محدود در این نمونه‌ها هستند. مطالعه نمونه‌های مورد نظر بر اساس تقسیم‌بندی



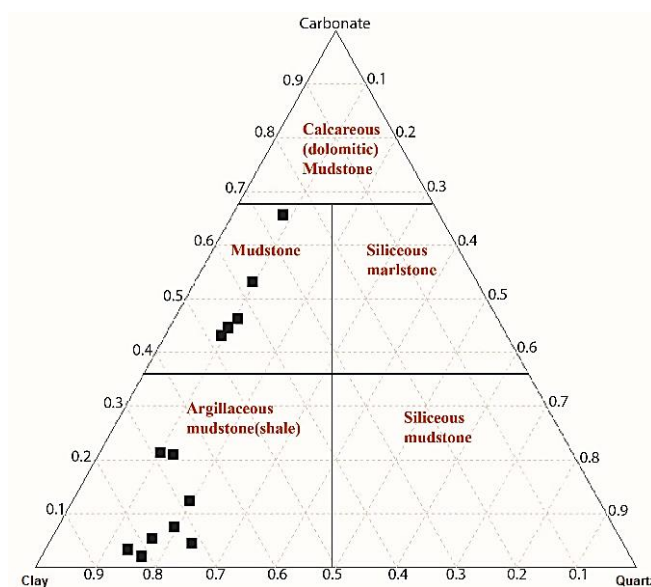
شکل ۵. فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در واحد شیلی میدان نفتی لالی در نور پلاریزه. (A) تصویری از سیمان کلسیتی هم‌بعد درون کانال انحلالی عمق ۲۱۰۰ متری. (B) سیمان دروزی درون یک حفره که اندازه بلورها در بخش مرکزی افزایش می‌یابد عمق ۲۱۰۴ متری. (C) سیمان کلسدونی (فلش زرد رنگ) و سیلیسی شدن بصورت ریز بلورهای چرت عمق ۲۱۰۴ متری. (D و E) دولومیت‌های یوهدرال لوزی شکل در زمینه گلی و E نمایی از آن‌ها در زیر میکروسکوپ کاتدولومینسانس که بلورها دارای لومینسانس روشن هستند عمق ۲۱۰۵ متری. (F) پیریت‌های ریز دانه از نوع فرمبوییدال (فلش زرد رنگ) و استیلولیت‌های پر شده با مواد هیدروکربنی (فلش قرمز رنگ) عمق ۲۱۰۲/۵ متری (G) تصویری از پیریت‌های کوبیک در نور انعکاسی عمق ۲۱۰۶ متری. (H, I) تصویری از شگستگی‌های منشعب در نور پلاریزه و کاتدولومینسانس که توسط سیمان کلسیت رگه‌ای با منشا متیوریک پر شده‌اند عمق ۲۱۰۱/۵ متری.



شکل ۶. تاریخچه دیاژنتیکی واحد شیلی چاه مورد مطالعه و زمان نسبی پدیده‌های رخ داده در آن



شکل ۷. طیف پراش پرتو ایکس کلی (Bulk XRD) یکی از نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۸. پلات سه‌گانه و طبقه‌بندی رخساره سنگی واحد شیلی در سازند سروک اقتباس از وانگ و کار (۲۰۱۳)

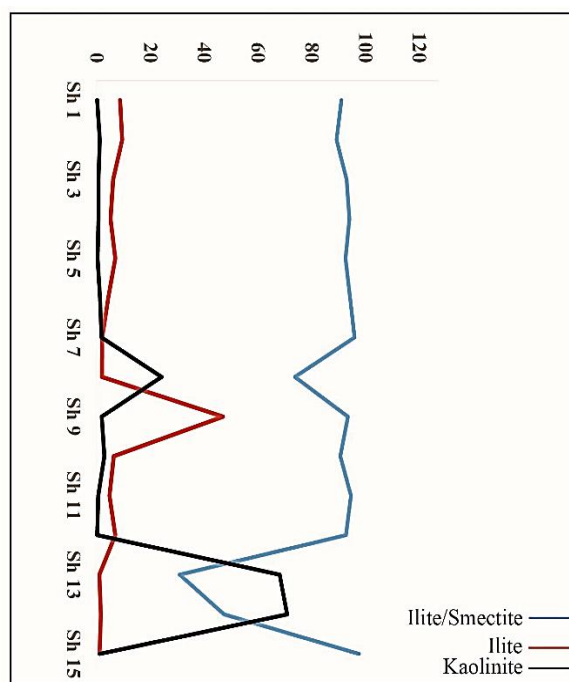


جدول ۱. ترکیب کانی‌شناسی (بر حسب درصد) نمونه‌های افق شیلی در سازند سروک به همراه نام‌گذاری آن‌ها پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۵)

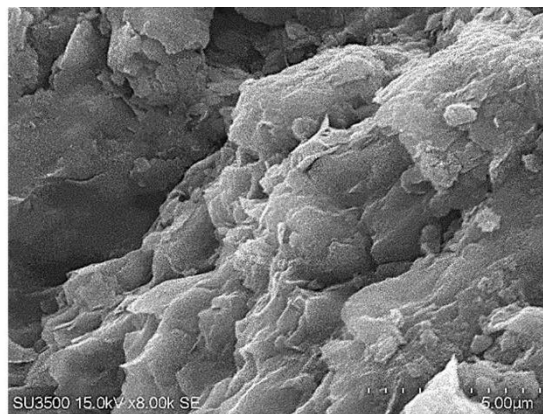
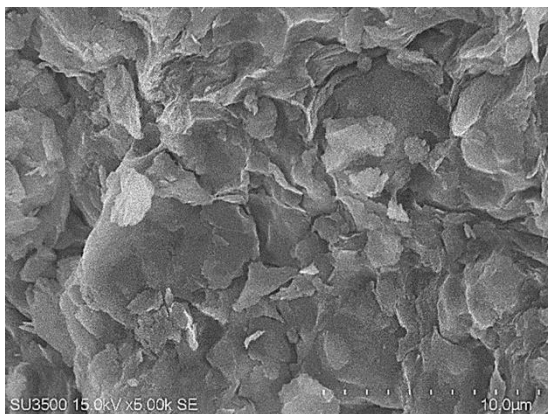
Sample	Lithology	Quartz	Calcite	Ankerite	Pyrite	Marcasite	Anatase	Clay
Sh 1	Marl	8	63	1	2	1	0	25
Sh 2	Marl	10	50	3	2	0	0	35
Sh 3	Marl	11	19	5	4	1	0	60
Sh 4	Marl	9	19	6	5	1	1	61
Sh 5	Marl	10	44	1	3	1	1	41
Sh 6	Marl	9	41	1	3	0	1	45
Sh 7	Clay Marl	18	7	0	5	1	1	68
Sh 8	Clay Marl	12	3	2	4	5	1	73
Sh 9	Marl	9	41	4	2	0	0	42
Sh 10	Clay Marl	16	5	0	3	0	1	74
Sh 11	Clay-Marl	16	2	0	3	0	1	78
Sh 12	Clay Marl	19	12	0	3	0	1	66
Sh 13	Clay Marl	22	4	0	5	2	1	66

جدول ۲. درصد فراوانی کانی‌های رسی نمونه‌های واحد شیلی در سازند سروک

Sample	Illite/Smectite	Illite	Kaolinite
Sh 1	91.1	8.7	0.2
Sh 2	89.3	9.5	1.2
Sh 3	93	6.2	0.7
Sh 4	94.1	5.2	0.7
Sh 5	92.6	7	0.4
Sh 6	94.3	4.3	1.3
Sh 7	96	2.1	1.8
Sh 8	73.8	2	24.2
Sh 9	93.5	47	1.9
Sh 10	90.7	6.4	2.9
Sh 11	94.6	4.8	0.6
Sh 12	92.8	7	0.2
Sh 13	30.9	1	68.1
Sh 14	47.4	1.6	70.9
Sh 15	97.6	1.1	1.2



شکل ۹. روند تغییرات نسبی کانی‌های رسی شناسایی شده با افزایش عمق در واحد شیلی



شکل ۱۰. A) نمایی از کانی‌های رسی جهت یافته و مماس با دانه غیر قابل تفکیک با منشا تخریبی، B) تبدیل اسمکتیت‌های تخریبی بصورت صفحات نامنظم به ایلیت‌های دیاژنزی (فلش زرد رنگ) در حال رشد بر حاشیه آن‌ها با رنگ روشن و بسیار ظریف

شیل و مجدداً کربناته توسط برخی پژوهشگران مانند ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) به عنوان شیل‌های حد واسط (دریایی-قاره‌ای) در نظر گرفته می‌شوند که بر اثر تغییرات سریع و مکرر سطح دریا و در نتیجه تغییرات مکرر محیط رسوبی بوجود می‌آید ژانگ و همکاران (۲۰۲۱). این نوع از شیل‌های حد واسط تداوم جانبی و ضخامت محدودی نسبت به شیل‌های دریایی دارند (میل، ۲۰۱۵) که این مورد در ارتباط با واحد شیلی مورد مطالعه با ضخامت کم (تقریباً ۱۵ متر در میدان لالی و ۵ متر در چاه مورد نظر) و گسترش جانبی محدود صدق می‌کند. در ارتباط با محیط نهشتی شیل‌های حد واسط اغلب دو شرایط متفاوت قابل پیش‌بینی است: یکی محیط‌های لاگونی و دیگری زیر محیط‌های محیط دلتایی‌ست (محیط‌های پرودلتا و دشت دلتایی) (لیو و همکاران، ۲۰۱۰؛ دونگ و همکاران، ۲۰۲۱). عدم حضور رخساره‌ها و مجموعه‌های مرتبط با دلتا و نیز ضخامت کم آن‌ها، و وجود شواهدی همچون شرایط احیایی و نیز ریزرخساره کربناته موجود در بلافاصل این شیل‌ها محیط آرام لاگونی را برای این واحد شیلی محتمل‌تر می‌سازد (فلوگل، ۲۰۱۰). در ریزرخساره‌های کربناته بالای این واحد شیلی گونه‌های فرامینیفری *Rotorbinella mesogensis* و *Pararotalia boixae* از جنس روتالیدا شناسایی شد (شکل ۸) که معرف سن سنومانین برای آن‌ها می‌باشند (بوایکس، ۲۰۰۷؛ بوایکس، ۲۰۰۹؛ پیوز و میستر، ۲۰۱۳؛ امیدی و همکاران، ۲۰۲۰) این گونه‌ها توسط امیدی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه زیست‌چینه‌نگاری سازند سروک در میدان نفتی آب تیمور شناسایی و گزارش شده‌اند. از این رو موقعیت چینه‌شناختی این نهشته‌ها درون سازند سروک و در فاصله ۴۵ متری از مرز سازندهای

بررسی کانی‌های رسی نمونه‌های مطالعه شده توسط میکروسکوپ الکترونی منجر به شناسایی انواع تخریبی بدون ساختار کانی‌شناختی خاص در تصاویر SEM (شکل ۱۰) گردید که منبع اصلی تخریبی و منشا دیاژنتیکی اندکی را تایید می‌نماید.

#### بحث

بر اساس نتایج حاصل از پتروگرافی و پراش اشعه ایکس (شکل ۳) این واحد شیلی در چاه مورد نظر، عمدتاً حاوی کانی‌های رسی، کلسیت، کوارتز و پیریت بوده که از نظر سنگ‌شناسی کم تنوع و نشانگر گلسنگ‌های آرژیلی (شیل) تا گلسنگ هستند. بر اساس وانگ و گائو (۲۰۲۰) تغییرات نه چندان زیاد در رخساره‌های سنگی حاصل ثبات در محیط نهشتی رسوبات است.

در ارتباط با محیط نهشت این شیل‌ها با توجه به فراوانی پیریت‌های اتوزنتیک فرومبوییدال و آنکریت (دولومیت‌های آهن‌دار) که معرف شرایط احیایی هستند (شول و اولمرشول، ۲۰۰۶؛ اولمرشول و همکاران، ۲۰۱۴) نمی‌توان آن‌ها را به زیر محیط پهنه گلی از محیط جزرومدی نسبت داد. از طرف دیگر، با توجه به نوع ریزرخساره‌ها در لایه‌های کربناته احاطه کننده واحد شیلی مورد مطالعه مانند بافت و محتوای فسیلی آن‌ها (استراکود، فرامینیفرهای بنتیک مثل میلیولید و تکستولاریا) محیط رسوبی آن‌ها نمی‌تواند به دریایی عمیق و یا قاره‌ای تعلق داشته باشد. همانگونه که پیشتر بیان شد این نهشته‌ها در زیر توسط رخساره‌های سدی (گرینستون حاوی میلیولید فراوان) و در بالا بوسیله رخساره لاگونی (وکستون حاوی استراکود) سازند سروک احاطه شده است و این چنین تناوبی از رسوبات کربناته،

سورگه این معادل‌سازی صورت پذیرد. کانی‌های رسی در حوضه‌های رسوبی به دو منشا تخریبی و دیاژنزی نسبت داده می‌شود (فاگل، ۲۰۰۷؛ چاملی، ۱۹۸۹). کانی‌های رسی بخصوص انواع تخریبی آن، می‌توانند در تشخیص منشا رسوبات و آب و هوای منطقه استفاده شوند (حسینی‌برزی و همکاران، ۱۳۸۶؛ عبدالوف و لوری، ۲۰۱۶؛ ملک‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰؛ زیو و همکاران، ۲۰۲۱). در ترکیب کانی‌شناسی شیل‌های عمیق دریایی در مقایسه با ترکیب شیل‌های کم عمق، از کوارتز بیش‌تر و کانی‌های رسی کمتری از برخوردار هستند (زیو و همکاران، ۲۰۲۱). بر مبنای نتایج نیمه کمی پراش اشعه ایکس نمونه‌های مورد آزمایش، دارای کانی‌های رسی با درصد فراوانی بالا و مقدار کمی کوارتز هستند که نشان‌دهنده تفاوت قابل‌ملاحظه از نظر عمق محیط ته‌نشستی واحد شیلی سازند سروک در مقابل با شیل‌های دریایی عمیق سازند سورگه است. کانی‌های رسی واحد مورد مطالعه طبق نتایج XRD شامل ایلیت/اسمکتیت و ایلیت و کایولینیت بوده و بر اساس بررسی تصاویر SEM، اغلب از نوع تخریبی (شکل ۱۰-الف) و مقداری از نوع دیاژنزی (شکل ۱۰-ب) هستند. رس‌های مخلوط لایه ایلیت/اسمکتیت از اجزای ساختاری متداول شیل‌ها هستند و در بیش‌تر حوضه‌های رسوبی دنیا با افزایش عمق، دما و سن زمین‌شناختی میزان ایلیت در آن‌ها بیش‌تر می‌گردد (پویار، ۲۰۰۰). حضور ایلیت با منشا تخریبی نشان‌دهنده مناطقی با آبشویی اندک و هوازدگی در آب و هوای سرد، معتدل یا خشک می‌باشد (لی و همکاران، ۲۰۰۰؛ تاکر، ۲۰۰۱؛ استابن و همکاران، ۲۰۰۲). گسترش اسمکتیت و کایولینیت‌های تخریبی با فرسایش در اقلیم گرم و مرطوب انتهای کرتاسه مرتبط است (تیری، ۲۰۰۰؛ ابو الانور، ۲۰۱۷). بر این اساس، با توجه به حضور همزمان کانی‌های ایلیت/اسمکتیت، ایلیت و کایولینیت می‌توان چنین برداشت نمود که طی ته‌نشست این واحد شیلی در منطقه مورد مطالعه مقدار آبشویی کم و آب و هوا گرم بوده است. بر اساس مطالعات مشابه بر روی کانی‌های رسی مزوزویک و سنوزویک در پیرامون منطقه مورد مطالعه نیز تایید کننده این تفسیر می‌باشد (حسینی‌برزی و همکاران، ۱۳۸۶؛ حسینی‌برزی و همکاران، ۱۳۸۸؛ خرملی و همکاران، ۲۰۰۵). طبق نتایج حاصل از مطالعه رحیم‌پورناب و همکاران (۲۰۱۲) در فروافتادگی دزفول طی کرتاسه میانی استقرار شرایط اقلیمی گرم و مرطوب

سروک و ایلام تشخیص داده شد. علاوه براین، با توجه انتشار چینه‌شناختی گونه‌های روتالیدا می‌توان به این نهشته‌های شیلی درون سازند سروک نیز سن سنومانین را نسبت داد. این در حالیکه بر اساس پژوهش‌های انجام شده بر روی سازند سورگه در مناطق مختلف، سن این سازند جوان‌تر از سنومانین تعیین شده است. برای مثال در برش الگو سن کنیاسین توسط وایند (۱۹۶۵) و سن تورونین پسین تا سانتونین پسین توسط منجزی و همکاران (۱۳۸۵)، در زون ایزده و فروافتادگی دزفول شمالی سن تورونین پسین تا کنیاسین توسط قلاوند (۱۳۸۸)، در کوه شاه نخجیر استان ایلام سن تورونین پسین تا سانتونین پیشین توسط رازیانی و صادقی (۱۳۹۱)، در تاق‌دیس بنگستان و میدان نفتی پارسی سن کنیاسین تا سانتونین توسط غبیشاوی (۱۳۸۷)، در منطقه پلدختر استان لرستان سن انتهای تورونین میانی تا سانتونین پیشین توسط حدادی و همکاران (۱۳۹۸)، در خاور لرستان سن تورونین تا سانتونین توسط آزادبخت و همکاران (۱۳۹۳)، در کوه سورگه سن تورونین پسین تا ابتدای سانتونین پسین توسط کاظمی و همکاران (۲۰۱۰)، در کبیرکوه ایلام سن تورونین میانی تا سانتونین پسین توسط دانشیان و همکاران (۱۳۹۱) تعیین نموده‌اند. بر این اساس به نظر نمی‌رسد که معادل‌سازی این واحد شیلی به عنوان زبانه شیلی از سازند سورگه منطقی باشد. قرارگیری این واحد در میان سازند سروک و ۴۵ متری زیر مرز ناپیوسته به سن تورونین میانی بین سازندهای سروک و ایلام (سبحانی فروشانی و همکاران، ۱۴۰۰) و نه در موقعیت چینه‌شناسی مابین دو سازند سروک و ایلام، نیز تشابه جایگاه چینه‌شناختی این زبانه شیلی با سازند شیلی سورگه را رد می‌نماید. علاوه براین، با توجه به محیط ته‌نشست این واحد (لاگون) و تفاوت رخساره و محیط رسوب‌گذاری آن با رخساره‌های عمیق تا نیمه‌عمیق دریایی سازند سورگه، تمایز مطمئن‌تری بین این واحد شیلی و زبانه‌ای از سازند سورگه می‌توان قایل شد. شایان ذکر است ابهامات موجود در ارتباط با موقعیت مرز سازند سروک با سازند ایلام، ساده انگاری در تطابق این بخش شیلی بخصوص از لحاظ سنی و محیط رسوب‌گذاری، چگونگی ارتباط جانبی با لایه‌های زیرین و بالایی باعث گردید تا صرفاً بر اساس تشابه سنگ‌شناسی و موقعیت چینه‌شناختی مشابه (قرارگیری در حدود مرز سازندهای سروک و ایلام) با سازند شیلی

شیلی و سازند سورگاه (تورونین- سانتونین پیشین) در منطقه مورد مطالعه است. در این چاه مرز سازند سروک با ایلام در فاصله ۴۵ متری و بالاتر از این واحد شیلی تشخیص داده شد که این امر نیز در تناقض با جایگاه چینه‌شناسی سازند سورگاه می‌باشد. بنابراین علیرغم شباهت‌های ظاهری (شیل‌های خاکستری تیره پیریت‌دار) و خواص پتروفیزیکی مشابه واحد شیلی مورد نظر در مطالعات تحت‌الارضی با سازند سورگاه، تفاوت‌های موجود بین آن‌ها مانند محیط رسوبی کم عمق این شیل‌ها در مقابل محیط دریایی عمیق سورگاه، سن قدیمی‌تر واحد شیلی مذکور و جایگاه چینه‌شناسی متفاوت در توالی کرتاسه میانی در منطقه مورد مطالعه، انتساب این نهشته‌ها را با سازند سورگاه رد می‌نماید. با توجه به گسترش جانبی و ضخامت محدود واحد شیلی مورد بحث در فروافتادگی دزفول شمالی نتایج حاصله می‌توانند در میداین مجاور کارون و زیلویی نیز صادق باشند.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله، مراتب سپاس خود را از صندوق حمایت از پژوهشگران ریاست جمهوری، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب جهت تسهیل در امور هماهنگی دسترسی به داده‌های مورد نیاز این پژوهش، همکاری و مساعدت‌های لازم ابراز نماییم. در پایان لازم است از مدیر مسئول و سردبیر محترم، داوران گرامی و کلیه همکاران ایشان در مجله رسوب‌شناسی کاربردی کمال تشکر و قدردانی بعمل آید.

### منابع

- آزادبخت، س.، مجیدی‌فرد، م.، و بابازاده، ا. (۱۳۹۳) سنگ‌چینه‌شناسی و زیست‌شناسی سازند سورگاه در خاور خرم‌آباد. مجله علوم زمین، ص ۲۱۹-۲۲۶.
- آقائاتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ص ۵۸۶.
- پورقاسم، ب (۱۳۸۷) مطالعه مخزن آسماری میدان لالی، گزارش شماره پ-۶۲۰۶، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.
- جلیلیان، ع، ح. (۱۴۰۰) رخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند کژدمی (کرتاسه میانی) در زاگرس مرکزی. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۱۷، ص ۴۹-۶۵.

منجر به بارش‌های فراوان، در نتیجه ورود مقادیر قابل ملاحظه‌ای مواد آواری از خشکی‌های مجاور (جلیلیان، ۱۴۰۰) همزمان با نهشت این واحد شیلی را در پی داشته است. تغییرات قابل توجه در فراوانی نسبی این کانی‌ها در بخش پایینی این واحد شیلی و سپس تغییرات یکنواخت ترکیب کانی‌های رسی در بخش بالایی آن (شکل ۹) می‌تواند ناشی از عدم ثبات حوضه رسوبی طی ته‌نشست این واحد شیلی باشد. اینچنین روند در یکنواخت شدن فراوانی کانی‌شناسی رس‌ها در نهایت به نهشت کربنات در شرایط ثبات محیط تبدیل می‌شود. فراوانی بیش‌ر رس‌های مخلوط لایه نسبت به ایلیت، در بخش پایینی این واحد شیلی با ضخامت ۵ متر قطعاً نمی‌تواند به تغییرات شرایط دیازتزی و تبدیل کانی‌های رسی به یکدیگر طی تدفین بیشتر و در اعماق مختلف مرتبط باشد. از طرف دیگر هر چند در تصاویر SEM تبدیل مخلوط لایه به اسمکتیت دیده می‌شود وجود سهمی از ایلیت یا رس مخلوط لایه که به صورت تخریبی وارد رسوبات شده قابل تعیین نیست. بر همین اساس تغییرات اینچنین در میزان کانی رسی در ضخامتی در این حد می‌تواند با تغییرات سهم رس تخریبی در طی زمان نهشت مرتبط باشد.

### نتیجه‌گیری

به منظور رفع ابهامات مرتبط با واحد شیلی منسوب به زبانه‌ای از سازند سورگاه در مخزن بنگستان، در میدان نفتی لالی به بررسی این واحد پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی نشان می‌دهد که این واحد گل‌سنگی درون سازند سروک و توسط ریزرخساره‌های کربناته رسوبی کم عمق آن از بالا و پایین محصور گشته است که بر همین اساس محیط رسوبی مفروض برای نهشت این واحد محیط حدواسط لاگونی تعیین شد. این در حالیست که ته‌نشست سازند سورگاه بواسطه حضور گسترده ارگانوسم‌های پلاژیک مانند فرامینیفرهای پلانکتونیک محیط دریایی عمیق می‌باشد. همچنین فراوانی زیاد کانی‌های رسی نسبت به کوارتز، به تفکیک محیط رسوبی این واحد از سازند سورگاه کمک می‌نماید. از طرف دیگر، شناسایی گونه‌هایی از جنس روتالیدا (*Pararotalia* و *Rotorbinella mesogeenisis*) که معرف سن سنومانین برای بخش فوقانی سازند سروک هستند، حاکی از عدم همزمانی نهشت این واحد

عباسی، ع (۱۳۹۵) لیتواستراتیگرافی و بایواستراتیگرافی مخزن بنگستان در میدان نفتی لالی، گزارش شماره پ-۹۰۴۷، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.

غیثاوی، ع (۱۳۸۷) چینه‌شناسی سازندهای سروک و ایلام در تاق‌دیس بنگستان و میدان پارس. پایان‌نامه دکترا، دانشگاه اصفهان، ۱۹۱ ص.

قلاوند، ه (۱۳۸۸) لیتواستراتیگرافی و بایواستراتیگرافی سازندهای سروک و ایلام در بخش شمال شرقی فرفاقتادگی دزفول و مقایسه آن‌ها با مقاطع تحت‌الارضی مجاور، رساله دکترا، دانشگاه شهید بهشتی، ۴۵۴ ص.

محمودی، ح (۱۳۹۱) مطالعه تکمیلی و تهیه مدل زمین‌شناسی مخزن بنگستان میدان لالی، گزارش شماره پ-۷۹۴۱، مطیعی، ه (۱۳۷۲) زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، طرح تدوین کتاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶ ص.

منجری، ن، وزیرمقدم، ح، امیری‌بختیار، ح (۱۳۸۵) زیست‌چینه‌نگاری و محیط رسوبی سازند سورگه در برش نمونه (جنوب شرق ایلام) بر اساس گروه‌های مورفوتاویپ فرامینیفرهای پلانکتونیک، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، ص ۵-۱.

Abdullayev, E., Leroy, S. A. G (2016) Provenance of clay minerals in the sediments from the Pliocene Productive Series, western South Caspian Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 73: 517-527.

Abou El-Anwar, E. A (2017) Mineralogical, petrographical, geochemical, diageneses and provenance of the Cretaceous Black.

Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S. A., and Abdollahie-Fard, I (2018) an integrated approach for identification and characterization of palaeo-exposure surfaces in the upper Sarvak Formation of Abadan Plain, SW Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 145: 32-48.

Boix, C (2007) Foraminiferos rotalidos Del Cretacico superior de la Cuenca Pirenaica, Unpublished PhD. thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, 139 p.

Boix, C., Villalonga, R., Caus, E., and Hottinger, L (2009) Late Cretaceous rotaliids (Foraminiferida) from the western Tethys, *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 253: 197-227.

Chamley, H (1989) *Clay sedimentology*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 623p.

Dong, D. Z., Qiu, Z., Zhang, L. F., Li, S. X., Zhang, Q., Li, X. T., Zhang, S. R., Liu, H. L., Wang, Y. M (2021) Progress on sedimentology of transitional facies shales and new discoveries of shale gas. *Acta Sedimentol. Sin*, 39: 29-45.

حدادی، م، وحیدی‌نیا، م (۱۳۹۲) زیست‌چینه‌نگاری سازند سورگه بر مبنای روزن‌داران پلانکتونیک در میداین نفتی ماله کوه (چاه شماره ۱) و سرکان (چاه شماره ۱) در منطقه پل دختر استان لرستان. نشریه دیرینه‌شناسی، شماره ۱، ص ۳۷-۵۰.

حدادی، م، وحیدی‌نیا، م، محمودی‌قرائی، م، ح، و شفیعی اردستانی، م (۱۳۹۸) پالئواکولوژی، ریزرخساره‌ها و محیط رسوبگذاری سازند سورگه بر مبنای روزن‌بران پلانکتون در منطقه پلدختر استان لرستان، نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، شماره ۲، ص ۱۷۵ تا ۱۹۸.

حسینی‌برزی، م، علی‌نژاد کردی، ر، و قلاوند، ه (۱۳۸۶) بررسی کانی‌های رسی در برش تیپ و داده‌های NGS این سازند در میدان نفتی کوپال (چاه‌های شماره ۱۲ و ۳۸)، مجله علوم زمین، شماره ۶۷، ص ۱۹۸-۲۰۹.

حسینی‌برزی، م، هوشیار، م، و قلاوند، ه (۱۳۸۸) محیط رسوبی، کانی‌های رسی و دیاژنز سازند گورپی در برش نمونه و میدان نفتی زیلابی (چاه‌های شماره ۵ و ۸)، مجله علوم زمین، شماره ۷۲، ص ۱۱۱ تا ۱۲۰.

دانشیان، ج، یونسی، ک، و معلمی، ع (۱۳۹۱) نقش تغییرات سطح آب دریا در گسترش چینه‌شناسی روزن‌بران پلانکتونیک سازند سورگه در تنگ چنارباشی کبیرکوه ایلام. نشریه زمین‌شناسی ایران، شماره ۲۱، ص ۵۷-۶۴.

رازیانی، م، صادقی، ع (۱۳۹۱) زیست‌چینه‌نگاری سازند سورگه بر اساس فرامینیفرهای پلانکتونی در جنوب‌غرب ایلام و مقایسه آن با تاق‌دیس کمستان (خوزستان) و تاق‌دیس آنه (فارس)، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، ۱-۶.

سبحانی‌فروشان، ج، مهرابی، ح، و رحیم‌پوربناب، ح (۱۴۰۰) تاریخچه رسوبگذاری-دیاژنزی و چینه‌نگاری سکانسی بخش بالایی سازند سروک (کرتاسه) در میداین هیدروکربوری مرکز و جنوب فرفاقتادگی دزفول، جنوب باختر ایران. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۱۸، ص ۷۵-۵۱.

سوهانی، ج (۱۳۶۲) مطالعه زمین‌شناسی مخزن بنگستان میدان‌های لالی- کارون گزارش شماره پ- ۳۸۴۸.

صابری، ف، حسینی‌برزی، م، و اپرا، ع، (۱۳۹۹) تاثیر کانی‌های رسی بر مهاجرت اولیه هیدروکربن در سنگ منشا پابده، میدان نفتی کرنج. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۱۶، ص ۴۵-۵۵.

صادقی، ع، و رازیانی، م (۱۳۹۳) زیست‌چینه‌نگاری سازند سورگه در برش تاق‌دیس کوه شاه نخجیر (جنوب باختر ایلام) بر پایه روزن‌بران پلانکتونی و مقایسه آن با برش نمونه. مجله علوم زمین، شماره ۹۳، ص ۱۱۹-۱۲۶.

- Pettijohn, F. J (1975) *Sedimentary Rocks*. Second Edition, Harper and Row Publishers, New York, 628 p.
- Pevear, D., R (2000) Illite and hydrocarbon exploration. *Geology, Mineralogy, and Human Welfare*, 96: 3440-3446.
- Piuz, A., Meister, C (2013) Cenomanian rotaliids (Foraminiferida) from Oman and Morocco, *Swiss Journal of Palaeontology*, 132: 81-97.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Enayati-Bidgoli, A., Omidvar, M (2012b) Coupled imprints of tropical climate and, recurring emergence on reservoir evolution of a Mid Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran. *Cretaceous Research*, 37: 15-34.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Omidvar, M., Enayati\_Bidgoli, A., Sonei, R., Sajjadi, F., Amiri-Bakhtyar, H., Arzani, N., Izadi-Mazidi, E (2013) Palaeo\_exposure surfaces in Cenomanian–Santonian Carbonate reservoirs in the Dezful Embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 36: 335-362.
- Sarvak Formation, southern Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 35: 187-205.
- Scholle, P. A. and Ulmer- Scholle D. S (2006) *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks/ Grains, Textures, Porosity, Diagenesis*: Tulsa, ok, American Association of Petroleum Geologist Memoir, 77: 474p.
- Shales, Duwi Formation at Quseir-Safaga, Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26: 915–926.
- Stuben, D., Kramar, U., Berner, Z., Stinnesbeck, W., Keller, G., Adatte, T (2002) Trace elements, stable isotopes, and mineralogy the Elles II K-T boundary section in Tunisia: indications sea level fluctuations and primary productivity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 178: 321-345.
- Thiry, M (2000) Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin. *Earth-Science Rev*, 49: 201-221.
- Tucker, M. E (2001) *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*: Blackwell, Scientific Publication, London, 260 p.
- Ulmer-Scholle, D. S., Scholle, P. A., Schieber, J., Raine, R. J (2015) *A Color Guide to the Petrography of Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks*, AAPG Memoir, 109: 544 p.
- Wang, G., Carr, T. R (2013) Organic-rich Marcellus Shale Lithofacies modeling and distribution pattern analysis
- Wang, J., Guo, Sh (2020) Comparison of geochemical characteristics of marine facies, marine-continental transitional facies and continental facies shale in typical areas of China and their control over organic-rich shale, *Energy*
- Fagel, N (2007) Clay minerals, deep circulation and climate. *Dev. Mar. Geol*, 1: 139-176.
- Flügel, E (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Second edition. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 984p.
- Folk, R. L (1980) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, 184p.
- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I., Coniglio, M (2012) Chemostratigraphy of Cenomanian–Turonian carbonates of the In the Appalachain basin. *AAPG Bulletin*, 97 (12): 2173–205.
- Kazemi, A., Sadeghi, A., Adabi, M (2012) Biostratigraphy of the Surgah formation in Kuh - e - Surgah and correlation with Tang - e - Gerab (West of Iran), *Arab Jurnal Geoscince*.
- Khormali, F., Abtahi, A., Owliaie, H. R (2005) Late Mesozoic- Cenozoic clay of southern Iran and their palaeoclimatic implications. *Clay Minerals*, 40: 191-203.
- Li, L., Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W (2000) Late Cretaceous sea Level change in Tunisia: A multi-disciplinary approach. *Journal of Geological Society of London*, 157: 447-458.
- Luo, J. L., Wei, X. S., Yao, J. L., Liu, X. S., Liu, X. H (2010) Provenance and depositional facies controlling on the Upper Paleozoic excellent natural gas-reservoir in northern Ordos basin, China. *Geol. Bull. China*, 29: 811–820.
- Malekzadeh, M., Hosseini-Barzi, M., Sadeghi, A., Critelli, S (2020) Geochemistry of Asara Shale member of Karaj Formation, Central Alborz, Iran: Provenance, source weathering and tectonic setting, *Marine and Petroleum Geology*, 121: 23-45.
- Masud Alam, A. K. M., Xie. Sh., Chowdhury. S. Q (2009) *Clay Mineralogy and Diagenesis of Shales: A Case Study from the Mio-Pliocene Tipam and Dupi Tila Shales of Bandarban Anticline, Bandarban Hill District, Bangladesh*. *Journal of Applied Sciences*, 9: 2770-2777.
- Miall, A. D (2016) *Stratigraphy: A Modern Synthesis*, Springer Cham, XVII, 454 p.
- Mukasa-Tebandeke, I. Z., Ssebuwufu, P. J. M., Nyanzi, S. A., Schumann, A., Nyakairu, G. W. A., Ntale, M. and Lugolobi, F (2015) The Elemental, Mineralogical, IR, DTA and XRD Analyses Characterized Clays and Clay Minerals of Central and Eastern Uganda. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 5: 67-86.
- Omidi, R., Sadeghi. A., Hosseini-Barzi. M., Akbari bas Kelayeh. N (2021) new findings in biostratigraphy of the Sarvak and Ilam formations of Abe-teymour Oil Field (Dezful embayment). *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 37: 23-44.

Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.

Wynd, J. G (1965) Biofacies of the Iranian oil consortium agreement area, IOOC report, no 1028. Unpublished.

Xiao, D., Lu, Sh., Shao, M., Zhou, N., Zhao, R., Peng, Y (2021) Comparison of Marine and Continental Shale Gas Reservoirs and Their Gas-Bearing Properties in China: The Examples of the Longmaxi and Shahezi Shales *Energy Fuels*, 35: 4029–4043.

Zhang, L., Zhao, Q., Peng, S., Qiu, Z., Feng, C., Zhang, Q., Wang, Y., Dong, D., Zhou, S (2021) Paleoenvironment and Organic Matter Accumulation Mechanism of Marine–Continental Transitional Shales: Outcrop Characterizations of the Carboniferous–Permian Strata, Ordos Basin, North China. *Energies*, 14: 45-74.

## Lithology and mineralogy of the shale unit of Bangestan reservoir with emphasis on its belonging to the Sarvak formation, Lali Oil Field, North Dezful embayment, Central Zagros

F. Saadirad<sup>\*1</sup>, M. Hosseini-Barzi<sup>2</sup>, A. Sadeghi<sup>3</sup> and M. H. Adabi<sup>4</sup>

1- Ph. D. student., Dept., of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3, 4- Prof., Dept., of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

\* f\_saadirad@sbu.ac.ir

Received: 2022/4/10 Accepted: 2022/6/27

### Abstract

The present study has focused on the lithology and mineralogy of the Bangestan reservoir shale unit, 5 meters thick at the 45 m below the upper boundary of Sarvak formation, located in the Lali oil field, to clear the existing lithostratigraphic ambiguities which refer it as a tongue of the Surgah Formation. After examining the petrophysical logs to determine the exact location of these deposits and core descriptions, the petrography of the collected samples was performed by light, reflective, cathodoluminescence and electron microscopy, and XRD analyses to recognize the mineralogy of the total sample as well as clay minerals. Core studying indicates that the unit is pyrite bearing gray shales. Moreover, based on petrography, the studied samples are argillaceous and fossil-free mudstone. The results of semi-quantitative X-ray diffraction (XRD) analysis show that the mineralogy of these deposits is mainly clay minerals, calcite, quartz, and pyrite. The samples' average abundance of clay minerals is 56%, and the most frequent ones are the mixed-layered clays (illite/smectite), illite, and kaolinite, respectively. The electron microscopy (SEM) images often exhibit clay minerals of detrital origin. Due to the lack of fossils, the age of this unit was determined based on its stratigraphic position, which is surrounded by the Sarvak Formation deposits of the Cenomanian age and is distinguished from the Sorgah Formation (Turonian- Santonian age). Due to the absence of deep-marine organisms in this unit and the identification of lagoon and shoal carbonate microfacies in its surrounding layers, a calm and reducing lagoon environment is attributed to these sediments, which is against the deep marine environment of the Surgah Formation. Most common diagenetic processes (cementation, replacement, chemical compaction, and fracturing) indicate that the shale unit has been influenced mainly by shallow to deep burial diagenesis. There fore this shale unit with a shallow sedimentary environment, low thickness, relatively high content of detrital clay minerals, and their location at 45 meters below the boundary of Sarvak and Ilam formations belong to the Sarvak and is not correlatable with deep-marine shales of Surgah Formation.

**Keywords:** Shale unit, Bangestan reservoir, Sarvak formation, Cenomanian, Surgah formation, North Dezful Embayment.