پژوهش نفت شماره ۱۲۰، آذر و دی ۱۴۰۰، صفحه ۱۰۴-۹۰

نقش کانی‌شناسی و اجزاء تخریبی بر روند دیاژنز و تأثیر آن بر تکامل سیستم منافذ و کنترل کیفیت مخزنی در ماسه‌سنگ‌های کم تراوای حوضه مغان

رحیم کدخدائی ایلخچی[1*]، پیمان محمدی[2]، محمدرضا میرزایی[2]، فرزین فرزانه[3] و نورآذر شکرزاده[3]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

۲- پژوهشکده علوم زمین، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۷

چکیده

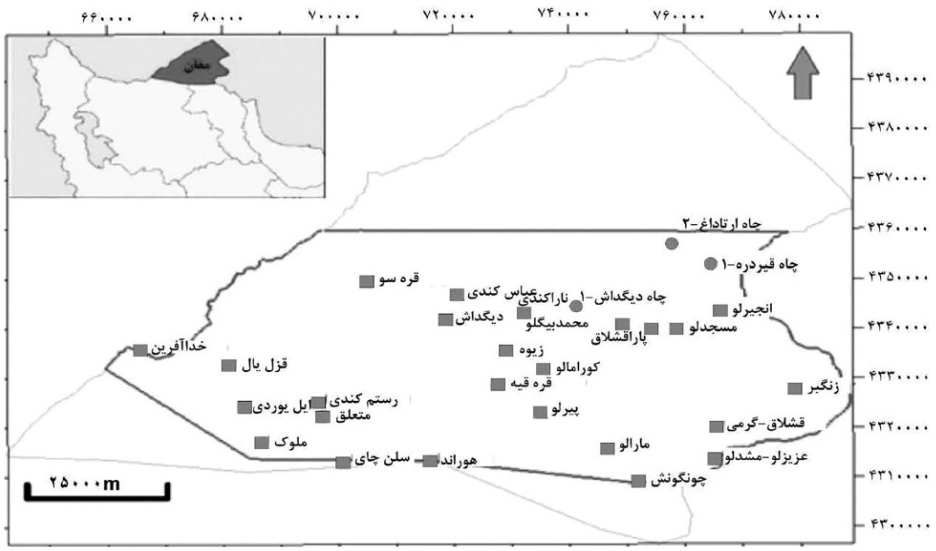
سازندهای تخریبی اجاق قشلاق و زیور، به‌عنوان سنگ مخزن حوضه مغان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. رخساره‌های ماسه‌سنگی این سازندها به‌عنوان نمونه منحصر به‌فرد از مخازن نامتعارف (ماسه‌سنگ‌های کم‌تراوا) در ایران هستند که با توجه به مشخصه‌های بافتی و دیاژنزی مؤثر بر سیستم منافذ آنها، دارای تولید ناپایدار، همراه با افت فشار هستند. در این مطالعه، مشخصه‌های سنگ‌شناسی و رسوبی این سازندها با تلفیق نتایج توصیف مغزه، مطالعات پتروگرافی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی همراه با داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه به‌دست آمده از برش‌های سطحی و چاه بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد که بلوغ کانی‌شناسی پایین این ماسه‌سنگ‌ها که عمدتا دارای خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و فلدسپات هستند نقش مهمی در تغییر و تکامل سیستم منافذ طی تاریخچه دیاژنزی آنها داشته است. در واقع حضور خرده‌سنگ‌های آتشفشانی به‌عنوان اجزاء تراکم‌پذیر، عامل مؤثری در کاهش تخلخل این ماسه‌سنگ‌ها طی تدفین و تراکم آنهاست. همچنین دگرسانی این اجزاء در کنار فلدسپات‌ها منجر به گسترش انواع رس‌های دیاژنزی شده است که این رس‌ها هم به‌عنوان سیمان درون منافذ عمل نموده‌اند و هم در گسترش ریزتخلخل‌ها درون سیستم منافذ نقش به‌سزایی داشته‌اند. فرآیند انحلال نیز با گسترش محدود منجر به توسعه تخلخل‌های انحلالی مجزا شده است. در مجموع تأثیر متقابل سه عامل تراکم، رس‌های دیاژنزی و انحلال در تقابل با کانی‌شناسی، نقش مؤثری در توسعه سیستم منافذ و کیفیت مخزنی ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان داشته است که در نتیجه آن ماسه‌سنگ‌های کم تراوا با بافت متراکم و سیستم منافذ با ارتباط ضعیف متشکل از تخلخل‌های انحلالی مجزا و ریزتخلخل‌ها توسعه یافته است. از این رو ماسه‌سنگ‌های این حوضه با توجه به مقادیر تخلخل کم تا زیاد و تراوایی کم (عمدتاً کمتر از ۰/۱ mD)، قابل مقایسه با ماسه‌سنگ‌های کم تراوا در سایر نقاط جهان مانند حوضه پرت استرالیا بوده و در گروه مخازن ماسه‌سنگی نامتعارف قرار می‌گیرند.

کلمات کلیدی: ماسه‌سنگ‌های کم تراوا، بلوغ کانی‌شناسی، تراکم، رس‌های دیاژنزی، سیستم منافذ

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی r.kadkhodaie@tabrizu.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/PR.2021.4527.3040)

مقدمه

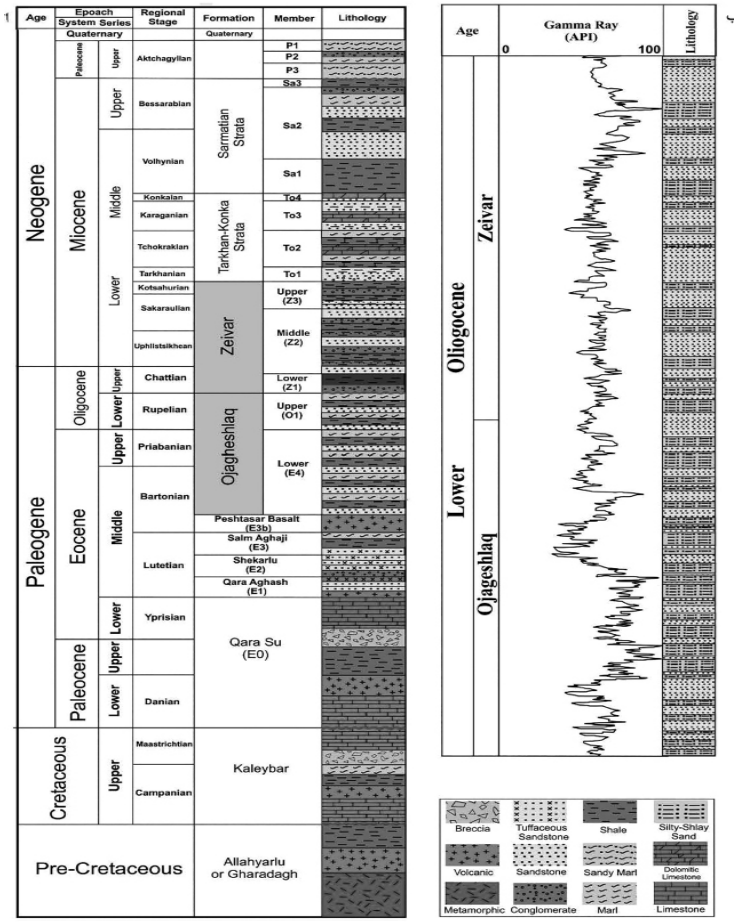
مخـازن ماسه‌سـنگی کـم تـراوا[1] به‌عنـوان بخشـی از مخـازن نامتعـارف[2] محسـوب می‌شـوند کـه از یـک طـرف بـا توجـه بـه ذخیـره قابـل توجـه و از طرفـی بـا توجـه بـه چالش‌هـای مرتبـط بـه تولیـد و بهره‌بـرداری از آنهـا مـورد توجـه محققیـن متعـددی در سرتاسـر جهـان به‌ویـژه آمریـکا [۵-۱]، اسـترالیا [۶ و ۷] و چیـن [۱۲-۸] بوده‌انـد. ایـن مخـازن کـه عمدتـاً از نـوع گازی هسـتند در دوره‌هـای مختلـف زمین‌شناسـی توسـعه یافته‌انـد و عمدتـاً بـا تراوایـی درجـای کمتـر از ۰/۱ mD مشـخص می‌شـوند [۱۳ و ۱۴]. ماسه‌سـنگ‌های حوضـه مغـان نیـز به‌عنـوان نمونـه منحصـر بفـردی از مخـازن نامتعـارف ایـران هسـتند کـه بـا توجـه بـه شـرایط محیط رسـوبی، وضعیـت تکتونیکـی و مشـخصه‌های بافتـی و دیاژنـزی، تولیـد از آنهـا بـا چالش‌هایـی همـراه اسـت کـه در ایـن مطالعـه تـلاش شـده اسـت تـا بخشـی از ایـن چالش‌هـا بـا بررسـی مشـخصه‌های سنگ‌شناسـی و رسـوبی آنهـا مـورد بحـث و بررسـی قـرار گیـرد. ناحیـه مغـان بـا وسـعت ۶۳۰۰ تـا ۶۵۰۰ km مربـع، در شـمال غـرب ایـران قـرار دارد کـه بخش‌هـای شـمالی اسـتان اردبیـل و شـمال شـرق اسـتان آذربایجـان شـرقی را شـامل می‌شـود (شـکل ۱). منطقـه مغـان بـه لحـاظ موقعیـت زمین‌شناسـی، بخشـی از پایانـه شـمال غربـی پهنـه البرز-آذربایجـان [۱۵] محسـوب می‌شـود کـه در یـال شـمالی یـک محـدوده کوه‌زایـی وسـیع قـرار دارد. ایـن محـدوده کوه‌زایـی به‌عنـوان بخشـی از کمربنـد کوه‌زایـی آلپ-هیمالیـا شـامل کوه‌هـای طالـش بـا رونـد شـرقی-غربی در جنـوب و کوه‌هـای قفقـاز کوچـک بـا رونـد شـمال غـرب– جنوب‌شـرق در جنوب‌غربـی می‌باشـد. در حاشـیه شـمالی ایـن منطقـه، دشـت وسـیع مربـوط بـه حوضـه کـورا[3] قـرار دارد کـه به‌عنـوان یـک حوضـه رسـوب‌گذاری پـس از کوه‌زایـی[4] شـناخته می‌شـود [۱۶]. منطقـه مغـان از دیـدگاه ژئومورفولـوژی بـه دو ناحیـه مرتفـع و کوهسـتانی در جنـوب و ناحیـه پسـت و به‌صـورت دشـت وسـیع (دشـت مغـان) در شـمال تفکیـک می‌شـود [۱۷]. مـرز جنوبـی ناحیـه مغـان را رشـته کوه‌هـای قـره داغ در نظـر می‌گیرنـد [۱۸].



شکل ۱ موقعیت ناحیه مغان در شمال غرب ایران که برش‌های سطحی (علایم مربعی) به‌همراه سه چاه (علایم دایره‌ای) برروی آن مشخص شده است

1. Tight Sandstone Reservoirs
2. Unconventional
3. Kura
4. Post-Orogenic

حوضه مغان، که بخش شمالی پهنه برخورد اوراسیا-صفحه عربی و بخش غربی حوضه جنوب خزر را در برمی‌گیرد از دیدگاه تکتونیکی، با بسته شدن تدریجی نئوتتیس همراه با یک سری وقایع کشش و فشارش مرتبط است. توالی خیلی ضخیمی از رسوبات تخریبی (۸ تا ۱۱ km) طی مدت زمان کوتاهی (ائوسن-میوسن) در این حوضه که در بخش شمالی پهنه فرورانش نئوتتیس قرار داشته است تشکیل شده است [۱۹]. اولین گزارش از حضور منابع نفت و گاز بلوک مغان، در ساختمان قیردره توسط هیم [۲۰] ارائه شد. پس از بررسی‌های اولیه زمین‌شناسی در ناحیه مغان، اولین گزارش چینه‌شناسی از ناحیه مورد مطالعه، توسط تراز [۲۱] منتشر شد. زمین‌شناسی این ناحیه، متشکل از یک مجموعه شامل سنگ‌های رسوبی، ولکانیکی و دگرگونی است. لایه‌های قدیمی‌تر از کرتاسه در ناحیه مغان رخنمون چندانی ندارند و به همین علت به‌خوبی شناخته شده نیستند. ستون چینه‌شناسی ناحیه مغان به‌همراه ستون سنگ‌شناسی سازندهای اجاق قشلاق و زیور در یکی از چاه‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. سنگ مخزن ناحیه مغان از نوع مخازن نامتعارف محسوب می‌شود که به دلیل مشخصه‌های خاص زمین‌شناسی، تولید از آن با افت فشار همراه است. مشخصه مهم این مخازن، تراوایی پایین آنهاست که شرایط تولید بهینه از آنها را با مشکل مواجه می‌سازد [۲۲ و ۲۳]. اولین چاه اکتشافی در بلوک مغان در تاقدیس ارتاداغ حفاری شد. سپس در فاصله زمانی ۱۹۶۶ تا ۱۹۶۹ میلادی، ۷ چاه اکتشافی دیگر در آنجا حفر گردید.



شکل ۲ الف- ستون چینه‌شناسی حوضه مغان (با تغییراتی برگرفته از [۳۴]). ب- ستون سنگ‌شناسی سازندهای اجاق قشلاق و زیور همراه با لاگ پرتو گاما در یکی از چاه‌های مورد مطالعه در ناحیه مغان

طبق نتایج حفاری در ساختمان‌های ارتداغ و قیردره، دو میدان مرتبط با نهشته‌های زیور و اجاق قشلاق معرفی شدند که به‌خاطر مشکلات تولید، این میادین توسعه نیافتند. اما با توجه به اهمیت مخزنی سازندهای مذکور، در سال‌های بعد، مطالعات متعددی در قالب پروژه‌های شرکت نفت [برای مثال ۲۴-۲۷] و پایان نامه‌های دانشجویی در این منطقه صورت پذیرفت [۲۸ -۳۲]. در این مطالعه با هدف ارزیابی عوامل رسوبی و دیاژنزی مؤثر بر سیستم منافذ و کیفیت مخزنی، ماسه‌سنگ‌های مخزنی حوضه مغان براساس نتایج حاصل از مطالعات برش‌های سطحی و نیز سه چاه منطقه بررسی شدند. معرفی این ماسه‌سنگ‌ها به‌عنوان مخازن ماسه‌سنگی نامتعارف که در مطالعات پیشین تأکیدی بر آن نشده است می‌تواند در ارزیابی روش‌های تولید و توسعه این مخازن کمک مؤثری نماید.

داده‌ها و روش مطالعه

در این تحقیق در راستای اهداف مطالعه، ابتدا مشخصه‌های سنگ‌شناسی و رسوبی سازندهای اجاق قشلاق و زیور براساس توصیف ماکروسکوپی مغزه‌های تهیه شده از سه چاه و ۲۴ برش سطحی در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه تعیین شدند. سپس به منظور شناسایی و توصیف مشخصه‌های بافتی و دیاژنزی این ماسه‌سنگ‌ها، مطالعات پتروگرافی برروی مقاطع نازک میکروسکوپی صورت گرفت. بنابراین انواع اجزاء تخریبی و کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها شناسایی شدند و بر این اساس، طبق طبقه‌بندی پتی جان [۳۳] و به لحاظ بافتی تفکیک شدند. همچنین، عوارض دیاژنزی ماسه‌سنگ‌ها به‌همراه انواع منافذ شناسایی و توصیف شدند. در جهت شناسایی دقیق‌تر برخی محصولات و عوارض دیاژنزی، مطالعات میکروسکوپ الکترونی[1] برروی ۵۰ نمونه مغزه در مرکز پژوهش متالورژی رازی صورت گرفت. در ادامه به منظور بررسی کیفیت مخزنی ماسه‌سنگ‌های سازندهای اجاق قشلاق و زیور، از داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه استفاده گردید. در نهایت با تلفیق نتایج مطالعات سنگ‌شناسی، بافتی و دیاژنزی با مشخصه‌های مخزنی، فاکتورهای کنترل‌کننده کیفیت مخزنی و مؤثر در تغییر و تکامل سیستم منافذ این ماسه‌سنگ‌ها شناسایی و تفسیر شدند.

مشخصه‌های سنگ‌شناسی و رسوبی

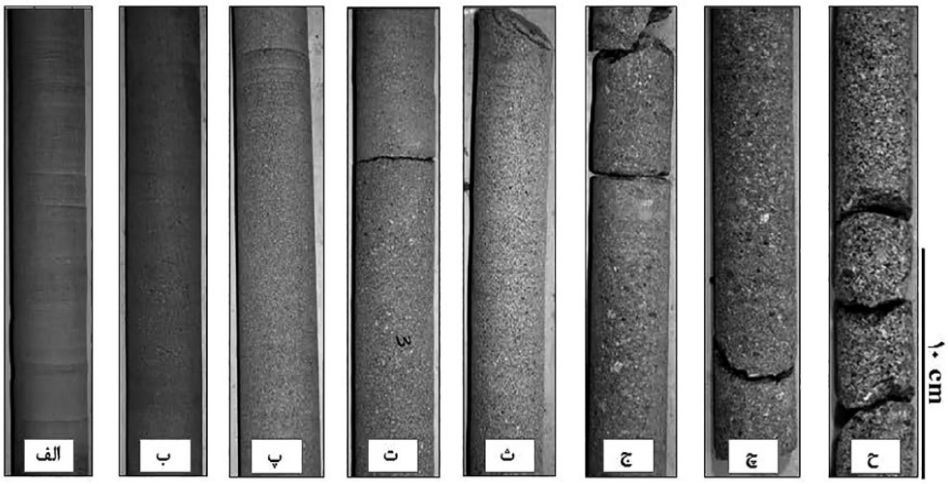
توالی رسوبی سازندهای اجاق قشلاق و زیور در حوضه مغان براساس مطالعات مغزه و پتروگرافی بررسی گردید که نتایج آن به‌طور خلاصه در جدول ۱ نشان داده شده است. به لحاظ سنگ‌شناسی شامل عمدتاً رخساره‌های تخریبی، رخساره‌های مختلط کربناته-تخریبی و درصد کمتری رخساره‌های کربناته هستند. رخساره‌های تخریبی متشکل از کنگلومرا، ماسه سنگ، سیلتستون و شیل است. ماسه‌سنگ‌ها به لحاظ بافتی تغییرات زیادی در اندازه دانه نشان می‌دهند و از ماسه دانه ریز تا ماسه دانه‌درشت و گراولی متغیر هستند (شکل ۳). براساس شواهد پتروگرافی چنانچه در شکل ۴ مشخص است، ذرات تشکیل‌دهنده این ماسه‌سنگ‌ها زاویه‌دار تا نیمه گردشده (عمدتاً نیمه زاویه‌دار) با جورشدگی ضعیف تا متوسط هستند. این ماسه‌سنگ‌ها به لحاظ کانی‌شناسی و اجزاء تشکیل‌دهنده، به‌طور عمده از خرده سنگ (عمدتاً آتشفشانی با مقادیری رسوبی و دگرگونی) و فلدسپات (به‌طور غالب پلاژیوکلاز) تشکیل می‌شوند و سایر اجزاء همچون کوارتز، میکا (بیوتیت و مسکویت) و کانی‌های سنگین (پیروکسن، آمفیبول و پیریت) اساساً از اهمیت و فراوانی کمتری برخوردار هستند. بنابراین، این ماسه‌سنگ‌ها دارای بلوغ بافتی و کانی‌شناسی پایینی هستند و طبق طبقه‌بندی پتی‌جان [۳۴] در گروه ماسه‌سنگ‌های آرنایتی خرده سنگ‌دار و فلدسپاتی قرار می‌گیرند (شکل ۵).

1. SEM

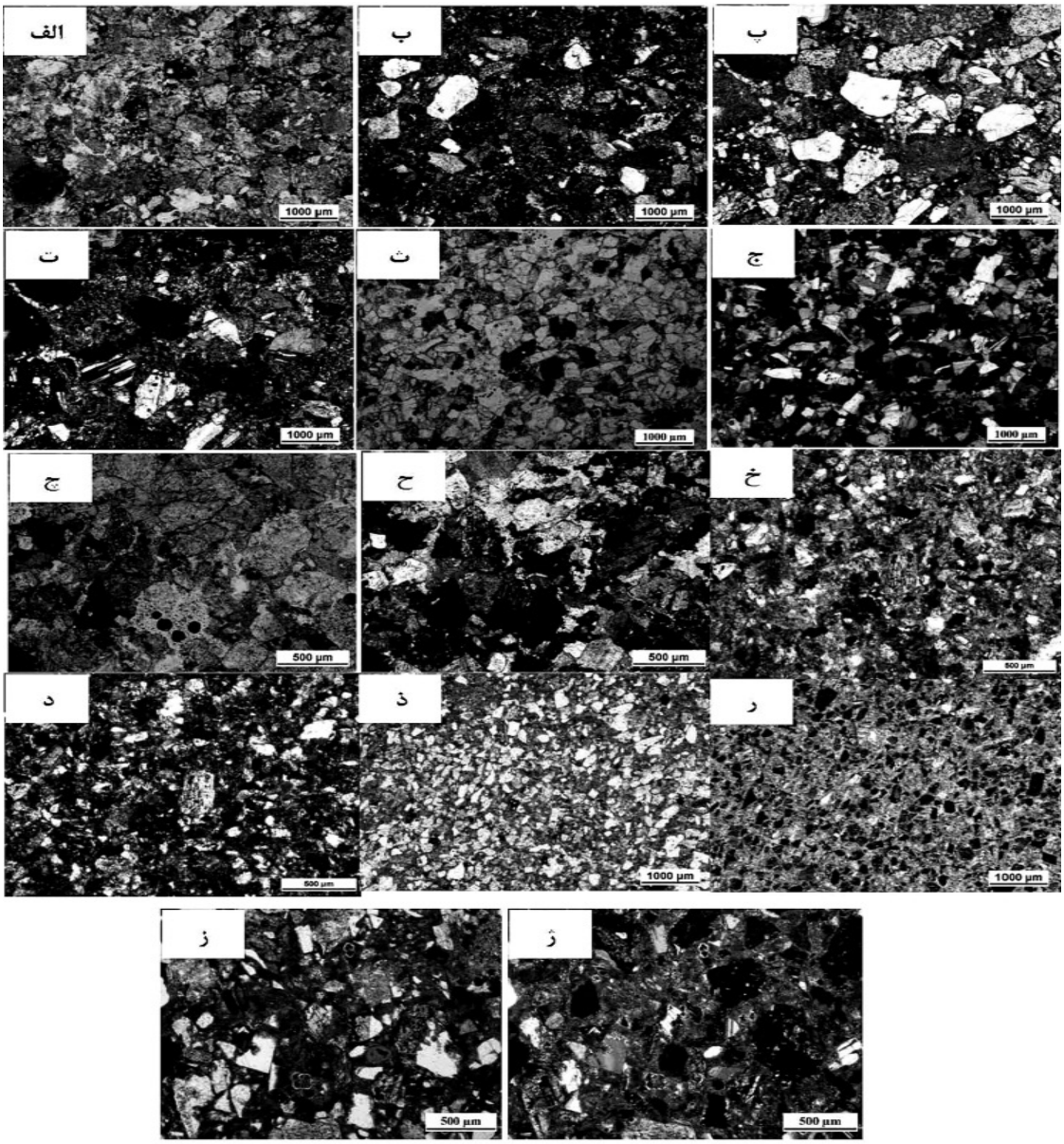
پژوهش نفت شماره ۱۲۰، آذر و دی ۱۴۰۰، صفحه ۱۰۴-۹۰

جدول ۱ مشخصه‌های سنگ‌شناسی، رسوبی و عوارض دیاژنزی سازندهای اجاق قشلاق و زیور ناحیه مورد مطالعه در حوضه مغان

مشخصه های رسوبی	توصیف مشخصه ها
سنگ‌شناسی	کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل، مارن، آهک
ترکیب کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها	ماسه‌سنگ‌های خرده سنگ‌دار و فلدسپاتی
اندازه ذرات ماسه‌سنگی	ماسه خیلی دانه‌ریز تا دانه درشت و گراولی
جورشدگی	ضعیف تا متوسط
گردشدگی	زاویه دار تا نیمه گردشده
بلوغ بافتی و کانی‌شناسی	نابالغ
ساخت رسوبی	طبقه‌بندی مورب، کنکرسیون، توالی ریز شونده و درشت شونده به سمت بالا
محیط رسوبی	رودخانه‌ای-دلتایی
عوارض دیاژنزی غالب	تراکم عمدتا فیزیکی، سیمانی‌شدن، انحلال
نوع سیمان غالب	سیمان‌های رسی، کلسیتی
نوع منافذ تخلخل	حفره‌ای مجزا، ریزتخلخل‌های درون خرده‌سنگ‌ها و نیز مرتبط با کانی‌های رسی

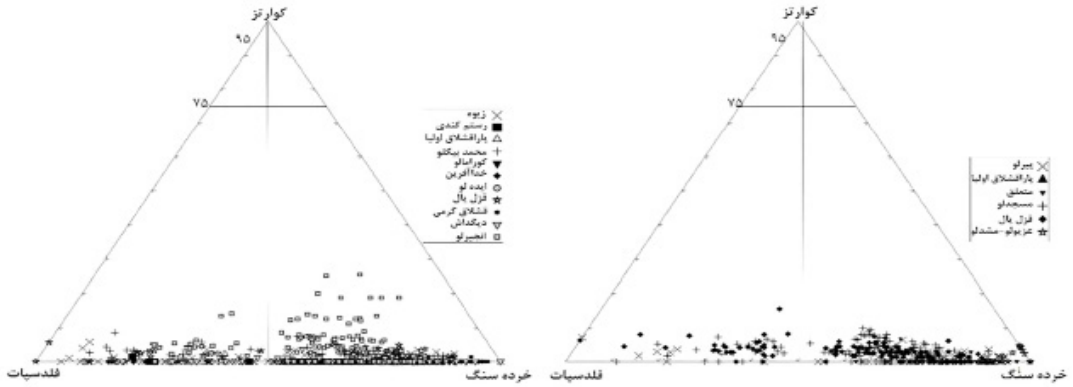


شکل ۳ نمونه تصاویر مغزه از ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان: الف- ماسه‌سنگ دانه‌ریز، ب- ماسه‌سنگ دانه‌ریز تا دانه متوسط، پ- ماسه سنگ دانه متوسط، ت- ماسه‌سنگ دانه متوسط تا دانه درشت، ث- ماسه‌سنگ دانه درشت، ج- ماسه‌سنگ گراولی، چ- کنگلومرای ماسه‌ای و ح- کنگلومرا.

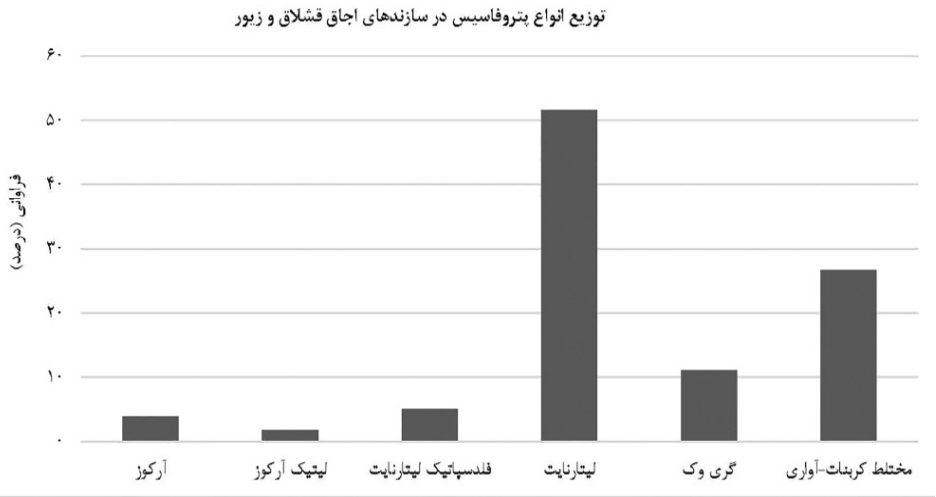


شکل ۴ نمونه تصاویر میکروسکوپی از انواع رخساره‌های ماسه‌سنگی حوضه مغان در نور پلاریزه (راست) و طبیعی (چپ): الف، ب- ماسه سنگ لیتارنایت دانه متوسط تا دانه درشت با جورشدگی متوسط، پ، ت- ماسه‌سنگ لیتارنایت فلدسپاتی دانه متوسط تا دانه درشت با جورشدگی ضعیف، ث، ج- ماسه سنگ فلدسپاتی (آرکوز) دانه متوسط تا دانه درشت با جورشدگی متوسط، چ، ح- ماسه سنگ آرکوزی خرده سنگ‌دار دانه متوسط تا دانه درشت با جورشدگی متوسط، خ، د- ماسه‌سنگ گری وک لیتارنایت فلدسپاتی دانه‌ریز تا دانه متوسط با جورشدگی متوسط، ذ، ر- رخساره مختلط آهکی-ماسه‌سنگی، ز، ژ- رخساره مختلط آهکی- ماسه‌سنگی که حضور برخی فسیل‌های پلاژیک بیانگر تشکیل آن در یک محیط کربناته عمیق است

همچنین، حضور قابل‌توجه ماتریکس گلی در بخش ناچیزی از این ماسه‌سنگ‌ها، آنها را در گروه ماسه‌سنگ‌های گری وک قرار می‌دهد. طبق نمودار فراوانی شکل ۶، بخش عمده ماسه‌سنگ‌های سازندهای اجاق قشلاق و زیور در حوضه مغان از نوع ماسه‌سنگ‌های خرده سنگ‌دار (لیتارنایت) هستند. ماسه‌سنگ‌های مختلط کربناته-آواری نیز بعد از ماسه‌سنگ‌های لیتارنایتی، فراوانی قابل‌توجهی دارند. در این رخساره‌ها، اجزاء تخریبی همچون خرده‌سنگها و فلدسپاتها درون زمینه گل آهکی نهشته شده‌اند. حضور فورامینیفرهای پلاژیک در برخی از این رخساره‌ها بیانگر تشکیل آنها در یک محیط کربناته عمیق است.



شکل ۵ موقعیت نمونه‌های ماسه‌سنگی سازندهای اجاق قشلاق (سمت راست) و زیور (سمت چپ) برروی مثلث طبقه‌بندی پتی‌جان [۲۸] براساس درصد سه جزء اصلی کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ

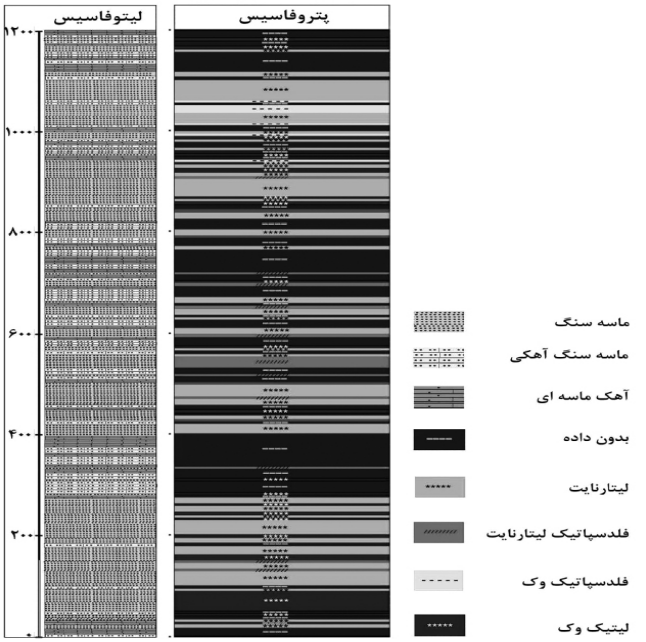


شکل ۶ نمودار توزیع فراوانی انواع رخساره‌های ماسه‌سنگی سازندهای اجاق قشلاق و زیور در حوضه مغان

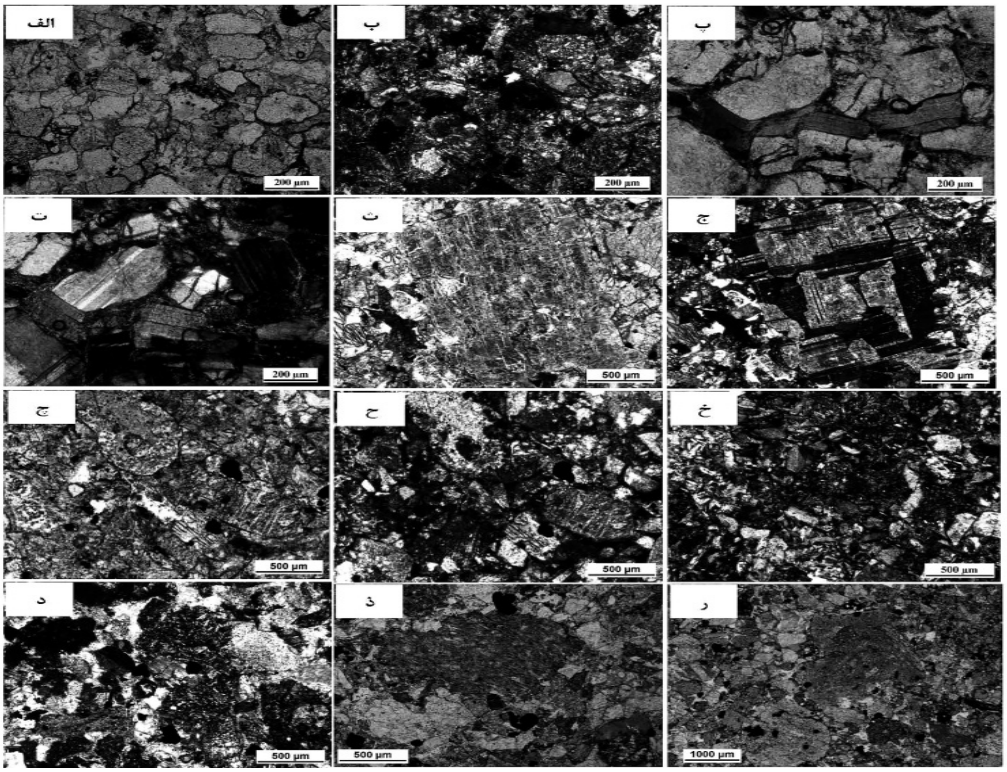
شکل ۷، ستون رسوب‌شناسی سازندهای اجاق قشلاق و زیور در یکی از برش‌های سطحی ناحیه مغان که براساس مطالعات مقاطع نازک میکروسکوپی ترسیم شده است را نشان می‌دهد.

دیاژنز

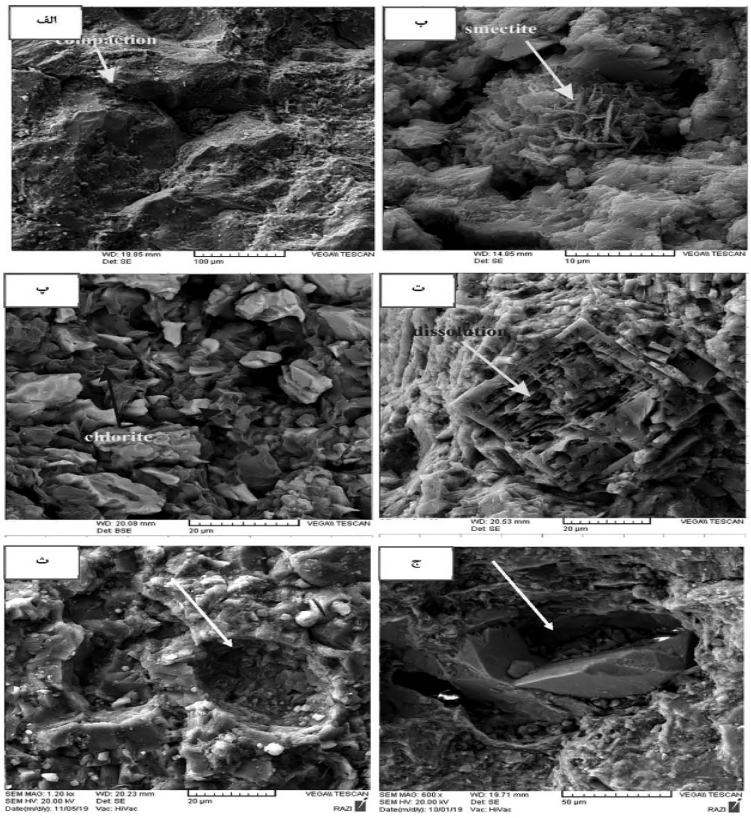
براساس نتایج حاصل از مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی، فرآیندهای دیاژنزی به‌طور قابل‌توجهی ماسه‌سنگ‌های سازندهای اجاق قشلاق و زیور را متأثر ساخته‌اند که تأثیر آنها به‌صورت عوارض مختلفی همچون تراکم، دگرسانی و توسعه سیمان و رس‌های دیاژنزی درون سیستم منافذ و نیز گسترش تخلخل ثانویه مشهود است. در شکل ۸ تصاویر میکروسکوپی از انواع فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان نشان داده شده است. شکل ۹ نیز برخی تصاویر میکروسکوپ الکترونی از فرآیندهای دیاژنزی درون این ماسه‌سنگ‌ها را نمایش می‌دهد. تراکم عمدتاً به‌صورت فیزیکی و تحت فشار وزن طبقات طی مراحل تدفین نقش مؤثری در کاهش فضای تخلخل و ارتباط سیستم منافذ در تمام رخساره‌های ماسه‌سنگی ایفا نموده است که شواهد آن در مرز تماس دانه‌ها و به‌صورت بافت متراکم مشاهده می‌شود (شکل ۸- الف تا ت و شکل ۹-الف).



شکل ۷ ستون رسوب‌شناسی سازندهای اجاق قشلاق و زیور در یکی از برش‌های سطحی ناحیه مغان



شکل ۸ نمونه تصاویر میکروسکوپی از انواع فرآیندهای دیاژنزی مرتبط با ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان: الف، ب- بافت متراکم در یک ماسه سنگ لیتارنایتی متشکل از خرده‌های آتشفشانی، پ، ت- تأثیر تراکم به‌صورت خمش و شکل‌پذیری میکا بین ذرات در ماسه سنگ فلدسپاتی، ث، ج- دگرسانی فلدسپات به رس در یک ماسه سنگ آرکوزی خرده‌سنگ دار دانه متوسط تا دانه درشت با جورشدگی متوسط که به آن ظاهر خاکی و کثیف داده است، چ، ح- کلریتی شدن به‌صورت جانشینی و سیمان در یک ماسه‌سنگ لیتارنایت فلدسپاتی دانه متوسط تا خیلی درشت با جورشدگی ضعیف، خ- سیمان کلریتی به‌صورت پرکننده تخلخل در یک ماسه‌سنگ لیتارنایت فلدسپاتی، د- سیمان کلسیت دفنی به‌صورت جانشینی و نیز پرکننده فضای تخلخل در یک ماسه‌سنگ لیتارنایتی دانه متوسط تا دانه درشت با جورشدگی ضعیف، ذ، ر- تأثیر انحلال به‌صورت توسعه تخلخل‌های ثانویه و انحلالی مجزا و نیز درون خرده‌سنگ‌های آتشفشانی (این مقاطع با رزین آبی، برای شناسایی تخلخل رنگ‌آمیزی شده‌اند)



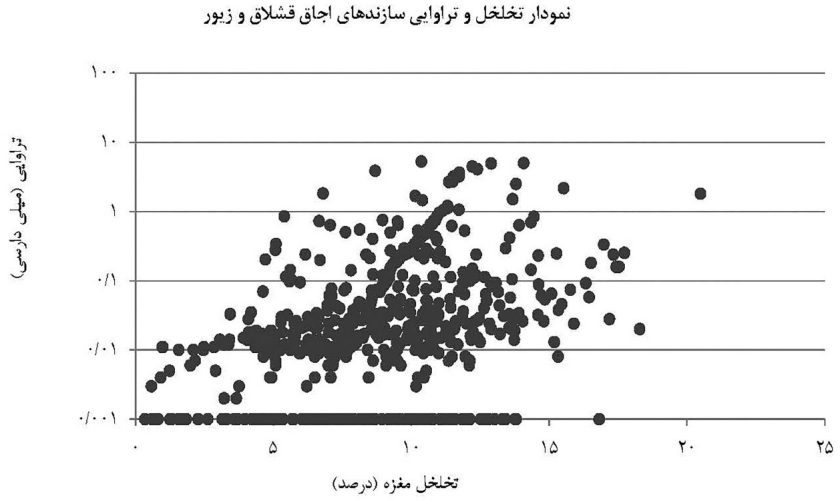
شکل ۹ نمونه تصاویر میکروسکوپ الکترونی از برخی عوارض دیاژنزی مرتبط با رخساره‌های ماسه‌سنگی سازندهای اجاق قشلاق و زیور: الف- بافت متراکم حاصل از فرآیند تراکم فیزیکی ذرات طی تدفین، ب- سیمان رسی دیاژنزی از نوع اسمکتیت به‌صورت پرکننده فضای تخلخل که خود در توسعه ریزتخلخل‌ها مؤثر بوده است، پ- کلریت به‌صورت کانی رسی دیاژنزی و ریزتخلخل‌های مرتبط با آن، ت- تخلخل ثانویه ناشی از انحلال بخشی فلدسپات، ث، ج- اثرات انحلال بخشی تا کامل اجزاء به‌صورت حفرات انحلالی

پس از تراکم، دگرسانی اجزاء ناپایدار به‌ویژه خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و فلدسپاتها پدیده دیاژنزی متداول درون ماسه‌سنگ‌های مخزن و تمام رخساره‌های آرنایتی است که عوارض آن به‌صورت توسعه انواع رس‌های دیاژنزی مانند کلریت، ایلیت، اسمکتیت و زئولیت مشاهده می‌شود (شکل ۸- ث تا ح و شکل ۹-ب، پ). البته اثرات دگرسانی اجزاء تخریبی ناپایدار مانند فلدسپاتها و خرده سنگها در رخساره‌های مختلط آهکی-ماسه‌سنگی مشاهده نمی‌شود یا به‌طور محدودی گسترش دارد (شکل ۴-ر، ژ) که می‌تواند بیانگر مسافت حمل و نقل کم و نیز رسوب‌گذاری سریع این اجزاء در محیط‌های عمیق کربناته باشد. همچنین این رخساره‌ها با توجه به عمق زیاد، فرصت رخنمون و دیاژنز جوی را نداشته‌اند ضمن اینکه با توجه به گل کربناته دانه‌ریز در زمینه، امکان نفوذ سیالات دیاژنزی طی تدفین در این رخساره‌ها کمتر فراهم شده است. رس‌های دیاژنزی علاوه‌بر جانشینی، به‌صورت سیمان نیز درون سیستم منافذ گسترش دارند (شکل ۸-خ و شکل ۹- ب-پ). در کنار سیمان‌های رسی، سیمان‌های دیگری همچون کلسیت اگرچه با اهمیت کمتر به‌صورت پرکننده منافذ حضور دارند (شکل ۸-د). علاوه‌بر فرآیندهای تراکم و سیمانی‌شدن که در جهت کاهش تخلخل و کیفیت مخزنی عمل نموده‌اند، فرآیند انحلال بخشی تا کامل اجزاء ناپایدار مانند فلدسپاتها و خرده‌سنگ‌ها، در ایجاد تخلخل‌های ثانویه درون رخساره‌های ماسه‌سنگی سازندهای اجاق قشلاق و زیور نقش ایفا نموده است. این تخلخل‌ها به‌صورت مجزا و محدود در برخی رخساره‌ها گسترش دارند (شکل ۸-ذ، ر و شکل ۹-ت).

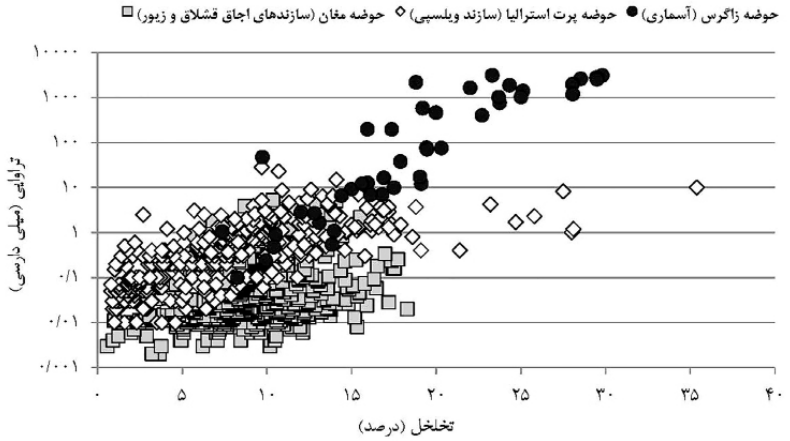
سیستم منافذ و کیفیت مخزنی

سیستم منافذ در رخساره‌های ماسه‌سنگی سازندهای زیور و اجاق قشلاق، تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی به‌شدت تغییر یافته است. به‌طوری‌که حضور منافذ بین دانه‌ای اولیه در این ماسه‌سنگ‌ها به‌ندرت مشهود است. در این خصوص تراکم نقش قابل توجهی در کاهش تخلخل اولیه طی تدفین ایفا نموده است و حضور قابل‌توجه خرده‌سنگ‌های آتشفشانی که مستعد تراکم‌پذیری هستند، به‌عنوان عاملی در تسهیل و شدت بخشیدن به فرآیند تراکم محسوب می‌شود. همچنین حضور خرده‌سنگ‌های ناپایدار در کنار فلدسپاتها به توجه به واکنش‌پذیری بالای آنها نسبت به سیالات دیاژنزی، به‌عنوان عامل مؤثری در توسعه رس‌های دیاژنزی مانند کلریت، اسمکتیت و ایلیت و نیز گسترش حفرات انحلالی مجزا درون سازندهای اجاق قشلاق و زیور محسوب می‌شود. ریزتخلخل‌های مرتبط با رس‌های دیاژنزی، بخشی از سیستم منافذ ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.

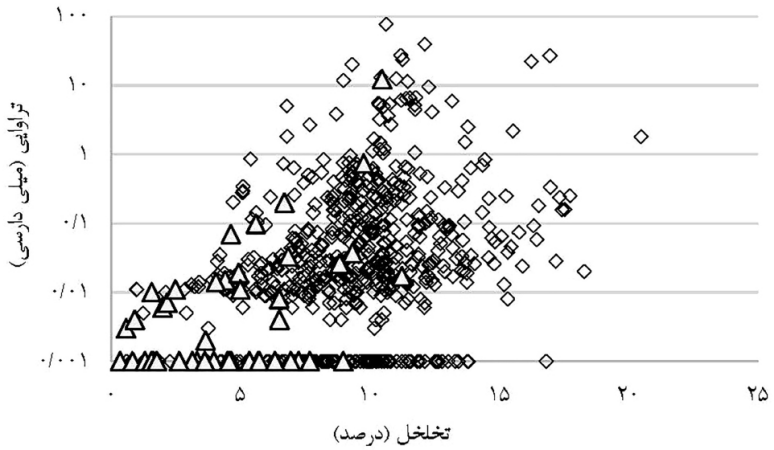
براساس داده‌های تخلخل و تراوایی حاصل از آنالیز معمولی مغزه، ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان دارای محدوده وسیعی از تخلخل از مقادیر کم تا زیاد (۰/۳ تا ۲۰٪) و تراوایی کم (حداکثر تا ۵ mD و عمدتاً کمتر از ۰/۱ mD) هستند (شکل ۱۰). از این رو این ماسه‌سنگ‌ها می‌توانند در گروه ماسه‌سنگ‌های کم تراوا قرار گیرند. در نمودار شکل ۱۱، موقعیت داده‌های تخلخل و تراوایی این ماسه‌سنگ‌ها، در مقایسه با ماسه‌سنگ‌های متعارف سازند آسماری در یکی از میادین جنوب غرب ایران و نیز ماسه‌سنگ‌های مخزنی نامتعارف در یکی از میادین حوضه پرت استرالیا [۲۳] نشان داده شده است. چنانچه مشخص است ماسه‌سنگ‌های عمدتاً لیتارنایتی حوضه مغان به‌طور کلی دارای مقادیر تراوایی کمتر از ماسه‌سنگ‌های کوارتز آرنایتی سازند آسماری و ماسه‌سنگ‌های فلدسپاتی و کم تراوای سازند ویلسپی حوضه پرت استرالیا هستند. تراوایی پایین ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان با نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی همخوانی دارد که براساس آن مشخص شد که بخش عمده منافذ این ماسه‌سنگ‌ها به‌صورت ثانویه و از نوع انحلالی مجزا و نیز ریزتخلخل‌های عمدتا مرتبط با کانی‌های رسی است. بررسی مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه رخساره‌های مختلط آهکی-ماسه‌سنگی سازندهای اجاق قشلاق و زیور طبق نمودار شکل ۱۲ به‌طور کلی بیانگر کیفیت مخزنی پایین‌تر این رخساره‌ها نسبت به سایر رخساره‌های ماسه‌سنگی است.



شکل ۱۰ نمودار پراکندگی داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان.

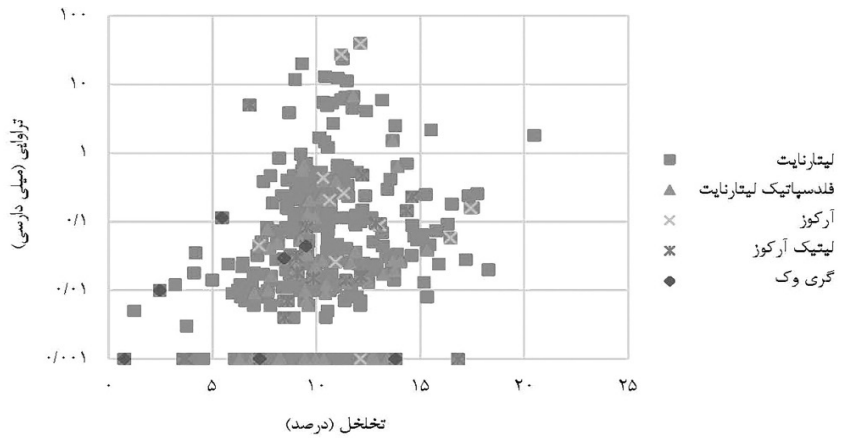


شکل ۱۱ موقعیت ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان برروی نمودار تخلخل و تراوایی، در مقایسه با ماسه‌سنگ‌های آسماری و ماسه‌سنگ‌های کم تراوای حوضه پرت استرالیا



شکل ۱۲ موقعیت رخساره‌های مختلط آهکی-ماسه‌سنگی (علایم مثلثی) نسبت به رخساره‌های ماسه‌سنگی (علایم لوزی شکل) سازندهای اجاق قشلاق و زیور برروی نمودار پراکندگی تخلخل-تراوایی مغزه

این موضوع با ماهیت بافتی این رخساره‌ها که دارای گل کربناته دانه‌ریز در زمینه هستند مرتبط است. همچنین بررسی کیفیت مخزنی انواع رخساره‌های ماسه‌سنگی برروی نمودار پراکندگی تخلخل-تراوایی چنان‌چه در شکل ۱۳ مشخص است تفکیک مشخصی بین آنها نشان نمی‌دهد که بیانگر این امر است که کیفیت مخزنی تحت کنترل رخساره نمی‌باشد و دیاژنز کنترل اساسی بر ویژگی‌های مخزنی آنها داشته است. از مجموع نتایج مطالعات سنگ‌شناسی، رخساره و عوارض دیاژنزی همراه با ویژگی‌های مخزنی مشخص می‌شود که سیستم منافذ در ماسه‌سنگ‌های سازندهای اجاق قشلاق و زیور، تغییرات قابل‌توجهی بعد از رسوبگذاری و طی دیاژنز متحمل شده است. بلوغ کانی‌شناسی پایین این ماسه‌سنگ‌ها که عمدتاً از خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و فلدسپات تشکیل شده‌اند نقش مؤثری در پیشبرد فرآیندهای دیاژنزی و توسعه محصولات دیاژنزی داشته است. درصد بالای خرده‌سنگ‌های ناپایدار در این ماسه‌سنگ‌ها با برخاستگاه آنها که در واقع سنگ‌های آتشفشانی واقع در جنوب منطقه مورد مطالعه هستند [۱۹]. و فاصله حمل و نقل کم آنها با توجه به بلوغ بافتی و کانی‌شناسی پایین آنها قابل توجیه است.



شکل ۱۳ موقعیت انواع رخساره‌های ماسه‌سنگی سازندهای اجاق قشلاق و زیور برروی نمودار پراکندگی تخلخل-تراوایی مغزه

به‌طور کلی در حوضه‌های تخریبی نزدیک به منشاء رسوبات، که نرخ رسوب‌گذاری و ضخامت رسوبات بالاست، ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً با بلوغ بافتی و کانی‌شناسی پایین هستند. این ماسه‌سنگ‌ها مستعد دیاژنز شدید (تراکم و سیمانی‌شدن بالا) و توسعه مخازن با نفوذپذیری پایین هستند [۳۵]. بخش قابل‌توجهی از تخلخل اولیه ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان تحت تأثیر تراکم از بین رفته است که این تراکم به‌واسطه حضور خرده‌سنگ‌های آتشفشانی تشدید شده است. گسترش رس‌های دیاژنزی به‌صورت سیمان و به‌واسطه دگرسانی اجزاء ناپایدار مانند خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و فلدسپاتها، در کاهش بخشی از فضای تخلخل و نیز کاهش ارتباط سیستم منافذ نقش به‌سزایی داشته است. ضمن اینکه رس‌های دیاژنزی به‌واسطه ساختار بلوری ریز خود، در توسعه ریزتخلخل‌ها درون سیستم منافذ مؤثر بوده‌اند.

سایر سیمان‌ها مانند کلسیت به‌طور محدود و در برخی رخساره‌ها در کاهش کیفیت مخزنی نقش داشته‌اند. فرآیند انحلال نیز عمدتا مرتبط با اجزاء ناپایدار، در توسعه تخلخل‌های ثانویه نقش داشته است. منافذ انحلالی عمدتا به‌صورت مجزا و با گسترش محدود، درون برخی رخساره‌های ماسه‌سنگی حضور دارند. بنابراین تأثیر متقابل سه عامل تراکم، سیمان‌های عمدتاً رسی و انحلال، سیستم منافذ ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، و رفتار تولید آنها را در حوضه مغان کنترل می‌نماید. نقش مؤثر این سه عامل با کانی‌شناسی و اجزاء تخریبی ماسه‌سنگ‌ها ارتباط تنگاتنگی دارد. شکل ۱۴ به‌طور خلاصه تأثیر این عوامل را بر سیستم منافذ و کنترل کیفیت مخزنی رخساره‌های ماسه‌سنگی سازندهای اجاق قشلاق و زیور نشان می‌دهد.

شکل ۱۴ ارتباط فرآیندهای اصلی دیاژنزی و تأثیر آنها بر کیفیت مخزنی در ماسه‌سنگ‌های حوضه مغان که در نهایت منجر به ماسه‌سنگ‌های کم‌تراو در این حوضه شده است

نتیجه‌گیری

بررسی مشخصه‌های سنگ‌شناسی و رسوبی و تأثیر آنها بر کیفیت مخزنی سازندهای اجاق قشلاق و زیور در حوضه مغان نتایج زیر را نشان می‌دهد:

۱- توالی این سازندها متشکل از ماسه‌سنگ‌های خرده سنگ‌دار و فلدسپاتی با بلوغ بافتی پایین هستند.

۲- تأثیر فرآیندهای دیاژنزی در این ماسه‌سنگ‌ها تا حد قابل‌توجهی با بلوغ کانی‌شناسی آنها مرتبط است. چنانچه بلوغ کانی‌شناسی پایین این ماسه‌سنگ‌ها نقش به‌سزایی در پیشبرد فرآیندهای دیاژنزی مانند تراکم و توسعه رس‌های دیاژنزی و در نهایت تأثیر این فرآیندها بر سیستم منافذ و کیفیت مخزنی آنها داشته است.

۳- حضور خرده‌سنگ‌های آتشفشانی با قابلیت تراکم‌پذیری، شدت فرآیند تراکم طی تدفین را تسهیل و تشدید نموده است. همچنین دگرسانی این اجزاء همراه با فلدسپات‌ها نقش قابل‌توجهی در توسعه رس‌های دیاژنزی داشته است. رس‌های دیاژنزی علاوه‌بر پر کردن بخشی از سیستم منافذ، نقش قابل‌توجهی در افزایش ریزتخلخل‌های درون مخزن داشته‌اند. فرآیند انحلال نیز به‌طور محدود در گسترش تخلخل‌های انحلالی و مجزا نقش داشته است.

۴- در مجموع برآیند سه عامل تراکم، رس‌های دیاژنزی و انحلال منجر به ماسه‌سنگ‌های کم تراوا با بافت متراکم و سیستم منافذ متشکل از حفرات انحلالی مجزا و ریزتخلخل‌ها در حوضه مغان شده است.

تشکر و قدردانی

از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران جهت فراهم نمودن بستر لازم برای این مطالعه و در اختیار قراردادن اطلاعات مورد نیاز در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

[1]. Bowers G L, Katsube T J (2002) The role of shale pore structure on the sensitivity of wire-line logs to over-pressure, in Huffman A, Bowers G, eds., Pressure regimes in sedimentary basins and their prediction, AAPG Memoir 76: 43-60.
[2]. Nelson PH (2009) Pore-throat sizes in sandstones, tight sandstones, and shales, AAPG Bulletin, 93, 3: 329-340.
[3]. Tobin RC, McClain T, Lieber RB, Ozkan A, Banfield LA, Marchand AME, McRae LE (2010) Reservoir quality modeling of tight-gas sands in Wamsutter field: Integration of diagenesis, petroleum systems, and production data, AAPG Bulletin, 94, 8: 1229-1266.
[4]. Mousavi MA, Bryant SL (2012) Connectivity of pore space as a control on two-phase flow properties of tight-gas sandstones, Transport in Porous Media, 94: 537-554.
[5]. Sakhaee-Pour, A, Steven L (2014) Bryant Effect of pore structure on the producibility of tight-gas sandstones, AAPG Bulletin, 98, 4: 663-694.
[6]. Bahrami H, Rezaee R, Clennell B (2012) Water blocking damage in hydraulically fractured tight sand gas reservoirs: An example from Perth Basin, Western Australia, Journal of Petroleum Science and Engineering, 88-89: 100-106.
[7]. Kadkhodaie-Ilkhchi R, Kadkhodaie-Ilkhchi A, Rezaee R (2019) Unraveling the reservoir heterogeneity of the tight gas sandstones using the porosity conditioned facies modeling in the Whicher Range field, Perth Basin, Western Australia, Journal of Petroleum Science and Engineering, 176: 97-115.
[8]. Zeng L, Su H, Tang X, Peng Y, Gong L (2013) Fractured tight sandstone oil and gas reservoirs: A new play type in the Dongpu depression, Bohai Bay Basin, China, AAPG Bulletin, 97, 3: 363-377.
[9]. Huang W, Lu S, Hersi OS, Wang M, Deng S, Lu R (2017) Reservoir spaces in tight sandstones: Classification, fractal characters, and heterogeneity, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 46: 80-92.
[10]. Liu G, Bai Y, Gu D, Lu Y, Yang D (2018) Determination of static and dynamic characteristics of microscopic pore-throat structure in a tight oil-bearing sandstone formation, AAPG Bulletin, 102, 9: 1867-1892.
[11]. Jiang F, Zhang C, Wang K, Zhao Z, Zhong K (2019) Characteristics of micropores, pore t hroats, and movable fluids in the tight sandstone oil reservoirs of the Yanchang Formation in the southwestern Ordos Basin, China. AAPG Bulletin, 1031, 2: 2835–2859.
[12]. Xiao L, Li J, Mao Z, Yu H (2020) A method t o e valuate pore structures of fractured tight sandstone reservoirs using borehole electrical image logging, AAPG Bulletin, 104, 1: 205-226.
[13]. Law, BE (1986) Geologic characterization of low-permeability gas reservoirs in selected wells, Greater Green River Basin, Wyoming, Colorado, and Utah, American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, 24: 253-269.
[14]. Holditch SA (2006) Tight gas sands: Society of Petroleum Engineers Paper 103356, Journal of Petroleum Technology, 58, 6: 86-94.
[۱۵]. نبوی م ح (۱۳۵۵) دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹-۱.
[16]. Adamia S, Zakariadze G, Chkhotua T, Sadradze N, Tsereteli N, Chabukiani A, Gventsadze A (2011) Geology of the Caucasus: a review, Turkish Journal of Earth Sciences, 20: 489-544.
[۱۷]. جعفرزاده م (۱۳۹۲) بررسی خاستگاه، جایگاه تکتونیکی و عملکرد فرآیندهای دیاژنتیکی سازند سیلیسی آواری سازند زیوه (الیگو-میوسن) در شرق دشت مغان، رساله دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، ۳۰۱-۱.
[18]. Fotouhi M (1973) A comprehensive review of geology and oil possibilities in Moghan area, National Iranian Oil Company, Geological Report, 1-348.
[19]. Luk Oil (2007) Geological model creation, delineation and estimation of prospects for Moghan and Lali blocks (Iran). Joint study project, NIOC Exploration/Luk Oil Company, Final Report to Contract No. IR 40-06-71-001-23/06, 1-658.
[20]. Haim H (1950) In: Willm, CH, Brasseur R, Revoo G, Marchand J, Rochet J, Hindermeyer J (1961) Geological Report 235, on Moghan area, IFP mission in Azerbaijan, National Iranian Oil Company.
[21]. Taraz A (1953) Geological report Number 114, NIOC internal report.

[22]. Rezaee R, Saeedi A, Clennell B (2012) Tight gas sands permeability estimation from mercury injection capillary pressure and nuclear magnetic resonance data, Journal of Petroleum Science and Engineering, 88-89: 92-99.
[23]. Kadkhodaie-Ilkhchi R, Rezaee R, Moussavi-Harami R, Kadkhodaie-Ilkhchi A (2013) Analysis of the reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia, Journal of Petroleum Science and Engineering, 111: 106-120.
[۲۴]. بهرامی ح. (۱۳۷۷) مطالعه پالئونتولوژی بر نمونه های سطحی منطقه مغان، گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران، (۳۷۳#TR).
[۲۵]. رجبی ا.، صفایی س. و عبادیان ح (۱۳۷۹) زمین‌شناسی ساختمانی تاقدیس قره سو، ناحیه مغان، شرکت ملی نفت ایران، گزارش زمین‌شناسی شماره ۱۹۴۳.
[۲۶]. امینی ع (۱۳۸۲) مشخصات سنگ شناسی و محیط رسوبی سازند زیوه در دشت مغان، گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران (مدیریت اکتشاف)، شماره ۲۰۱۹، ۱۴۶.
[۲۷]. بخشی ا (۱۳۸۳) مطالعات رسوب‌شناسی بر سکانس های حفاری چاه اصلاندوز-۱ و چاه اورتاداغ ۱ و ۲ در منطقه مغان شمال غربی ایران، گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران (۱۳۱۲#TR).
[۲۸]. فرزانه ف (۱۳۷۸) بررسی مشخصه‌های سنگ‌شناسی و عوارض دیاژنتیکی سازند زیور در نواحی قره خان بیگلو و اجاق قشلاق، شرق مغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ۱۹۹-۱.
[۲۹]. حاجی بابایی م (۱۳۹۰) بررسی مشخصات سنگ‌شناسی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند زیور در برش پاراقشلاق، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ۱۲۰-۱.
[۳۰]. رمضانی ف (۱۳۹۰) بررسی مشخصات سنگ‌شناسی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند زیور در برش تولون، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ۱۴۹-۱.
[۳۱]. رزازی بروجنی م (۱۳۹۱) بررسی مشخصات سنگ‌شناسی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند زیور در برش آبش احمد و تغییرات ضخامت آن در منطقه مغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ۱۵۷-۱.
[۳۲]. رادمرد س (۱۳۹۱) بررسی مشخصات شنگ‌شناسی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سازند زیور در برش دیگداش و تغییرات ضخامت آن در منطقه مغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ۹۰-۱.
[33]. Pettijohn FJ, Potter PE, Siever R (1987) Sand and Sandstone (2nd eds.), Berlin7 Springer-Verlag, 553.
[34]. IFP (1960) Geological Report Number. 235, NIOC.
[35]. Zeng L, Jiang J, Yang Y (2010) Fractures in the low porosity and ultra-low permeability glutenite reservoir s: A case study of the late Eocene Hetaoyuan formation in the Anpeng Oil field, Nanxiang Basin, China, Marine and Petroleum Geology, 27: 1642-1650.

Petroleum Research
Petroleum Research, 2021(December-January), Vol. 31, No. 120, 19-21
DOI:10.22078/PR.2021.4527.3040

The Role of Mineralogy and Clastic Components on Diagenesis and Its Effect on the Evolution of the Pore System and Controlling the Reservoir Quality in Tight Sandstones of Moghan basin

Rahim Kadkhodaie-Ilkhchi[1]*, Peiman Mohammadi[2], Mohammad Reza Mirzaei[2], Farzin Farzaneh[3] and Noor Azar Shokrzadeh[3]

1. Earth Science Department, Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Petroleum Geology Department, Research and Development in Upstream Petroleum Industry, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran
3. National Iran Oil Company Exploration Directorate, Tehran, Iran

r.kadkhodaie@tabrizu.ac.ir
DOI:10.22078/PR.2021.4527.3040

Received: June/23/2021 Accepted: November/08/2021

Introduction

Moghan region with an area of 6300 to 6500 Km^2 is located in northwestern Iran, which includes the northern parts of Ardabil province and northeastern parts of East Azerbaijan province. The first report of the presence of oil and gas resources in the Moghan block in the Ortdagh structure was provided by Haim [1]. After the initial geological studies in Moghan area, the first stratigraphic report of the study area was published by Taraz [2]. The geology of this area consists of a complex of sedimentary, volcanic and metamorphic rocks. Moghan reservoir rock is considered as an unconventional reservoir that due to its special geological characteristics, its production is associated with a drop in pressure. An important feature of these reservoirs is their low permeability, which makes them difficult to produce optimally [3,4]. According to the drilling results in the Ortadagh and Girdareh structures, two fields related to Zeivar and Ojageshlaq deposits were introduced, which were not developed due to production problems. However, due to the reservoir importance of the mentioned formations, several studies were carried out in the following years, in the form of oil company projects and student dissertations [5-13, 14]. In this study, with the aim of evaluating sedimentary and diagenetic factors affecting the pore system and reservoir quality, reservoir sandstones of Moghan basin were studied based on the results of outcrop studies and three wells in the region.

Materials and Methods

In this study, in line with the objectives of the study, first the lithological and sedimentary characteristics of Ojgheshlaq and Zeivar formations were determined based on the macroscopic description of cores prepared from three wells and outcrops in different parts of the study area. Then, in order to identify and describe the textural and diagenetic characteristics of these sandstones, petrographic studies were performed on thin sections. Thus, the clastic components and mineralogy of the sandstones were identified and, accordingly, they were separated according to the Pettijohn classification [15]. Also, diagenetic features of sandstones along with different pore types were described. In order to more accurately identify some products and diagenetic features, scanning electron microscopy (SEM) studies were performed on a number of core samples. Then, in order to investigate the reservoir quality of the sandstones, core porosity and

permeability data were used. Finally, by combining the results of lithological, textural and diagenetic studies with reservoir characteristics, the factors controlling the reservoir quality that are effective in modifying and evolving the pore system of these sandstones were identified and interpreted.

Results and Discussions

Based on core and petrographic studies, sedimentary succession of Ojagheshalq and Zeivar formations in Moghan basin, in terms of lithology, mainly include clastic facies, mixed carbonate-clastic facies and a lower percentage of carbonate facies. Clastic facies consists of conglomerate, sandstone, siltstone and shale. Sandstones, texturally, show a wide variation in grain size, ranging from fine-grained to coarse-grained and gravelly sandstones. The sandstones show low textural and mineralogical maturity, and are classified as feldspathic and litharenite sandstones according to the Pettijohn classification [15]. Diagenetic processes have significantly affected the sandstones, the effect of which is manifested in various features such as compaction, alteration and development of cement and diagenetic clays within the pore system as well as the formation of secondary porosity. Compaction mainly physically and under the effect of bed loading during the burial stages has played an effective role in reducing the porosity and the connection of the pore system in all sandstone facies. After compaction, alteration of unstable components, especially volcanic lithics and feldspars, is a common diagenetic phenomenon in the reservoir sandstones, which its features are observed as various diagenetic clays, including Chlorite, Illite, Smectite, and Zeolite. In addition to clay cements, other cements such as calcite, although with less importance, are present as pore-filling. In addition to compaction and cementation processes that have acted to reduce porosity and reservoir quality, partial to complete dissolution of unstable components such as feldspars and lithics, by the creation of secondary porosity has acted as an improving agent of reservoir quality. The interaction effect between three diagenetic agents of compaction, cements mainly clays and dissolution, have significantly controlled the pore system properties of the studied sandstones, and their production behavior in the Moghan basin. The effective role of these three factors is closely related to the mineralogy and clastic components of the sandstones.

Conclusions

The Ojagheshlagh and Zeivar formations in Moghan basin consist of feldspathic and litharenite sandstones. The influence of diagenetic processes in these sandstones is significantly related to their mineralogical maturity. As the low mineralogical maturity of these sandstones has played a significant role in advancing diagenetic processes such as compaction and development of diagenetic clays and ultimately the impact of these processes on the pore system and their reservoir quality. The presence of volcanic lithics with compressibility has facilitated and intensified the effect of the compaction process during burial. Alteration of these components along with feldspars has also played a significant role in the development of diagenetic clays. In addition to filling a part of the pore system, diagenetic clays have played a significant role in increasing the micropores in the reservoir. The dissolution process has also played a limited role in the development of dissolution and isolated pores. In total, the result of three factors of compaction, diagenesis and dissolution, has led to tight sandstones with a compacted texture and a pore system consisting of isolated dissolution vugs and micropores in the Moghan basin.

References

1. Haim H (1950) In: Willm, CH., Brasseur R., Revoo, G., Marchand J., Rochet J., Hindermeyer J (1961) Geological Report 235, on Moghan area. IFP mission in Azerbaijan, National Iranian Oil Company.
2. Taraz A (1953) Geological report Number 114, NIOC internal report.
3. Rezaee R, Saeedi A, Clennell B (2012) Tight Gas Sands Permeability Estimation from Mercury Injection Capillary Pressure and Nuclear Magnetic Resonance Data, Journal of Petroleum Science and Engineering, 88-89: 92-99.
4. Kadkhodaie-Ilkhchi R, Rezaee R, Moussavi-Harami R, Kadkhodaie-Ilkhchi A (2013) Analysis of the reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia, Journal of Petroleum Science and Engineering, 111: 106-120.
5. Bahrami H (1999) Paleontological study on outcrop samples in Moghan area, NIOC, TR#373.
6. Farzaneh F (2000) Study of lithological characteristics and diagenetic features of the Zeivar Formation in Gharakhan Beiglu and Ohagheshlaq areas, East Moghan, MA thesis, University of Tehran, Iran, 1-199.
7. Rajabi A, Safaie S, Ebadian H (2001) Structural geology of Gharadarreh anticline, Moghan area, NIOC, Geological report number 1943.
8. Amini A (2004) Lithological characteristics and sedimentary environment of the Zeivar Formation in Moghan Plain, NIOC report, GR#2019, 146 p.
9. Bakhshi A (2005) Sedimentology studies on drilled sequences of Aslanduz-1 and Ortadagh 1 and 2 wells in Moghan area of northwest of Iran, NIOC report, TR#1312.
10. Hajbabaei M (2012) Sedimentary Petrology, Depositional Environment and Sequence

Stratigraphy of Ojagheshlagh Formation in the Moghan Area, Paragheshlagh Section, MA thesis, University of Tehran, Iran, 1-120.
11. Ramazani F (2012) Study of Lithological characteristics, sedimentary environment and sequence stratigraphy of the Zeivar Formation in Tulun section, MA thesis, University of Tehran, Iran, 1-149.
12. Razazi Boroujeni M (2012) Sedimentary Petrology, Depositional Environment and Sequence Stratigraphy of Zivar Formation in Abesh-Amad section and thickness variation in Moghan Area, MA thesis, University of Tehran, Iran, 1-157.
13. Radmard S (2013) Sedimentary Petrology, Depositional Environment and Sequence Stratigraphy of Zivar Formation in Digdash Section and its lithological variation in Moghan Area, MA thesis, University of Tehran, Iran, 1-90.
14. Jafarzadeh m (2014) Investigation of provenance, tectonic setting and effects of diagenetic processes on siliciclastic Zivah Formation (Oligo-Miocene), East of Moghan area, NW Iran, PhD thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 1-301.
15. Pettijohn FJ, Potter PE, Siever R (1987) Sand and Sandstone, 2nd eds., Berlin7 Springer-Verlag, 1-553.