

کاربرد مفهوم رخساره منفذی در تخمین تراوایی مخازن کربناته، مطالعه موردی از سازند سروک در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران

جواد هنرمند* و علی اسعدی

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

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲

چکیده

سازند سروک با سن آلبین پسین-تورونین پیشین، مهم‌ترین سنگ مخزن هیدروکربنی ناحیه دشت آبادان است. تخمین تراوایی در مخازن کربناته ناهمگن مانند سازند سروک، به دلیل پیچیدگی خصوصیات منافذ، دشوار و رابطه بین تخلخل و تراوایی تابع نوع، اندازه و نحوه ارتباط سیستم منافذ می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از مفهوم رخساره منفذی و فرمول‌های تجربی، تخمین تراوایی صورت گرفته است. بر اساس توصیف مغزه‌ها، مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی، انواع منافذ شناسایی و توصیف شدند. سپس با توجه به ماهیت پتروفیزیکی سیستم منافذ و ارتباط تخلخل-تراوایی در آنها، چهار رخساره منفذی براساس غالب بودن منافذ ریز تخلخل (رخساره منفذی ۱)، ریز تخلخل-حفره‌ای (رخساره منفذی ۲)، حفره‌ای (رخساره منفذی ۳) و حفره‌ای-بین دانه‌ای (رخساره منفذی ۴) معرفی شدند. در هر کدام از رخساره‌های منفذی یک رابطه تجربی براساس ارتباط تخلخل-تراوایی بدست آمد که از آن برای تخمین تراوایی استفاده گردید. مقایسه نتایج تراوایی در این تحقیق و مطالعات گذشته، نشان می‌دهد که تخمین تراوایی بر اساس مفهوم رخساره منفذی انطباق بالاتری با مشخصه‌های رخساره‌ای و دیاژنزی نشان می‌دهد. عموماً توالی‌های دارای ریز تخلخل و تخلخل حفره‌ای غیر مرتبط، به دلیل ارتباط ضعیف سیستم منافذ، مقادیر تراوایی تخمین زده شده پایین‌تر خواهد بود. در مقابل توالی‌های با منافذ بهم مرتبط از نوع حفره‌ای و بین دانه‌ای، تراوایی بالاتری در مقادیر یکسان تخلخل نسبت به سایر گروه‌های منفذی نشان می‌دهند. تخمین تراوایی بر اساس مفهوم رخساره منفذی، با توجه به اهمیت نوع و هندسه منافذ در توزیع مقادیر تراوایی درون مخزن، نتایج دقیق‌تری در مخازن کربناته ناهمگن فراهم می‌آورد.

کلمات کلیدی: سازند سروک، تخمین تراوایی، روابط تجربی، نوع منافذ، رخساره منفذی.

مقدمه

تخمین پارامترهای پتروفیزیکی در مخازن کربناته، به دلیل سیستم منافذ ناهمگن، پیچیده و دشوار می‌باشد [۳-۱]. تراوایی یکی از مهمترین پارامترهای مخزنی در تعیین ظرفیت جریان هیدروکربن در مخزن می‌باشد که توسط پارامترهای مختلف مرتبط با سیستم منافذ از قبیل نوع، اندازه، ارتباط، شعاع گلوگاه و جورشدگی منافذ کنترل می‌شود [۴] و [۵]. سازند سروک یکی از مهمترین مخازن کربناته جنوب غرب ایران می‌باشد و تخمین تراوایی در آن می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در زمینه قابلیت تولید مخزن فراهم آورد. در مخازن کربناته مشاهده نمونه‌هایی با تخلخل یکسان و مقادیر تراوایی متفاوت ناشی از پیچیدگی و تنوع سیستم منافذ رایج می‌باشد [۶]. ویژگی منافذ^۱ یک سنگ مخزن، توسط نوع رخساره‌ها و تاثیر فرآیندهای دیاژنزی شکل می‌گیرد [۷]. بنابراین شناخت فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی و سیستم منافذ در مخزن، به منظور تخمین تراوایی ضروری است. روش‌های مختلفی به منظور تخمین تراوایی استفاده می‌شود که هر کدام از آنها دارای مزیت‌ها و معایبی می‌باشند. روش‌های بر مبنای مدل‌های تجربی و تئوری، روش‌های هوشمند و گروه‌بندی مخزن بر مبنای ویژگی‌های پتروفیزیکی و زمین‌شناسی، با توجه به داده‌های در دسترس و میزان دقت و صحت در تخمین تراوایی استفاده می‌شوند [۸]. استفاده از فرمول‌های تجربی برای تخمین تراوایی، با توجه به مبانی ریاضی و تئوری می‌تواند استفاده شود [۸]. با این وجود، یک رابطه ساده تجربی برای تخمین تراوایی در یک مخزن کربناته ناهمگن نمی‌تواند نتایج قابل قبولی فراهم آورد. با توجه به اینکه در مقادیر یکسان تخلخل، انواع مختلف منافذ تراوایی متفاوتی نشان می‌دهند، ارائه فرمول‌های تجربی در هر گروه پتروفیزیکی بر مبنای نوع سیستم منافذ، برای تخمین تراوایی کاربردی است [۹، ۱۰]. در سازند سروک به دلیل تنوع رخساره‌های رسوبی و

تاثیر عمده فرآیندهای دیاژنزی، سیستم منافذ تنوع زیادی نشان می‌دهد و استفاده از یک فرمول تجربی نمی‌تواند برای تخمین تراوایی در تمام بخش‌های مخزن نتایج دقیقی فراهم آورد. رخساره منفذی به عنوان بخشی از مخزن تعریف می‌شود که از جنبه نوع و هندسه منافذ، ویژگی‌های متمایزی نسبت به سایر بخش‌های مخزن نشان می‌دهد [۱۰]. مطالعات پتروگرافی^۲، نمودارهای فشار موئینه^۳ و نمودار رزونانس مغناطیسی^۴ مهمترین روش‌های مورد استفاده در تعیین و تفکیک رخساره‌های منفذی در مخزن می‌باشند [۱۰]. مطالعات پتروگرافی و تحلیل تصاویر با توجه به دسترسی آسان و هزینه کم، می‌تواند به منظور شناسایی رخساره‌های منفذی استفاده شود [۷]. در این مطالعه، برای تخمین تراوایی از مفهوم رخساره منفذی استفاده گردیده است. هدف این مطالعه بررسی و توصیف سیستم منافذ سازند سروک و تخمین تراوایی بر اساس ارتباط تخلخل-تراوایی توسط روابط تجربی می‌باشد. در نهایت، نتایج حاصل از تخمین تراوایی توسط روش مورد استفاده در این مطالعه و روش‌های تجربی قبلی صورت گرفته در ناحیه دشت آبادان مقایسه شده است.

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه

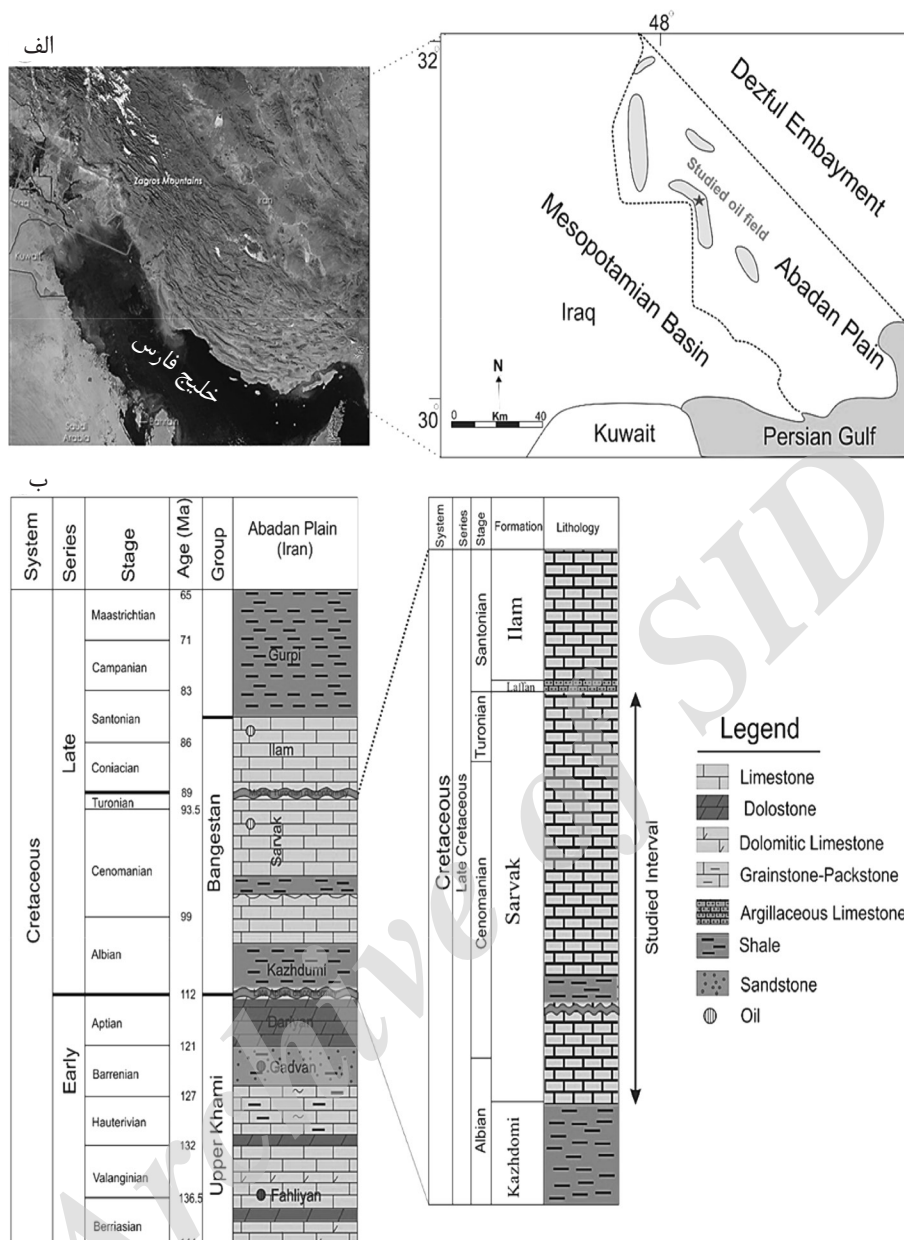
ناحیه دشت آبادان یکی از زیرحوضه‌های مهم هیدروکربنی جنوب غرب ایران می‌باشد که به دلیل ارتباط ساختاری-زمین‌شناسی فراوان با حوضه مزوپوتامین عراق، بخشی از آن محسوب می‌شود (شکل ۱-الف). میدان مورد مطالعه، در غرب دشت آبادان قرار دارد و دارای روندهای شمالی-جنوبی و شمال غربی-جنوب شرقی به ترتیب در بخش‌های جنوبی و شمالی می‌باشد [۱۱].

1. Pore Characteristic

2. Petrographic Analysis (PA)

3. Capillary Pressure Curve (CPC)

4. Nuclear Magnetic Resonance (NMR)



شکل ۱ الف: موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه در ناحیه دشت آبادان. ب: ستون چینه‌شناسی کرتاسه ناحیه دشت آبادان همراه با موقعیت توالی سازند سروک و سنگ‌شناسی آن مشخص گردیده است (تغییر یافته از [۲۶]).

میانی، بخش شمال شرقی صفحه عربی در حاشیه غیرفعال قاره‌ای واقع بوده است [۱۴-۱۹]. در زمان سنومانین پسین، اقیانوس نئوتتیس شروع به بسته شدن نموده است و فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر صفحه ایران مرکزی سبب تبدیل حاشیه غیرفعال به فعال گردیده است [۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱]. حرکت نمک‌های هرمز با سن پرکامبرین و حرکت گسل‌های پی‌سنگی قدیمی، به بسته شدن نئوتتیس نسبت داده شده است [۱۶، ۲۰ و ۲۱].

ساختمان‌های هیدروکربنی در این ناحیه شیب ملایم و طول موج زیاد دارند و روندهای میداین به صورت شمالی-جنوبی، شمال شرقی-جنوب شرقی و شمال غربی-جنوب غربی می‌باشد که متفاوت از روند میداین در زیرحوضه دزفول فروافتاده با روندهای عمدتاً شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشد [۱۲]. در طی زمان کرتاسه آب و هوا گرم و مرطوب بوده و صفحه عربی در نیم‌کره شمالی قرار داشته است [۱۳-۱۵]. در طی پرمین پسین تا سنومانین

پتروگرافی به منظور شناسایی رخساره‌های رسوبی و منفذی استفاده شده است. روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی منافذ بر اساس اهداف ژنتیکی، توصیفی و پتروفیزیکی معرفی شده است [۹، ۲۷ و ۲۸]. در این تحقیق بیشتر بر مبنای ویژگی‌های پتروفیزیکی گروه‌بندی منافذ در قالب رخساره منفذی استفاده شده است. سپس هر کدام از رخساره‌های منفذی بر اساس توزیع رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی همراه با ویژگی‌های پتروفیزیکی توصیف شده است. فرمول‌های تجربی، بر اساس ارتباط تداخل-تراوایی در رخساره‌های منفذی مختلف تعیین و تخمین تراوایی صورت گرفته است. در نهایت نتایج حاصل، با مقادیر تراوایی محاسبه شده از فرمول‌های تجربی در مطالعات گذشته [۲۹ و ۳۰] مقایسه شده است.

رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی

توزیع ویژگی‌های مخزنی از قبیل تخلخل و تراوایی توسط رخساره‌های رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی و شکستگی‌ها کنترل می‌شود [۱-۳]. سازند سروک در میدان مورد مطالعه از نظر رخساره‌ها، محیط رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی، چینه‌شناسی سکانسی و توزیع واحدهای جریان‌ی توصیف و تفسیر شده است [۱۱، ۳۴-۳۱]. فرآیندهای دیاژنزی مختلفی شامل میکرایتی شدن، زیست آشفستگی، سیمانی شدن، دولومیتی و دولومیتی شدن، انحلال، تراکم، شکستگی، سیلیسی شدن و پیریتی در سه محیط دیاژنزی دریایی، جوی و تدفینی کربنات‌های سازند سروک را تحت تاثیر قرار داده است [۳۲]. فرآیندهای انحلال و سیمانی شدن مهمترین فرآیندهای دیاژنزی کنترل کننده توزیع سیستم منافذ و کیفیت مخزنی در سازند سروک می‌باشند [۳۳]. در مقیاس کلی رخساره‌های رسوبی کیفیت مخزنی را کنترل نموده است و فرآیندهای دیاژنزی سبب افزایش میزان ناهمگنی‌ها گردیده است. علاوه بر این توزیع فرآیندهای دیاژنزی از نوع رخساره‌های اولیه تبعیت

سازند سروک در برش نمونه در تاق‌دیس بنگستان به صورت تدریجی سازند کژدمی را می‌پوشاند و به صورت ناپیوسته توسط سازند گورپی پوشیده می‌شود [۲۲]. با این وجود در بیشتر میداین هیدروکربنی جنوب غرب ایران به ویژه در دزفول فروافتاده، سازند سروک در مرز بالایی توسط سازند ایلام به صورت ناپیوسته پوشیده می‌شود [۲۳ و ۲۴]. در ناحیه دشت آبادان سازند لافان با سنگ‌شناسی شیل-آهک آرژیلیتی با ضخامت حدود ۱۰ تا ۱۵ m، در مرز دو سازند سروک و ایلام مشاهده می‌شود. این توالی که به عنوان نهشته‌های لب‌شور و کم عمق پس از ناپیوستگی تورونین میانی در نظر گرفته می‌شود، عمدتاً با رخساره‌های کاروفیت و استراکود دار شناخته می‌شود [۲۵]. سازندهای فلهیان، گدوان، سروک و ایلام چهار افق مخزنی مهم در ناحیه دشت آبادان می‌باشند که سازند سروک اصلی‌ترین مخزن محسوب می‌شود [۱۱]. ستون چینه‌شناسی کرتاسه این ناحیه همراه با موقعیت سازند سروک نشان داده شده است (شکل ۱-ب). توزیع رخساره‌های سازند سروک در ناحیه دشت آبادان شباهت زیادی با حوضه مزوپوتامین عراق دارد و عموماً رخساره‌های کم عمق لاگون گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند [۱۱].

داده‌ها و روش مطالعه

در این مطالعه به منظور تخمین تراوایی، از مجموعه‌ای از اطلاعات شامل ۱۸۱۰ پلاگ تخلخل-تراوایی مغزه، ۲۰۰۰ مقطع نازک و توصیف ۷۴۰ m مغزه از ۱۰ چاه کلیدی در یکی از میداین هیدروکربنی ناحیه دشت آبادان استفاده شده است. برای تعیین تخلخل و تراوایی پلاگ‌های مغزه، تخلخل هلیم و تراوایی هوا در آزمایشگاه مغزه‌های نفتی پژوهشگاه صنعت نفت اندازه‌گیری شده است. با هدف ارزیابی بهتر سیستم منافذ و تفکیک تخلخل و انواع آن، به ۱۰۸ نمونه چسب اپوکسی آبی رنگ تزریق گردید. توصیف مغزه‌ها و مطالعات

سیستم منافذ و رخساره‌های منفذی

سیستم منافذ در سازند سروک به دلیل ناهمگنی بالای رخساره‌ای و دیاژنزی متنوع می‌باشد. بر اساس مطالعات پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها، همراه با در نظر گرفتن تفاوت‌های پتروفیزیکی، چهار گروه منفذی شامل ریز تخلخل (تخلخل موجود در زمینه گل آهکی)، بین ذره‌ای (بین دانه‌ای و بین بلوری)، حفره‌ای غیر مرتبط (قابلی-درون فسیلی، حفرات غیر مرتبط) و حفره‌ای مرتبط (کانال-ریزشکستگی‌ها و حفرات مرتبط) در توالی سازند سروک شناسایی گردید. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از هر کدام از انواع منافذ نشان داده شده است (شکل ۳-الف-ب-پ-ت-ث-ج-ح-خ). منافذ براساس گسترش و غالب بودن آنها در توالی سازند سروک، به چهار رخساره منفذی اصلی تقسیم شده است. این رخساره‌های منفذی شامل توالی‌های با سیستم منافذ ریز تخلخل (رخساره منفذی ۱)، ریز تخلخل-حفره‌ای (رخساره منفذی ۲)، حفره‌ای (رخساره منفذی ۳) و حفره‌ای-بین ذره‌ای (رخساره منفذی ۴) می‌باشند. توصیف هر کدام از این رخساره‌ها به صورت خلاصه در ادامه ارائه گردیده است.

رخساره منفذی ۱ (PF-1): این رخساره منفذی در بخش‌های از سازند سروک گسترش دارد که سیستم منفذی تقریباً به صورت کامل از نوع ریز تخلخل می‌باشد. ریز تخلخل‌ها منافذ بسیار کوچکی می‌باشند که توسط میکروسکوپ‌های دوچشمی قوی قابل شناسایی می‌باشند [۲۷، ۳۵ و ۳۷]. بنابراین عموماً توسط مطالعات مرسوم پتروگرافی قابل تفسیر و شناسایی نمی‌باشند. عموماً ریز تخلخل توسط تقریباً تخلخل کل از تخلخل قابل مشاهده محاسبه می‌شود [۳۷]. ریز تخلخل‌ها در مخازن کربناته انواع مختلفی دارند و می‌توانند منشأ اولیه و یا دیاژنزی داشته باشند [۳۷]. نوع دیاژنزی عموماً در آهک‌های گچی^۱ گسترش دارند [۳۵].

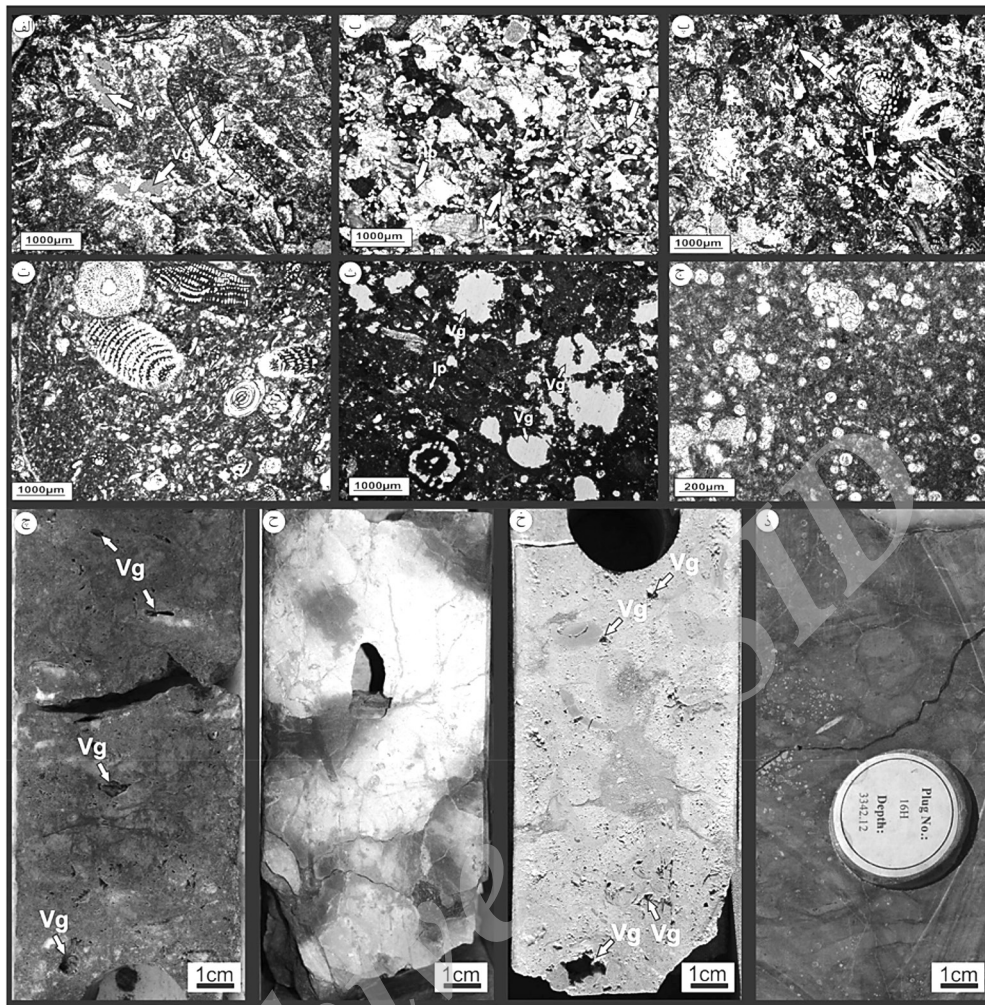
نموده است. به عنوان مثال رخساره‌های گل غالب اولیه مرتبط با دریای باز عمیق و برخی رخساره‌های لاگونی تحت تاثیر انحلال و سیمانی شدن اندکی قرار گرفته‌اند. در مقابل رخساره‌های دانه غالب‌تر محیط شول و شیب حوضه (رخساره‌های واریزه رودیستی) تحت تاثیر سیمانی شدن و انحلال گسترده‌ای قرار گرفته‌اند. به دلیل تاثیر عمده تاثیر نوع رخساره‌های رسوبی اولیه بر ویژگی‌های مخزنی سازند سروک و اهداف این مطالعه، پنج رخساره کلی معرفی گردیده است.

این رخساره‌ها شامل رودستون-گرینستون واریزه رودیستی، و کستون-پکستون فرامینیفردار-رودیست‌دار، پکستون-گرینستون بایوکلاستی، و کستون-پکستون بایوکلاستی و مادستون-و کستون فرامینیفردار می‌باشند. این گروه‌های رخساره‌ای به صورت دقیق در مطالعات گذشته در قالب انواع ریز رخساره‌های مختلف معرفی و توصیف گردیده است [۱۱، ۳۱].

با توجه به تنوع رخساره‌ای، به عنوان نمونه تصاویر مقاطع نازک و مغزه از هر کدام از انواع گروه‌های رخساره‌ای نشان داده شده است (شکل ۲-الف، ب-پ-ت-ث-ج، چ-ح-خ-د). علاوه بر این، توصیف مختصری از آنها همراه با پارامترهای آماری مرتبط با مقادیر تخلخل و نوع سیستم منافذ غالب در جدول ۱ ارائه شده است.

در حالت کلی رخساره‌های دانه غالب مرتبط با زیرمحیط‌های شیب حوضه و شول با توجه به توسعه تخلخل‌های حفره‌ای و بین دانه‌ای تخلخل-تراوایی بالاتری نشان می‌دهند. واریزه‌های رودیستی، نقش مهمی در ایجاد تخلخل‌های مرتبط حفره‌ای در سازند سروک داشته‌اند. در برخی از رخساره‌های لاگونی با افزایش فراوانی رودیست‌ها تخلخل‌های حفره‌ای افزایش یافته است. در این مطالعه با هدف توصیف بهتر رخساره‌های منفذی، توزیع فرآیندهای دیاژنزی و رخساره‌های رسوبی در هر کدام ارائه گردیده است.

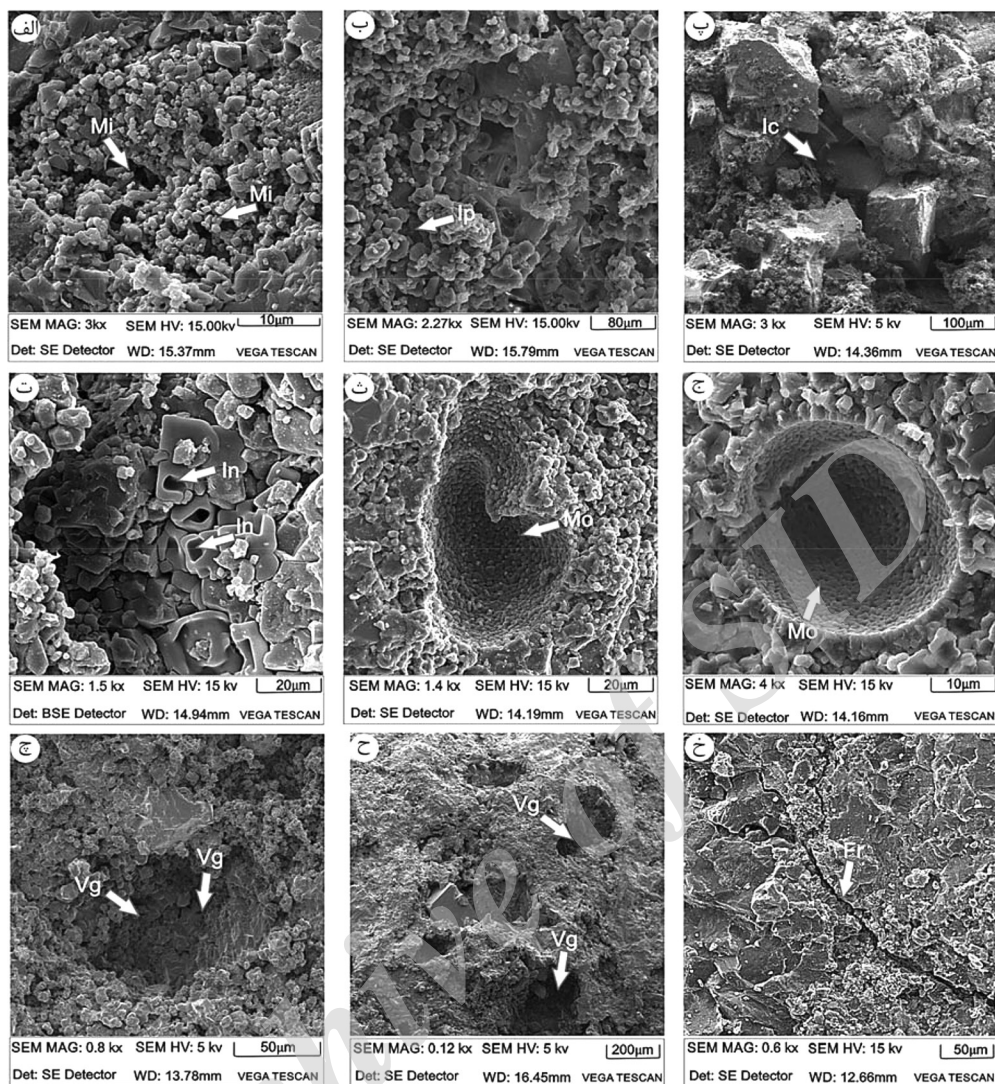
1. Chalky Limestone



شکل ۲ تصاویر مقاطع نازک (الف-ب-پ-ت-ث-ج) و مغزه‌ها (چ-خ-ذ) از پنج رخساره اصلی معرفی شده در این مطالعه. الف-چ) رودستون واریزه رودیستی، ب) گریستون رودیست‌دار، پ-ح) پکستون فرامینفردار رودیستی، ت) پکستون بایوکلستی، ث-خ) پکستون تهیه شده است). علایم راهنما (PPL) بایوکلستی فرامینفردار، ج-ذ) وکستون الیگوستژین‌دار. تمام تصاویر مقاطع نازک در نور معمولی شکستگی: Fr، بین دانه‌ای: Ip، حفره‌ای: Vg. در ارتباط با انواع تخلخل

جدول ۱ پارامترهای آماری تخلخل و نوع سیستم منافذ غالب در هر گروه رخساره‌ای سازند سروک.

نوع تخلخل غالب	تخلخل (%)			زیر محیط غالب	گروه رخساره‌ای	شماره
	انحراف استاندارد	بیشینه	متوسط			
حفره‌ای (مرتبط و غیرمرتبط)، بین دانه‌ای	۰/۰۳۴	۲۵/۳	۱۵/۵	۵/۷	شیب-شول	۱
حفره‌ای و بین دانه‌ای	۰/۰۳۲	۲۱/۴	۸/۷	۰/۱	لاگون‌های رودیست‌دار	۲
حفره‌ای (مرتبط و غیرمرتبط)، بین دانه‌ای	۰/۰۲۵	۲۷/۶	۱۹/۷	۷/۳	لاگون-شول	۳
حفره‌ای، ریز تخلخل	۴/۹	۲۱/۷	۱۰/۸	۱/۴	لاگون	۴
ریز تخلخل ماتریکس	۰/۰۲۲	۱۵/۶	۹/۱	۰/۱	دریای باز	۵



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از انواع تخلخل در توالی سازند سروک. الف) ریز تخلخل (ب) تخلخل بین دانه‌های (پ) تخلخل بین بلوری، (ت) تخلخل درون بلوری (ث-ج) تخلخل قالبی (چ-ح) تخلخل حفره‌ای، (خ) ریز شکستگی. علائم اختصاری: Mi: ریز تخلخل، Ip: تخلخل بین دانه‌ای، Ic: تخلخل بین بلوری، In: تخلخل درون بلوری، Mo: تخلخل قالبی، Vg: تخلخل حفره‌ای، Fr: تخلخل شکستگی.

پیریتی شدن و تا حدودی میکرایتی شدن می‌باشد. به دلیل ماهیت گل غالب رخساره‌ها، سیمانی شدن و انحلال گسترش قابل ملاحظه‌ای ندارد. در این رخساره منفذی و در مقایسه با سایر رخساره‌ها در مقادیر یکسان تخلخل، تراوایی پایین‌تری به دلیل کوچکی شعاع گلوگاه تخلخل مورد انتظار می‌باشد. در این رخساره ویژگی‌های مخزنی میزان عمده‌ای تحت تاثیر ویژگی‌های رسوبی کنترل گردیده است. رخساره منفذی ۲ (PF-2): این رخساره منفذی توسط فراوانی منافذ ریز تخلخل و حفره‌ای مشخص می‌شود.

عموماً به دلیل گلوگاه‌های کوچکتر این تخلخل‌ها در مقادیر یکسان تخلخل نسبت به سایر انواع منافذ تراوایی کمتری دارند [۱، ۹]. در توالی سازند سروک ریز تخلخل‌ها در ماتریکس سنگ و در کمر بند رخساره‌ای گل غالب دریای باز عمیق مشاهده می‌شوند. گروه رخساره‌ای غالب در این رخساره منفذی مادستون-وکستون فرامینفر دار می‌باشد. در این رخساره منفذی، غالب بودن ریز تخلخل‌ها همراه با بافت گل غالب اولیه، نشان می‌دهد که سیستم منافذ عمدتاً متأثر از ویژگی‌های رسوبی اولیه می‌باشد. فرآیندهای دباژنزی غالب استیلولیتی شدن،

جریان سیالات جوی در این رخساره‌های دانه غالب سبب شکل‌گیری تخلخل‌های حفره‌ای گردیده است. این رخساره منفذی کیفیت مخزنی متوسط تا بالایی را نشان می‌دهد.

رخساره منفذی ۴ (PF-4): این رخساره منفذی توسط گسترش تخلخل‌های حفره‌ای و بین دانه‌ای مشخص می‌شود. گروه‌های رخساره‌ای رودستون-گرینستون واریزه رودیستی و پکستون-گرینستون بایوکلاستی در این رخساره منفذی توسعه دارند. رودیست‌ها و واریزه‌های آنها تحت تاثیر انحلال و انحلال‌های جوی گسترده تخلخل‌های حفره‌ای ایجاد نموده و سبب بزرگتر شدن گلوگاه‌ها در منافذ بین دانه‌ای شده است. تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط و بین دانه‌ای نقش مهمی در افزایش تراوایی در این رخساره دارند. در این رخساره منفذی ویژگی‌های پتروفیزیکی تحت تاثیر پارامترهای رخساره‌ای و دیاژنزی شکل گرفته است. توسعه تخلخل‌های بین دانه‌ای در این رخساره منفذی به دلیل بافت دانه غالب اولیه و نیز تاثیر انحلال ناشی از دیاژنزی جوی، تراوایی نسبتا بالایی ایجاد کرده است.

تخمین تراوایی

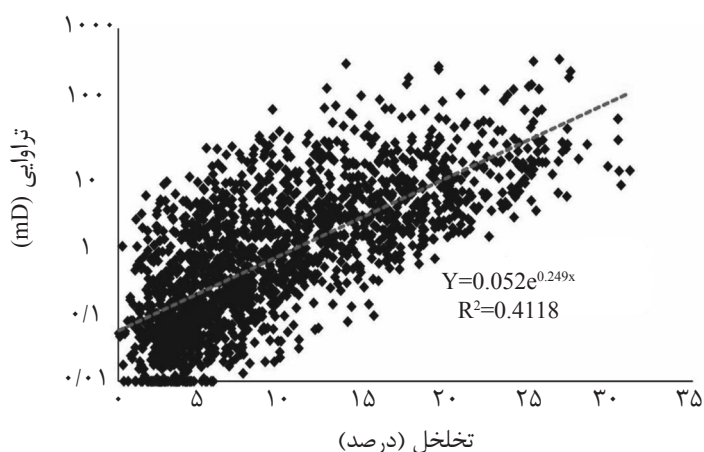
نمودار توزیع تخلخل-تراوایی ۱۸۱۰ پلاگ مغزه مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است (شکل‌های ۴). در مطالعات گذشته، بر اساس رابطه تخلخل-تراوایی حاصل از این داده‌ها دو فرمول به صورت زیر برای تخمین تراوایی ارائه شده است [۲۹، ۳۰].

$$K = 0.0026 * \text{EXP} (0.3672 * \text{PHI})$$

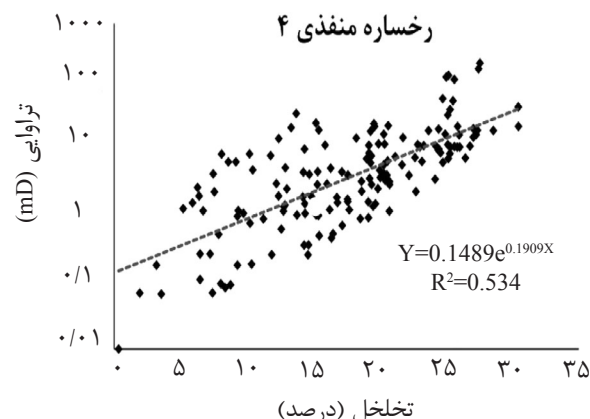
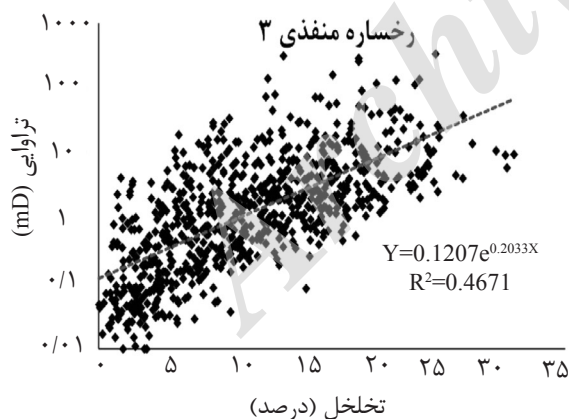
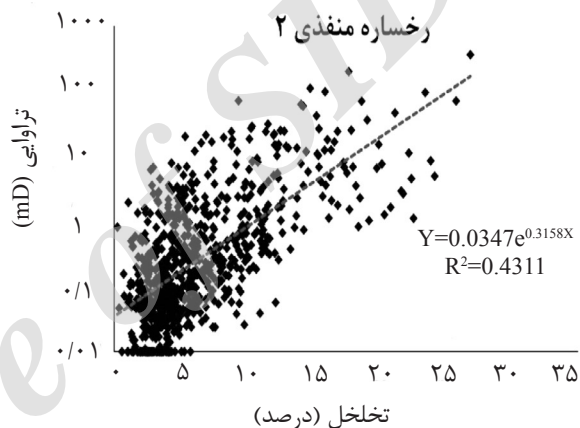
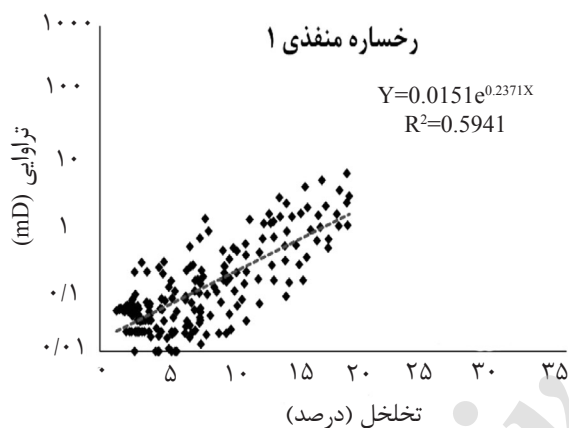
$$K = 0.1 * \text{EXP} (0.2047 * \text{PHI})$$

ضرایب این دو فرمول بر اساس داده‌های مورد استفاده در تخمین متفاوت می‌باشد. فرمول ۱ بر اساس رابطه تجربی حاصل از ارتباط تخلخل و تراوایی تمام داده‌ها ارائه گردیده است. در مقابل در فرمول ۲ داده‌های با میزان انحراف معیار بالا حذف گردیده است.

گسترش آن عموماً در کمر بند رخساره‌ای لاگون و گروه رخساره‌ای وکستون-پکستون بایوکلاستی مشاهده می‌شود. این رخساره منفذی عموماً تخلخل-تراوایی متوسطی دارد و به دلیل ماهیت گل غالب رخساره‌ها تراوایی بالایی ندارد. تراوایی متوسط این رخساره منفذی احتمالاً به دلیل وجود ریز تخلخل‌ها و تخلخل‌های حفره‌ای غیر مرتبط می‌باشد. سیستم منافذ این رخساره منفذی تحت تاثیر رخساره‌های رسوبی به صورت اولیه (ریز تخلخل‌های مشاهده شده در زمینه سنگ) و فرآیندهای دیاژنزی به صورت ثانویه (تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط و غیر مرتبط) شکل گرفته است. از جنبه توزیع فرآیندهای دیاژنزی مشاهده می‌شود که در این رخساره منفذی انواع مختلفی از فرآیندهای دیاژنزی شامل میکرایتی شدن، زیست آشفستگی، انحلال و سیمانی شدن گسترش دارند. تخلخل‌های حفره‌ای به دلیل مقادیر تراوایی نسبتاً پایین بیشتر به صورت غیر مرتبط می‌باشند. در رخساره‌های لاگونی به دلیل ماهیت گل غالب تر رخساره‌ها عموماً فرآیندهای دیاژنزی انحلال و سیمانی شدن نقش کمتری در مقایسه با رخساره‌های دانه غالب به دلیل گردش کمتر سیالات دیاژنزی دارند. رخساره منفذی ۳ (PF-3): تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط و غیر مرتبط در این رخساره گسترش دارند. این رخساره منفذی عموماً در توالی‌های رودیست‌دار مرتبط با رخساره‌های شول و لاگون‌های رودیست‌دار مشاهده می‌شود. گروه‌های رخساره‌ای رودستون-گرینستون واریزه رودیستی و وکستون-پکستون فرامینفردار-رودیست‌دار در این رخساره منفذی فراوان می‌باشند. تخلخل-تراوایی این رخساره مقادیر متوسط تا بالایی دارد و تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط با انحلال اجزاء اسکلتی ناپایدار شامل دوکفه‌ای‌ها و بخشی از رودیست‌ها، در ارتباط با انحلال جوی رخ داده است. در این رخساره منفذی به دلیل دانه غالب تر بودن رخساره‌های اولیه فرآیندهای انحلال و تا حدودی سیمانی شدن گسترش دارند. تخلخل‌های حفره‌ای موجود در این رخساره منفذی عموماً در ارتباط با دیاژنزی جوی شکل گرفته‌اند.



شکل ۴ پراکندگی زیادی در داده‌های تخلخل-تراوایی مغزه به دلیل تنوع سیستم منافذ مشاهده می‌شود.



شکل ۵ ارتباط تخلخل-تراوایی و فرمول‌های تجربی مورد استفاده در تخمین تراوایی. الف نمونه‌های با ریز تخلخل (رخساره منفذی ۱)، ب- نمونه‌های با نوع منفذی ریز تخلخل و حفره‌ای (رخساره منفذی ۲)، پ- نمونه‌های با تخلخل حفره‌ای (رخساره منفذی ۳)، ت- نمونه‌های با تخلخل حفره‌ای و بین دانه‌ای (رخساره منفذی ۴). روابط تجربی حاصل برای تخمین تراوایی در هر رخساره منفذی در شکل نشان داده شده است.

- | | | | |
|---|-------------------------------|--------|-----|
| دارسی و PHI تخلخل به صورت درصد می‌باشد. | $K=0.0151 * e^{0.2371 * PHI}$ | (PF-1) | (۱) |
| همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ارتباط | $K=0.0347 * e^{0.3158 * PHI}$ | (PF-2) | (۲) |
| بین تخلخل-تراوایی در نمونه‌های مختلف تحت تاثیر | $K=0.1207 * e^{0.2033 * PHI}$ | (PF-3) | (۳) |
| ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیانزنی متفاوت می‌باشد. | $K=0.1489 * e^{0.1909 * PHI}$ | (PF-4) | (۴) |

در فرمول‌های تجربی بالا K تراوایی به صورت میلی

چاه مورد مطالعه همراه با مقادیر تراوایی تخمین زده شده ارائه گردیده است. مقایسه مقادیر تراوایی تخمین زده شده از طریق مفهوم رخساره منفذی نشان می‌دهد که مقادیر تراوایی محاسبه شده از روش‌های مختلف در برخی از بخش‌های مخزن تحت تاثیر نوع منافذ غالب متفاوت است. به عنوان مثال در زون‌های با ریز تخلخل (رخساره منفذی ۱) مشاهده می‌شود که تراوایی تخمین زده شده توسط این مطالعه با توجه به نوع رخساره‌های گل غالب اولیه و تاثیر ناچیز فرآیندهای انحلال و سیمانی شدن کمتر از سایر روش‌ها می‌باشد. این نتایج با توجه به نوع منافذ و ویژگی‌های پتروفیزیکی، به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد. علاوه بر این مقادیر تراوایی تخمین زده شده در رخساره منفذی ۲ نیز کمتر می‌باشد که تفاسیر رخساره‌های و دیاژنزی ارائه شده در این مطالعه این تغییرات را تفسیر و توجیه می‌کند.

نتیجه‌گیری

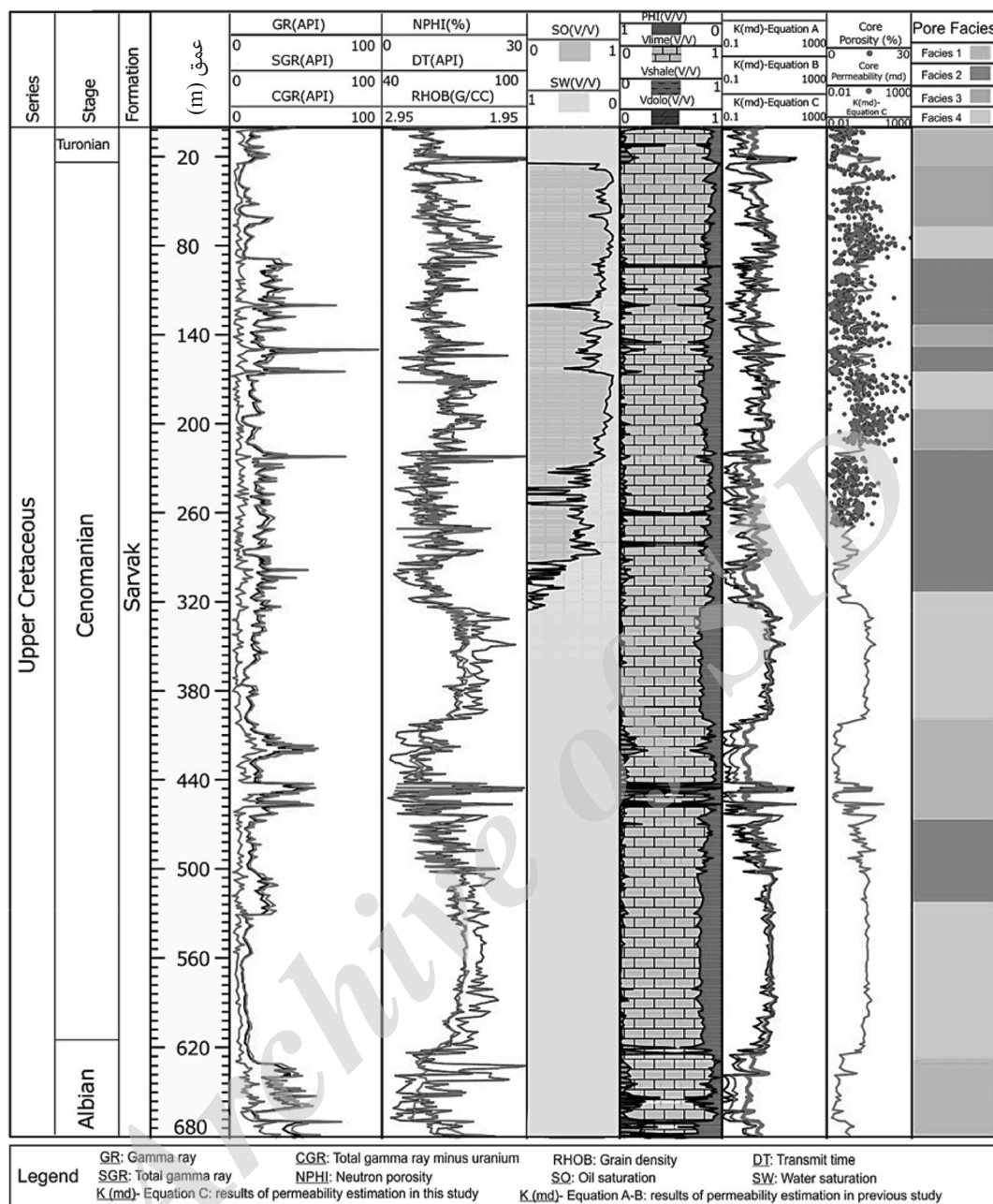
به منظور تخمین تراوایی در سازند سروک، از تلفیق مجموعه‌ای از اطلاعات شامل توصیف مغزه‌ها، مقاطع نازک میکروسکوپی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی و داده‌های تخلخل-تراوایی مغزه استفاده و نتایج زیر حاصل گردید.

۱- سازند سروک به دلیل تغییرات رخساره‌ای گسترده و تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مختلف، ناهمگنی زیادی در سیستم منافذ نشان می‌دهد. تخمین تراوایی با استفاده از مفهوم رخساره منفذی نشان داد که یکسان فرض نمودن انواع فضاهای خالی در یک مخزن کربناته ناهمگن و محاسبه تراوایی با یک فرمول واحد، ساده انگارانه بوده و تخمین نادرستی از تراوایی و قابلیت جریان در بسیاری از زون‌های مخزنی در اختیار خواهد گذاشت. این موضوع ضرورت سرشت‌نمایی تخلخل در محاسبه تراوایی مخازن کربناته ناهمگن را نشان می‌دهد.

در رخساره منفذی ۱ که منطبق بر نمونه‌های با ریز تخلخل می‌باشد با توجه به کوچک بودن گلوگاه‌های تخلخل، در مقادیر یکسان تخلخل نسبت به سایر رخساره‌ها تراوایی کمتری نشان می‌دهد. ارتباط تخلخل-تراوایی در این رخساره منطبق بر گروه ۳ پتروفیزیکی لوسیا [۱] می‌باشد. در رخساره منفذی ۲ به دلیل نوع سیستم منافذ غالب یک روند مشخص بین تخلخل-تراوایی در نمونه‌ها قابل تفسیر نمی‌باشد. ریز تخلخل‌ها برخلاف تخلخل‌های حفره‌ای تراوایی نسبتاً پایین‌تری نشان می‌دهند. در رخساره منفذی ۳ که مرتبط با نمونه‌های با تخلخل حفره‌ای می‌باشد بخشی از تخلخل به دلیل غیر مرتبط بودن تراوایی را افزایش نداده است. نداشته است. رخساره منفذی ۴ که در ارتباط با نمونه‌های با تخلخل حفره‌ای و بین دانه‌ای می‌باشد و تراوایی بالاتری را نشان می‌دهد. از نظر پتروفیزیکی تخلخل‌های بین دانه‌ای بیشترین ارتباط گلوگاه‌های تخلخل را نشان می‌دهند. ذکر این نکته ضروری می‌باشد که در توالی سازند سروک تخلخل‌های حفره‌ای عموماً از نوع غیر مرتبط می‌باشند و بخشی از تخلخل سنگ نقش موثرتری در افزایش تراوایی اعمال نکرده است. رودیست‌ها و واریزه‌های آنها به دلیل ترکیب کانی‌شناسی و نیز تاثیر عمده فرآیندهای دیاژنزی جوی، تخلخل نسبتاً بالایی نشان می‌دهند. با این وجود در بسیاری از نمونه‌ها به دلیل عدم ارتباط مناسب منافذ، تراوایی مقادیر بالایی را نشان نمی‌دهد.

مقایسه تخمین تراوایی با استفاده از فرمول‌های تجربی

مقادیر تراوایی تخمین زده شده در این مطالعه بر اساس مفهوم رخساره منفذی و نیز فرمول‌های تجربی استفاده شده در مطالعات گذشته در یکی از چاه‌های کلیدی میدان مورد مقایسه شده است (شکل ۶). به منظور درک بهتر زون‌های مختلف سازند سروک، برخی از نمودارهای پتروفیزیکی در



شکل ۶ تخمین تراوایی در یکی از چاه‌های کلیدی میدان و مقایسه با نتایج مطالعات گذشته نشان داده شده است.

شامل ریز تخلخل (تخلخل ماتریکس)، بین دانه‌ای (بین دانه‌ای و بین بلوری)، حفره‌ای غیر مرتبط (قالبی-درون فسیلی، واگ‌های غیر مرتبط) و حفره‌ای مرتبط (کانال-ریزشکستگی‌ها و واگ‌های مرتبط) شناسایی و توصیف گردید. با توجه به ارتباط مشخص تخلخل-تراوایی در هر کدام از رخساره‌های منفذی چهار فرمول تجربی به منظور تخمین تراوایی ارائه گردید.

۲- پنج گروه رخساره‌ای اصلی برای درک بهتر تغییرات سیستم منافذ در توالی سازند سروک شامل رودستون-گرینستون واریزه رودیستی، وکستون-پکستون فرامینفردار-رودیست‌دار، پکستون-گرینستون بایو کلاستی، وکستون-پکستون بایو کلاستی و مادستون-وکستون فرامینفردار شناسایی گردید. عموماً هر کدام از گروه‌های رخساره‌ای نوع و هندسه منافذ مشخصی نشان می‌دهند.

۳- چهار رخساره منفذی در توالی سازند سروک

است که نشان دهنده اهمیت در نظر گرفتن نوع سیستم منافذ در تخمین تراوایی می‌باشد. در مقابل، توالی‌های با تخلخل بین دانه‌ای و حفره‌ای مرتبط افزایش تخلخل با افزایش تراوایی هماهنگ بوده و در این زون‌ها تغییرات تراوایی ارتباط بهتری با مقادیر تخلخل مخزن نشان می‌دهد.

۴- در رخساره منفذی ۱ که عموماً مرتبط با نمونه‌های با تخلخل ماتریکس (ریز تخلخل) می‌باشد، بخشی از تخلخل به دلیل عدم ارتباط گلوگاه‌های تخلخل غیر مؤثر می‌باشد و انتظار می‌رود این زون‌ها تراوایی پایینی داشته باشند. در این بخش‌ها عموماً تراوایی تخمین زده شده در مطالعات گذشته بیش‌تر از مقدار واقعی بوده

مراجع

- [1]. Lucia F. J., "Carbonate reservoir characterization," Springer-Verlag, Berlin, p. 341, 2007.
- [2]. Ahr W. M., "Geology of carbonate reservoirs," John Wiley and Sons, Chichester, p. 296, 2008.
- [3]. Moore C. H. and Wade W. J., "Carbonate reservoir porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework," 2nd ed. Elsevier, Amsterdam, p. 444, 2013.
- [4]. Rezaee M. R., Jafari A. and Kazemzadeh E., "Relationships between permeability, porosity and pore throat size in carbonate rocks using regression analysis and neural networks," Journal of Geophysics and Engineering Vol. 3, No. 4, pp. 370-376, 2006.
- [5]. Zhiye G. and Hu Q. "Estimating permeability using median pore-throat radius obtained from mercury intrusion porosimetry," Journal of Geophysics and Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 1-7, 2013.
- [6]. Lucia F. J., Jennings J. W. , Rahnis M. and Meyer F. O., "Permeability and rock fabric from wireline logs, Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia," Geo-Arabia, Vol. 6, No. 4, pp. 619-646, 2001.
- [7]. Rahimpour Bonab H. and Aliakbardoust E., "Pore facies analysis: incorporation of rock properties into pore geometry based classes in a Permo-Triassic carbonate reservoir in the Persian Gulf," Journal of Geophysics and Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 1-20, 2014.
- [8]. Chehrazi A. and Rezaee R., "A systematic method for permeability prediction, a Petro-Facies approach," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol, 82, pp. 1-16, 2012.
- [9]. Lucia F. J. "Rock fabric/ petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization," American Association of Petroleum Geologists, Vol. 79, No. 9, pp. 1275-1300, 1995.
- [10]. Chehrazi A., Rezaee R. and Rahimpour H. "Pore-facies as a tool for incorporation of small-scale dynamic information in integrated reservoir studies," Journal of Geophysics and Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 202-224, 2011.
- [11]. Assadi A., Honarmand J., Moallemi S. and Abdollahie Fard I. "Depositional environments and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in an oil field in the Abadan Plain, SW Iran," Facies, Vol, 62, No. 4, pp. 1-22, 2016.
- [12]. Abdollahie Fard I., Braathen A., Mokhtari M and Alavi S. A., "Interaction of the Zagros fold-thrust belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran," Petroleum Geoscience, Vol. 12, No. 4, pp. 347-362, 2006.

- [13]. Murris R. J., "Middle East stratigraphic evolution and oil habitat," American Association of Petroleum Geologists, Vol. 64, pp. 597-618, 1980.
- [14]. Ziegler M., "Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences," GeoArabia, Vol. 6, No., 3, pp. 445-504, 2001.
- [15]. Ehrenberg Stephen N., Aqrabi A. A. M. and Nadeau P. H., "An overview of reservoir quality in producing Cretaceous strata of the Middle East," Petroleum Geoscience, Vol. 14, No. 4, pp. 307-318, 2008.
- [16]. Sharland P. R., Archer R., Casey D. M., Davies R. B., Hall S. H., Heyward A. P., Horbury A. D. and Simmons M. D., "Arabian plate sequence stratigraphy," GeoArabia, Special Publication 2, p. 371, 2001.
- [17]. Sharp I., Gillespie P., Morsalnezhad D., Taberner C., Karpuz R., Verge's J., Horbury A., Pickard N., Garland J. and Hunt D., "Stratigraphic architecture and fracture controlled dolomitization of the Cretaceous Khami and Bangestan groups: an outcrop case study, Zagros Mountains, Iran," In: Van Buchem, F. S. P., Gerdes, K. D. & Esteban, M. (Eds), Mesozoic and Cenozoic Carbonate Systems of the Mediterranean and the Middle East: Stratigraphic and Diagenetic Reference Models, Geological Society, London, Special Publications, Vol. 329: pp. 333-396, 2010.
- [18]. Piryaei A., Reijmer J., van Buchem F., Yazdi Moghadam M., Sadouni J. and Danelian T., "The influence of Late Cretaceous tectonic processes on sedimentation patterns along the northeastern Arabian plate margin (Fars Province, SW Iran)," In: Leturmy P, Robin C (eds) Tectonic and stratigraphic evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic-Cenozoic. Geological Society, London, Special Publications Vol. 330, pp. 211-251, 2010.
- [19]. Piryaei A., Reijmer J., Borgomano J. and Van Buchem F., "Late Cretaceous tectonic and sedimentary evolution of the Bandar Abbas area, Fars region, southern Iran," Journal of Petroleum Geology. Vol. 34, pp. 157-180, 2011.
- [20]. Sepehr M. and Cosgrove J., "Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran," Marine and Petroleum Geology. Vol. 21, pp. 829-843, 2004.
- [21]. Alavi M., "Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran American," Journal of Science. Vol. 307, pp. 1064-1095, 2007.
- [22]. James G. and Wynd J., "Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area," American Association of Petroleum Geologists, Vol. 49, pp. 2182-2245, 1965.
- [23]. Beiranvand B., Ahmadi A. and Sharafodin M., "Mapping and classifying flow units in the Upper part of the Mid-Cretaceous Sarvak Formation (Western Dezful Embayment, SW Iran) based on a determination of reservoir rock types," Journal of Petroleum Geology. Vol. 30, pp. 357-373, 2007.
- [24]. Rahimpour Bonab H., Mehrabi H., Enayati Bidgoli A. and Omidvar M., "Coupled imprints of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of a mid-Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran," Cretaceous Research. Vol. 37, pp. 15-34, 2012.
- [25]. Ghabeishavi A., Vaziri Moghaddam H. and Taheri A., "Facies distribution and sequence stratigraphy of the Coniacian-Santonian succession of the Bangestan Palaeo-high in the Bangestan Anticline, SW Iran," Facies. Vol. 55: pp. 243-257, 2009.

- [26]. Christian L., "Cretaceous subsurface geology of the middle east region," *GeoArabia*, Vol. 2, No. 3, pp. 239-256, 1997.
- [27]. Choquette P. W and Pray L. C., "Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates," *American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 54, pp. 207-250, 1970.
- [28]. Lønøy A., "Making sense of carbonate pore systems," *American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 90, pp. 1381-1405, 2006.
- [29]. Liu H., Guo R. and Dong J. C., "Master development plan Yadavaran oil field," CNPCI (Unpublished), p. 358, 2009.
- [30]. Zhang Z., Li H. W. and Duan H. Z., "Petrophysical evaluation of the Yadavaran oil field," CNPCI (Unpublished), p.126, 2010.
- [۳۱]. هنرمند ج.، اسعدی ع.، معلمی س.، ع. و عبداللهی فردا. و منیبی س.، "ریز رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند سروک در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب غرب ایران"، دو فصلنامه رخساره‌های رسوبی مشهد، سال ۹، شماره ۲، ۱۳۹۵.
- [۳۲]. اسعدی ع.، هنرمند ج.، معلمی س. ع. و عبداللهی فردا.، "تاثیر فرآیندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در یکی از میادین هیدروکربنی دشت آبادان، جنوب غرب ایران"، *مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی اصفهان*. جلد ۶۲، شماره ۱، ص. ۵۸-۸۰، ۱۳۹۵.
- [۳۳]. اسعدی ع.، هنرمند ج.، رحمانی ع. و رئیسی ع. ر.، "شناسایی و تفسیر رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی از طریق مفهوم رخساره لاگ‌ها، مطالعه موردی از مخزن سروک در یکی از میادین بزرگ نفتی جنوب غرب ایران"، دو فصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی همدان. جلد ۶، شماره ۲، ص. ۱۰۳-۱۱۹. ۱۳۹۴.
- [۳۴]. اسعدی ع.، هنرمند ج.، معلمی س. ع. و عبداللهی فردا.، "تعیین واحدهای جریان‌ی در بخش مخزنی سازند سروک، مطالعه موردی در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب غرب ایران"، *مجله پژوهش نفت*. پذیرفته شده برای چاپ. ۱۳۹۴.
- [35]. Pittman E. D., "Microporosity in carbonate rocks," *American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 55, pp. 1873-1881, 1971.
- [36]. Mazzullo S. J., "Overview of porosity evolution in carbonate reservoirs," *Kansas Geological Society Bulletin*, Vol. 79, pp. 20-28, 2004.
- [37]. Cantrell D. L. and Hagerty M. H., "Microporosity in Arab formation carbonates, Saudi Arabia *Geo-Arabia*," Vol. 4, No. 2, pp. 129-154, 1999.