

پارامترهای کنترل کننده کیفیت سنگ مخزن سازند قم در میدان البرز، حوضه قم، ایران مرکزی

محمد رضا رضایی و جواد هنرمند
گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران
(دریافت: ۷۸/۱۰/۲۹؛ پذیرش: ۷۹/۲/۷)

چکیده

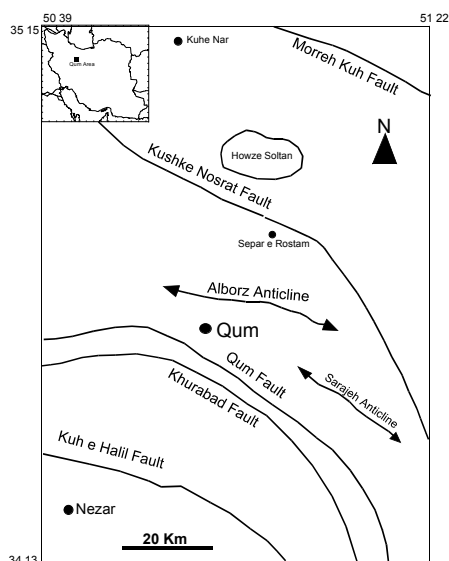
از آنجا که در مخازن کربناته وضعیت سیستم تخلخل و ارتباط بین فضاهای خالی بسیار متنوع و نامنظم می باشد و این تنوع و ناهمگونی بیش از هر عامل دیگری متاثر از شرایط محیط رسوبی و بویژه عملکرد فرایندهای دیاژنتیک می باشد، لذا تأثیر محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنتی بر ویژگیهای مخزنی سازند قم هدف مطالعه کنونی بوده است.

در این مطالعه بیش از ۱۲۰۰ نمونه مغزه متعلق به سازند قم از چاههای البرز ۶، ۷ و ۱۱ مورد مطالعه میکروسکوپی و ماکروسکوپی قرار گرفت. مجموع اطلاعات بدست آمده از مطالعه مقاطع میکروسکوپی، مطالعات XRD، SEM و داده های پتروفیزیکی حاصل از مغزه ها نظیر تخلخل، تراوایی و اشباع شدگی سیالات، امکان تفکیک بخشهای کربناته سازند قم را به ۳ پتروفاسیس (Petrofacies) و در نتیجه جدایش افقهای مخزنی از غیرمخزنی را فراهم نمود. مارن‌ها و آهک‌های مارنی متعلق به پتروفاسیس ۱ با تخلخل ۱۵/۱-۴/۸۱ درصد و تراوایی ۴۹.۵۵-۰.۰۱ میلی داریسی بعنوان بهترین پتروفاسیس سازند قم، در میدان مورد مطالعه، محسوب می شوند. مهمترین فاکتورهای کنترل کننده تخلخل و تراوایی در این پتروفاسیس، فراوانی رس و تراکم شکستگیها می باشند. پتروفاسیس ۱ و ۲ بدلیل تأثیر فرایندهای دیاژنتیکی بویژه تراکم و سیمانی شدن، فاقد ویژگی های مناسب یک مخزن می باشند. در این مطالعه مشخص گردید که بطور کلی، سیمانی شدن، انحلال و توسعه شکستگیها مهمترین فرآیندهای دیاژنتیکی کنترل کننده کیفیت سنگ مخزن قم می باشند.

واژه های کلیدی: تخلخل، تراوایی، کیفیت سنگ مخزن، سازند قم، میدان البرز، حوضه قم مرکزی.

۱- مقدمه

ساختمان البرز تاقدیسی است به ابعاد تقریبی 10×60 کیلومتر که تقریباً در شمال شهرستان قم واقع شده است (شکل ۱). شواهد سطحی و داده‌های حفاری و ژئوفیزیک لرزه‌ای شرکت ملی نفت ایران حاکی از این است که ساختار مورد بحث فقط یک تاقدیس ساده و واحد نیست بلکه می‌توان آن را به دو بخش شرقی و غربی تقسیم نمود. این دو بخش توسط یک افت زین مانند (Saddle) و یک گسل عرضی از هم جدا می‌شوند. اثر سطح محوری در هر دو تاقدیس با روند چین انطباق دارد ولی در محل جدایش آنها، در بخش میانی، روند شمال شرقی- جنوب غربی می‌یابد. در این مطالعه اطلاعات حاصل از چاههای حفاری شده در تاقدیس شرقی مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی و روند عمومی گسلها، ساختمانهای تاقدیسی و نواحی تکتونیکی-رسوبی در حوضه قم (باغبانی وهمکاران، ۱۳۷۵).

سازند قم به لحاظ وجود رخساره‌های متنوع در آن، که می‌توانند بعنوان سنگ منشاء، سنگ مخزن و پوش سنگ (قابلیت‌های لازم در یک سیستم نفتی) عمل نمایند، در نقاط مختلف ایران مرکزی مورد توجه واقع شده است. در این مطالعه، ارزیابی مخزنی سازند قم در ساختمان تاقدیسی البرز مورد نظر بوده که این امر می‌تواند هم با هدف بررسی ویژگیهای پتروفیزیکی سازند قم بعنوان سنگ مخزن نفت در چاههای البرز و هم بررسی ویژگیهای پتروفیزیکی این

سازند جهت پی بردن به قابلیت این مخازن خالی شده (Depleted Reservoirs) در راستای پروژه ذخیره سازی گاز (Gas Storage) صورت گیرد. به لحاظ ارتباط تنگاتنگ و نقش مؤثر دو عامل محیط رسوبگذاری (Sedimentary Environment) و فرایندهای دیاژنتیک (Diagenetic Processes) بر کنترل این ویژگیهای مخزنی، تأثیر این دو عامل بررسی خواهد شد.

در مطالعات ارزیابی مخزن جهت تخمین میزان ذخیره و حجم قابل برداشت هیدروکربور از مخزن، پارامترهای متنوعی همچون نوع و مقدار تخلخل، مقدار تراوایی، درصد اشباع شدگی سیالات مخزن، گرانیوی سیال و فشار مخزن در نظر گرفته می‌شود. در صورتیکه لایه‌های تشکیل دهنده مخزن، بلحاظ ویژگیهای پتروفیزیکی، یکنواخت باشد شبکه توزیع تخلخل و تراوایی در آن یکنواخت خواهد بود و می‌توان تا حد زیادی به نتایج ارزیابی مخزن اطمینان داشت. اما تنوع در نوع و بافت سنگ مخزن، عملکرد فرایندهای دیاژنتیک و عوامل دیگر باعث می‌شود که افقهای مختلفی از مخازن کربناته و آواری با ویژگیهای مخزنی بسیار متنوع در قالب یک مجموعه مخزنی وجود داشته باشد. این امر باعث توزیع غیریکنواخت سیستم تخلخل و در نتیجه ناهمگونی تراوایی در مخزن می‌گردد و این ناهمگونی به نوبه خود تأثیر فاحشی بر تخمین ذخیره هیدروکربوری و همچنین بازدهی مؤثر مخزن خواهد داشت. لذا اولین و مهمترین گام در ارزیابی مخازن هیدروکربوری، تعیین دقیق ویژگیهای مخزنی (نظیر تخلخل، تراوایی و وضعیت ارتباط بین فضاهای خالی) در بخشهای مختلف و در نتیجه تفکیک آنها به بخشهای مخزنی مشخص، تحت عنوان واحدهای جریان (Flow Units)، و بخشهای غیرمخزنی می‌باشد.

به لحاظ تأثیر عوامل مختلف بر سیستم تخلخل و تراوایی در کربناته‌ها، از چندین دهه گذشته مطالعات زیادی در زمینه تقسیم بندی تخلخل در سنگهای کربناته انجام شده که در هر یک از این طبقه بندیها یکسری از ویژگیها ملاک بوده است. جامع ترین طبقه بندی توسط چوکت و پری (Choquette and Pray, 1970) ارائه شده است که مبنای آن نحوه زایش و محیط تشکیل انواع تخلخل می‌باشد. در این مطالعه نیز انواع تخلخل بر مبنای همین طبقه بندی شناسایی و معرفی می‌شوند.

۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

سازند قم معرف آخرین پیشروی دریا در ایران مرکزی بوده و بطور کلی مجموعه ای از رخساره‌های آواری، تبخیری و آهکی- ماری را در برمی‌گیرد. تغییرات ضخامت و رخساره در بخشهای مختلف این سازند، در مناطق مختلف ایران مرکزی، چشمگیر بوده که می‌تواند حاکی از عدم ثبات تکتونیکی حوضه و در نتیجه پیشرویها و پسرویهای متعدد در آن باشد. عملکرد

گسل‌های مهم موجود در منطقه یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر در بی‌ثباتی تکتونیکی حوضه محسوب می‌گردد. تغییرات جانبی ضخامت و رخساره سازند قم از یک طرف ناشی از عملکرد گسل‌هایی بوده است که قبل از تشکیل رسوبات سازند قم در ساختار و شکل هندسی حوضه و پستی و بلندی کف آن نقش اساسی داشته‌اند و از طرف دیگر ناشی از عملکرد گسل‌هایی می‌باشد که همزمان با ته‌نشست بخش‌های مختلف این سازند فعال بوده و باعث تغییر شرایط محیط رسوبی در زمانها و مکانهای مختلف گردیده‌اند (شکل ۱). مطالعات چینه‌شناسی ناحیه‌ای نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در رخساره و ضخامت سازند قم در امتداد شمال شرق - جنوب غرب رخ داده است. حدود این تغییرات تا حد زیادی بوسیله گسل‌های موجود در حوضه قم، که از روند کلی شمال غربی - جنوب شرقی برخوردارند، مشخص می‌شود (باغبانی و همکاران، ۱۳۷۵). این گسلها به ترتیب از جنوب غرب به شمال شرق عبارتند از: گسل کوه حلیل (Kuh-e Halil Fault)، گسل خورآباد (Khurabad Fault)، گسل قم (Qum Fault)، گسل کوشک نصرت (Kushk-e Nosrat Fault) و گسل مره کوه (Morreh Kuh Fault).

بطور کلی حوضه قم را بر اساس گسترش بخش‌های مختلف سازند قم و عملکرد گسلها می‌توان به پنج ناحیه تکتونیکی - رسوبی (Tecto-Sedimentary Regions) تقسیم کرد که حدود این مناطق پنجگانه بوسیله پنج گسل اصلی که در بالا اشاره شد مشخص می‌شود (شکل ۱). این پنج ناحیه تکتونیکی - رسوبی به ترتیب از جنوب غرب به شمال شرق عبارتند از:

۱- ناحیه نیزار - قبادبزن (Neyzar-Qubadbezan region)

۲- ناحیه کهک - خورآباد (Kahak-Khurabad region)

۳- ناحیه دوبرادر (Dobaradar region)

۴- ناحیه البرز - سپر رستم (Alborz-Separ-e Rostam region)

۵- ناحیه مره کوه (Morreh Kuh region)

میادین نفت (تاقدیس البرز) و گاز (تاقدیس سراج) حوضه قم، در ناحیه البرز - سپررستم، بین دو گسل قم در جنوب غرب و کوشک نصرت در شمال شرق واقع می‌باشد. در این ناحیه سازند قم شامل بخش‌های **a** تا **f** بوده اما ضخامت آهک‌های ریفی زرد رنگ بخش **f** به سمت جنوب غرب کاهش یافته بطوریکه در مخازن البرز و سراج، بخش **f** وجود ندارد. از طرفی بخش تبخیری قاعده سازند قرمز بالایی فقط در این بخش گسترش داشته و مستقیماً روی مارنها و آهک‌های مارنی بخش **e** قرار گرفته است و به سمت شمال شرق این افق انیدریتی نازک شده و بالاخره ناپدید می‌شود.

مطالعه سازند قم در چاههای البرز ۶، ۷ و ۱۱ و تعیین ویژگیهای بافتی و فراوانی آلومک های مختلف در آنها، منجر به شناسایی ۱۰ میکروفاسیس گردید (هنرمند، ۱۳۷۸؛ رضایی و دیگران، ۱۳۷۹). میکروفاسیس های ۱۰ گانه با توجه به ویژگیها، به ترتیب، به رخساره های حوضه (Basin)، بخش عمیق جلوی ریف (Deep Fore-reef or Distal Talus)، بخش کم عمق جلوی ریف (Shallow Fore-reef or Proximal Talus)، ریف (Reef)، شلف محدود شده (Restricted Shelf)، پشته های اووئیدی (Oolitic Shoal)، لاگون (Shelf Lagoon)، پهنه جزر و مدی (Intertidal) و پهنه بالای جزر و مدی (Supratidal) نسبت داده شدند که بر روی یک رمپ کربناته نهشته شده اند.

۳- روش مطالعه

به دلیل اینکه کلیه چاههای البرز در یک ناحیه تکتونیکی-رسوبی (Tecto-Sedimentary Region) یعنی ناحیه البرز-سپهر رستم قرار دارند و تغییرات رخساره و ضخامت سازند قم در این محدوده از حوضه وسیع قم نسبتاً کم می باشد، لذا به نظر می رسد که تلفیق اطلاعات بدست آمده از چاههای البرز با یکدیگر، نتایج قابل اعتمادی را حاصل نماید. با توجه به این موضوع و به دلیل عمق زیاد چاههای البرز ۶، ۷ و ۱۱ که تمام بخشهای سازند قم و حتی سازند قرمز پائینی را دربر می گیرد و زیاد بودن مقدار مغزه های متعلق به این چاهها، این ۳ چاه جهت مطالعه انتخاب شدند که چاههای البرز ۶ و ۷ به دلیل واقع شدن در خارج از محدوده کلوزر (Closure) نفتی ساختمان البرز، خشک محسوب شده در صورتیکه چاه البرز ۱۱ یک چاه بهره ده (Productive) بوده است.

در این مطالعه مجموعه اطلاعات زمین شناسی و پتروفیزیکی حاصل از مغزه های متعلق به سازند قم در چاههای مذکور و همچنین نتایج آنالیز XRD و SEM نمونه های مذکور، به شرح ذیل، بکار گرفته شد.

۱- مطالعه ماکروسکوپی بیش از ۵۰۰ متر مغزه،

۲- تخلخل مغزه ها (Core Porosity) :

۱-۲- تخلخل حاصل از مغزه کامل (Whole Core Porosity) به روش انبساط گاز (Gas Expansion)

۲-۲- تخلخل حاصل از پلاگ (Core Plug Porosity) به روش مجموع سیالات (Summation of Fluids)

۳- تراوانی مغزه ها (Core Permeability)،

۴- اشباع شدگی آب، نفت و گاز (Water, Oil and gas Saturation)،

۵- درصد قابل حل در اسید (Acid Solubility) برای تعداد ۱۵۰ نمونه مغزه،

۶- مطالعات پتروگرافی:

در این بخش مقاطع نازک تهیه شده از مغزه ها، در فواصل ۳۰ سانتیمتری، مورد مطالعه قرار گرفت. جهت شناسایی کانیهای کربناته تعداد ۱۱۵ نمونه انتخاب و مقاطع نازک آنها با آلزارین رد-اس (Alizarine Red-S) و فری سیانید پتاسیم (Potassium Ferricyanide) بنا به روش پیشنهادی (Dickson 1965) رنگ آمیزی گردید.

۷- آنالیز نمونه های انتخابی (۴ نمونه) از پتروفاسیس های مختلف توسط اشعه ایکس (XRD) جهت شناسایی کانیهای تشکیل دهنده

۸- مطالعه نمونه های انتخابی (۷ نمونه) از پتروفاسیس های مختلف توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) جهت مطالعه بافت (Texture)، نوع و نحوه پراکندگی فضاهای خالی (Pore Type) و شناسایی کانیهای اتوزنیک.

۴- خصوصیات پتروفیزیکی بخشهای کربناته سازند قم

از آنجا که تخلخل و تراوایی بعنوان ابتدایی ترین و مهمترین فاکتورهای کنترل کننده کیفیت مخزنی محسوب می شوند، در ادامه نوع، درصد و فراوانی تخلخل و همچنین تغییرات تراوایی و عوامل مؤثر بر آنها بررسی می شوند.

۴-۱- تخلخل (Porosity)

با مطالعه مغزه ها و مقاطع نازک تهیه شده از نمونه های سازند قم در چاههای البرز، انواع تخلخل اولیه و ثانویه در آن قابل تشخیص می باشد. تخلخل اولیه غالباً از نوع بین دانه ای (Intergranular) و درون اسکلتی (Intraskelatal) و تخلخل ثانویه از نوع قالبی (Moldic)، حفره ای (Vuggy)، بین کریستالی (Intercrystalline)، شکستگی (Fracture) و کانالی (Channel) می باشد.

۴-۱-۱- تخلخل اولیه (Primary Porosity)

بخاطر تاثیر عامل تراکم و اشغال بخش عمده تخلخل بین دانه ای و درون اسکلتی توسط سیمان، بویژه سیمان کلسیتی، مقدار تخلخل اولیه در بخشهای کربناته سازند قم بشدت کاهش یافته و در محدوده ۱۰-۱ درصد تغییر می کند. تخلخل بین دانه ای غالباً در سنگهای کربناته دانه ریز نظیر مارن ها و آهکهای مارنی بخشهای **e** و **c4**، در قالب تخلخلهای ریز موجود در ماتریکس و تخلخل درون اسکلتی در بخشهای گرینستون-پکستون که در آنها به فراوانی قطعات اسکلتی نظیر بریوزوئرها و فرامینیفرها دیده می شود وجود دارد.

۴-۱-۲- تخلخل ثانویه (Secondary Porosity)

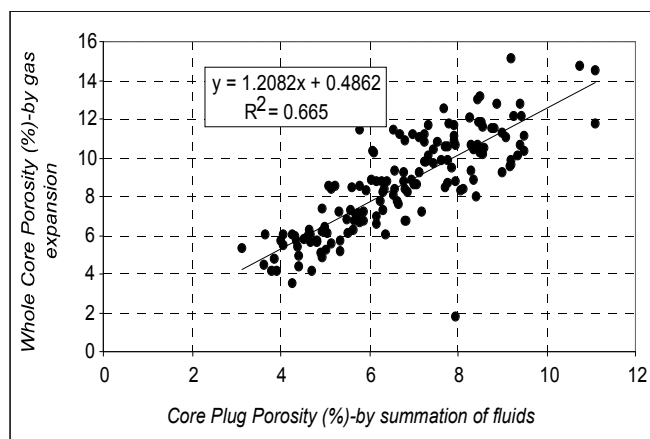
تخلخل موجود در سازند قم عمدتاً از نوع ثانویه است، لذا کیفیت مخزنی آن تا حد زیادی وابسته به مقدار و نوع تخلخل ثانویه می‌باشد. عمده ترین انواع تخلخل ثانویه در بخشهای کربناته، انواع قالبی، حفره‌ای و شکستگی می‌باشد.

۴-۱-۲-۱- تخلخل قالبی (Moldic porosity)

این نوع تخلخل به صورت تخلخل قالبی اووئیدی (Oomoldic porosity)، تخلخل قالبی اسکلتی (Biomoldic porosity) مشاهده می‌شود. تخلخل قالبی اووئیدی در بخشهای اووئید گرینستون قاعده بخش C₃ وجود داشته و مقدار آن بین صفر تا ۱۶ درصد در تغییر می‌باشد. تخلخل قالبی اسکلتی، که در نتیجه انحلال بخشهای اسکلتی همچون بریوزوئرها، فرامینفرها، دوکفه ایها، براکیوپودها ایجاد شده است، عمدتاً در رخساره های پکستون-گرینستون بخشهای C₁ و C₃ قابل مشاهده است. مقدار این دو نوع تخلخل مجموعاً بین صفر تا ۷.۵ درصد در تغییر است.

۴-۲-۱-۲- تخلخل شکستگی (Fracture Porosity)

تخلخل حاصل از شکستگیها عمدتاً در نمونه های مغزه و مقاطع میکروسکوپی مارن‌ها و آهکهای مارنی بخش e و C₄ سازند قم قابل رؤیت می‌باشد (تصویر ۱). بطور کلی شکستگیها نقش چندانی قابل ملاحظه ای در افزایش تخلخل سنگ ایفا نمی‌کنند، بطوریکه مقایسه تخلخل ماتریکس بدست آمده از نمونه های پلاگ (Plug) مارن‌ها و آهکهای مارنی واجد شکستگی با تخلخل کل بدست آمده از نمونه های مغزه کامل (Whole Core) متعلق به همان بخشها حاکی از این است که شکستگیها، حداکثر، باعث افزایش ۱-۱/۵ درصد در میزان تخلخل کل سنگ گردیده‌اند (شکل ۲). با توجه به نمودار شکل ۲، عرض از مبدا خط برازش به عنوان درصد تخلخل ثانویه بویژه تخلخل شکستگی در نظر گرفته شد. این مقدار در محدوده ۱-۱/۵ درصد تغییر می‌کند.

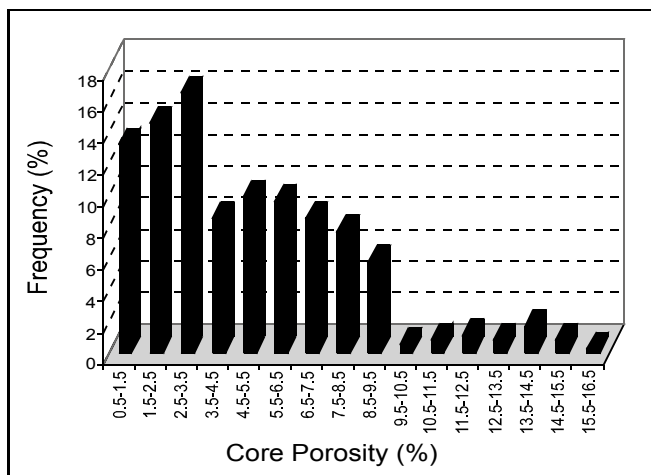


شکل ۲ - نمودار تغییرات تخلخل بدست آمده از مغزه کامل در مقابل تخلخل بدست آمده از نمونه های پلاگ متعلق به سازند قم در چاه البرز ۱۱.

علت اختلاف در مقادیر تخلخل بدست آمده از دو روش انبساط گاز (Gas Expansion) و مجموع سیالات (Summation of fluids) این است که در روش انبساط گاز بدلیل امکان نفوذ گاز در فضاهای خالی و مجاری ارتباطی بسیار باریک، بخشی از تخلخل محاسبه شده از نوع ثانویه می باشد در صورتی که تخلخل حاصل از روش مجموع سیالات شامل فضاهای خالی و مجاری خیلی باریک نشده و عمدتاً از نوع تخلخل اولیه و تا حدودی مفید می باشد. مقایسه مقادیر تخلخل بدست آمده از نمونه های پلاگ به روش مجموع سیالات (Core Plug Porosity by Summation of Fluids) با مقادیر ریزتخلخل بدست آمده به روش Craze (1950) تأیید کننده این موضوع می باشد که تخلخل بدست آمده به روش مجموع سیالات از نوع ریزتخلخل (Microporosity) اولیه موجود در ماتریکس است. فراوانی تخلخل در سازند قم در جدول ۱ و شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۱ - فراوانی تخلخل در سازند قم.

درصد فراوانی	درصد تخلخل
۴۴	کمتر از ۴/۵
۴۷	۴/۵ - ۹/۵
۹	۹/۵ - ۱۶/۵



شکل ۳ - نمودار فراوانی تخلخل مغزه در نمونه های سازند قم در چاه البرز ۱۱.

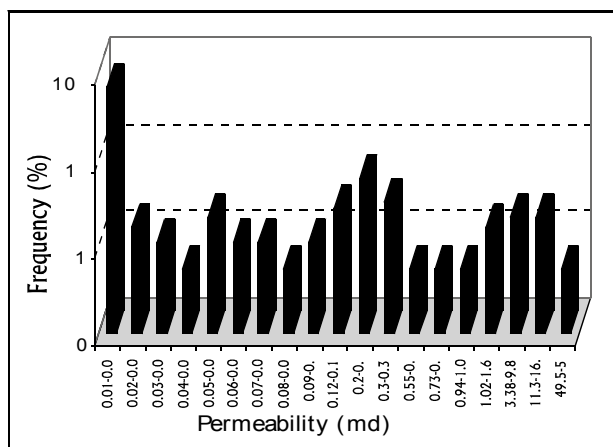
۴-۲- تراوایی (Permeability)

اطلاعات تراوایی مربوط به سازند قم محدود به داده هایی است که در چاههای البرز ۶، ۷ و ۱۱ از نمونه های پلاگ (Plug) و مغزه کامل (Whole core) متعلق به بخشهای e، c4، c3 و c1 بدست آمده است.

مقدار تراوایی در بخشهای کربناته سازند قم در محدوده ۴۹/۵۵ - ۰/۰۱ میلی داریسی در تغییر است. این مقدار در بیش از ۷۰ درصد نمونه ها حدود ۰/۰۱ میلی داریسی و کمتر می باشد و فقط در بخشهای واجد شکستگیها است که تراوایی افزایش پیدا کرده و به ۴۹/۵۵ میلی داریسی می رسد (جدول ۲ و شکل ۴).

جدول ۲ - فراوانی تراوایی در سازند قم.

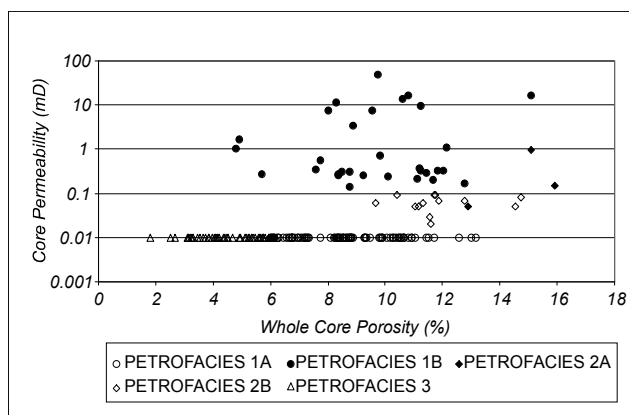
مقدار تراوایی (میلی داریسی)	فراوانی (درصد)
۰/۰۱-۰/۱	۷۹/۷
۰/۱-۱	۲۵
۱-۱۰	۷
۱۰-۵۰	۵



شکل ۴ - نمودار فراوانی تراوایی مغزه در نمونه های سازند قم در چاه البرز ۱۱.

۵- عوامل کنترل کننده کیفیت مخزنی سازند قم

همانطور که در نمودار تخلخل- تراوایی بخشهای کربناته سازند قم (شکل ۵) ملاحظه می شود ارتباط بین تخلخل و تراوایی این نمونه ها خطی نبوده بلکه موقعیت نمونه هابسیار پراکنده است. مشاهده چنین پراکندگی در موقعیت نمونه ها در نمودار تخلخل و تراوایی حاکی از این است که تخلخل تنها اصلی کنترل کننده تراوایی بخشهای کربناته سازند قم نبوده بلکه عوامل دیگری نظیر فرآیندهای دیازنتیک، محیط رسوبی و ویژگیهای بافتی سنگ، که در واقع کنترل کننده نوع تخلخل و وضعیت مجاری ارتباطی فضاهای خالی می باشند، نیز می توانند در کنترل مقدار تراوایی آنها مؤثر باشند (Sun, 1998).



شکل ۵ - موقعیت نمونه های مغزه متعلق به پتروفاسیس های مختلف سازند قم روی نمودار تخلخل-تراوایی.

۵-۱- عوامل کنترل کننده مقدار تراوایی

بطور کلی قابلیت هدایت سیال در سنگ تابعی از اندازه مجاری ارتباطی فضاهای خالی (Pore Throats Size) می باشد. طبیعتاً هر عاملی نظیر مقدار و نوع تخلخل، محیط رسوبی، فرایندهای دیاژنتیک، ویژگیهای بافتی و عمق تدفین که باعث تغییر اندازه مجاری ارتباطی گردد، بر تراوایی سنگ اثر دارد. بلحاظ اهمیت فاکتور تراوایی در ارزیابی میزان تولید مخزن، مختصراً عوامل کنترل کننده آن در کربناتهای سازند قم مورد بررسی قرار می گیرد:

۵-۱-۱- تخلخل

یکی از عوامل کنترل کننده تراوایی سنگ، مقدار و نوع تخلخل است. رابطه تخلخل با مقدار تراوایی کربناتهای سازند قم در نمودار شکل ۵ بخوبی قابل مشاهده است. مطابق این شکل ارتباط بین تخلخل و تراوایی چندان قوی نبوده و حالت پراکنده ای در موقعیت داده ها روی نمودار دیده می شود. بعنوان مثال در نمونه های با تخلخل ۱۰ درصد، تراوایی در محدوده ۰/۰۱-۴۹/۵۵ میلی داری تغییر می کند.

بر حسب مقدار تخلخل و تراوایی می توان نمونه های سازند قم را در سه محدوده مشخص گروه بندی نمود که موقعیت این ۳ گروه با حروف A، B و C در جدول ۳ مشخص شده است.

جدول ۳: مشخصات تخلخل و تراوایی سازند قم در چاه البرز ۶

موقعیت در سازند قم	نوع تخلخل	تراوایی (میلی داری)	تخلخل (درصد)	موقعیت نمونه ها روی نمودار
بخشهای a, b, c ₁ , c ₂ , c ₃ , c ₄ , e و بخش بالایی	ریز تخلخل موجود در ماتریکس	< ۰/۰۱	۱/۸ - ۱۳/۷	A
قسمت قاعده ای بخش c ₃	ریز تخلخل موجود در ماتریکس، حفره ای و قالبی	۰/۰۵ - ۱	۹/۲ - ۹/۱۵	B
قسمتهای دارای شکستگی در بخش e	ریز تخلخل موجود در ماتریکس و شکستگی	۰/۱۴ - ۴۹/۵۵	۴/۸ - ۱۵/۱	C

۵-۱-۲- پارامترهای دیاژنتیک

دراکثر مخازن کربناته تخلخل و تراوایی عمدتاً توسط فرآیندهای دیاژنتیک کنترل می شوند (Tucker, 1991). یکسری از فرآیندهای دیاژنتیکی نظیر فشردگی و سیمانی شدن باعث کاهش

تخلخل، انسداد و یا کوچکتر شدن مجاری ارتباط دهنده فضاهای خالی (Pore Throats) و در نتیجه کاهش تراوایی و کیفیت مخزنی سنگ می گردد. از طرف دیگر برخی از فرآیندهای دیاژنتیکی همچون دولومیتی شدن، انحلال و ایجاد شکستگی معمولاً باعث افزایش تخلخل و تراوایی سنگ شده و کیفیت مخزنی را بهبود می بخشد.

۵-۱-۲-۱- فرآیندهای دیاژنتزی کاهش دهنده تخلخل و تراوایی

مهمترین عوامل دیاژنتزی کاهش دهنده تخلخل و تراوایی، در سازند قم، تراکم و سیمانی شدن می باشد.

تراکم (Compaction)

فرایند تراکم، بویژه، در چند صد متر اولیه عمق تدفین رسوبات نقش بسیار مهمی در کاهش تخلخل رسوب ایفا می نماید، بطوریکه میزان تخلخل آهکهای دانه ریز میکرایتی بخش e و c₄، صرفاً در نتیجه تراکم، از حدود ۷۰٪ (Tucker, 1991) به کمتر از ۱۵٪، در اعماق حدود ۱۰۰۰ متری کاهش یافته است. اثرات تراکم به شکل رگه های انحلالی و استیلولیتها در نمونه های مورد مطالعه قابل مشاهده می باشد.

سیمانی شدن (Cementation)

سیمان بویژه سیمان کلسیتی در محیطهای مختلف دیاژنتزی، بصورت سیمان تیغه ای حاشیه ای، سیمان کلسیت هم بعد، سیمان حاشیه ای هم محور و سیمان فراگیرنده، فضاهای خالی بین دانه ای، درون دانه ای و مجاری ارتباطی بین آنها و همچنین بعضاً شکستگیها و حفرات انحلالی را اشغال نموده و بدین ترتیب نقش مهمی در کاهش تخلخل و تراوایی سازند قم داشته است. مقدار سیمان در سازند قم بین ۵ تا ۵۰ درصد در تغییر است. بیشترین توسعه سیمانی شدن در پکستون-گرینستون های بخش c₃ و c₁، که به رخساره های ریف و بخش جلویی آن تعلق دارند، یافت می شود. سیمانی شدن شدید، بویژه در فواصل ۳۳۵۷-۳۳۶۲ و ۳۳۸۸-۳۳۹۴ متری، که متعلق به رخساره جلوی ریف در بخش c₁ سازند قم می باشد، باعث کاهش تخلخل از حدود ۴ درصد به مقدار متوسط ۱ درصد شده است. به همین ترتیب پدیده سیمانی شدن در فاصله ۳۱۸۶-۳۲۷۶ متری در چاه البرز ۶ منجر به کاهش متوسط تخلخل از حدود ۶ درصد، در بخش e، به کمتر از ۲ درصد گردیده است. در این فواصل با وجود مشاهده فضای بین دانه ای (IGV) بالادر مقاطع میکروسکوپی، بدلیل اشغال بخش زیادی از فضاها توسط سیمان کلسیتی (۵۰-۳۰ درصد)، تخلخل و تراوایی به شدت کاهش یافته است.

۵-۱-۲-۲- فرآیندهای دیاژنزی افزایش دهنده تخلخل و تراوایی

مهمترین فرآیندهای دیاژنتیکی که تا حدودی باعث افزایش تخلخل و تراوایی بخشهای کربناته سازند قم شده است، پدیده انحلال و توسعه شکستگی ها می باشد که اولی، عمدتاً، باعث افزایش تخلخل شده و دومی افزایش تراوایی را سبب گشته است.

انحلال (Dissolution)

فرآیند انحلال، که بیشتر بصورت تخلخل قالبی و حفره ای در مقاطع نازک و حتی نمونه های مغزه قابل رؤیت است، غالباً در رخساره های پکستون-گرینستون متعلق به رخساره فلات محدود شده (Restricted Shelf) و پشته های اووئیدی (Oolitic Shoals) دیده می شود. این موضوع به این دلیل است که محیطهای کم عمق رمپ کربناته یا رمپ داخلی (Inner Ramp) بیشتر در معرض تغییرات سطح آب دریا می باشد در نتیجه در مواقع پسروری آب دریا، آنها در معرض آبهای متئوریک تحت اشباع نسبت به CaCO_3 گردیده و حاصل آن انحلال بخشهای قابل حل نظیر اووئیدها و قطعات اسکلتی آراگونیتی در این بخشها خواهد بود (Mclimans and Videtich, 1989). بیشترین شدت عملکرد انحلال در اووئیدگرینستونهای بخش C_3 قابل مشاهده می باشد. پدیده انحلال باعث افزایش تخلخل پلاگ (Core Plug Porosity) به بیش از ۱۱ درصد، در فاصله ۳۲۸۱-۳۲۷۶ متری (لایه اووئیدگرینستون) گردیده است.

گسترش شکستگی ها (Fracturing)

شکستگیها از مهمترین عوامل دیاژنزی افزایش دهنده تراوایی سازند قم می باشند بطوریکه باعث افزایش تراوایی از کمتر از ۰/۰۱ میلی دارسی در ماتریکس فاقد شکستگی به حدود ۴۹/۵۵ میلی دارسی در بخشهای واجد شکستگی گردیده است.

شکستگیهای موجود در بخشهای e و C_4 سازند قم با فراوانی و بازشدگی مختلف مشاهده می شود. اکثر شکستگیها دارای بازشدگی ۲۰ تا ۳۰ میکرون بوده (تصویر ۱) و شکستگیهای با بازشدگی بیشتر، که بعضاً بازشدگی آنها به ۱ سانتیمتر نیز می رسد، غالباً بوسیله سیمان کلسیت اسپاری پر شده اند.

به لحاظ اهمیت شکستگیها در تراوایی سازند قم، با مطالعه حدود ۲۰۰ متر نمونه های مغزه متعلق به بخش e ، فاصله بین شکستگیها و میزان بازشدگی آنها برداشت گردید. باتوجه به وضعیت افقی شکستگیها ($a = 0$) و با استفاده از معادله (Huitt (1966) و Parsons (1966) که جهت محاسبه تراوایی افقی (K_H) در یک ماتریکس حاوی شکستگی ارائه شده است، مقدار تراوایی افقی در سراسر بخش e محاسبه گردید.

معادله Huiitt (1966) و Parsons (1966) جهت محاسبه تراوایی افقی عبارت است از :

$$K_H = K_m + (8.44 \times 10^7 \times W^3 \times \cos^2 \alpha) / L$$

K_H : تراوایی افقی (میلی داری)

K_m : تراوایی ماتریکس (میلی داری)

W : پهنا یا بازشدگی شکستگی (میلیمتر)

L : فاصله بین شکستگیها (میلیمتر)

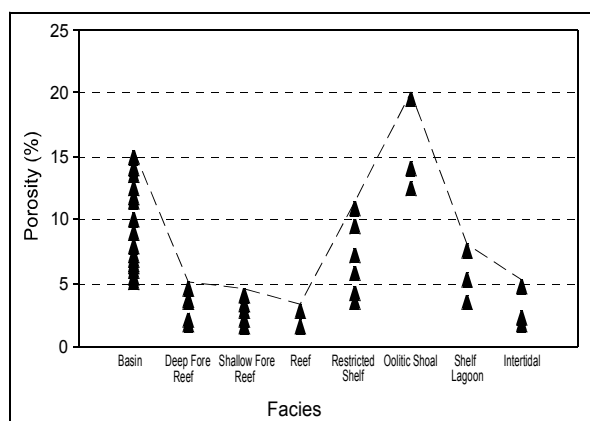
α : زاویه انحراف شکستگیها از حالت افقی (درجه)

جهت محاسبه تراوایی، مقدار بازشدگی شکستگیها بطور متوسط ۰/۰۲۵ میلیمتر (۲۵ میکرون)، شکستگیها به حالت افقی ($a = 0$) و فاصله بین شکستگیها در اعماق مختلف ۲، ۳ و ۴ سانتیمتر و بیشتر (بر اساس مطالعه مغزه ها و مقاطع نازک) در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب مقدار تراوایی بدست آمده با این روش در محدوده ۵۷/۳۴ - ۰/۰۱ - میلی داری تغییر می کند. تراوایی بدست آمده به روش فوق تا حد زیادی با تراوایی بدست آمده از نمونه های مغزه کامل (۴۹/۵۵ - ۰/۰۱ میلی داری) مطابقت می نماید.

۶- تأثیر محیط رسوبی بر تخلخل و تراوایی

همانطور که اشاره شد مهمترین عوامل کنترل کننده تخلخل و تراوایی سازند قم فرآیندهای دیاژنتیک می باشد. اما از آنجائیکه بخش زیادی از این فرآیندهای دیاژنتیک بویژه انحلال و سیمانی شدن در محیط رسوبگذاری و در طی دیاژنز اولیه (Early Diagenesis) رخ داده است لذا پارامترهای مخزنی ارتباطی را نیز با رخساره های رسوبی نشان میدهند (شکل ۶)، بطوریکه، بدون در نظر گرفتن شکستگیها، بیشترین مقادیر تخلخل و تراوایی در بخشهای کم عمق و پرانرژی رمپ داخلی (Inner Ramp) یا میکروفاسیس های ۵ و ۶ متعلق به فلات محدود شده (Restricted Shelf) و پشته های اووئیدی (Oolitic Shoals) وجود دارد. کمترین مقادیر تخلخل و تراوایی نیز در رخساره های لاگون (Shelf Lagoon) یا میکروفاسیس ۷، ریف (Reef) و بخش جلوئی آن (Deep and Shallow fore reef) یا میکروفاسیس ۲، ۳ و ۴ (بدلیل سیمانی شدن شدید) مشاهده می شود. رخساره های عمیق حوضه (Basin) یا میکروفاسیس ۱ تخلخل و تراوایی بسیار متغیری از خود نشان می دهد (شکل ۶) که به دلیل تغییر فراوانی درصد رس و تراکم شکستگیها می باشد.

در ضمن ایجاد شکستگی که سبب افزایش تراوایی به بیش از ۴۹/۵ میلی داری در سازند قم گردیده است عمدتاً در یک رخساره خاص، که مارن‌ها و آهک‌های مارنی متعلق به حوضه (Basin) می باشد، ملاحظه می شود و این موضوع سبب شده است که بخش‌های تولید کننده در چاه‌های البرز صرفاً منطبق بر مارن‌ها و آهک‌های مارنی واجد شکستگی باشد.



شکل ۶ - نمودار تغییرات درصد تخلخل در رخساره های مختلف سازند قم.

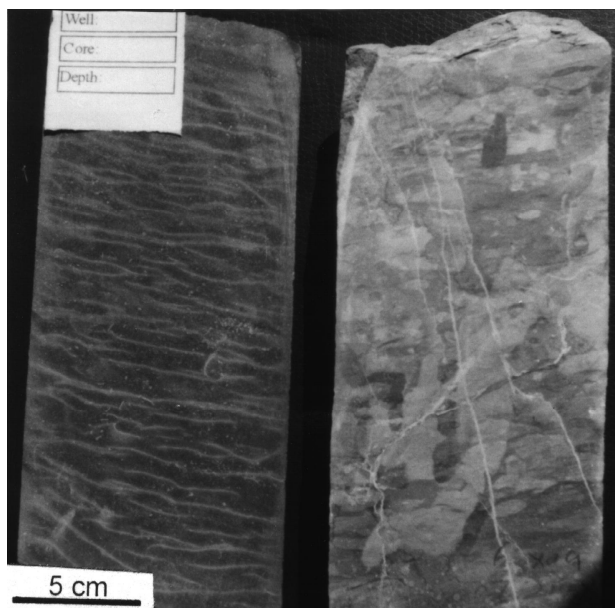
۷- پتروفاسیس ها (Petrofacies)

در سنگ‌های مخزن کربناته، با توجه به خصوصیات پتروفیزیکی و رخساره ای، می توان بخش‌های متفاوت را در قالب پتروفاسیس ها (Petrofacies) از یکدیگر تفکیک نمود (Kopaska-Merkel, 1989 & Lucia, 1995).

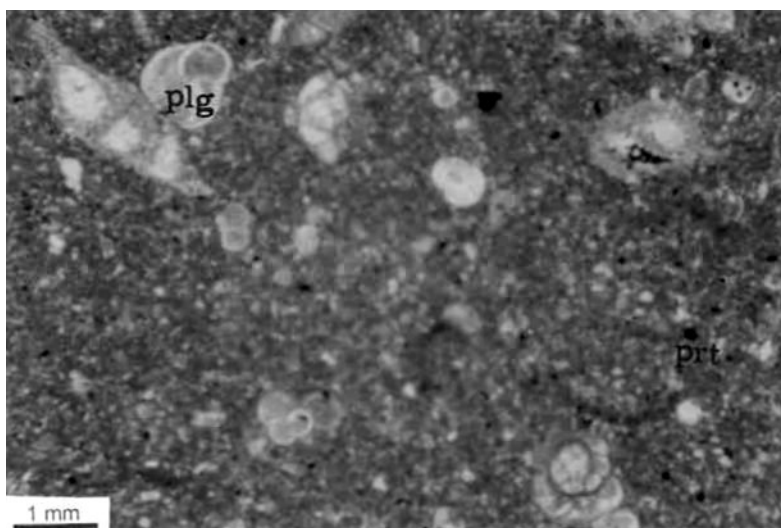
با توجه به ویژگی‌های پتروفیزیکی (موقعیت نمونه ها روی نمودار تخلخل-تراوایی، شکل ۵ و جدول ۴) و رخساره ای بخش‌های کربناته سازند قم، ۳ پتروفاسیس و یا به عبارت دیگر ۳ واحد جریانی (Flow Unit) در آن قابل تفکیک می باشد. این پتروفاسیس ها عبارتند از:

پتروفاسیس ۱

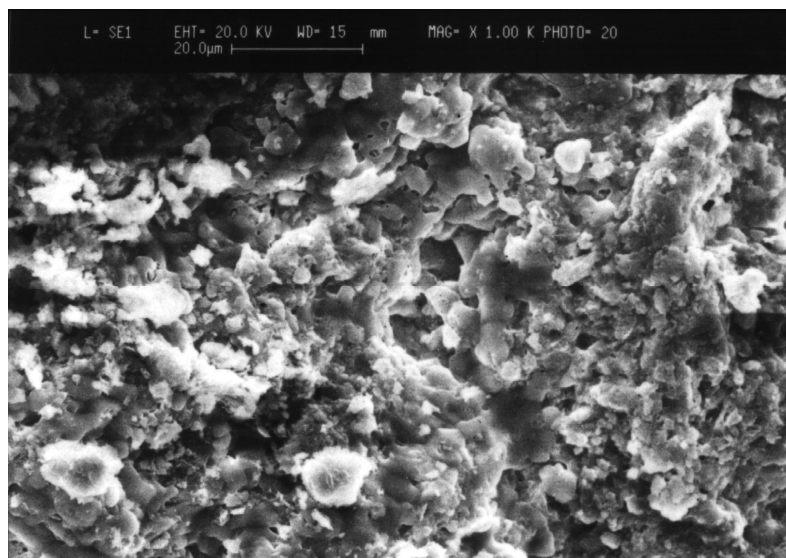
این پتروفاسیس شامل مارن‌ها و آهک‌های مارنی یا پلاژیک مادستون- وکستون ها می باشد (تصاویر ۱، ۲ و ۳). در نمونه های متعلق به این پتروفاسیس مقدار تخلخل، بدلیل تغییر درصد رس (Clay Size Fraction) و مقدار تراوایی بدلیل تغییر تراکم شکستگی ها (Fracture Density) در یک محدوده وسیع تغییر می کند، بطوریکه مقدار تخلخل و تراوایی به ترتیب در محدوده



تصویر ۱- نمونه های مغزه متعلق به پتروفاسیس ۱. شکستگیهای افقی به موازات سطح لایه بندی، با بازشدگی ۲۵ میکرون و شکستگیهای عمودی پر شده با سیمان کلسیتی.



تصویر ۲- یک پلاژیک وکستون (آهک مارنی) متعلق به پتروفاسیس ۱. فرامینیفرهای پلاژیک (plg) و ذرات پراکنده پیریت (prt) قابل مشاهده می باشد، نور پلاریزه.



تصویر ۳ - تصویر SEM از ریز تخلخل موجود در آهکهای مارنی پتروفاسیس ۱.

۱۵/۱-۴/۸۱ درصد و ۴۹/۵۵-۰/۰۱ میلی داری در تغییر می باشد. تخلخل غالباً از نوع ریزتخلخل (Microporosity) می باشد که به دلیل کوچک بودن گلوگاههای تخلخل (Pore Throats)، تراوایی بسیار کم می باشد. این پتروفاسیس عمدتاً با رخساره های حوضه (Basin) و لاگون (Shelf Lagoon) منطبق می باشد. این پتروفاسیس را می توان، برحسب وجود یا عدم وجود شکستگی ها، به ۲ بخش تقسیم نمود که عبارتند از:

۱- بخشهای فاقد شکستگی که دارای تراوایی کمتر از ۰/۰۱ میلی داری می باشند.

۲- بخشهای دارای شکستگی که تراوایی در آنها به ۴۹.۵۵ میلی داری نیز می رسد.

جدول ۴ - ویژگیهای رخساره ای و پتروفیزیکی پتروفاسیس های مختلف سازند قم

Petrofacies	Lithology	Microfacies	Porosity (%)	Porosity Type	Permeability (md)
I					
IA	Pelagic Wackestone	1	4.81-15.1	Microporosity	0.01
IB	Pelagic Wackestone	1	4.81-15.1	Microporosity	>0.01-49.55
II					
IIA	Ooid grainstone	6	12.9-15.9	Oomoldic, Biomoldic and Vuggy	0.05-1
IIIB	Bioclastic packstone-grainstone	5	9.2-12.9	Biomoldic and Vuggy	0.05-0.09
III	Bioclastic wackstone-packstone / grainstone	2, 3 & 4	1.5-5.2	Inter & Intraskelatal	0.01

پتروفاسیس ۲

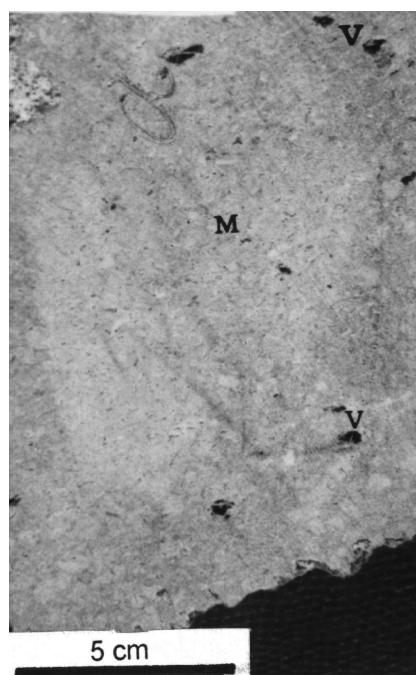
این پتروفاسیس شامل بایوکلاستیک پکستون-گرینستون ها و اووئیدگرینستونها می باشد. نمونه های متعلق به این پتروفاسیس با توجه به نوع رخساره، نوع و درصد تخلخل و مقدار تراوایی به دو زیرگروه قابل تقسیم بندی می باشند که عبارتند از:

پتروفاسیس ۲A

این پتروفاسیس شامل اووئید گرینستونهای متعلق به رخساره پشته های اوئیدی (Oolitic Shoal) می باشد (تصاویر ۴، ۶ و ۸). تخلخل در نمونه های متعلق به آن در محدوده ۱۵/۹-۱۲/۹ درصد و غالبا از نوع تخلخل قالبی اووئیدی و تخلخل حفره ای می باشد. تراوایی نیز در محدوده ۰.۰۵-۱ میلی داری در تغییر است.



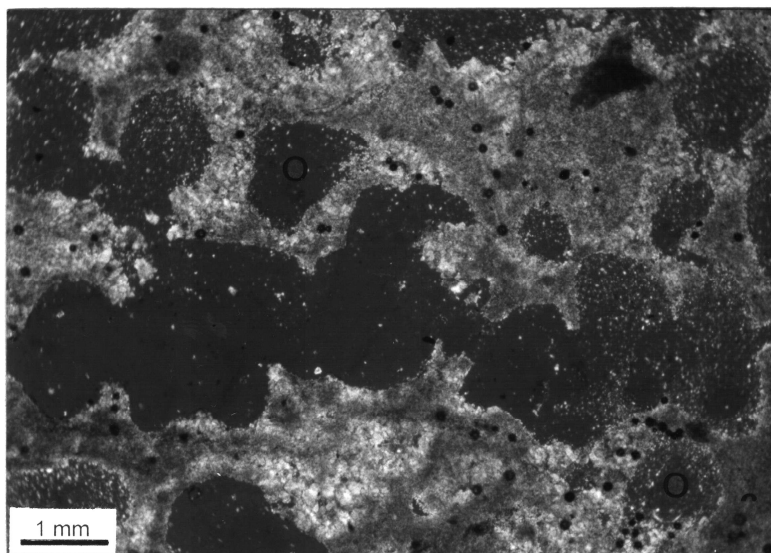
تصویر ۴ - نمونه مغزه از اووئید گرینستونهای متعلق به پتروفاسیس ۲A. انواع تخلخل قالبی اووئیدی (O) و حفره ای (V) و استیلولیتها (S) قابل مشاهده می باشد.



تصویر ۵ - نمونه مغزه از پکستون-گرینستونهای متعلق به پتروفاسیس ۲B. انواع تخلخلهای حفره ای (V) و قالبی اسکلتی (M) قابل مشاهده می باشد.

پتروفاسیس ۲B

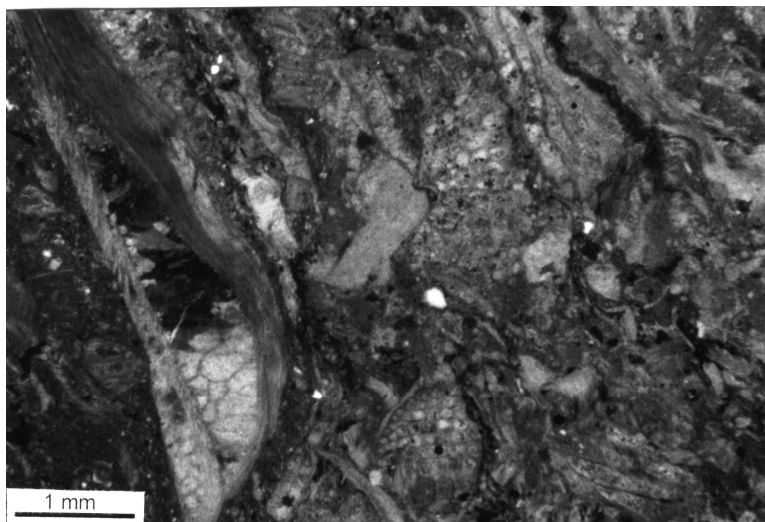
این پتروفاسیس شامل بایوکلاستیک پکستون-گرینستون های متعلق به رخساره فلات محدود شده (Restricted Shelf) می باشد (تصویر ۵). تخلخل در نمونه های متعلق به این گروه عمدتاً از نوع تخلخل قالبی اسکلتی و تخلخل حفره ای بوده و در محدوده ۹/۲-۱۲/۹ درصد در تغییر است. تراوایی نیز در محدوده ۰/۰۹-۰/۰۵ میلی داری تغییر می کند.



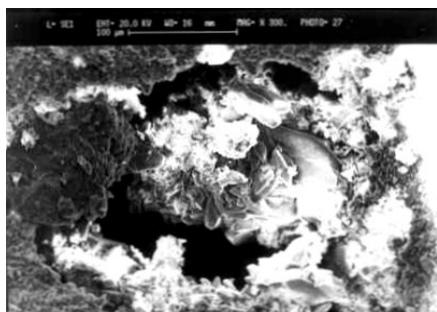
تصویر ۶ - مقطع نازک از اوونید گرینستونهای متعلق به پتروفاسیس ۲A. تخلخل قالبی اوونیدی (O) و سیمان کلسیت اسپاری دروزی مشاهده می شود، نور پلاریزه با تیغه ژیبس.

پتروفاسیس ۳

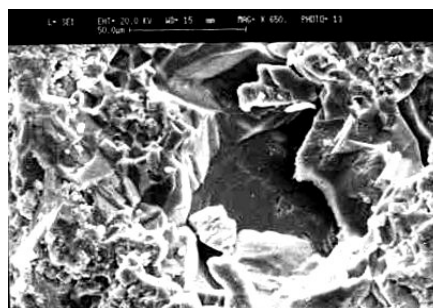
این پتروفاسیس دربرگیرنده بایوکلاستیک وکستون-پکستون ها و پکستون-گرینستون های متعلق به رخساره های ریف (Reef) و بخش جلوی ریف (Fore Reef) می باشد (تصاویر ۷ و ۹). تخلخل و تراوایی در این پتروفاسیس کم بوده بطوریکه تخلخل در محدوده ۱/۵-۵/۲۱ درصد در تغییر است و تراوایی ۰/۰۱ میلی داری می باشد. پائین بودن کیفیت مخزنی در نمونه های متعلق به این پتروفاسیس بدلیل تاثیر فرآیندهای دیاژنتیک بویژه تراکم و سیمانی شدن شدید می باشد.



تصویر ۷ - مقطع نازک از بایوکلاستیک پکستونهای متعلق به پتروفاسیس ۳، نور پلاریزه.



تصویر ۸ - تصویر SEM از تخلخل قالبی اووئیدی در اووئیدگرینستونهای پتروفاسیس ۲A.



تصویر ۹ - تصویر SEM از سیمان کلسیت اسپاری در بایوکلاستیک پکستونهای پتروفاسیس ۳.

همانطور که ملاحظه می شود بیشترین و فراوانترین مقادیر تخلخل و تراوایی در مارنهای آهکهای مارنی پتروفاسیس ۱ وجود دارد (جدول ۴). با توجه به این تقسیم بندی، بنظر می رسد که تنها بخشهایی که در قالب پتروفاسیس ۱ جای می گیرند قابلیت تولید هیدروکربور خواهند داشت. در سازند قم نیز این ویژگیها عمدتاً در مارنهای آهکهای مارنی دارای شکستگی بخش e ملاحظه می شود بطوریکه زونهای تولیدکننده در چاههای البرز ۹، ۱۰ و ۱۱ عملاً منطبق بر همین مناطق می باشند. دو ویژگی مهم و قابل بحث در مارنهای آهکهای مارنی بخش e، توسعه شکستگیها و وجود رس می باشد. فراوانی شکستگیها و تاثیر آنها در افزایش تخلخل و تراوایی سازند قم در بخش

"تأثیر دیاژنز بر تخلخل و تراوایی" بررسی شد. در این قسمت به تأثیر فراوانی ذرات رسی (Clay Size Fraction) بر ویژگیهای مخزنی مارنها و آهکهای مارنی سازند قم پرداخته می‌شود.

۸- تأثیر فراوانی ذرات رسی بر ویژگیهای مخزنی پتروفاسیس ۱

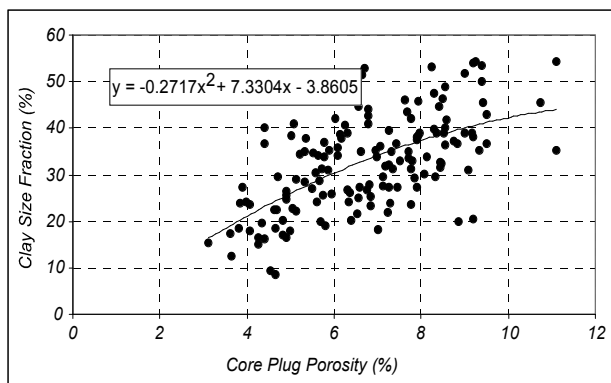
به منظور دستیابی به تغییرات درصد رس و تأثیر آن بر میزان تخلخل و اشباع شدگی هیدروکربور و آب، به ترتیب زیر عمل شد.

با داشتن درصد اجزاء محلول در اسید کلریدریک (HCl) (درصد کربنات کلسیم) مربوط به تعداد ۱۵۰ نمونه از بخش e چاه البرز ۱۱ و در نظر گرفتن مقدار متوسط ۸ درصد بعنوان درصد اجزاء غیرمحلول، اعم از اجزاء آواری، مواد آلی و پیریت (با مطالعه مقاطع میکروسکوپی) متعلق به این پتروفاسیس، درصد ذرات رسی (Clay Size Fraction) در سراسر بخش e سازند قم به صورت زیر محاسبه گردید:

$$\text{Insoluble Material in Acid (\%)} = 100 - \text{Soluble Material in Acid (\%)}$$

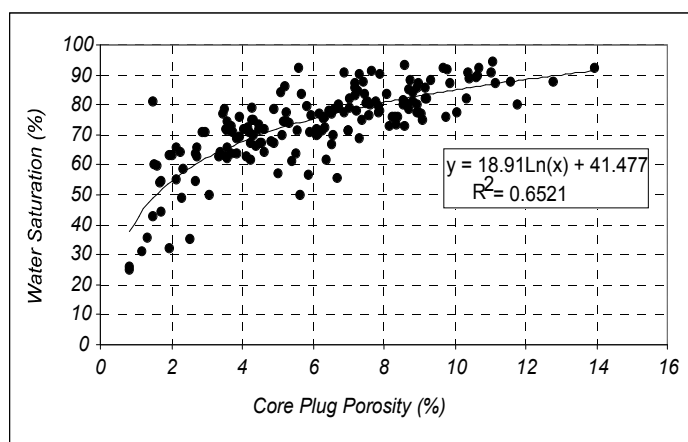
حال با داشتن درصد ذرات رسی، اولاً: بخش e سازند قم به بخشهای مارنی و آهک مارنی قابل تفکیک می‌باشد، ثانیاً: بر اساس نمودار تغییرات درصد ریزتخلخل (Microporosity) و همچنین اشباع شدگی هیدروکربور و آب نسبت به درصد ذرات رسی، تأثیر فراوانی ذرات رسی بر میزان تخلخل و اشباع شدگی هیدروکربور و آب در بخش e بررسی گردید.

نمودار شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش درصد رس در نمونه‌های متعلق به پتروفاسیس ۱، درصد تخلخل بدست آمده از پلاگ افزایش پیدا می‌کند. با در نظر گرفتن این موضوع و با توجه به نوع رخساره که یک مادستون-پکستون می‌باشد به نظر می‌رسد که تخلخل عمدتاً از نوع ریزتخلخل (Microporosity) باشد.

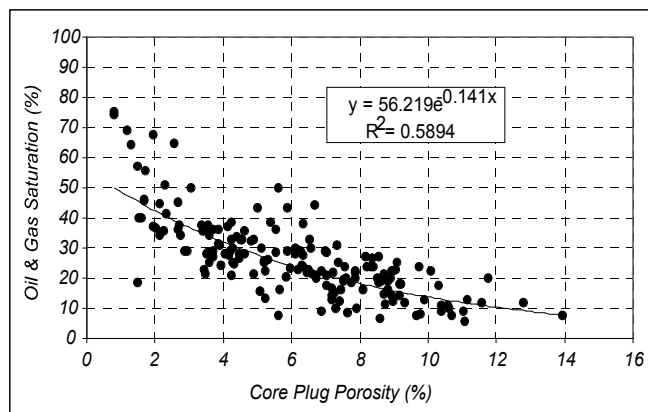


شکل ۷ - نمودار تغییر درصد تخلخل پلاگ نسبت به تغییر درصد رس در بخش e سازند قم.

نمودار شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهد که با افزایش درصد تخلخل در نمونه‌های پتروفاسیس ۱ درصد اشباع شدگی آب افزایش و بالعکس درصد اشباع شدگی هیدروکربور (نفت و گاز) کاهش می‌یابد. بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که در مارن‌ها و آهک‌های مارنی پتروفاسیس ۱ اولاً، تخلخل از نوع ریزتخلخل (Microporosity) می‌باشد که با افزایش درصد رس افزایش می‌یابد، ثانیاً این تخلخل‌ها عمدتاً بوسیله آب اشباع شده است. جهت بررسی صحت این نتیجه‌گیری رابطه Craze (1950) بکار گرفته شد. Craze عنوان می‌کند که در مخازن کربناته فشرده و دانه ریز، ریزتخلخل‌ها عمدتاً توسط آب اشغال شده است و رابطه ذیل بین تخلخل کل (Total Porosity)، تخلخل ریزماتریکس (Microporosity) و اشباع شدگی آب (Water Saturation) برقرار می‌باشد:

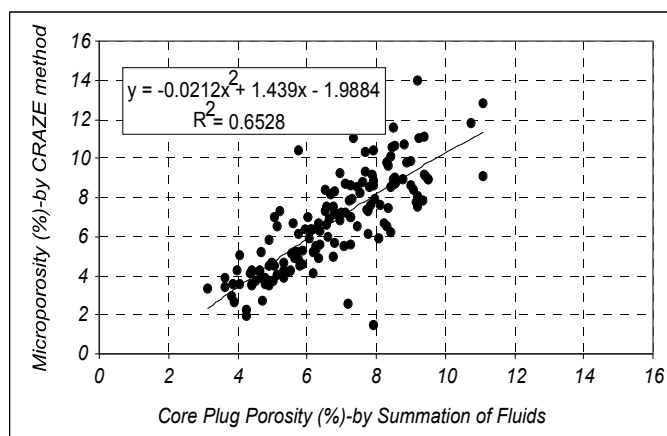


شکل ۸ - نمودار تغییر درصد اشباع شدگی آب نسبت به تغییر درصد تخلخل پلاگ در بخش e سازند قم.



شکل ۹ - نمودار تغییر درصد اشباع شدگی نفت و گاز نسبت به تغییر درصد تخلخل پلاگ دز بخش e سازند قم.

لذا، در نمونه های بخش e سازند قم در چاه البرز ۱۱، با در نظر گرفتن تخلخل بدست آمده از مغزه کامل (Whole Core Porosity) به عنوان تخلخل کل و با داشتن اشباع شدگی آب، مقدار ریزتخلخل نمونه های مذکور، با استفاده از رابطه Craze (1950)، بدست آمد. سپس این مقادیر در مقابل تخلخل بدست آمده از نمونه های پلاگ مربوط به همان نمونه ها در قالب نمودار شکل ۱۰ رسم گردید.



شکل ۱۰ - رابطه تخلخل بدست آمده از نمونه های پلاگ با تخلخل بدست آمده با استفاده از رابطه Craze (1950).

در این نمودار، ضریب انطباق (Correlation Coefficient) بالا و شیب نزدیک به ۴۵ و عرض از مبدا نزدیک صفر برای خط برازش یافته، مجموعاً نشان دهنده نزدیک بودن مقادیر تخلخل بدست

آمده از دو روش فوق می باشد که این موضوع، همانطور که اشاره شد، تأیید می کند، اولاً تخلخل در پتروفاسیس ۱ از نوع ریزتخلخل بوده و ثانیاً این ریزتخلخل ها عمدتاً توسط آب اشباع شده اند.

البته این موضوع نبایستی نادیده گرفته شود که درصد اشباع شدگی آب (S_w)، علاوه بر درصد ریزتخلخل موجود در سنگ، تابع فاکتور دیگری نیز می باشد که تحت عنوان فاصله از سطح تماس آب و نفت (Oil-Water Contact) قابل بررسی می باشد، به این مفهوم که، حتی در یک مخزن کاملاً هموژن از نظر ویژگیهای پتروفیزیکی، با نزدیکتر شدن به سطح تماس آب و نفت، درصد اشباع شدگی آب افزایش می یابد و به این ترتیب چنین به نظر میرسد که تخلخل بدست آمده با استفاده از معادله Craze فقط زمانی معتبر است که نمونه های مورد مطالعه تقریباً متعلق به یک عمق باشند. اما تطابق نسبتاً قابل قبول مقادیر تخلخل پلاگ با تخلخل حاصل از روش مذکور در این فواصل محدود تا حدی می تواند نشان دهنده صحت نتایج حاصله باشد.

بنابر این می توان نتیجه گرفت که:

بخش e سازند قم متشکل از تناوب مارن و آهک مارنی می باشد که قسمتهای مارنی بیشتر در بخش بالایی وجود داشته و به طرف قاعده، عمدتاً، به آهک مارنی تبدیل می شود.

با افزایش درصد ذرات رسی در بخش e، درصد ریز تخلخل (Microporosity) افزایش می یابد، بنابر این بخشهای مارنی نسبت به بخشهای آهک مارنی از تخلخل بیشتری برخوردارند.

با افزایش درصد ذرات رسی در بخش e، درصد اشباع شدگی آب (S_w) افزایش و بالعکس درصد اشباع شدگی نفت و گاز (S_{HC}) کاهش می یابد. این موضوع به دلیل این است که ضمن افزایش درصد ذرات رسی، به لحاظ افزایش درصد ریزتخلخل، کشش سطحی ماتریکس رسی نسبت به آب بیشتر شده و متعاقب آن درصد اشباع شدگی آب غیر قابل استحصال (Irreducible Water Saturation) افزایش و درصد اشباع شدگی نفت و گاز کاهش می یابد.

اینگونه مخازن، به دلیل بالا بودن درصد اشباع شدگی آب غیر قابل استحصال، با وجود اشباع شدگی بالای آب (تا حدود ۷۵٪) قادر به تولید هیدروکربور می باشند و قابلیت تولید در مناطقی که با شکستگیها همراه باشد، به دلیل افزایش تراوایی، افزایش خواهد یافت.

بهره برداری از چاههای البرز ۹، ۱۰ و ۱۱ نشان می دهد که مناطق تولید کننده در بخش e، عمدتاً، افقهای واجد شکستگی و دارای اشباع شدگی آب در محدوده ۶۷٪-۷۵٪ می باشند که این موضوع تاییدکننده مطالب فوق می باشد.

۹- نتایج

از میان فرایندهای متنوع دیاژنتیکی در سازند قم، تراکم و سیمانی شدن مهمترین فرآیندهای کاهش دهنده تخلخل و تراوایی بوده و انحلال و ایجاد شکستگیها، به ترتیب، مهمترین فرآیندهای افزایش دهنده تخلخل و تراوایی محسوب می شوند. بنابر این بیشترین مقادیر تخلخل در رخساره های شلف محدود شده و پشته های اووئیدی، که عملکرد انحلال در آنها از شدت بیشتری برخوردار بوده است، مشاهده می شود و بیشترین تراوایی نیز در مارنها و آهکهای مارنی متعلق به بخش e، بدلیل عملکرد شکستگیها، وجود دارد، بالعکس کمترین مقادیر تخلخل و تراوایی در رخساره های ریف و بخش جلویی آن، بدلیل عملکرد شدید فرآیندهای تراکم و سیمانی شدن، مشاهده می شود.

بیشترین و فراوانترین مقادیر تخلخل و تراوایی در مارنها و آهکهای مارنی پتروفاسیس ۱ مشاهده می شود. توسعه شکستگیها باعث تغییر مقدار تراوایی در یک محدوده وسیع در مارنها و آهکهای مارنی بخش e (پتروفاسیس ۱) گردیده است. تغییر مقدار تخلخل در نمونه های متعلق به این پتروفاسیس بدلیل تغییر فراوانی درصد ذرات رسی می باشد.

با افزایش درصد ذرات رسی در پتروفاسیس ۱ (بخش e)، اولاً: درصد ریز تخلخل (Microporosity) افزایش می یابد، بنابر این بخشهای مارنی نسبت به بخشهای آهک مارنی از تخلخل بیشتری برخوردارند، ثانیاً: درصد اشباع شدگی آب (S_w) افزایش و بالعکس درصد اشباع شدگی نفت و گاز (S_{HC}) کاهش می یابد. این موضوع بدین دلیل است که ضمن افزایش درصد ذرات رسی، به لحاظ افزایش درصد ریز تخلخل، کشش سطحی ماتریکس رسی نسبت به آب بیشتر شده و متعاقب آن درصد اشباع شدگی آب غیر قابل استحصال (Irreducible Water Saturation) افزایش و درصد اشباع شدگی نفت و گاز کاهش می یابد. اینگونه مخازن، به دلیل بالا بودن درصد اشباع شدگی آب غیر قابل استحصال، علی الرغم اشباع شدگی بالای آب (تا حدود ۷۵٪) قادر به تولید هیدروکربور می باشند و قابلیت تولید در مناطقی که با شکستگیها همراه باشد، به دلیل افزایش تراوایی، افزایش خواهد یافت.

References

- Choquette, P.W., and Pray, L.C., (1970) *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*: AAPG Bulletin, **54**, 207-250.
- Craze, R.C., (1950) *Performance of limestone reservoirs*: Trans., AIME, **189**, 287-294.
- Dickson, J.A.D., (1965) *Carbonate identification and genesis as revealed by staining*: J. Sediment. Petrol, **36**(2), 491-505.
- Huitt, J.L., (1966) *Fluid flow in simulated fractures*: AIChE J., **2**(2), 259-264.
- Kopaska-Merkel, D.C., and Friedman, G.M., (1989) *Petrofacies analysis of carbonate rocks: Example from lower Paleozoic Hunton Group of Oklahoma and Texas*: AAPG Bulletin, **73**(11), 1289-1306.
- Lucia, F.J., (1995) *Rock fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization*: AAPG Bulletin, **79**, 1275-1300.
- Mclimans, R. K., and Videtich, P. E., (1989) *Diagenesis and burial history of Great Oolite Limestone, Southern England*: AAPG Bulletin, **73**, 1195-1205.
- Parsons, R.W., (1966) *Permeability of idealized fractured rock*: Soc. Petrol. Eng. Jour. 126-136.
- Sun, S.Q., and Wright, V.P., (1998) *Controls on reservoir quality of an upper Jurassic reef mound in the Palmers Wood Field area, Weald Basin, Southern England*: AAPG Bulletin, **82**(3), 497- 515.
- Tucker, M.E., (1991) *Sedimentary petrology: An introduction to the origion of sedimentary rocks*. 2nd., Blackwell, 260 pp.
- باغبانی، داریوش، الهیاری، مرتضی، و شاکری، علیرضا (۱۳۷۵) بررسی حوضه رسوبی قم و ارزیابی توان هیدروکربوری آن (ایران مرکزی). شرکت ملی نفت ایران. گزارش زمین شناسی شماره ۱۸۳۸، ۱۰۴ صفحه.
- رضایی، محمدرضا، هنرمند، جواد و اخروی، رسول، (۱۳۷۹) میکروفاسیس و محیط رسوبی سازند قم در تاقدیس البرز، حوضه قم، ایران مرکزی. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۲۶، صفحه ۱۳۹-۱۵۶.
- هنرمند، جواد (۱۳۷۸) ارزیابی مخزنی سازند قم در تاقدیس البرز، حوضه قم، ایران مرکزی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تهران، ۱۵۲ صفحه.