

تخلخل در مخازن کربناته

بررسی ویژگیهای سیستم تخلخل در مخازن کربناته با استفاده از روش

آنالیز تصویر (Image Analysis)

با مثالهایی از نمونه های متعلق به گروههای مختلف سنگی سازند آسماری

جواد هنرمند - پژوهشگاه صنعت نفت

مقدمه

روش مطالعه

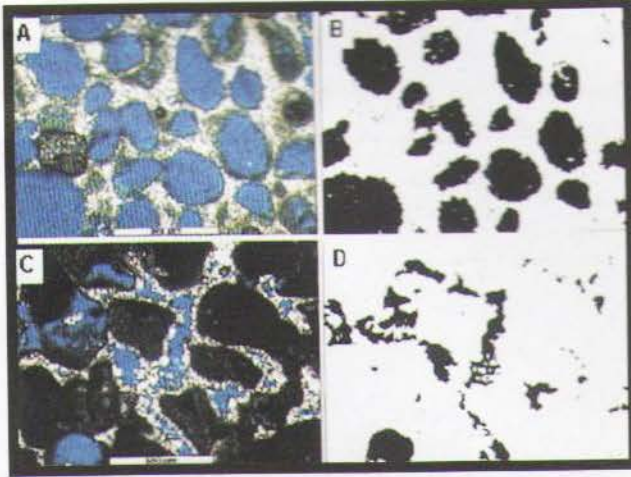
به لحاظ پتانسیل مخزنی، سنگ مخزن هیدروکربنی به سنگی اطلاق می شود که هم قابلیت ذخیره سازی (تخلخل) خوبی داشته باشد و هم توانایی آن برای عبور نفت و گاز (تراوایی) بالا باشد. به طور کلی رفتار یک مخزن اعم از میزان ذخیره و نرخ تولید آن، تابع مجموعه ای از خواص استاتیک سنگ مخزن (شامل تخلخل و تراوایی) و ویژگیهای دینامیک یا خصوصیات فیزیکی شیمیایی سیال موجود در مخزن است. با توجه به مکانیسم های مختلف تشکیل و گسترش انواع متنوع تخلخل در سنگهای کربناته و پیچیدگی ارتباط بین تخلخل و تراوایی در این سنگها، پیش بینی عملکرد یک مخزن کربناته و برآورد مقدار تولید آن نیازمند درک صحیح و دقیقی از ویژگیهای پتروفیزیکی این مخازن است. درک متغیرهای پیچیده سنگ مخزن نظیر تخلخل (Porosity)، تراوایی (Permeability)، فشار موئینه (Capillary Pressure)، ناهمگنی مخزن (Reservoir Heterogeneity)، شکل هندسی (Geometry) آن و خواص سیال موجود در آن، مستلزم استفاده از روشهای مطالعاتی و آزمایشگاهی متنوعی است. روشهای متداول در ارزیابی پتروفیزیکی نمونه های سنگ مخزن شامل اندازه گیری تخلخل با استفاده از گاز هلیوم (Helium Porosity)، تراوایی نسبت به هوا (Air Permeability) و تعیین اندازه مجاری ارتباطی فضاهای خالی با استفاده از آزمایش فشار موئینه تزریق جیوه (Mercury Injection Capillary Pressure or MICP) است. انجام آزمایشهای مذکور بسیار پرهزینه و وقت گیر است. از طرف دیگر با توجه به پیچیدگیهای موجود در مخازن کربناته، علاوه بر مقدار تخلخل موجود در نمونه های مغزه، نوع تخلخل و نحوه ارتباط فضاهای خالی با یکدیگر و همچنین اندازه گلوگاههای مجاری ارتباطی (Pore Throat Size)، در کنترل مقدار تراوایی سنگ مخزن بسیار مؤثر خواهد بود.

لزوم تعیین پارامترهای پتروفیزیکی مخزن از یک سو و استفاده از روشهایی که وقت و هزینه کمتری را مصرف نماید از سوی دیگر باعث گردید که امروزه تکنیک آنالیز تصاویر پتروگرافی (Petrographic Image Analysis) برای تعیین مقدار و نوع تخلخل و ارتباط آن با میزان تراوایی و همچنین ارزیابی شکل هندسی (Pore Geometry) و اندازه گلوگاههای مجاری ارتباطی، مورد استفاده قرار گیرد. در این روش سیستم آنالیز تصاویر می تواند با میکروسکوپ الکترونی (Scanning Electron Microscopy) نیز همراه گردد. در این حالت مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از نمونه های سنگ مخزن با لایه ای نازک از کربن پوشش یافته و به وسیله میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار می گیرد. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی تصاویر خاکستری رنگ 512×512 پیکسل است.

رنگ پیکسل ها در تصویر خاکستری می تواند از صفر تا ۲۵۶ بنا به شدت رنگ خاکستری تغییر کند. رنگ خاکستری زمینه سنگ معمولاً با رنگ فضاهای خالی که با اپوکسی آبی رنگ آمیزی شده اند، متفاوت است. بعد از تغییر دادن تصویر خاکستری به یک تصویر دوتایی (Binary Image) (تصویر سیاه و سفیدی که مقادیر ۰-۱۲۷ خاکستری

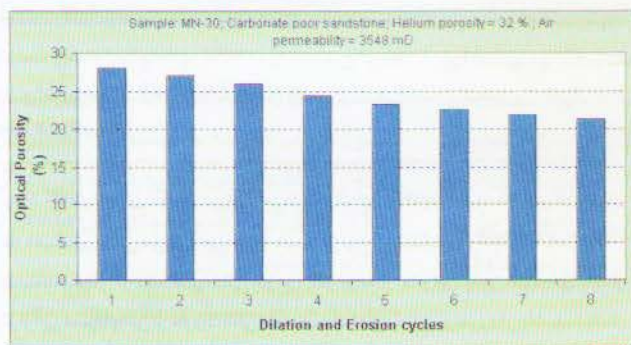
به عنوان صفر و ۱۲۸-۲۵۶ خاکستری به عنوان یک در نظر گرفته می شوند)، نوع و مقدار تخلخل موجود در سنگ به سهولت قابل مشاهده و اندازه گیری است. (شکل ۱) در یک تصویر دوتایی هر پیکسل به یکی از مقادیر یک یا صفر نسبت داده می شود. پیکسل هایی که تخلخل را نشان می دهند

خاکستری تیره هستند و بنابر این به رنگ سیاه در می آیند (مقدار یک) و زمینه سنگ که در تصویر BSE روشن تر است به رنگ سفید در می آید (مقدار صفر). در این تصاویر می توان با استفاده از نرم افزارهای تحلیل گر تصویر (Image Analyzer) میزان تخلخل دوبعدی و شکل هندسی فضاهای خالی نظیر مساحت، اندازه فضاها و مجاری ارتباطی آنها و همچنین محیط منافذ را محاسبه نمود. (Anselmetti, 1998) همانطور که قبلاً نیز اشاره گردید، تخلخل موجود در سنگ مخزنهای کربناته به لحاظ نوع و اندازه بسیار متنوع در مقیاسهای مختلف اعم از مقیاس میدان نفتی تا فواصل چند میلی متری قابل مشاهده است.



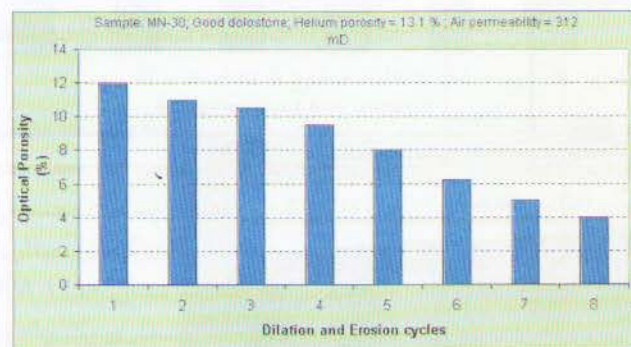
شکل ۱: A و B، به ترتیب، تصاویر میکروسکوپی رنگی و سیاه-سفید متعلق به نمونه دولوگرینستون اوونیدی است. تخلخل مغزه در این نمونه ۲۴ درصد، تخلخل میکروسکوپی حاصل از آنالیز تصویری ۲۶ درصد و تراوایی نمونه ۲۹/۱ میلی داریسی است. C و D، به ترتیب، تصاویر میکروسکوپی رنگی و سیاه-سفید متعلق به نمونه گرینستون اسکلتی است. تخلخل مغزه در این نمونه ۲۳ درصد، تخلخل میکروسکوپی حاصل از آنالیز تصویری ۲۲ درصد و تراوایی نمونه ۲۲۴ میلی داریسی است.

محاسبه شده اختلاف بیشتری پیدا خواهند کرد و ضریب همبستگی خط آن کاهش پیدا می کند. به طوری که در نمونه های ماسه سنگی مخزن آسماری که ماسه سنگها عمدتاً از نوع کوارتزآرنایت با تخلخل بین دانه ای (Intergranular) و درشت (Macro) هستند. ارتباط بین فضاهای خالی بین دانه ای خوب بوده و بنابراین مقادیر تخلخل محاسبه شده از روی تصاویر با مقادیر تخلخل حاصل از مغزه انطباق خوبی نشان می دهند. بالعکس در نمونه های دولومیتی به دلیل وجود انواع تخلخل حفره ای (Vuggy) و قالبی (Moldic) که از نوع غیر مرتبط هستند میزان تخلخل محاسبه شده از روی تصاویر غالباً بیشتر از تخلخل حاصل از مغزه است و ضریب همبستگی خط عبوری از نمونه ها نیز کاهش یافته است. به منظور بررسی وضعیت توزیع اندازه فضاهای خالی در نمونه های مخزن آسماری، نمودار تغییر میزان تخلخل در طی هشت مرحله قشرزائی و قشرزدائی تصاویر دوتایی تهیه گردید (شکلهای ۳، ۴ و ۵).



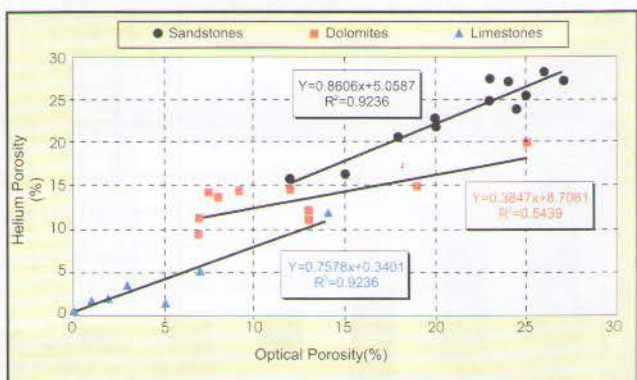
شکل ۳: تغییرات درصد تخلخل در ماسه سنگهای متخلخل سازند آسماری، در طی مراحل قشرزائی و قشرزدائی

روند کاهش میزان تخلخل در این نمونه ماسه سنگی (شکل ۳) نشان می دهد که فضاهای خالی بین دانه ای در آنها عمدتاً درشت و از جورشدگی خوبی برخوردارند. طبیعی است که این اینتروالهای مخزنی از تراوایی بسیار خوبی برخوردار بوده و پیش بینی عملکرد و افزایش میزان تولید در این بخشها قانونمندتر و قانون پذیرتر هستند. میزان تخلخل و تراوایی این نمونه، به ترتیب، ۳۲ درصد و ۳۵۴۸ میلی داریسی است.



شکل ۴: تغییرات درصد تخلخل در دولستون های متخلخل سازند آسماری، در طی مراحل قشرزائی و قشرزدائی

میزان یکسان بودن اندازه فضاهای خالی موجود در یک نمونه سنگ مخزن که اصطلاحاً به آن جورشدگی اندازه فضاهای خالی (Pore Throat Sorting) اطلاق می شود پارامتری دیگر است که تعیین آن برای پیش بینی عملکرد یک مخزن هیدروکربنی در فرآیند تولید، ضروری به نظر می رسد. برای تعیین میزان جورشدگی فضاهای خالی یا به عبارت دیگر نحوه توزیع اندازه فضاهای خالی (Pore Size Distribution) نیز می توان از تکنیک آنالیز تصویری استفاده نمود. بدین منظور از روش قشرزائی (Dilation) و قشرزدائی (Erosion) تصاویر دوتایی حاصل از میکروسکوپ الکترونی (BSE) استفاده می شود. (Anselmetti, 1998). اساس این روش که اخیراً جهت آنالیز تصاویر پتروگرافی مورد استفاده قرار می گیرد، اضافه کردن یک لایه پیکسل (مرحله قشرزائی) و کم کردن یک لایه پیکسل (مرحله قشرزدائی) به اطراف قشر خارجی مجموعه پیکسل ها است. فرآیند قشرزدائی و قشرزائی در چند مرحله تکرار می شود. طی هر مرحله قشرزائی، حفرات کوچک و بی شکل کاملاً حذف شده و در طی قشرزائی بعدی بازسازی و ظاهر نخواهند شد. بنابراین پس از هر مرحله قشرزائی و قشرزدائی تصویر دوتایی، می توان مقدار تخلخل موجود در تصویر را به کمک نرم افزار تحلیل گر تصویر محاسبه نمود و در پایان، پس از چند مرحله تکرار، طیف تغییرات تخلخل (Porosity Spectrum) را تهیه نمود (شکلهای ۳، ۴ و ۵). هر چه کاهش سطح حفرات یا تخلخل بعد از هر چرخه قشرزائی - قشرزدائی کمتر باشد، نشان دهنده این واقعیت است که اندازه فضاهای خالی سنگ کوچکتر و یکنواخت تر است. (Lucia, 1983) به منظور استفاده این روش، تعداد ۲۰ نمونه از گروههای مختلف سنگی (Rock Types) سازند آسماری میدان مارون مورد بررسی قرار گرفتند. این نمونه ها از سه گروه سنگی ماسه سنگ (Sandstone)، دولستون (Dolostone)، سنگ آهک (Limestone) انتخاب شدند. پس از مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی و تهیه تصاویر خاکستری، مقادیر تخلخل میکروسکوپی هر نمونه تعیین و با مقادیر تخلخل حاصل از نمونه های مغزه مقایسه گردید (شکل ۲).



شکل ۲: نمودار مقایسه مقادیر تخلخل حاصل از آنالیز مغزه و تخلخل حاصل از آنالیز تصویری مقاطع نازک متعلق به گروههای مختلف سنگی سازند آسماری در میدان مارون.

همان طور که در این شکل ملاحظه می شود اولاً: انطباق خوبی بین مقادیر تخلخل میکروسکوپی (حاصل از آنالیز تصویر) و مقادیر تخلخل حاصل از مغزه وجود دارد. ثانیاً: با افزایش میزان تخلخل مفید (Effective Porosity) در نمونه ها، مقادیر تخلخل بدست آمده از دو روش فوق به یکدیگر نزدیکتر می شوند و بالعکس با افزایش انواع تخلخل غیر مفید نظیر تخلخلهای حفره ای و قالبی، دو نوع تخلخل

● نتیجه گیری

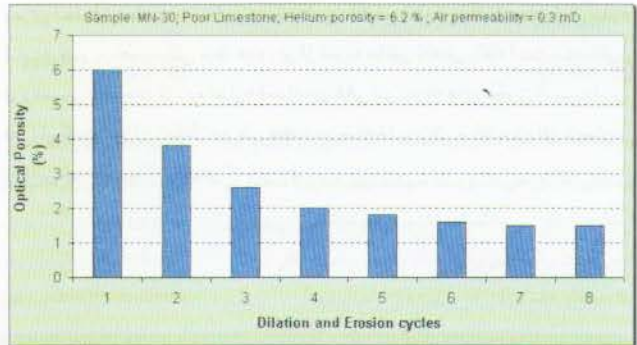
روش آنالیز تصویری روشی سریع، ارزان و توانمند جهت ارزیابی فضاهای خالی موجود در سنگ مخزن است. به طوریکه در مقایسه با روش تزریق جیوه، بسیار کم هزینه تر و سریعتر هستند. به علاوه انجام این روش، اطلاعات با ارزشی در مورد نوع، شکل، اندازه و توزیع اندازه فضاهای خالی فراهم می کند که مجموعه این اطلاعات درک صحیح و دقیقی از کیفیت سنگ مخزن در اختیار می گذارد.

● منابع:

Anselmetti, F. S., Luthi, S. and Eberli, G. P., 1998
Quantitative characterization of carbonate pore systems by digital image analysis. AAPG Bulletin
.v. 82, p. 1815-1836

Lucia, F. J., 1983, Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space. Journal of Petroleum Technology, v. 35, p. 637-626

روند کاهش میزان تخلخل در این نمونه دولستون نشان می دهد که فضاهای خالی عمدتاً بین بلوری (Interystalline) بوده و از جورشدگی متوسطی برخوردار هستند؛ زیرا درصد تخلخل با شیب ملایم در حال کاهش است. تراوایی این نمونه، به ترتیب، ۱۳/۱ درصد و ۲۱۲ میلی داریسی است.



شکل ۵: تغییرات درصد تخلخل در نمونه آهکی (پکستون اسکلتی) سازند آسماری، در طی مراحل قشرزایی و قشرزدایی

روند کاهش میزان تخلخل در این نمونه معرف این واقعیت است که علی الرغم این که فضاهای خالی موجود در نمونه عمدتاً از نوع ریزتخلخل (Microporosity) هستند، بخشی از فضاهای خالی نیز بزرگتر بوده و بنابراین چنین نمونه ای باید از تراوایی نسبتاً پائین و جورشدگی ضعیف فضاهای خالی برخوردار باشد. تخلخل و تراوایی در این نمونه آهکی، به ترتیب، ۶/۲ درصد و ۰/۳ میلی داریسی است.

