



تعیین الگوی توزیع کانی‌های رسی سازند مخزنی شورپیجه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX)

گلناز جوزانی کهن^{۱*}، فریدون سجایی^۲، غلامحسین نوروزی باغمشه^۳، حسین معماریان^۴، دانشگاه تهران^۵، حامد اوجانی^۶، مدیریت اکتشاف

چکیده

نحوه توزیع کانی‌های رسی بر پاسخ نمودارهای پتروفیزیکی، تعیین پارامترهای مخزنی و در نهایت، ارزیابی قابلیت تولید مخازن موثرند. کانی‌های رسی با سه الگوی ساختاری، نواری و پراکنده، در اغلب مخازن ماسه‌سنگی وجود دارند که در این میان، الگوی پراکنده مضرترین نوع توزیع محسوب می‌شود و بیشترین آسیب را به کیفیت مخازن وارد می‌سازد. این الگو در مطالعه با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به سه شکل پُرکننده، پوشش دهنده و پُل زنده بین منافذ دیده می‌شود. در این پژوهش، ۱۷ نمونه مغزه سازند ماسه‌سنگی و مخزنی شورپیجه، به سن کرتاسه آغازی، از دو چاه تولیدی و خشک در یکی از میادین شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) به منظور شناسایی الگوی توزیع کانی‌های رسی بررسی شد. نتایج مطالعات نشان داد، الگوی توزیع کانی‌های رسی در چاه تولیدی از انواع ساختاری و پراکنده (پُرکننده و پوشش دهنده منافذ) است و در چاه خشک هر سه نوع الگوی توزیع یعنی ساختاری، پراکنده (پُرکننده، پُل زنده و پوشش دهنده منافذ) و نواری وجود دارد. در هر دو چاه، رس‌های اتوژن با توزیع پراکنده به صورت پُرکننده، پوشش دهنده و پُل زنده بین منافذ باعث کاهش تخلخل و تراوایی سازند شده‌اند که میزان افت کیفیت در چاه خشک به مراتب بیشتر از چاه تولیدی است.

واژگان کلیدی: الگوی توزیع کانی‌های رسی، سازند شورپیجه، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX)

مقدمه

نواری و پراکنده در مخازن برای داشتن تولید اقتصادی، به ترتیب مقدار ۴۰-۳۰ و ۲۰-۱۵ درصد است [۲]. توزیع پراکنده که آسیب‌زننده‌ترین نوع توزیع رس در مخازن هیدروکربوری است، در مطالعه با میکروسکوپ الکترونی (SEM/EDX)، به سه نوع پُرکننده، پوشش دهنده و پُل زنده بین منافذ طبقه‌بندی می‌شود. از میان کانی‌های رسی، کائولینیت به صورت پُرکننده منافذ اولیه و ثانویه و اسمکتیت، کلریت و ایلیت به صورت پُل زنده یا پوشش دهنده منافذ به طور افقی یا عمودی در مخازن هیدروکربوری دیده می‌شوند که توزیع پراکنده به شکل پُرکننده و پُل زنده بین منافذ به ترتیب کمترین و بیشترین تأثیر را در کاهش تخلخل و تراوایی دارند [۷]. در مواردیکه پوشش‌های رسی از جنس کلریت و ایلیت (توزیع پراکنده به شکل پوشش دهنده بین منافذ) از پدیده هم‌رشدی بلورهای کوارتز جلوگیری می‌کنند، با حفظ تخلخل، تأثیر مثبتی بر کیفیت مخزن دارند [۸]. در این پژوهش، برای تعیین نوع و الگوی توزیع کانی‌های رسی در سازند ماسه‌سنگی شورپیجه از آنالیز دستگاهی میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) استفاده شده است. شناسایی نوع و الگوی توزیع کانی‌های رسی سازند شورپیجه، در افزایش بهره‌وری و کاهش خسارات در آینده می‌تواند موثر واقع شود.

۱- زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه

حوضه رسوبی کپه‌داغ با وسعت تقریبی ۵۵۰۰۰ کیلومتر مربع (۳/۳ درصد مساحت کل کشور) در شمال شرقی ایران بین طول‌های جغرافیایی ۵۴° ۰۰' تا ۱۳° ۶۱' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° ۳۵' تا ۱۵° ۳۸' شمالی

نحوه توزیع کانی‌های رسی بر قرائت نمودارهای پتروفیزیکی از قبیل صوتی، چگالی، مقاومت و همچنین بر محاسبات تخلخل موثر، درجه اشباع موثر آب، تراوایی و در نتیجه بر تعیین قابلیت تولید به طور قابل ملاحظه‌ای تأثیرگذار است [۱]. چگونگی توزیع کانی‌های رسی به شرایط رسوب‌گذاری، فشردگی، زیست‌آشفتگی‌ها و فرآیند دیاژنوستیک بستگی مستقیم دارد [۲]. کانی‌های رسی به سه شکل ساختاری، نواری و پراکنده در اغلب مخازن آواری هیدروکربوری وجود دارند. توزیع ساختاری به عنوان بخشی از ماتریکس سنگ محسوب می‌شود و تأثیر چندانی بر تراوایی یا تخلخل موثر ندارد [۳]، اما وجود رس به صورت لایه‌هایی با تراوایی اندک (توزیع نواری)، تراوایی قائم را با ایجاد سدی در مقابل جریان سیال شدیداً کاهش می‌دهد و کارایی عملیات بازیابی هیدروکربور را کم می‌کند [۴]. اگر میکرو تخلخل‌های همراه با کانی‌های رسی زیاد باشند، وجود رس با توزیع پراکنده حتی در مقادیر اندک نیز سبب کاهش چشمگیر تراوایی می‌شود [۵ و ۶]. وجود ۲۰ رس با توزیع‌های پراکنده، نواری و مخلوط (نواری-ساختاری) به ترتیب سبب ۵۷/۴۷، ۱۸/۳۸ و ۴/۶ درصد کاهش تخلخل موثر می‌شود و وجود ۳۴ درصد رس با توزیع پراکنده، تخلخل موثر را به صفر می‌رساند. در حالی که برای توزیع نواری یا مخلوط (نواری-ساختاری)، وجود ۱۰۰ درصد رس سبب صفر شدن تخلخل موثر می‌شود [۶]. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که توزیع پراکنده اثرات منفی بیشتری بر خواص مخزنی دارد و وجود آن حتی در مقادیر اندک، سبب کاهش چشمگیر کیفیت مخازن می‌شود. بیشینه مقدار رس با توزیع‌های

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات (gikohan@ut.ac.ir)

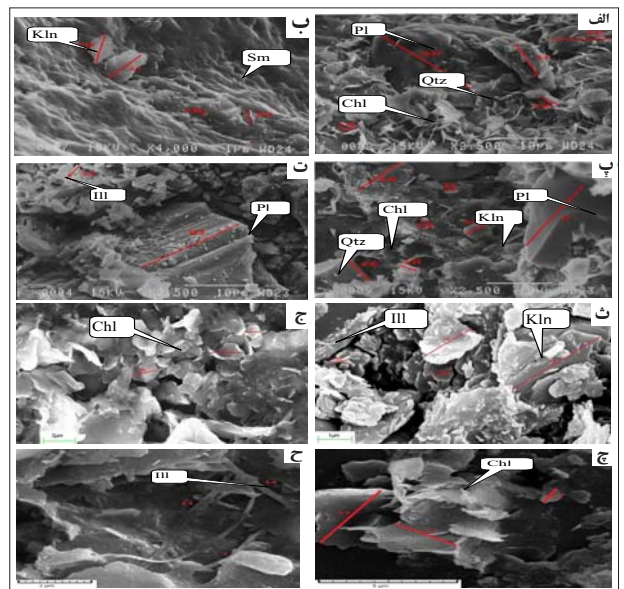
قرار گرفته است. این حوضه در کشورهای ایران، ترکمنستان و افغانستان گسترده شده و در هر سه کشور میدان‌های عظیم گازی در آن کشف شده است [۹]. میدان مورد مطالعه در نزدیکی مرز ترکمنستان در منطقه‌ای با وسعت حدود ۲۶۸ کیلومتر مربع در برکه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ سرخس واقع شده است. به دلیل مشترک بودن این میدان با کشور همسایه، اهمیت شناخت و بهره‌برداری صحیح و بهینه از آن دوچندان می‌شود. سازند ماسه‌سنگی شورجه به سن کرتاسه آغازی، سنگ مخزن اصلی و فرعی در میدان شرق کپه‌داغ است که ضخامت متوسط آن در میدان مورد مطالعه ۲۲۴/۳۵ متر است. این سازند، مخلوطی بسیار ناممکن از شیل، ماسه‌سنگ، سیلت استون، کربنات، اکسید آهن و کانی‌های تبخیری مانند انیدریت است. براساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی، سازند شورجه به زیربخش‌های

۲- مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX)

برای شناسایی الگوی توزیع کانی‌های رسی بخش مخزنی سازند شورجه در یکی از میدان شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ، تعداد ۳ نمونه مغزه چاه تولیدی بامیکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل JSM-840 Scanning Microscope ساخت شرکت JEOL ژاپن (شکل- الف، ب، پ، و) و تعداد ۵ نمونه مغزه چاه خشک بادستگاه SEM مدل LEO ۱۴۵۰ VP محصول همکاری مشترک بریتانیا، استرالیا و آفریقای جنوبی

قرار گرفته است. این حوضه در کشورهای ایران، ترکمنستان و افغانستان گسترده شده و در هر سه کشور میدان‌های عظیم گازی در آن کشف شده است [۹]. میدان مورد مطالعه در نزدیکی مرز ترکمنستان در منطقه‌ای با وسعت حدود ۲۶۸ کیلومتر مربع در برکه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ سرخس واقع شده است. به دلیل مشترک بودن این میدان با کشور همسایه، اهمیت شناخت و بهره‌برداری صحیح و بهینه از آن دوچندان می‌شود. سازند ماسه‌سنگی شورجه به سن کرتاسه آغازی، سنگ مخزن اصلی و فرعی در میدان شرق کپه‌داغ است که ضخامت متوسط آن در میدان مورد مطالعه ۲۲۴/۳۵ متر است. این سازند، مخلوطی بسیار ناممکن از شیل، ماسه‌سنگ، سیلت استون، کربنات، اکسید آهن و کانی‌های تبخیری مانند انیدریت است. براساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی، سازند شورجه به زیربخش‌های

بخش‌های سازند		سنگ‌شناسی	لیتولاج	متوسط ضخامت در چاه‌های مختلف میدان (متر)
بخش فوقانی	E	رس و سیلت، حاوی دانه‌های انیدریت به همراه لایه‌های بسیار نازک ماسه‌سنگ دانه‌ریز گلوکونیت و اکسید آهن‌دار		۱۲/۹۰
	D ₂	لایه‌های ماسه سنگی دانه‌ریز تا متوسط‌دانه با سیمن آهنی حاوی گلوکونیت و اکسیدهای آهن به همراه تناوبی از لایه‌های رسی و سیلنی		۲۲/۲۴ ۶۲/۶۱
	D ₁	ماسه‌سنگ متوسط‌دانه تا درشت‌دانه، کوارتزی و گلوکونیتی و نیز لایه‌های ماسه سنگ ریزدانه تا متوسط‌دانه کوارتزی حاوی اکسیدهای آهن با تناوب گاه و بی‌گاه لایه‌های رسی و سیلنی		۳۰/۲۷
بخش میانی	C ₂	عمدتاً رس و سیلت به همراه لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و یکی دو لایه انیدریت نازک		۴۹/۳۷ ۸۶/۷۴
	C ₁			۲۷/۲۷
	B	ماسه سنگ متوسط تا درشت‌دانه، گاهی کنگلومرایی، کوارتزی و لایه‌های نازکی از رس و سیلت		۳۱/۲۲
بخش تحتانی	A	رس و سیلت		۲۹/۸۹



کلریت منیزیم‌دار با ابعاد ۳ میکرون به صورت پوشش‌دهنده دانه پلاژیوکلاز با ابعاد حدوداً ۱۹ میکرون در یکی از نمونه‌های چاه تولیدی، بزرگ‌نمایی ۲۵۰۰ برابر، عمق میدان ۲۳ میلی‌متر (ب) اسمکتیت و کانولینیت به صورت پوشش‌دهنده سطح دانه‌ها با ابعاد ۴/۵ میکرون در یکی از نمونه‌های چاه تولیدی، بزرگ‌نمایی ۴۰۰۰ برابر، عمق میدان ۲۳ میلی‌متر (پ) کلریت با ابعاد تقریبی ۳ میکرون، کانولینیت با ابعاد ۴ میکرون به صورت پرکننده منافذ لایه به لایه دانه‌های کوارتز با ابعاد ۶/۵ میکرون و پلاژیوکلازها با ابعاد ۱۹ میکرون، بزرگ‌نمایی ۲۵۰۰ برابر، عمق میدان ۲۳ میلی‌متر (ت) پلاژیوکلاز با ابعاد تقریبی ۱۹ میکرون پوشیده شده با کانی‌های رسی و ایلیت‌های توخالی شکل با ابعاد ۴ میکرون به صورت پرکننده فضای بین دانه‌ها در یکی از نمونه‌های چاه تولیدی، بزرگ‌نمایی ۲۵۰۰ برابر، عمق میدان ۲۳ میلی‌متر (ث) کانولینیت کتابی با ابعاد ۳۰/۵ میکرون و ایلیت با ابعاد ۵ میکرون به صورت پرکننده فضاهای خالی در یکی از نمونه‌های چاه خشک، بزرگ‌نمایی ۱۵۰۰۰ برابر، عمق میدان ۱۳ میلی‌متر (ج) کلریت‌های غنی از منیزیم به صورت پوشش‌دهنده با ابعاد ۲ میکرون در یکی از نمونه‌های چاه خشک، بزرگ‌نمایی ۷۰۰۰ برابر، عمق میدان ۱۲ میلی‌متر (چ) کلریت به صورت پوشش‌دهنده با ابعاد متغیر از ۴/۵-۱/۲ میکرون در یکی از نمونه‌های چاه خشک، بزرگ‌نمایی ۱۸۵۰۰ برابر، عمق میدان ۱۱ میلی‌متر (ح) ایلیت به صورت پل زنده بین منافذ با ابعاد متغیر از ۷-۳/۴ میکرون در یکی از نمونه‌های چاه خشک، بزرگ‌نمایی ۲۵۵۰۰ برابر، عمق میدان ۱۱ میلی‌متر

۲ علائم اختصاری کانی‌ها روی تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM/EDX)			
نام کانی	علامت اختصاری (Symbol)	نام کانی	علامت اختصاری (Symbol)
کانولینیت	Kln	کوارتز	Qtz
ایلیت	Ill	پلاژیوکلاز	Pl
کلریت	Chl	اسمکتیت	Sm

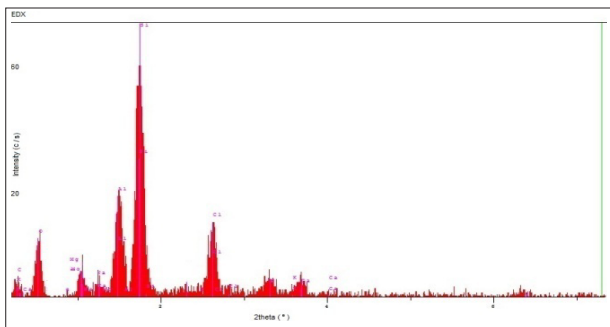


نتیجه‌گیری

در این پژوهش، الگوی توزیع کانی‌های رسی مغزه‌های بخش مخزن سازنده شورپیچ در دو چاه تولیدی و خشکی یکی از میادین شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ با مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) تعیین شد. کانی‌های رسی در بخش مخزنی سازنده شورپیچ با هر سه نوع الگوی توزیع یعنی ساختاری، نواری و پراکنده وجود دارند. در چاه تولیدی، کانی‌های رسی بسیار اندک و با الگوی ساختاری و پراکنده (پرکننده و پوشش دهنده منافذ) توزیع شده‌اند، در حالی که در چاه خشک، میزان متوسط هریک از انواع کانی‌های رسی چندین برابر چاه تولیدی و الگوی توزیع، بیشتر از نوع نواری و پراکنده (پرکننده، پل زنده و پوشش دهنده منافذ) است. میزان کانی‌های رسی در چاه خشک در مواردی به حدی می‌رسد که سازنده، کیفیت مخزنی خود را از دست می‌دهد. با انجام آنالیز EDX و با مقایسه تصاویر SEM با تصاویر نمونه رس‌های خالص، نوع کانی‌های رسی سازنده شورپیچ از انواع ایلیت، کلریت منیزیم‌دار، کائولینیت و اسمکتیت (تنها در یک نمونه) با مقدار اندک در چاه تولیدی و مقدار زیاد در چاه خشک تشخیص داده شد. این پژوهش نشان داد که تعیین نحوه توزیع کانی‌های رسی در سازنده و تشخیص کیفی آن‌ها، با انجام مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) به خوبی امکان‌پذیر است. با انجام این مطالعات همچنین می‌توان میزان آغشته‌گی کانی‌ها به ترکیبات هیدروکربوری یا جذب سطحی کاتیون‌هایی مانند سدیم، پتاسیم و کلسیم را نیز تأیید کرد. ■

(شکل ۱-الف، ب، پ و ت) و دستگاه SEM ساخت شرکت TESCAN مدل VEGA TS5136 MM (شکل ۳-چ و ح) مطالعه شد. ولتاژ مصرفی دستگاه در زمان تصویربرداری ۲۰-۱۲ کیلوولت و عمق میدان ۲۳-۱۱ میلی‌متر انتخاب شد. نمونه‌ها روی پلاک‌هایی به ابعاد $1 \times 1 \text{ cm}^2$ قرار گرفتند و سطح آن‌ها برای رساناشدن، چندراند با پلاپوشش داده شد. شناسایی نوع کانی‌های رسی با مقایسه تصاویر به دست آمده با تصاویر نمونه‌های استاندارد و انجام آنالیز نقطه‌ای در موارد مشکوک و ناشناس انجام شد. جدول ۲-علائم اختصاری کانی‌های شناسایی شده را روی تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد. بربررسی دقیق تصاویر تهیه شده، وجود کانی‌های رسی از نوع کائولینیت، کلریت منیزیم‌دار، ایلیت و اسمکتیت (در یک مورد) با توزیع پراکنده در نمونه‌های بخش مخزنی سازنده شورپیچ در هر دو چاه تشخیص داده شد. در چاه تولیدی، توزیع پراکنده از نوع پوشش دهنده (شکل ۱-الف، ب و ت)، پرکننده منافذ (شکل ۱-پ و ت) و در چاه خشک از نوع پرکننده (شکل ۱-ث)، پوشش دهنده منافذ (شکل ۱-ج و چ) و پل زنده بین منافذ (شکل ۱-ح) تشخیص داده شد.

شکل ۲- نمودار آنالیز عنصری EDX و جدول ۳- نتایج آن را برای کلریت مشخص شده در شکل ۱-الف نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج جدول ۳- مشخص است، کلریت از نوع منیزیم‌دار و آغشته به ترکیبات هیدروکربوری است و مقداری کاتیون (سدیم، پتاسیم و کلسیم) با مقدار اندک به صورت جذب سطحی همراه آن است.



شکل ۲ | نمودار آنالیز عنصری EDX یک نمونه کلریت منیزیم‌دار آغشته به ترکیبات هیدروکربوری (به نقطه آنالیز شده در شکل ۱-الف اشاره شده است)

عنصر	شدت	خطا	عیار (%)
کربن	۲/۴۹	۰/۵۷۷	۳۴/۱۳۶
اکسیژن	۱۱/۳۱	۰/۹۲۲	۳۰/۹۹۲
سدیم	۱/۹۷	۰/۸۲۷	۱/۰۱۲
منیزیم	۱۶/۶۹	۰/۴۲۹	۹/۵۳۴
آلومینیم	۲۱/۱۱	۰/۴۸۴	۶/۴۲۲
سیلیسیم	۵۷/۶۰	۰/۹۷۱	۱۷/۳۹۵
پتاسیم	۰/۵۵	۰/۲۷۰	۰/۳۲۹
کلسیم	۰/۴۹	۰/۵۰۱	۰/۱۸۰

۳ | نتایج آنالیز عنصری EDX یک نمونه کلریت منیزیم‌دار آغشته به ترکیبات هیدروکربوری (به نقطه آنالیز شده در شکل ۱-الف اشاره شده است)

منابع

- [1] Fertl, W.H., & Chilingarian, G.V., 1990, "Type, and distribution modes of clay minerals from well logging data", Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 3, pp. 321-332.
- [2] Dewan, J.T., 1983, "Essentials of modern open-hole log interpretation", PennWell Books, Tulsa, Oklahoma, 361 p.
- [3] Ellis, D.V. & Singer, J.M., 2008, "Well logging for earth scientist", Springer 2nd edition, p. 692.
- [4] Slatt, R.M., 2006, "Handbook of petroleum exploration and production-stratigraphic reservoir characterization for petroleum geologists, geophysicists, and engineers", Elsevier, 492 p.
- [5] Hurst A., & Nadeau P.H., 1995, "Clay microporosity in reservoir sandstones: an application of quantitative electron microscopy in petrophysical evaluation", Bulletin of the American association of petroleum geologists, Vol. 79, pp. 563-573.
- [6] Fertl, W.H., Chilingarian, G. V., & Yen, T.F., 1982, "Use of natural gamma ray spectral logging in evaluation of clay minerals", Energy Sources, Vol. 6(4), pp. 335-360.
- [7] Neasham, J.W., 1977, "The morphology of dispersed clay in sandstone reservoirs and its effect on sandstone shaliness, pore space and fluid flow properties" Soc. petroleum engineers of AIME, Denver, SPE 6858, 7 p.
- [8] Worden, R.H., & Morad S., 2003, "Clay minerals in sandstones: controls on formation, distribution and evolution", International association of sedimentologist, publication, Vol. 34, pp. 341-.
- [9] افشارحرب، ع، ۱۳۳۳، "زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی کپه‌داغ"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران
- [10] گزارش تکمیلی چاه‌های میدان گنبدلی، ۱۳۶۶، شرکت ملی نفت ایران