

مقایسه روش‌های شناخت کانی‌های رسی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و پتروفیزیکی در یکی از میادین گازی شرق کپه‌داغ

گلناز جوزانی کهن^۱؛ غلامحسین نوروزی^{۲*}؛ فریدون سبحانی^۳؛ حامد اوجانی^۴

- ۱- دکترای تخصصی رشته مهندسی معدن، گرایش اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، gjkohan@ut.ac.ir
۲- دکترای ژئوفیزیک اکتشافی، استاد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، norouzih@ut.ac.ir
۳- دکترای زمین‌شناسی نفت و رسوب‌شناسی، دانشیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، fsahabi@ut.ac.ir
۴- سرپرست عملیات چاه‌نگاری مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، hhhir@yahoo.com

(دریافت ۱۹ مرداد ۱۳۹۳، پذیرش ۴ شهریور ۱۳۹۴)

چکیده

سازند ماسه‌سنگی شوربجه به سن کرتاسه آغازی با مقادیر متغیر میان‌لایه‌های رسی، سنگ مخزن میادین شرق کپه‌داغ است. چون نوع و الگوی توزیع کانی‌های رسی بر قرائت لاگ‌های مختلف و محاسبه تخلخل و تراوایی اثر به‌سزایی دارند، شناخت این دو پارامتر برای تحلیل و ارزیابی مخازن ماسه‌سنگی ضروری است. در این تحقیق، پس از تعیین کانی‌شناسی و الگوی توزیع کانی‌های رسی این سازند با استفاده از مطالعات طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) در نمونه‌های مغزه زیربخش مخزنی (D₁) سازند شوربجه در دو چاه تولیدی و خشک یکی از میادین شرق کپه‌داغ، نتایج آنالیزهای مغزه با انواع کانی‌های رسی تعیین شده و سپس با استفاده از پنج نمودار متقاطع پتروفیزیکی مقایسه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شناسایی پتروفیزیکی نوع کانی‌های رسی به‌تنهایی جواب‌های متفاوت و متناقضی دارد که حتماً باید با نتایج آزمایشگاهی شناسایی نوع رس تکمیل شود. براساس نتایج آزمایشگاهی، کانی‌های رسی زیربخش مخزنی سازند شوربجه به‌ترتیب فراوانی از نوع ایلیت، کلریت غنی از منیزیم، کائولینیت و در موارد معدودی گلوکونیت هستند. این کانی‌ها در چاه تولیدی با الگوی ساختاری و پراکنده (از انواع پرکننده و پوشش دهنده بین منافذ) و در چاه خشک با الگوهای ساختاری، پراکنده (از انواع پرکننده، پوشش دهنده و پل زننده بین منافذ) و نواری توزیع شده‌اند. مقدار متوسط هریک از انواع کانی‌های رسی اتوزن در چاه خشک بیشتر از چاه تولیدی است و در مواردی به‌حدی است که سازند کیفیت مخزنی خود را از دست داده است.

کلمات کلیدی

کپه‌داغ شرقی، سازند شوربجه، کانی‌های رسی

۱- مقدمه

شناسایی کانی‌های رسی وجود دارد [۱۱، ۱۲]. اما از بین روش‌های مختلف شناسایی نوع کانی‌های رسی، طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، متداول‌ترین روش محسوب می‌شود [۱۳] که در پژوهش حاضر از آن به‌عنوان روش اصلی شناسایی استفاده شده است. در مواردی که نمونه‌های مغزه موجود نباشد، شناسایی کانی‌های رسی توسط نمودارهای مقاطع پتروفیزیکی انجام می‌شود. در اغلب این نوع نمودارها از نسبت توریم/پتاسیم (Th/K) به‌عنوان شاخص تعیین نوع کانی‌های رسی استفاده می‌شود. روند افزایشی این نسبت در کانی‌های رسی به‌ترتیب به صورت زیر است: گلوکونیت، ایلیت، کانی‌های رسی مخلوط لایه، کائولینیت و کلریت [۵]. کاربرد آسان، سرعت بالا، پوشش کلیه توالی‌ها و کم هزینه بودن استفاده از نمودارهای مقاطع سبب شده است تا استفاده از این روش بین مفسران لاگ‌های پتروفیزیکی کاربرد روزافزونی داشته باشد [۱۴]. اما چون عوامل متعددی بر میزان قرائت لاگ‌های پرتوایبی طبیعی تأثیرگذار است، اطمینان از صحت نتایج تعیین پتروفیزیکی نوع کانی‌های رسی تنها در صورت تطبیق با نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی ممکن است [۱۵]. در این پژوهش برای تعیین نوع و الگوی توزیع کانی‌های رسی در سازند ماسه‌سنگی شوربچه از روش‌های آنالیز دستگامی مختلف طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX)، برای شناسایی نوع و نحوه توزیع کانی‌های رسی استفاده شده است و نتایج با نتایج نمودارهای مقاطع پتروفیزیکی مقایسه شده است. شناسایی نوع و الگوی توزیع کانی‌های رسی سازند شوربچه در افزایش بهره‌وری و کاهش خسارات در آینده می‌تواند مؤثر واقع شود.

۲- منطقه مورد مطالعه

۲-۱- سازند شوربچه

حوضه رسوبی کپه‌داغ در شمال شرقی ایران با وسعتی در حدود ۵۵۰۰۰ کیلومتر مربع یعنی تقریباً ۳/۳ درصد مساحت کل کشور، بین طول‌های جغرافیایی ۰۰° ۵۴' تا ۱۳° ۶۱' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° ۳۵' تا ۱۵° ۳۸' شمالی قرار گرفته است. این حوضه در کشورهای ایران، ترکمنستان و افغانستان گسترده شده و در هر سه کشور میدان‌های عظیم

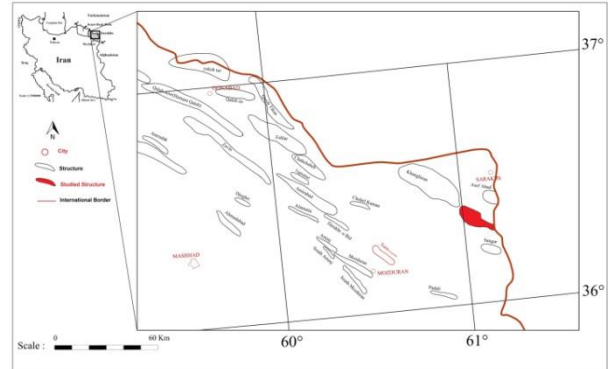
مخازن ماسه‌سنگی، به‌ندرت تمیز (بدون رس) هستند. نوع و نحوه توزیع کانی‌های رسی با تأثیرگذاری بر خصوصیات مخزنی از قبیل تخلخل و تراوایی، پاسخ لاگ‌ها و شکل روابط پتروفیزیکی مورد استفاده برای ارزیابی، کیفیت مخازن هیدروکربوری را کنترل می‌کنند [۲، ۱]. کانی‌های رسی به سه نحو ساختاری، نواری و پراکنده (به‌صورت‌های پراکنده، پوشش‌دهنده و پل‌زننده بین منافذ) در مخازن هیدروکربوری وجود دارند. شناخت توزیع پراکنده حتی در مقادیر اندک، اهمیت ویژه‌ای دارد چون سبب کاهش چشمگیر کیفیت مخازن می‌شود [۴ و ۳]. به‌طور مثال وجود ۲۰٪ رس با توزیع‌های پراکنده، نواری و مخلوط (نواری-ساختاری) به‌ترتیب سبب ۵۷/۴۷٪، ۱۸/۳۸٪ و ۴/۶٪ کاهش تخلخل مؤثر می‌شود و وجود ۳۴٪ رس با توزیع پراکنده، تخلخل مؤثر را به صفر می‌رساند. این در حالی است که برای از بین بردن کامل تخلخل مؤثر با توزیع نواری یا مخلوط (نواری-ساختاری)، به ۱۰۰٪ رس نیاز است [۵]. بیشینه مقدار رس با توزیع‌های نواری و پراکنده در مخازن برای داشتن تولید اقتصادی، به ترتیب مقادیر ۴۰-۳۰٪ و ۲۰-۱۵٪ است [۶]. بدون شناخت نحوه توزیع و انواع کانی‌های رسی موجود در مخازن، ریسک تفسیرهای پتروفیزیکی نادرست از پارامترهای مخزنی و قابلیت تولید، عملیات حفاری ناموفق و پرهزینه شدن عملیات به شدت افزایش می‌یابد [۷]. با شناسایی نوع کانی‌های رسی، می‌توان اطلاعات ارزشمندی در مورد پالئوژئومتری حوضه، تشخیص و تعیین پنجره تولید هیدروکربور، مسیرهای زمانی و مکانی مهاجرت، خصوصیات و منشاء سیالات به‌دست آورد [۹، ۸]. بنابراین امروزه تعیین نوع، مقدار و الگوی توزیع رس برای برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه، افزایش بهره‌وری و کاستن از بروز خسارات، کاربرد ویژه‌ای در صنایع بالادستی نفت یافته است و از اولویت‌های اصلی مطالعات ارزیابی مخازن به‌شمار می‌رود [۱۰]. در صورت موجود بودن نمونه‌های مغزه، روش‌های آنالیز دستگامی مختلفی از قبیل طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)، آنالیزهای حرارتی (DTA-TGA)، طیف‌سنجی موس‌بار، اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و استفاده از SEM/EDX برای

پتروگرافی و برخواستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند شوربجه براساس داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی [۲۴] انجام شده است. جدول ۱: زیربخش‌های مختلف سازند شوربجه براساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی و متوسط ضخامت آن‌ها [۱۷]

متوسط ضخامت در چاه‌های مختلف میدان (متر)		سنگ‌شناسی	بخش‌های سازند	
۱۳/۹۰		رس و سیلت، حاوی دانه‌های انیدریت با لایه‌های بسیار نازک ماسه‌سنگ دانه‌ریز با گلوکونیت و هماتیت	E	
۳۲/۳۴	۶۲/۶۱	لایه‌های ماسه‌سنگی دانه‌ریز تا متوسط‌دانه با سیمان آهکی حاوی گلوکونیت و اکسیدهای آهن به همراه تناوبی از لایه‌های رسی و سیلتي	D ₂	بخش فوقانی
۳۰/۲۷		ماسه‌سنگ متوسط تا درشت‌دانه کوارتزی، گلوکونیتی و نیز لایه‌های ماسه‌سنگ ریز تا متوسط‌دانه کوارتزی حاوی اکسیدهای آهن با تناوب نامنظم لایه‌های رسی و سیلتي	D ₁	
۴۹/۳۷	۸۶/۷۴	اغلب رس و سیلت به همراه لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و یکی دو لایه انیدریت نازک	C ₂	بخش میانی
۳۷/۳۷			C ₁	
۳۱/۲۲		ماسه‌سنگ متوسط تا درشت‌دانه، گاهی کنگلومرایی، کوارتزی و لایه‌های نازکی از رس و سیلت	B	
۲۹/۸۹		رس و سیلت	A	

سابقه مطالعات مخزنی این سازند در دهه‌های اخیر به کارهای پژوهشی اخوان و همکاران در زمینه تعیین لیتولوژی سیالات منفذی سازند شوربجه [۲۵]، مستقل و همکاران در ارتباط با مطالعات تلفیقی پتروفیزیکی، زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی،

گازی در آن کشف شده است [۱۶]. میدان مورد مطالعه (شکل ۱) در نزدیکی مرز ترکمنستان در منطقه‌ای با وسعت حدود ۲۶۸ کیلومتر مربع در برکه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ سرخس واقع شده است.

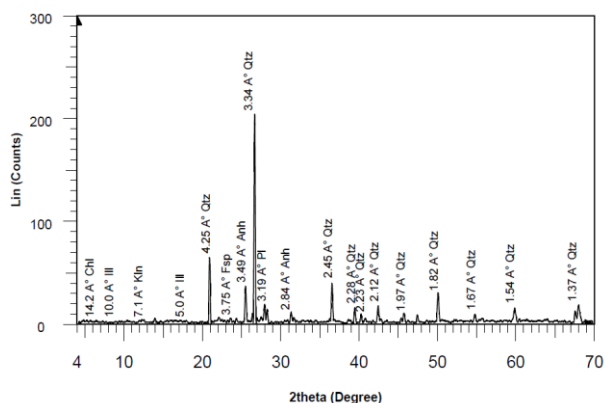


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه

به دلیل مشترک بودن این میدان با کشور همسایه، اهمیت شناخت و بهره برداری صحیح و بهینه از این میدان دوچندان می‌شود. سازند ماسه‌سنگی شوربجه به سن کرتاسه آغازی، سنگ مخزن اصلی و فرعی در میادین شرق کپه‌داغ است که ضخامت متوسط آن در میدان مورد مطالعه ۲۲۴/۳۵ متر است. این سازند، مخلوطی بسیار ناهمگن از شیل، ماسه‌سنگ، سیلت‌استون، کربنات، اکسید آهن و کانی‌های تبخیری مانند انیدریت است. براساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی، سازند شوربجه به زیربخش‌های A و B، C (C₁ و C₂)، D (D₁ و D₂)، E تقسیم‌بندی می‌شود (جدول ۱) که زیربخش D₁ در میدان مورد مطالعه حاوی گاز است [۱۷].

۲-۲- تاریخچه مطالعات

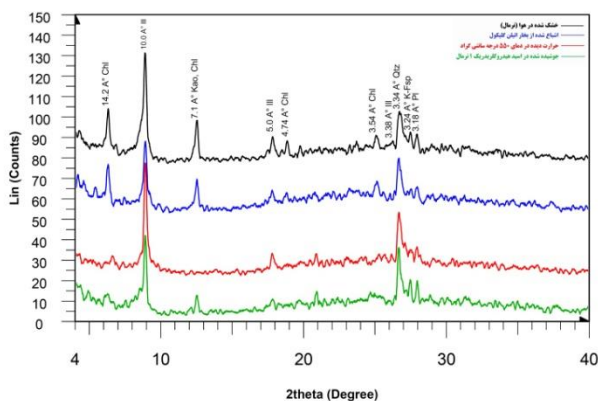
مطالعات رخنمون‌های سطحی سازند شوربجه توسط نجفی و همکاران تحت عنوان مطالعه رخساره‌های سنگی و تفسیر محیط رسوب‌گذاری [۱۸] و بررسی ویژگی‌های رخساره‌های میکروسکوپی [۱۹]، توسط جمالی و همکاران با عنوان مطالعه رخساره‌ها و محیط رسوبی و تعیین مدل رسوبی [۲۰] و مطالعه میکروفسیل‌ها، تعیین بایوزون‌ها و سن سازند [۲۱]، توسط مرتضوی و همکاران با محوریت مطالعه خاک‌های دیرینه و مطالعه ژئوشیمی شیل‌های سازند شوربجه از لحاظ منشاء، تاریخچه هوازدگی و محیط دیرینه [۲۲]، در ادامه طباطبایی و همکاران با عنوان بررسی رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی بر پایه بررسی‌های صحرائی و میکروسکوپی همراه با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی [۲۳] و گل‌افشانی و همکاران با عنوان



شکل ۲: طیف پراش پرتو ایکس (XRD) عمومی یکی از نمونه‌های چاه تولیدی

بدین ترتیب، درصد کانی مقاوم کوارتز به طور متوسط در چاه‌های تولیدی و خشک به طور متوسط ۱۳ و ۱۰ برابر کاهش یافت. بیشترین میزان کاهش کوارتز به میزان ۲۵-۲۷ برابر در نمونه‌های هر دو چاه بود که این امر سبب تقویت پیک کانی‌های رسی به طرز قابل توجهی شد.

متفرق‌سازی با استفاده از محلول ۰/۱ درصد وزنی سدیم هگزا متاسففات (NaPO₃)₆ و قرار دادن طولانی نمونه در شیکر انجام شد. سپس بخش رس استخراج شده [۳۰]، روی سه لام با ابعاد جانمونه‌ای دستگاه پراش‌سنج ریخته شد و شناسایی اختصاصی کانی‌های رسی در محدوده زاویه ۲θ برابر با ۴-۴۰ درجه با سرعت زاویه‌ای ۱/۲ درجه بر دقیقه با مطالعه ۴ طیف با آماده‌سازی‌های ویژه [۳۱] روی نمونه پودری با ابعاد ۲-۳ میلی‌متر انجام شد. با مقایسه تغییرات فاصله بین صفحات در طیف‌های تهیه شده نوع کانی‌های رسی تعیین شد (شکل ۳).



شکل ۳: طیف‌های پراش پرتو ایکس (XRD) پس از آماده‌سازی‌های ویژه روی بخش رس و شناسایی انواع کانی‌های رسی در یکی از نمونه‌های چاه خشک

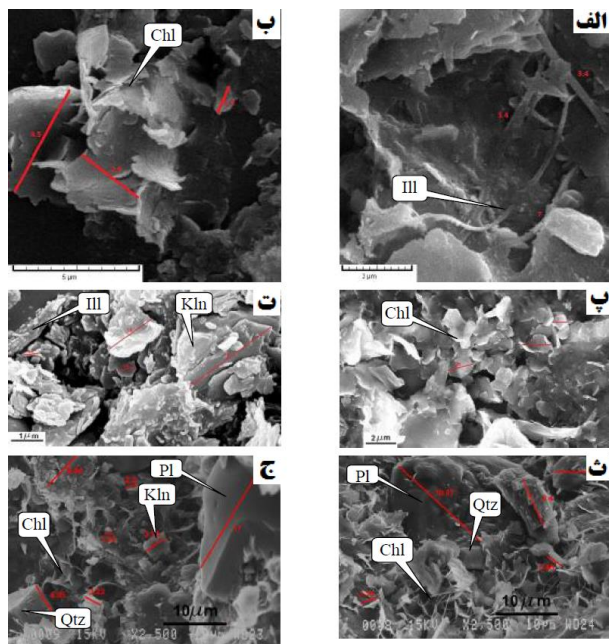
زمین‌آماری و مهندسی مخزن [۲۶]، زاد مقدسی و همکاران در مورد مدلسازی خواص پتروفیزیکی مخزن شورجه [۲۷] باقری و همکاران با عنوان بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سازند شورجه [۲۸] برمی‌گردد.

۳- روش تحقیق

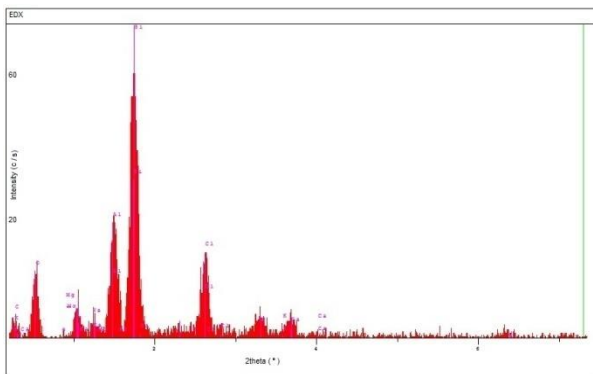
برای شناسایی نوع کانی‌ها و الگوی توزیع کانی‌های رسی در بخش مخزنی این سازند (D₁)، از دو چاه تولیدی و خشک یکی از میادین شرق کپه داغ به ترتیب ۱۰ و ۳۸ نمونه مغزه به‌طور متوسط با فاصله ۰/۵ متر از یکدیگر از برداشت شد. کلیه نمونه‌ها با روش‌های طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD) و فلورسانس پرتو ایکس (XRF) به ترتیب تحت آنالیز کانی‌شناسی و عنصری قرار گرفتند. سپس به‌منظور تعیین الگوی توزیع کانی‌های رسی و همچنین تعیین نوع آن‌ها، به ترتیب ۳ و ۵ نمونه از چاه‌های تولیدی و خشک، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) مطالعه شد.

۳-۱- مطالعات طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)

شناسایی عمومی کلیه کانی‌های تشکیل دهنده و شناسایی تخصصی کانی‌های رسی هر ۴۸ نمونه مغزه با استفاده از دستگاه پراش‌سنج پیشرفته θ-۲θ مدل D8-Advance ساخت شرکت Bruker axS با تشعشع آند مس با طول موج $K\alpha = 1/54 \text{ \AA}$ انجام شد. مطالعات XRD عمومی در محدوده زاویه ۲θ برابر با ۴-۷۰ درجه با سرعت زاویه‌ای ۱/۲ درجه بر دقیقه روی نمونه‌های پودری با اندازه ۷۵ میکرون انجام شد. برای تعیین درصد دقیق کانی‌های رسی و سایر کانی‌های همراه از نتایج آنالیز عنصری طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) همراه با کالیبراسیون توسط منحنی‌های شدت-مقدار نمونه‌های حاصل از اختلاط نمونه‌های استاندارد کلیه کانی‌های شناسایی شده در محدوده وسیعی از درصدهای معلوم استفاده شد. نتایج آزمایش‌های عمومی XRD نشان داد که مقدار کانی‌های رسی در نمونه‌های مخزنی سازند شورجه بسیار کم است (شکل ۲). بنابراین به‌منظور شدت‌بخشی به پیک‌های ضعیف رس‌ها، حذف کانی‌های غیر رسی مانند کوارتز، فلدسپارها و پلاژیوکلازها به روش فیزیکی از طریق ته‌نشینی ثقلی براساس قانون استوکس و کانی‌هایی مانند انواع کربنات‌ها (کلسیت و دولومیت)، کانی تبخیری (انیدریت) با روش‌های شیمیایی [۲۹] و سپس شستشوی چندباره نمونه توسط سانتریفوژ به‌منظور اطمینان از خروج اسید یا نمک از نمونه انجام شد.



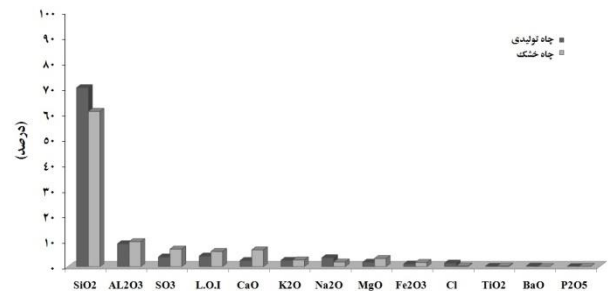
شکل ۵: الف) ایلیت به صورت پل زنده بین منافذ با ابعاد متغیر از ۷-۳/۴ میکرون، بزرگنمایی ۲۵۵۰۰ برابر، عمق میدان ۱۱ میلی‌متر، ب) کلریت به صورت پوشش‌دهنده با ابعاد متغیر از ۴/۵-۱/۲ میکرون، بزرگنمایی ۱۸۵۰۰ برابر، عمق میدان ۱۱ میلی‌متر، پ) کلریت‌های غنی از منیزیم به صورت پوشش‌دهنده با ابعاد ۲ میکرون در یکی از نمونه‌های چاه خشک، بزرگنمایی ۷۰۰۰ برابر، عمق میدان ۱۲ میلی‌متر، ت) کائولینیت 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، ث) 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، ج) کلریت با ابعاد تقریبی ۳ میکرون، کائولینیت با ابعاد ۴ میکرون به صورت پرکننده منافذ لابه‌لای دانه‌های کوارتز با ابعاد ۶/۵ میکرون و پلاژیوکلازها با ابعاد ۱۹ میکرون در یکی از نمونه‌های چاه تولیدی، بزرگنمایی ۲۵۰۰ برابر، عمق میدان ۲۳ میلی‌متر



شکل ۶: نمودار آنالیز عنصری EDX یک نمونه کلریت منیزیم‌دار آغشته به ترکیبات هیدروکربوری (به نقطه آنالیز شده در شکل ۵ ث اشاره شده است)

۳-۲- مطالعات طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF)

آنالیز عنصری ۴۸ نمونه مغزه زیربخش مخزنی سازند شوربچه در دو چاه تولیدی و خشک، توسط دستگاه طیف‌سنج فلورسانس مدل Magix Pro ساخت شرکت فیلیپس انجام شد (شکل ۴). همزمان میزان افت حرارتی (L.O.I) هر نمونه نیز توسط کوره مدل VAF 16/5s ساخت شرکت Lenton در همان آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. برای اطمینان از صحت اندازه‌گیری‌ها، ۴ نمونه به‌طور تصادفی از مجموعه نمونه‌ها انتخاب و توسط آزمایشگاه دیگری با دستگاه طیف‌سنج فلورسانس مدل PW1480 ساخت شرکت فیلیپس مجدداً آنالیز XRF شد. همچنین ۵ نمونه دیگر نیز به‌طور تصادفی انتخاب و با دستگاه جذب اتمی مدل ۲۰ ساخت شرکت Varian برای تعدادی از عناصر آنالیز شد که نتایج انطباق قابل قبولی با نتایج آنالیز عنصری اولیه نشان داد.

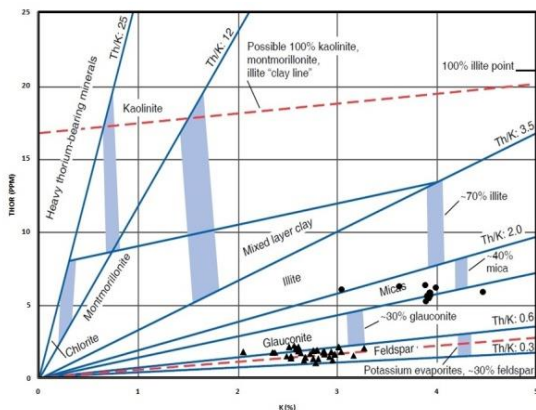


شکل ۴: مقدار متوسط اکسیدهای اصلی بخش مخزنی سازند شوربچه در دو چاه تولیدی و خشک، نتایج آزمایش (XRF)

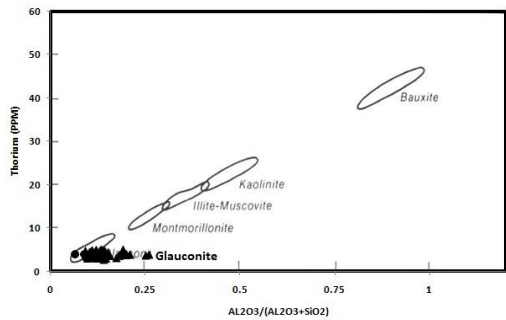
۳-۳- مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX)

برای شناسایی نوع و نحوه توزیع کانی‌های رسی بخش مخزنی سازند شوربچه، تعداد ۵ نمونه مغزه چاه خشک با دستگاه SEM/EDX ساخت شرکت TESCAN مدل VEGA TS 5136 MM (شکل ۵ تصاویر الف و ب) و دستگاه LEO 1450 VP (شکل ۵ تصاویر پ و ت) و تعداد ۳ نمونه مغزه چاه تولیدی با دستگاه مدل JSM-840 Scanning Microscope ساخت شرکت JEOL ژاپن (شکل ۵ تصاویر ث و ج) و مطالعه شد. ولتاژ مصرفی دستگاه در زمان تصویربرداری ۲۰-۱۲ کیلو ولت و عمق میدان ۱۱-۲۳ میلی‌متر انتخاب شد. نمونه‌ها روی پلاک‌هایی به ابعاد $1 \times 1 \text{ cm}^2$ قرار گرفتند و سطح آن‌ها برای رسانا شدن چند راند با طلا پوشش داده شد. شناسایی نوع کانی‌های رسی با مقایسه تصاویر به‌دست آمده با تصاویر نمونه‌های استاندارد و انجام آنالیز نقطه‌ای EDX در موارد مشکوک و ناشناس انجام شد (شکل ۶).

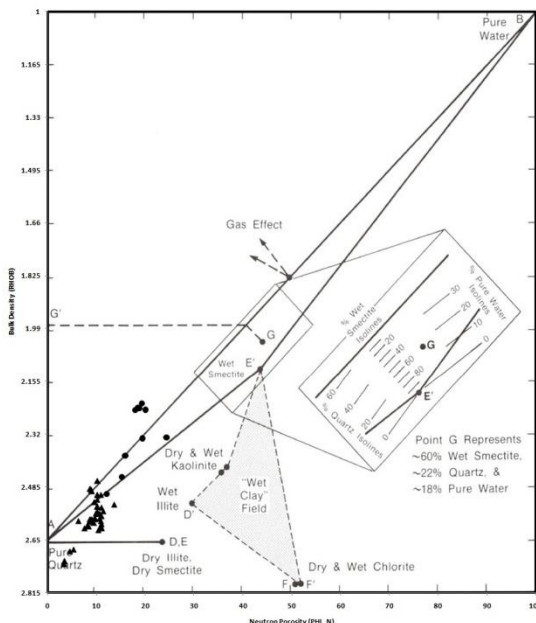
همزمان در سازند وجود دارد و در نهایت اگر حجم رس نواری بیشتر از حجم رس سازند باشد، توزیع رس به صورت ترکیبی از توزیع‌های نواری و پراکنده است [۳۴].



شکل ۹: نمودار مقاطع پتاسیم-توریم



شکل ۱۰: نمودار مقاطع $Al_2O_3/(Al_2O_3+SiO_2)$ - توریم

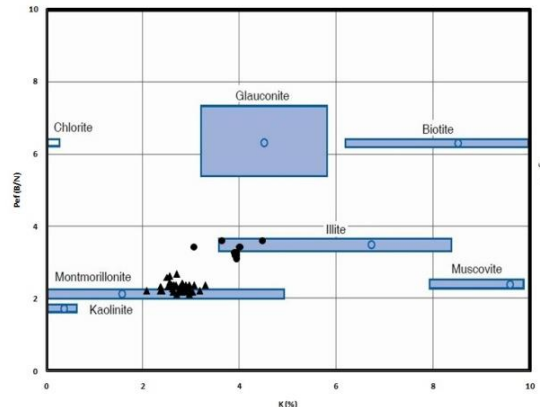


شکل ۱۱: نمودار مقاطع نوترون-چگالی

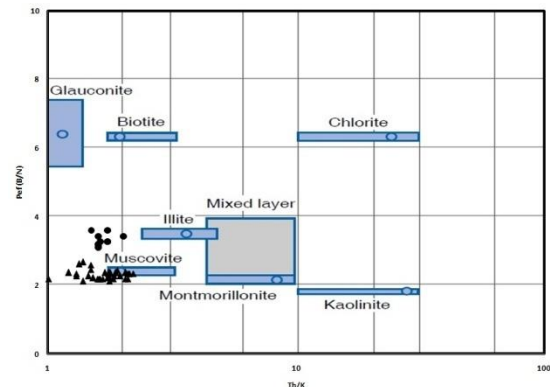
برای تعیین نوع الگوی توزیع کانی‌های رسی در سازند شوریهجه با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی، ابتدا حجم رس نواری با محاسبه تخلخل کل (ϕ_c) و تخلخل مؤثر (ϕ_e)

۳-۴- شناسایی نوع و نحوه توزیع کانی‌های رسی با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی

شناسایی نوع، حجم و نحوه توزیع کانی‌های رسی اهمیت زیادی در مطالعات شناسایی مخزن دارد [۳۲]. شناسایی نوع کانی‌های رسی زیربخش مخزنی سازند شوریهجه، پس از تصحیح لاگ‌های پرتوزایی، نوترون و چگالی با استفاده از منحنی‌های تصحیح کننده شرکت شولامبرژه [۳۳]، با رسم نمودارهای مقاطع پتاسیم- فوتوالکتریک، توریم/پتاسیم - فوتوالکتریک، پتاسیم-توریم، $Al_2O_3/(Al_2O_3+SiO_2)$ - توریم و نوترون-چگالی با استفاده از داده‌های لاگ‌های پرتوزایی، نوترون، چگالی و فوتوالکتریک در اعماق مربوط به ۴۸ نمونه مغزه دو چاه تولیدی و خشک انجام شد. مقادیر Al_2O_3 و SiO_2 از آنالیز طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) نمونه‌های مغزه به‌دست آمد (اشکال ۷ تا ۱۱).



شکل ۷ نمودار مقاطع پتاسیم - فوتوالکتریک



شکل ۸ نمودار مقاطع توریم/پتاسیم - فوتوالکتریک

شناسایی نحوه توزیع کانی‌های رسی با مقایسه حجم رس نواری حاصل از تقسیم تفاضل تخلخل مؤثر از تخلخل کل بر تخلخل کل با حجم رس به‌دست آمد. در مواردی که حجم رس سازند و حجم رس نواری برابر بود، تنها توزیع موجود در مخزن از نوع نواری تشخیص داده شد. در صورتی که حجم رس نواری کمتر از حجم رس سازند بود، توزیع‌های ساختاری و نواری به طور

عوامل سیمان‌ساز (CaO, MgO, SO₃, LOD)، بهتر از چاه خشک است. در ادامه میزان همبستگی مقدار رس حاصل از نتایج XRD و پتروفیزیکی (از روش پرتو گاما) با درصد عناصر مختلف سنجیده شد (جدول ۳) که بر این اساس، بیشترین میزان همبستگی رس با درصد عناصر آهن، آلومینیم، پتاسیم و منیزیم به دست آمد. با توجه به این که عناصر مذکور سازنده‌های اصلی کانی‌های رسی هستند، این نتیجه‌گیری می‌تواند تأییدی دیگر بر صحت نتایج XRF باشد.

جدول ۳: ضریب همبستگی میزان رس از روش XRD و روش پتروفیزیکی با عناصر مختلف

چاه خشک	چاه تولیدی		عناصر
	روش XRD	روش پتروفیزیکی	
روش پتروفیزیکی	روش XRD	روش پتروفیزیکی	روش XRD
۰/۳۵۸	۰/۴۲۵	۰/۷۹۳	۰/۴۹۴
۰/۳۶۰	۰/۸۲۲	۰/۸۶۹	۰/۸۲۷
-۰/۲۶۹	-۰/۱۰۲	-۰/۲۹۲	-۰/۴۳۸
۰/۲۵۶	۰/۵۸۲	۰/۷۰۴	۰/۷۲۴
-۰/۰۲۰	-۰/۲۸۶	-۰/۳۷۶	-۰/۳۷۵
۰/۱۳۸	۰/۷۹۷	۰/۷۸۳	۰/۶۸۸
-۰/۰۴۷	-۰/۴۲۹	-۰/۳۸۲	-۰/۲۶۰
۰/۳۷۷	۰/۷۱۰	۰/۷۹۷	۰/۸۱۲
-	-	-۰/۲۰۱	-۰/۲۶۴
۰/۳۶۰	۰/۸۶۹	۰/۹۵۳	۰/۹۰۹
۰/۱۰۸	-۰/۰۵۷	-۰/۱۴۲	-۰/۲۲۸
۰/۱۸۳	۰/۱۹۹	-	-
-	-	-۰/۱۹۱	-۰/۲۶۴
-۰/۳۷۸	-۰/۳۸۷	-۰/۲۶۱	-۰/۳۸۵
-۰/۲۴۹	-۰/۴۷۵	-۰/۱۸۳	-۰/۳۱۳
۰/۱۸۹	۰/۰۱۹	-۰/۲۳۰	-۰/۰۲۸

۴-۳- شناسایی نوع و نحوه توزیع کانی‌های رسی با مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) با بررسی دقیق تصاویر تهیه شده، وجود کانی‌های رسی از نوع کائولینیت، کلریت منیزیم‌دار، ایلیت با توزیع پراکنده در نمونه‌های بخش مخزنی سازند شوربچه در هر دو چاه تشخیص داده شد. در چاه خشک توزیع پراکنده از نوع پل زنده بین منافذ (شکل ۵، الف)، پوشش‌دهنده منافذ (شکل ۵، ب و پ) و

اساس رابطه ۱ [۳۳]، محاسبه و سپس با حجم رس سازند مقایسه و نوع الگوی توزیع کانی‌های رسی تعیین شد.

$$V_{CLL} = \frac{(\varphi_t - \varphi_e)}{\varphi_t} \quad (1)$$

۴- بحث

بحث و نتایج بررسی‌ها در چهار زیربخش آورده شده است.

۴-۱- شناسایی کانی‌های رسی سازند شوربچه با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)

مطالعات عمومی طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس، وجود کوارتز و پلاژیوکلازها را به عنوان فازهای تشکیل‌دهنده اصلی و کانی‌های رسی، انیدریت، کربنات‌ها (کلسیت و دولومیت) و فلدسپارهای قلیایی را به عنوان تشکیل‌دهنده‌های فرعی در زیربخش مخزنی سازند شوربچه در هر دو چاه مشخص کرد (شکل ۲). در تعداد کمی از نمونه‌های هر دو چاه، هماتیت، روتیل، هالیت و میکا نیز به میزان کم وجود دارد. عوامل سیمان‌کننده (کربنات‌ها، انیدریت و کانی‌های رسی) که باعث افت کیفیت مخزنی سازند هستند، در چاه خشک به مراتب بیشتر از چاه تولیدی هستند. آزمایش‌های شناسایی اختصاصی نوع رس به روش طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس بر روی ۴۸ نمونه مغزه از سازند شوربچه از دو چاه در میدان گنبدلی نشان داد که کانی‌های رسی غالب در بخش مخزنی این دو چاه به ترتیب فراوانی ایلیت، کلریت، کائولینیت و در موارد معدودی گلوکونیت می‌باشند که مقدار هریک در چاه خشک به مراتب از چاه تولیدی بیشتر است (جدول ۲).

جدول ۲: متوسط درصد کانی‌های رسی در بخش مخزنی چاه‌های تولیدی و خشک به تفکیک انواع، حاصل آنالیز کمی (XRD)

چاه خشک	چاه تولیدی	نام کانی
۵/۰	۲/۶	ایلیت
۰/۴	۲/۳	گلوکونیت
۲/۸	۱/۷	کلریت
۲/۵	۱/۸	کائولینیت
۱۱/۹	۸/۴	مقدار کل کانی‌های رسی

۴-۲- شناسایی کانی‌های رسی سازند شوربچه با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF)

شکل ۴ میزان اکسیدهای اصلی و افت حرارتی را در نمونه‌های بخش مخزنی هر دو چاه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، مجدداً تأیید می‌شود کیفیت مخزنی سازند شوربچه در چاه تولیدی به علت بالا بودن میزان SiO₂ و پایین بودن درصد

است. بنابراین نمودار متقاطع پتاسیم-فوتوالکتریک (شکل ۷) به درستی قادر به تشخیص نوع کانی‌های رسی نیست.

استفاده از نسبت قرائت لاگ‌های توریم به پتاسیم در محور افقی به جای قرائت لاگ پتاسیم (محور عمودی کماکان لاگ فوتوالکتریک است)، تغییری در شناسایی کانی رسی چاه تولیدی ایجاد نمی‌کند ولی در چاه خشک سبب تشخیص مسکویت می‌شود (شکل ۸). در نمونه‌های چاه تولیدی نسبت توریم به پتاسیم از ۱/۵ تا ۲ تغییر می‌کند و در نمونه‌های چاه خشک این نسبت از ۱ تا ۲/۲ تغییر می‌کند. اما آنچه که سبب اختلاف در شناسایی نوع کانی‌های رسی شده است، قرائت لاگ فوتوالکتریک است که در چاه تولیدی بالاتر از چاه خشک است. نمودار متقاطع نسبت لاگ‌های توریم به پتاسیم-فوتوالکتریک (شکل ۸) نیز قادر به شناسایی صحیح و کامل کانی‌های رسی در نمونه‌های سازند شوربچه در هر دو چاه نشده است، چون کانی‌های رسی از انواع گلوکونیت، کلریت و کائولینیت به طور کلی تشخیص داده نشده است.

همان‌طور که گفته شد، در نمونه‌های چاه تولیدی میزان قرائت لاگ پتاسیم از ۳ تا ۴/۵ متغیر است و لاگ توریم از ۵/۲ تا ۶/۳ پی.پی.ام تغییر می‌کند. ترسیم این مقادیر در نمودار متقاطع شکل ۹، در محدوده میکا و گلوکونیت قرار می‌گیرد. نمونه‌های چاه خشک با قرائت لاگ پتاسیم از ۲/۱ تا حداکثر ۳/۳٪ و قرائت لاگ توریم از ۳/۲ تا ۶/۲ پی.پی.ام در محدوده میکا، ایلیت و گلوکونیت واقع هستند. این شناسایی نیز مانند نمودارهای متقاطع قبلی از لحاظ عدم شناسایی کلریت و کائولینیت و شناسایی اشتباه میکا، نامعتبر است.

نسبت اکسید آلومینیم به مجموع اکسید آلومینیم و سیلیسیم نمونه‌های هر دو چاه در حدود ۰/۱ است که در برخی نمونه‌های چاه خشک تا ۰/۲۵ هم می‌رسد. رسم این نسبت در مقابل قرائت لاگ توریم (شکل ۱۰)، کانی رسی هر دو چاه را از نوع گلوکونیت معین می‌کند. این شناسایی نیز به دلیل عدم تشخیص کلریت، کائولینیت و ایلیت اعتبار لازم را ندارد.

تخلخل نوترون در نمونه‌های چاه تولیدی از ۱۲/۱ تا ۲۴/۴ واحد تخلخل و چگالی این نمونه‌ها از ۲/۲ تا ۲/۵ گرم بر سانتی متر مکعب تغییر می‌کند. در نمونه‌های چاه خشک، تخلخل نوترون از ۳/۴ تا ۱۳/۶ واحد تخلخل و چگالی از ۲/۵ تا ۲/۷ گرم بر سانتی متر مکعب متغیر است. همین امر نوع رس نمونه‌های چاه تولیدی را در رده اسمکتیت تر و نمونه‌های چاه خشک را در رده ایلیت و اسمکتیت خشک قرار می‌دهد (شکل ۱۱). مجدداً این تشخیص به علت اثر فرآیند جهانی ایلیتی شدن و تبدیل

پرکننده (شکل ۵، ت) و در چاه تولیدی توزیع پراکنده از نوع پوشش‌دهنده (شکل ۵، ث) و پرکننده منافذ (شکل ۵، ج) تشخیص داده شد. شکل ۶ نمودار آنالیز عنصری EDX و جدول ۴ نتایج آن را برای کلریت مشخص شده در شکل ۵، ث را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج جدول ۴ 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.

جدول ۴: نتایج آنالیز عنصری EDX یک نمونه کلریت منیزیم‌دار آغشته به ترکیبات هیدروکربوری (به نقطه آنالیز شده در شکل ۵ ث 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

۴-۴- شناسایی نوع و نحوه توزیع کانی‌های رسی با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی

در نمونه‌های چاه تولیدی میزان قرائت لاگ پتاسیم از ۳ تا ۴/۵٪ متغیر است و لاگ فوتوالکتریک (Pef) ب‌طور ثابت در حدود B/N ۳/۵ است. جانمایی این مقادیر در شکل ۷، مشخص کننده وجود کانی رسی از نوع ایلیت است. در ارتباط با نمونه‌های چاه خشک، قرائت لاگ پتاسیم کمتر از نمونه‌های چاه تولیدی است، به طوری که از ۲/۱ تا حداکثر ۳/۳٪ می‌رسد. میزان قرائت لاگ فوتوالکتریک نیز در حدود B/N ۲ است که با توجه به شکل ۷، مؤید وجود کانی رسی از نوع مونت‌موریلونیت در این چاه است. این شناسایی به‌طور کامل اشتباه است، چون با توجه به عمق سازند شوربچه (حدود ۳ km)، در اثر فرآیند جهانی ایلیتی شدن تمام کانی‌های رسی از نوع مونت‌موریلونیت به ایلیت تبدیل شده‌اند و امکان وجود مونت‌موریلونیت منتفی است. با توجه به موقعیت قرارگیری داده‌های چاه تولیدی و خشک در شکل ۷، در هیچ کدام از دو چاه گلوکونیت، کلریت و کائولینیت وجود ندارد، این در حالی است که وجود آن‌ها با استفاده از آنالیزهای مغزه (هم روش XRD و هم روش SEM) اثبات شده

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 سازند کیفیت مخزنی خود را از دست می‌دهد. با انجام آنالیز EDX، نوع کلریت (غنی از منیزیم یا غنی از آهن) تشخیص داده شد و همچنین آغشتگی آن به ترکیبات هیدروکربوری و جذب سطحی کاتیون‌هایی مانند سدیم، پتاسیم و کلسیم به میزان اندک تأیید شد.

نتایج تعیین نوع رس تنها با استفاده از نمودارهای مقاطع پتروفیزیکی جواب‌های متفاوت و متناقضی دارد و بهتر است در مواردی که نمونه‌های مغزه موجود می‌باشد، حتماً از روش‌های آزمایشگاهی برای شناسایی نوع کانی‌های رسی استفاده شود. علل شکست روش‌های پتروفیزیکی تعیین نوع کانی‌های رسی را می‌توان در میزان اندک این کانی‌ها در مخزن مورد مطالعه و در نتیجه عدم توانایی تحت تأثیر قرار دادن ابزارهای پتروفیزیکی خلاصه کرد. همچنین به علت وجود فلدسپارهای قلیایی (پرتوزا) در زمینه، اختلاف چشمگیری بین هدف مورد جستجو (کانی‌های رسی) و زمینه وجود ندارد و از این لحاظ قابل تشخیص نیستند.

نحوه تعیین الگوی کانی‌های رسی با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی، اگرچه صحیح است (صرفنظر از عدم تشخیص الگوی ساختاری) اما قادر به تعیین نوع توزیع پراکنده (پرکننده منافذ، پوشش دهنده و پل زنده) نیست.

روش طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD) در صورت حذف و حداقل‌سازی کانی‌های غیر رسی نمونه و اجرای صحیح آماده‌سازی‌های ویژه شناسایی کانی‌های رسی، بهترین و متداول‌ترین روش شناسایی رس‌ها محسوب می‌شود. در صورت موجود بودن نتایج آنالیز عنصری (XRF) به همراه کالیبراسیون نمودارهای XRD توسط نمونه‌های استاندارد تشکیل‌دهنده‌ها، می‌توان نتایج تعیین نوع کانی‌های رسی را با دقت خوبی کمی کرد. تعیین نحوه توزیع کانی‌های رسی در سازند و تشخیص کیفی آن‌ها با انجام مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) با موفقیت امکان‌پذیر است.

۶- تقدیر و تشکر

از حمایت مالی دانشگاه تهران از این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۸۱۰۵۰۰۳/۱/۰۶ قدردانی می‌گردد.

مراجع

[1]. Slatt, R.M., 2006, "Handbook of petroleum exploration and production-stratigraphic reservoir

کانی‌های رسی از نوع اسمکتیت به ایلیت در عمق ۳ km سازند شوربچه، ناصحیح است و نمی‌تواند ملاک صحیحی برای قضاوت در مورد نوع کانی‌های رسی باشد.

در تمام نمودارها نقاط مربوط به داده‌های چاه تولیدی و چاه خشک در دو دسته متمایز قرار گرفته‌اند و انواع تعیین شده برای هر چاه با توجه به نوع نمودار بسیار متفاوتند. در مواردی که احتمالاً مخلوطی از چند کانی رسی در نمونه‌ها وجود دارد، نمودارهای متقاطع قادر به تفکیک صحیح کلیه انواع کانی‌های رسی نیستند. لذا حتماً باید از روش‌های آزمایشگاهی برای با توجه به نتایج جدول ۵، چون حجم رس نواری بیشتر از حجم رس سازند است، نوع الگوی توزیع کانی‌های رسی در هر دو چاه به صورت ترکیبی از انواع نواری و پراکنده است. نحوه تعیین الگوی کانی‌های رسی با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی، اگرچه صحیح است (صرفنظر از عدم تشخیص الگوی ساختاری) اما قادر به تعیین نوع توزیع پراکنده (پرکننده منافذ، پوشش دهنده و پل زنده) نیست.

جدول ۵: نتایج تعیین پتروفیزیکی نوع کانی‌های رسی

چاه خشک	چاه تولیدی	
۲۱/۰۳	۲۲/۵۹	متوسط درصد حجم رس نواری
۹/۸۴	۹/۸۲	متوسط حجم رس سازند

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نوع و الگوی توزیع کانی‌های رسی مغزه‌های بخش مخزنی سازند شوربچه در دو چاه تولیدی و خشک یکی از میادین شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ با استفاده از روش‌های آنالیز دستگاهی از قبیل طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) و همچنین با استفاده از نمودارهای متقاطع لاگ‌های پتروفیزیکی تعیین شد. نتایج آنالیز دستگاهی نمونه‌های مغزه، کانی‌های رسی را به ترتیب فراوانی از انواع ایلیت، کلریت منیزیم‌دار، کائولینیت و گلوکونیت (تنها در چند نمونه) با مقدار اندک در چاه تولیدی و مقدار زیاد در چاه خشک نشان داد. انواع کانی‌های رسی ذکر شده در بخش مخزنی سازند شوربچه 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

- [18]. Najafi, M., & Kosorkhi, A., 1998, "Lithostratigraphy and petrology studies of Shurijeh Formation in Cheshmeh Gilas area, northwestern Mashhad", *Ulum-I-Zamin, Scientific Quarterly Journal*. 7(29-30), pp. 86-103.
- [19]. Najafi, M., Nadaf, R., & Moussavi-Harami, R., 1999, "Lithostratigraphy studies of Shurijeh Formation in Radkan-Baro section, southeastern of Ghochan with a comparison to Cheshmeh Gilas, Darehkhoreh and ozduran area", *Proceeding of the third Symposium of Geological Society of Iran, Shiraz University*.
- [20]. Jamali, A.M., Sadeghi, A., & Adabi, M.H., 2011, "Shurijeh Formation facies and sedimentary environment in Hamaghaleh and south of Kalat-e-Naderi sections", *Quarterly journal of Iran's Geology*. 5 (17), pp. 87-102.
- [21]. Jamali, A.M., Sadeghi, A., Shemirani, A., & Baghbani, D., 2012, "Biostratigraphy of Shurijeh Formation in Hamaghaleh section", *Researches of Stratigraphy and Sedimentology*. 28 (46), pp. 95-112.
- [22]. Mortazavi, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., & Najafi, M., 2013, "Geochemistry of the Late Jurassic–Early Cretaceous shales (Shurijeh Formation) in the intracontinental Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran: implication for provenance, source weathering, and paleoenvironments" *Arabian Journal of Geosciences*, DOI 10.1007/s12517-013-1081-4, pp.1-14.
- [23]. Tabatabaie, P., Lasemi, Y., Jahani, D., & Asilyan mahabadi. H., 2013, "Shurijeh Formation facies and sedimentary environment in GhareGhareh and Khangiran sections, eastern Kopet-Dagh", *Academic-Research Journal of Exploration and Production Oil and Gas*. 92-6(104), pp. 72-78.
- [24]. Golafshani, T., Khanehbad, M., Moussavi-Harami, R., & Mahboubi, A., 2013, "Petrography and the origin of Shurijeh sandstone Formation in Abgarm village, eastern Kopet-Dagh", *Proceeding of the 17th Symposium of Geological Society of Iran, Shahid Beheshti University*.
- [25]. Akhavan, H., Rezaei, M.R., Okhravi, R. & Moussavi-Harami, R., 2001, "Determination of lithology in the pore fluids of Shurijeh Formation by digitized raw and interpreted data, geophysical diagrams and its application in seismic reflection data", *Proceeding of the 5th Symposium of Geological Society of Iran, University of Tehran*.
- [26]. Mostaghel B., Bashari A., Khakzad A., 2005, "Application of stochastic analysis & modeling through integrated reservoir characterization in Gonbadli gas reservoir (a common field between Iran & Turkmenistan)", *Journal of sciences (Islamic Azad University)*, Vol. 15, pp. 327-340.
- [27]. Zadmoghadasi, A., Hasani, H., Ataiepour, M., Sarkheyli, H., Moradi, B., Sarmadi, R., 2014, "Petrophysical properties modeling using of fractal geometry in case of Shorijeh reservoir in Khangiran hydrocarbon field", *32nd National and the 1st International Geosciences Congress: Petroleum Geology, National Iranian South Oilfields Company, Ahwaz, Iran*.
- characterization for petroleum geologists, geophysicists, and engineers", Elsevier, 492 p.
- [2]. Worthington, P.F., 2003, "Effect of clay content upon some physical properties of sandstone reservoirs", *International association of sedimentologists publication*, Vol. 34, pp. 191-211.
- [3]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. Dewan, J.T., 1983, "Essentials of modern open-hole log interpretation", *PennWell Books, Tulsa, Oklahoma*, 361 p.
- [7]. Van oort, Eric., 2003, "On the physical and chemistry stability of shales", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 38, pp. 213-235.
- [8]. Valášková, M., and Martynková, G.S., 2012, "Clay Minerals in nature –Their characterization, modification and application", *InTech Publication*, 312 p.
- [9]. Woorden, R.H., & Morad S., 2003, "Clay minerals in sandstones: controls on formation, distribution and evolution", *International association of sedimentologist, publication*, Vol. 34, pp. 3-41.
- [10]. Sams, M.S., & Andrea, M., 2001, "The effect of clay distribution on the elastic properties of sandstones", *Geophysical prospecting*, Vol. 49, pp. 128-150.
- [11]. 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.
- [12]. Nayak, P.S., & Singh, B.K., 2007, "Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR", *Bulletin of materials science*, Vol. 30, pp. 235-238.
- [13]. Moore, D.M., & Reynolds Jr, R.C., 1989, "X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals", *Oxford University Press (OUP)*, 332 p.
- [14]. Quirein, J.A., Baldwin, J.L., Terry, R.L., & Hendricks, M., 1981, "Estimation of clay types and volumes from well log data-an extension of the global method", *SPWLA 22nd Annual logging symposium*, pp.1-22.
- [15]. Haley, R.A., 1979, "A Synergetic Log and core analysis program using a laminated shale-dispersed clay sandstone model", *SPWLA 20th Annual logging symposium*, pp. 1-24.
- [16]. Afshar Harb, A., 1994, "Geology of Iran: Kopet-Dagh geology", *Iranian geological survey organization, Tehran, Iran*, pp.34-36.
- [17]. NIOC (Exploration Directorate), 1986. "Gonbadli geological well completion report", *National Iranian Oil Company records*, pp. 5-10.

estimation: Case study of Shurijeh gas reservoir, Northeastern Iran", Journal of Natural Gas Science and Engineering, 22, pp.119-131.

[33]. R&D of Schlumberger, 2009, "*Schlumberger Chart Book*", Schlumberger Company, France, 609 p.

[34]. Fertl, W. H., 1987, "Log-derived evaluation of shaly clastic reservoirs" Journal of petroleum technology, 39 (02), pp. 175-194.

[28]. Bagheri, H., Tabatabaie raiesi, S., Fazli, L., & Doulati ardehjani, F., 2013, "*Physical and mechanical characterization of Shurijeh reservoir rock in one of the wells in Kopet-Dagh area (Northeastern Iran)*", Quarterly Journal of Applied Geology. 9(2), pp. 87-99.

[29]. Bailey, S. W., 1980, "*Structures of layer silicates*", Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification, Mineralogical Society, London, Vol. 5, pp. 1-123.

[30]. Jozanikohan, G., 2013, "*XRD identification of clay minerals*", Setayesh Publication Institute, pp. 35-42.

[31]. Brown, G., & Brindley, G. W., 1980, "*X-Ray diffraction procedures for clay mineral identification*", Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification, Mineralogical Society, London, Vol. 5, pp. 305-359.

[32]. Jozanikohan, G., Norouzi, G.H., Sahabi, F., Memarian, H. and Moshiri, B., 2015, "*The application of multilayer perceptron neural network in volume of clay*