

## مروری بر روابط پتروفیزیکی تعیین حجم رس، مطالعه موردی سازند مخزنی شوربجه گلناز جوزانی کهن<sup>۱</sup>، غلامحسین نوروزی<sup>۲\*</sup>، فریدون سحابی<sup>۳</sup>، حسین معماریان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی معدن گرایش اکتشاف معدن، دانشکده معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، gjkohan@ut.ac.ir  
<sup>۲</sup> دکترای ژئوفیزیک اکتشافی، استاد دانشکده معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: norouzih@ut.ac.ir  
<sup>۳</sup> دکترای سنگ شناسی رسوبی و رسوب شناسی، دانشیار دانشکده معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، fsahabi@ut.ac.ir  
<sup>۴</sup> دکترای شکستگی در سنگ، استاد دانشکده معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: memarian@ut.ac.ir

(دریافت ۳ بهمن ۱۳۹۲، پذیرش ۱۸ مرداد ۱۳۹۳)

### چکیده

خطا در تخمین حجم رس (V<sub>r</sub>)، منجر به محاسبه نادرست پارامترهای مخزنی از جمله تخلخل موثر و درجه اشباع آب می‌شود که نهایتاً خطر تفسیر نادرست از تولید مخزن را در پی دارد. لذا تخمین صحیح این پارامتر، یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی کیفیت مخازن ماسه‌سنگی به شمار می‌رود. حجم رس با اعمال تصحیحات مختلفی از قبیل ضریب ۰/۶، لارینف، کلاویر و استیبر بر حجم شیل محاسبه می‌شود. روش‌های پتروفیزیکی متعددی مبتنی بر داده‌های یک یا چند لاگ برای تخمین حجم شیل وجود دارد که در این پژوهش، پس از انجام آنالیز حساسیت روی سری کامل داده‌های لاگ‌های پتروفیزیکی سازند مخزنی شوربجه به سن کرتاسه تحتانی و حجم رس آزمایشگاهی داده‌های مغزه این سازند در دو چاه تولیدی (A) و خشک (B) یکی از میادین شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ، هفت رابطه پتروفیزیکی با استفاده از داده‌های شش نوع لاگ و ترکیب برخی از آن‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. با اعمال کلیه تصحیحات روی تخمین‌های حجم شیل به دست آمده از این روش‌ها، تخمین‌های متعددی از حجم رس حاصل شد. مقایسه نتایج این تخمین‌ها با مقادیر اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی این پارامتر در ۷۶ نمونه مغزه نشان داد، بر مبنای کمترین خطای نسبی به دست آمده، روش شاخص پرتوی گاما و تصحیح استیبر به ترتیب بهترین روش و بهترین تصحیح تخمین حجم رس در این سازند محسوب می‌شوند. همچنین بهترین رابطه تصحیح کننده تجربی برای این منطقه براساس داده‌های حجم شیل شاخص پرتوی گاما به دست آمد که کمترین خطای متوسط را به نسبت سایر تصحیحات در هر روش دارد.

کلید واژه‌ها: حجم رس، حجم شیل، آنالیز مغزه، سازند شوربجه، حوضه رسوبی کپه‌داغ

## ۱-مقدمه

سطحی این سازند توسط نجفی و همکاران (مطالعه رخساره‌های سنگی و تفسیر محیط رسوب‌گذاری [۸] و بررسی ویژگی‌های رخساره‌های میکروسکوپی و میکروفسیل‌های شاخص [۹])، جمالی و همکاران (مطالعه رخساره‌ها و محیط رسوبی و تعیین مدل رسوبی [۱۰] و مطالعه میکروفسیل‌ها، تعیین بایوزون‌ها و سن سازند [۱۱])، طباطبایی و همکاران (بررسی رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی بر پایه بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی همراه با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی [۱۲] و گل‌افشانی و همکاران (پتروگرافی و برخاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند شوربچه براساس داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی) [۱۳] انجام شده است. سابقه مطالعات مخزنی این سازند در دهه‌های اخیر به کارهای پژوهشی مستقل و همکاران (مطالعات تلفیقی پتروفیزیکی، زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، زمین‌آماری و مهندسی مخزن) [۱۴]، اخوان و همکاران (تعیین لیتولوژی سیالات منفذی سازند شوربچه) [۱۵]، زاد مقدسی و همکاران (مدلسازی خواص پتروفیزیکی مخزن شوربچه) [۱۶]، باقری و همکاران (بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سازند شوربچه) [۱۷] برمی‌گردد.

در این مقاله، با مقایسه نتایج آنالیزهای کمی ۷۶ نمونه مغزه دو چاه تولیدی (A) و خشک (B) در یکی از میداین شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ با تخمین‌های حاصل اعمال تصحیحات مختلف (ضریب ۰/۶، لارینف، کلایور و استیبر) روی حجم شیل محاسبه شده از هفت روش مختلف پتروفیزیکی با استفاده از شش لاگ موثر بر پارامتر حجم رس، صحیح‌ترین تخمین حجم رس در سازند شوربچه به دست آمد. از آنجا که تاکنون کارآیی لاگ‌های مختلف در تخمین حجم رس مخازن آواری مقایسه نشده‌اند، در این مقاله با بهره‌گیری از مجموعه نسبتاً کاملی از لاگ‌های رانده شده در سازند مخزنی شوربچه و نتایج آنالیز آزمایشگاهی تعداد زیادی نمونه مغزه به این مهم دست یافته شده است.

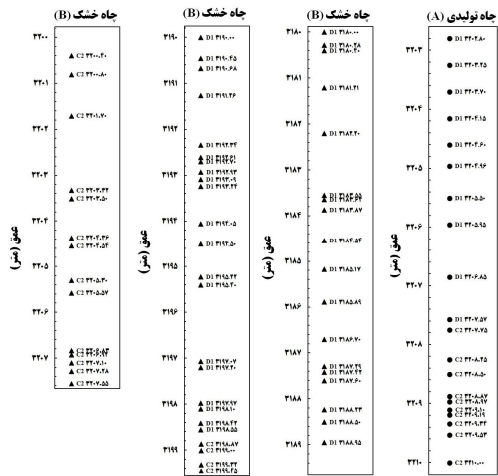
## ۲-روش تحقیق

## ۲-۱-سازند مورد مطالعه

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 ۵۴° ۰۰' تا ۱۳° ۶۱' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵° ۳۰' تا ۱۵° ۳۸' شمالی 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 [۱۸]. میدان مورد مطالعه در

در مطالعات پتروفیزیکی از واژه حجم رس و حجم شیل غالباً به جای یکدیگر استفاده می‌کنند [۱]. بنابر تعریف، واژه شیل به گروهی از سنگ‌های رسوبی ریزدانه متورق با اندازه ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۴ میلی‌متر اطلاق می‌شود و رس گروهی از کانی‌های سیلیکات آلومینیم آبدار صفحه‌ای است [۲]. کاربرد این دو واژه به جای یکدیگر، اغلب سبب تخمین بیش از حد کانی‌های رسی و در نتیجه تخمین کمتر از اندازه واقعی درجه اشباع آب می‌شود که این امر به نوبه خود تفسیری نادرست از تولیدی بودن مخزن را در پی دارد [۱]. از آن جا که پاسخ‌های بیشتر لاگ‌های پتروفیزیکی، متأثر از وجود کانی‌های رسی است و نه سایر کانی‌ها (بخش غیر رسی شیل) یا اندازه مشخصی از ذرات (سایز رس)، لذا دو واژه حجم شیل و حجم رس باید از یکدیگر تفکیک شوند [۳]. این تفکیک از طریق محاسبه حجم شیل و سپس اعمال تصحیحاتی روی آن انجام می‌شود. با توجه به تاثیرپذیری کلیه لاگ‌های چاه‌پیمایی از وجود رس در توالی‌ها، با استفاده از تمام لاگ‌ها می‌توان حجم رس را محاسبه کرد [۴]، که در این میان استفاده از لاگ‌های پرتوژی برای محاسبه مقدار رس متداول‌ترین روش محسوب می‌شود. اما نباید این روش به تنهایی ملاک تعیین نهایی حجم رس قرار گیرد، چون معمولاً روش‌هایی که در آن‌ها از ترکیب چند لاگ برای تخمین حجم رس استفاده می‌شود، دقت بالاتری دارند [۵]. استفاده از هر لاگ برای تخمین حجم رس در شرایط خاصی بهترین عملکرد را دارد و لذا بهتر است برای محاسبه حجم رس در هر محیط زمین‌شناسی از روش‌ها و لاگ‌های پتروفیزیکی مختلف استفاده شود و سپس برای خنثی‌سازی عواملی که سبب تخمین بیش از حد رس می‌شوند، کمترین تخمین به عنوان حجم نهایی رس انتخاب شود. در صورت موجود بودن نتایج آنالیز مغزه، پاسخ تخمین‌های پتروفیزیکی باید اعتبارسنجی شود تا بر این اساس، بهترین روش و بهترین لاگ شاخص رس برای منطقه انتخاب شود [۶]. نهایتاً پس از به دست آوردن تخمین صحیحی از این پارامتر، مخازن ماسه‌سنگی برحسب میزان کانی‌های رسی به ۳ گروه، تمیز (۱۰٪ < رس)، ماسه شیلی (۳۳٪ < رس < ۱۰٪) و کاملاً شیلی (۳۳٪ > رس) طبقه‌بندی می‌شوند [۴].

به طور کلی در ارتباط با مطالعه کانی‌های رسی سازند شوربچه هیچ نوع پژوهش مستقلی به غیر از مطالعه خاک‌های دیرینه و ژئوشیمی شیل‌های سازند شوربچه از لحاظ منشاء، تاریخچه هوازگی و محیط دیرینه توسط مرتضوی و همکاران [۷]، انجام نشده است. اما در سال‌های اخیر، مطالعات رخنمون‌های



شکل ۱ اعماق و نحوه توزیع نمونه‌های مغزه برداشت شده سازند شوربچه به تفکیک نوع چاه و نوع زیربخش

جدول ۱ زیربخش‌های مختلف سازند شوربچه براساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی و متوسط ضخامت آن‌ها [۱۹]

متوسط ضخامت در چاه‌های مختلف میدان (متر)	سنگ‌شناسی	بخش‌های سازند
۱۳/۹۰	رس و سیلت، حاوی دانه‌های انیدریت با لایه‌های بسیار نازک ماسه‌سنگ دانه‌ریز گلوکونیت و هماتیت	E
۳۲/۳۴	لایه‌های ماسه‌سنگی دانه‌ریز تا متوسط‌دانه با سیمان آهکی حاوی گلوکونیت و اکسیدهای آهن به همراه تناوبی از لایه‌های رسی و سیلتی	D <sub>2</sub>
۶۲/۶۱	ماسه‌سنگ متوسط‌دانه تا درشت‌دانه کوارتزی، گلوکونیتی و نیز لایه‌های ماسه‌سنگ ریزدانه تا متوسط‌دانه کوارتزی حاوی اکسیدهای آهن با تناوب نامنظم لایه‌های	D <sub>1</sub>

## ۲-۲- آنالیز مغزه‌ها

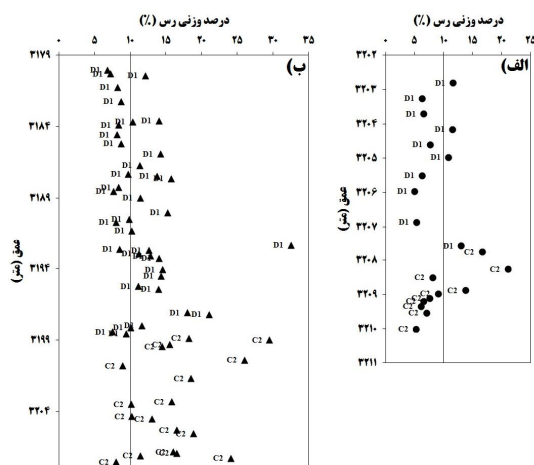
نزدیکی مرز ترکمنستان در منطقه‌ای با وسعت حدود ۲۶۸ کیلومتر مربع در برکه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سرخس واقع شده است. به دلیل مشترک بودن این میدان با کشور همسایه، اهمیت شناخت و بهره‌برداری صحیح و بهینه از این میدان دوچندان می‌شود. سازند ماسه‌سنگی شوربچه به سن کرتاسه تحتانی، سنگ مخزن اصلی و فرعی در میداین شرق کپه‌داغ است که ضخامت متوسط آن در میدان مورد مطالعه ۲۲۴/۳۵ متر است. این سازند، مخلوطی بسیار ناهمگن از شیل، ماسه‌سنگ، سیلت‌استون، کربنات و کانی‌های تبخیری مانند انیدریت است. براساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی، سازند شوربچه به زیربخش‌های E، D (D<sub>1</sub> و D<sub>2</sub>)، C (C<sub>1</sub> و C<sub>2</sub>)، B و A تقسیم‌بندی می‌شود (جدول ۱) که زیربخش D<sub>1</sub> در میدان مورد مطالعه حاوی گاز است [۱۹].

برای شناسایی نوع رس و تعیین مقدار دقیق آن، ۷۶ نمونه از مجموع ۴ مغزه دو چاه تولیدی (A) و خشک (B) یکی از میداین شرق حوضه رسوبی کپه‌داغ از زیر بخش‌های D<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> سازند شوربچه با فواصل مناسب (به طور متوسط هر ۰/۵ متر، یک نمونه) برداشت شد. از مجموع ۷۶ نمونه، ۲۰ نمونه مربوط به چاه تولیدی (۱۰ نمونه از زیر بخش D<sub>1</sub> و ۱۰ نمونه از زیر بخش C<sub>2</sub>) و ۵۶ نمونه مربوط به چاه خشک (۳۸ نمونه از زیر بخش D<sub>1</sub> و ۱۸ نمونه از زیر بخش C<sub>2</sub>) است. عمق و نحوه توزیع نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. نمونه‌های مغزه برداشت شده پس از تمیزکردن، خردایش و حذف فیزیکی و شیمیایی کانی‌های غیر رسی با روش‌های ویژه [۲۰] در محدوده زاویه ۴-۴۰ درجه با سرعت زاویه‌ای ۱/۲ درجه در هر دقیقه برای شناسایی اختصاصی کانی‌های رسی با تشعشع K<sub>α</sub> مس (λ=۰/۱۵۴ nm) توسط طیف‌سنج پراش پرتو ایکس مدل D8-Avance ساخت شرکت Bruker AXS آنالیز شد. با مطالعه ۴ طیف خشک شده در هوا، حرارت دیده در دمای ۵۵۰°C، اشباع شده از بخار اتیلن گلیکول و جوشیده شده در اسید هیدروکلریک، کانی رسی غالب از نوع ایلیت و سایر کانی‌های رسی از انواع کلریت و کائولینیت (بسیار اندک) و در چند نمونه از انواع گلوکونیتی و مخلوط لایه تشخیص داده شد.

جدول ۳ تعداد داده‌های مغزه سازند شوربجه در هر زیربخش و در هر کلاس به منظور تعیین نوع زیربخش‌ها

نوع زیربخش	کمتر از ۱۰٪	۱۰-۳۳٪	چاه تولیدی A	
			زیربخش D <sub>1</sub>	زیربخش C <sub>2</sub>
تمیز	۶ نمونه از ۱۰ نمونه	۴ نمونه از ۱۰ نمونه		
تمیز	۷ نمونه از ۱۰ نمونه	۳ نمونه از ۱۰ نمونه		
چاه خشک B	زیربخش D <sub>1</sub>	زیربخش C <sub>2</sub>	چاه تولیدی A	
			زیربخش D <sub>1</sub>	زیربخش C <sub>2</sub>
ماسه شیلی	۱۶ نمونه از ۳۸ نمونه	۲۲ نمونه از ۳۸ نمونه		
ماسه شیلی	۲ نمونه از ۱۸ نمونه	۱۶ نمونه از ۱۸ نمونه		

با توجه به بیشینه مقدار رس، کلاس بیش از ۳۳٪ (کاملاً شیلی) در زیربخش‌های مورد مطالعه وجود ندارد. شکل ۲ نحوه توزیع داده‌های هر چاه را در کلاس‌های مختلف به تفکیک نوع زیربخش نشان می‌دهد.



شکل ۲ درصد وزنی کانی‌های رسی در زیربخش‌های مختلف سازند شوربجه (الف) چاه تولیدی و (ب) چاه خشک. مقدار ۱۰٪ به عنوان مرز تفکیک بخش‌های تمیز از بخش ماسه شیلی مشخص شده است.

از آنجا که در این پژوهش نتایج آنالیز مغزه‌ها (درصد رس) با تخمین‌های پتروفیزیکی (حجم رس) سنجیده خواهد شد، لذا ضروری است تا با استفاده از رابطه ۱، درصد‌های به دست آمده در ابتدا به حجم تبدیل شوند.

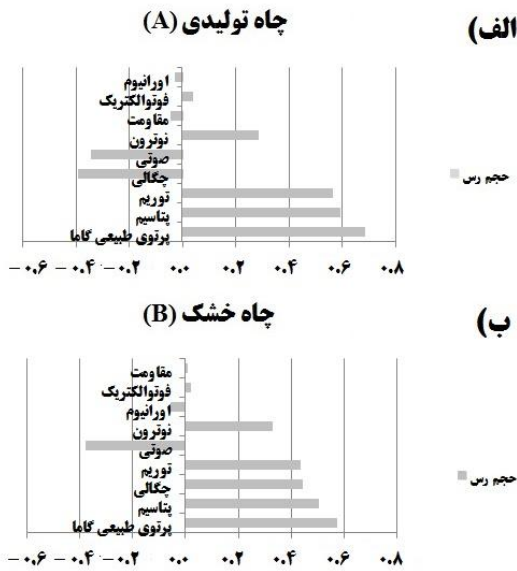
$$V_{clay} = WP_{clay} \times \frac{\rho_{sample}}{\rho_{clay}} \times (1 - \phi_t) \quad (1)$$

بخش میانی	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	رسی و سیلتی
بخش میانی	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	عمدتاً رس و سیلت به همراه لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و یکی دو لایه انیدریت نازک
			۴۹/۳۷
بخش تحتانی	B	A	ماسه‌سنگ متوسط تا درشت‌دانه، گاهی کنگلومرایبی، کوارتزی و لایه‌های نازکی از رس و سیلت
			۳۱/۲۲
			رس و سیلت
			۲۹/۸۹

نمونه‌های استاندارد کلیه کانی‌های رسی شناسایی شده با درصد‌های معلوم در محدوده وسیعی از درصد‌های گوناگون با یکدیگر مخلوط شدند و از نمونه حاصل، طیف پراش پرتو ایکس تهیه شد. سپس، با رسم نمودارهای شدت در مقابل درصد معلوم هر یک از کانی‌ها در محدوده‌های گوناگون، برای هر کانی رسی، با استفاده از قوی‌ترین پیکی که تداخل با فازهای دیگر نداشته باشد و شیب بهترین خط برازش، درصد کانی به طور دقیق تعیین شد. سپس مجموع انواع کانی‌های رسی هر نمونه محاسبه و میزان رس زیربخش‌های مختلف میانگین‌گیری شد (جدول ۲). کمترین و بیشترین میزان رس نمونه‌های مغزه، مقادیر ۵٪ و ۳۲/۵٪ به ترتیب در زیربخش D<sub>1</sub>، چاه‌های تولیدی (A) و خشک (B) به دست آمد. به منظور تعیین نوع هر زیربخش بر مبنای طبقه‌بندی مرسوم مخازن آواری در مهندسی نفت، داده‌های حاصل از آنالیز مغزه‌ها به دو کلاس با میزانی رس کمتر از ۱۰٪ (تمیز) و مقدار رس ۱۰-۳۳٪ (ماسه شیلی) طبقه‌بندی و تعداد داده‌های هر کلاس تعیین شد (جدول ۳).

جدول ۲ متوسط درصد وزنی کانی‌های رسی، اندازه‌گیری شده توسط آنالیز XRD مغزه‌ها در زیربخش‌های D<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> سازند شوربجه در چاه‌های تولیدی (A) و خشک (B)

روش محاسبه	متوسط درصد وزنی رس در چاه A		متوسط درصد وزنی رس در چاه B	
	D <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
نتایج آنالیز مغزه (XRD)	۸/۴۰	۸/۹۶	۱۱/۸۵	۱۶/۱۹



شکل ۳ آنالیز حساسیت به منظور یافتن لاگ های موثر بر پارامتر حجم رس الف) چاه تولیدی و ب) چاه خشک.

محاسبه حجم شیل با استفاده از داده‌های یک لاگ یا ترکیب دو لاگ انجام می‌شود [۵ و ۲۴]. روابط ۵-۲ [۱ و ۲۲]، بر مبنای استفاده از داده‌های لاگ‌های پرتوایی، چگالی، صوتی و نوترون حجم شیل را محاسبه می‌کنند و روابط ۸-۶ [۲۳] و [۲۴]، با استفاده از ترکیب لاگ‌های نوترون-چگالی، نوترون-صوتی و صوتی-چگالی این امر را انجام می‌دهند. جدول ۵، تعریف پارامترهای مورد استفاده در هر رابطه را نشان می‌دهد، پارامترهای روابط نوترون-صوتی و صوتی-چگالی (روابط ۷-۸) به علت تکرار در سایر روابط در جدول درج نشده است. هر رابطه در شرایط خاصی جواب مناسب می‌دهد که این شرایط در جدول ۶ بیان شده است. در ادامه حجم شیل سازند شوربچه با استفاده از روابط ۸-۲ تعیین شد.

$$V_{sh} = I_A = \frac{A_{log} - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} \quad (2)$$

$$V_{sh} = I_A \times \left( \frac{\rho_b}{\rho_{b_{sh}}} \right)^3 \quad (3)$$

$$\varphi_{DTShaly\ sand} = \frac{ITT_{log} - ITT_{matrix}}{ITT_{fluid} - ITT_{matrix}} \quad (4)$$

$$V_{sh} = \frac{\varphi_{DTShaly\ sand}}{\varphi_{DTShale}}$$

$$V_{sh} = \frac{\varphi_{NShaly\ sand}}{\varphi_{NShale}} \quad (5)$$

در این رابطه  $V_{clay}$ ، حجم رس،  $WP_{clay}$ ، درصد وزنی رس حاصل از آنالیز XRD،  $\rho_{sample}$ ، چگالی نمونه،  $\rho_{clay}$ ، چگالی رس و  $\varphi_t$  تخلخل کلی است. لازم به ذکر است، چگالی نمونه‌ها با انجام آزمایش پیکنومتری تعیین شد. جدول ۴، متوسط حجم رس به دست آمده پس از اعمال رابطه (۱) را در زیربخش‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۴ متوسط حجم رس زیربخش‌های  $D_1$  و  $C_2$  سازند شوربچه در چاه‌های تولیدی (A) و خشک (B) با تبدیل نتایج وزنی آنالیز XRD مغزه‌ها به حجم

متوسط حجم رس در چاه B (درصد)		متوسط حجم رس در چاه A (درصد)	
$C_2$	$D_1$	$C_2$	$D_1$
۱۵/۳۸	۱۱/۲۳	۷/۴۰	۶/۷۱

۲-۳- تخمین حجم رس با روش‌های پتروفیزیکی

در ابتدا عمق نمونه‌های مغزه با اعماق متناظر داده‌های پتروفیزیکی تطبیق داده شد و در مواردی که بین اعماق اندازه‌گیری‌های پتروفیزیکی و اعماق نمونه‌های مغزه اختلاف وجود داشت، میانگین نزدیک‌ترین دو قرائت به عنوان مقدار هر لاگ پتروفیزیکی در عمق متناظر با نمونه‌های مغزه محاسبه و لحاظ شد. سپس داده‌های پتروفیزیکی متناظر با اعماق نمونه‌های مغزه به شرح زیر مورد تحلیل قرار گرفت. تصحیح محیطی لاگ‌های پرتوایی طبیعی (پرتو گاما، پتاسیم، توریم و اورانیوم)، نوترون و چگالی توسط منحنی‌های تصحیح‌کننده شرکت شولامبرژه [۲۱] انجام شد و سپس با انجام آنالیز حساسیت، لاگ‌های موثر بر پارامتر حجم رس در هر دو چاه با استفاده از نرم افزار MATLAB نسخه ۷/۱۱/۰ تعیین شد. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت در شکل ۳، لاگ‌های پرتوایی (گاما، پتاسیم و توریم)، نوترون، چگالی و صوتی، در هر دو چاه بیشترین تاثیر را روی پارامتر حجم رس دارند، لذا در ادامه لاگ‌های مذکور مبنای تخمین حجم رس در سازند شوربچه قرار گرفت.

قرائت لاگ پرتو زایی در اعماق شیلی	$A_{max}$		توریم
چگالی کپه‌ای در اعماق دلخواه	$\rho_b$	رابطه (۳)	چگالی
چگالی کپه‌ای شیل	$\rho_{bsh}$		
زمان گذر صوت در اعماق دلخواه	$ITT_{log}$	رابطه (۴)	صوتی
زمان گذر صوت از ماتریکس	$ITT_{matrix}$		
زمان گذر صوت از سیال	$ITT_{fluid}$		
تخلخل صوتی در اعماق دلخواه	$\Phi_{DShaly sand}$		
تخلخل صوتی منطقه شیلی	$\Phi_{DTShale}$		
قرائت لاگ نوترون در اعماق دلخواه	$\Phi_{NShaly sand}$	رابطه (۵)	نوترون
قرائت لاگ نوترون در منطقه شیلی	$\Phi_{Nshale}$		
چگالی ماتریکس	$\rho_{matrix}$	رابطه (۶)	نوترون-چگالی
چگالی سیال	$\rho_f$		
تخلخل چگالی در اعماق دلخواه	$\Phi_{DShaly sand}$		
تخلخل چگالی در منطقه شیلی	$\Phi_{DShale}$		

$$\Phi_{DShaly sand} = \frac{\rho_{matrix} - \rho_b}{\rho_{matrix} - \rho_f} \quad (۶)$$

$$V_{sh} = \frac{\Phi_{NShaly sand} - \Phi_{DShaly sand}}{\Phi_{NShale} - \Phi_{DShale}} \quad (۷)$$

$$V_{sh} = \frac{\Phi_{NShaly sand} - \Phi_{DTShaly sand}}{\Phi_{NShale} - \Phi_{DTShale}} \quad (۷)$$

$$V_{sh} = \frac{\Phi_{DTShaly sand} - \Phi_{DShaly sand}}{\Phi_{DTShale} - \Phi_{DShale}} \quad (۸)$$

ساده‌ترین روش تخمین حجم شیل، استفاده از رابطه خطی شاخص پرتو ( $I_A$ ) است (رابطه ۲). در این روش مقدار قرائت پرتو گاما، پتاسیم و توریم ( $A_{log}$ ) در هر عمق دلخواه بین دو مقدار بیشینه ( $A_{max}$ ) (پاسخ لاگ به ۱۰۰٪ رس) و کمینه ( $A_{min}$ ) (پاسخ لاگ به ماسه تمیز) از ۰٪ تا ۱۰۰٪ به صورت خطی درجه‌بندی می‌شود [۲۳]. با توجه به دامنه وسیع تغییرات لیتولوژی (از ماسه تمیز تا رس خالص) در سازند شوربچه، پاسخ لاگ‌های پرتو زایی در اعماق کاملاً ماسه‌ای و شیلی برای تعیین به ترتیب، کمترین ( $A_{min}$ ) و بیشترین ( $A_{max}$ ) مقدار پرتوی قرائت شده در محاسبه شاخص پرتو ( $I_A$ ) به تفکیک نوع چاه در هر زیربخش استفاده شد (جدول ۷) و مبنای محاسبه حجم شیل بر اساس رابطه (۲) قرار گرفت. برای استفاده از لاگ چگالی برای تخمین حجم شیل (رابطه ۳)، از ضرب شاخص پرتو ( $I_A$ )، محاسبه شده با استفاده از رابطه (۲)، در نسبت به توان ۳ رسانده شده‌ی قرائت لاگ چگالی در هر عمق دلخواه ( $\rho_b$ ) به چگالی کپه‌ای شیل ( $\rho_{bsh}$ ) استفاده شد. برای به دست آوردن چگالی کپه‌ای شیل، داده‌های لاگ چگالی در مقابل پرتوی گاما در اعماق متناظر با ۷۶ نمونه مغزه رسم شد (شکل ۴). در این شکل چگالی مربوط به نمونه‌های با میزان رس بالاتر (پرتو زایی بیشتر) یعنی ۲/۷۵ g/cc، معرف چگالی کپه‌ای شیل است.

جدول ۵ پارامترهای مورد استفاده در روابط تخمین حجم شیل [۱]، ۲۲، ۲۳ و ۲۴

جدول ۶ شرایط مطلوب استفاده از روابط تخمین حجم شیل [۲۵]

شرایط مطلوب	شماره رابطه	نوع لاگ
عدم وجود کانی‌های پرتو زای غیر رسی یا کانی‌های رسی غیر پرتو زای مانند کائولینیت	(۲)	پرتو زایی (پرتو طبیعی گاما، پتاسیم و توریم)
لیتولوژی متغیر	(۳)	چگالی
شیل‌های نواری	(۴)	صوتی
درجه اشباع گاز بالا یا مخازن با تخلخل خیلی کم	(۵)	نوترون
مناطق غیر گازدار	(۶)	نوترون-چگالی
مناطق گازدار با درجه اشباع آب کم	(۷)	نوترون-صوتی
سازندهای تحکیم یافته	(۸)	صوتی-چگالی

تعریف	پارامتر	نوع لاگ
شاخص پرتو	$I_A$	پرتو زایی (پرتو طبیعی گاما، پتاسیم و توریم)
قرائت لاگ پرتو زایی در اعماق دلخواه	$A_{log}$	
قرائت لاگ پرتو زایی در اعماق تمیز (بدون رس)	$A_{min}$	

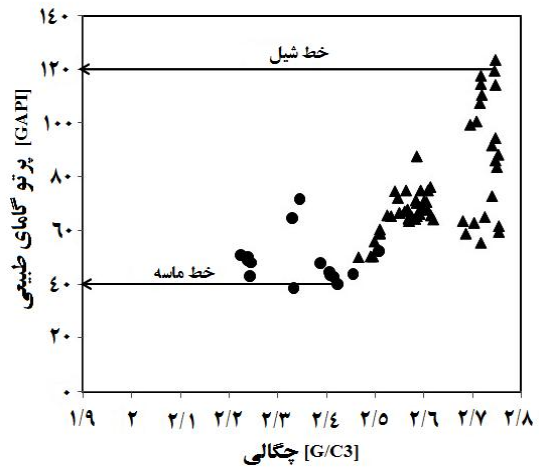
بنابر مطالعات پیشین [۲۶]، میانگین جهانی تشکیل‌دهنده‌های شیل عبارتند از ۵۹٪ کانی‌های رسی، ۲۰٪ کوارتز ریزدانه با اندازه سیلت یا رس همراه با چرت، ۸٪ فلدسپار، ۷٪ کربنات، ۳٪ اکسید آهن، ۱٪ مواد آلی و ۲٪ سایر کانی‌ها. لذا ساده‌ترین تصحیح برای تبدیل حجم شیل به حجم رس، استفاده از ضریب ۰/۶ است [۳]. ضرایب تصحیح دیگری نیز براساس تفاوت‌های توزیع رس در محیط‌های مختلف توسط لارینف [۲۷]، کلاویر [۲۸] و استیبر [۲۹] ارائه شده‌اند که برای تبدیل حجم شیل به حجم رس به کار می‌روند (جدول ۹). لازم به ذکر است با توجه به سن سازند شورجیج، از رابطه اول لارینف که مخصوص سازندهای استحکام‌یافته است، استفاده شد.

جدول ۷ مقادیر بیشینه و کمینه پرتوایی در سازند شورجیج

چاه خشک		چاه تولیدی		گاما (GAPI)	مقدار بیشینه A <sub>max</sub>
C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>		
۱۶۲/۲۴	۱۰۵/۰۱	۱۵۳/۶۰	۱۰۸/۳۵	گاما (GAPI)	مقدار
۴/۷۲	۳/۲۸	۵/۹۹	۵/۳۱	پتاسیم (%)	بیشینه
۱۳/۴۰	۶/۳۷	۱۶/۷۶	۷/۴۰	توریم (ppm)	A <sub>max</sub>
۶۱/۶۸	۶۰/۵۰	۲۸/۵۸	۶۱/۵۱	گاما (GAPI)	مقدار کمینه A <sub>min</sub>
۱/۹۶	۲/۰۶	۱/۴۹	۲/۹۸	پتاسیم (%)	کمینه
۲/۳۲	۳/۰۵	۲/۹۸	۳/۵۹	توریم (ppm)	A <sub>min</sub>

جدول ۸ متوسط مقدار تخمینی حجم شیل در زیربخش‌های مختلف سازند شورجیج با استفاده از داده‌های انواع لاگ‌ها

متوسط حجم شیل در چاه B (درصد)		متوسط حجم شیل در چاه A (درصد)		روش محاسبه	شاخص پرتوایی
C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>		
۴۱/۳۹	۳۶/۱۴	۳۵/۳۲	۳۸/۱۲	پرتو گاما	شاخص پرتوایی
۴۸/۳۷	۴۹/۱۲	۵۸/۱۷	۵۲/۱۹	پتاسیم	
۳۷/۴۵	۲۵/۱۴	۲۹/۱۶	۳۹/۴۱	توریم	
۱۹/۷۴	۱۹/۳۴	۳۳/۹۵	۳۷/۹۳	نوترون	
۴۹/۱۲	۴۰/۱۲	۲۶/۳۷	۲۹/۶۷	چگالی	
۷/۶۰	۱۸/۷۳	۴۵/۰۰	۶۵/۹۹	صوتی	
۱۳/۹۲	۱۲/۴۳	۵/۲۲	۱۴/۰۱	نوترون-چگالی	



شکل ۴ نمودار متقاطع لاگ‌های چگالی - پرتو گاما در اعماق متناظر با نمونه‌های مغزه برای تعیین چگالی کپه‌ای شیل، ● داده‌های چاه تولیدی و ▲ داده‌های چاه خشک

در ارتباط با استفاده از لاگ صوتی برای تخمین حجم شیل (رابطه ۴)، زمان گذر صوت از ماتریکس (ITT<sub>Matrix</sub>)، سیال (ITT<sub>fluid</sub>) و از بخش شیلی سازند با در نظر گرفتن جنس ماسه‌سنگی برای ماتریکس، آب شور بودن سیال و پاسخ لاگ صوتی در اعماق ضخیم لایه‌های کاملاً شیلی، به ترتیب ۵۵، ۱۸۵ و ۹۸/۲۳ میکرو ثانیه بر فوت در نظر گرفته شد. سپس از تقسیم تخلخل محاسبه شده با استفاده از پارامترهای فوق در هر عمق (φ<sub>DTS</sub>shale) بر تخلخل صوتی منطقه شیلی (φ<sub>DTS</sub>shale) که V/V ۰/۳۳۴ است، حجم شیل محاسبه شد. تخمین حجم شیل با استفاده از لاگ نوترون (رابطه ۵)، از طریق تقسیم میزان قرائت این لاگ در هر عمق (φ<sub>N</sub>shale) بر پاسخ نوترون در اعماق کاملاً شیلی (φ<sub>N</sub>shale)، که برابر با V/V ۰/۴۷۹ در نظر گرفته شد، انجام شد. در روش‌های ترکیبی محاسبه حجم شیل با استفاده از لاگ‌های نوترون، چگالی و صوتی (روابط ۶-۸)، مقادیر تخلخل نوترون (φ<sub>N</sub>shale)، چگالی (φ<sub>D</sub>shale) و صوتی (φ<sub>D</sub>shale) شیل به ترتیب برابر با V/V ۰/۴۷۹، V/V ۰/۱۲۹ و V/V ۰/۳۳۴ در نظر گرفته شد. جدول ۷، حجم شیل به دست آمده از روابط ۸-۲ را در زیربخش‌های D<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> سازند شورجیج در دو چاه تولیدی (A) و خشک (B) یکی از میادین شرق حوضه کپه داغ نشان می‌دهد. حجم شیل به دست آمده از روابط ۸-۲ (جدول ۸) با استفاده از روابط تصحیح کننده به شرح مندرج در جدول ۹ به حجم رس تبدیل شد. روابط تصحیح کننده جدول ۹، هر یک بر مبنای فرض خاصی توسعه داده شده است که در مقابل هر رابطه ذکر شده است.

میزان متوسط خطای نسبی (%)	لاگ (تصحیحات)
۲۰-۳۰ %	توریم (ضریب ۰/۶ و استیبر)، پرتو گاما (کلاویر و استیبر)، پتاسیم (استیبر)، چگالی (کلیه تصحیحات)
۳۰-۴۰ %	پرتو گاما (ضریب ۰/۶ و لارینف)، پتاسیم (ضریب ۰/۶، لارینف و کلاویر)، توریم (لارینف و کلاویر)، نوترون (کلیه تصحیحات)
۴۰-۵۰ %	نوترون-چگالی (ضریب ۰/۶ و لارینف)، نوترون-صوتی (ضریب ۰/۶ و استیبر)
۵۰-۶۰ %	صوتی (کلیه تصحیحات)، نوترون-چگالی (کلاویر و استیبر)، نوترون-صوتی (لارینف)، صوتی-چگالی (ضریب ۰/۶)
۶۰-۷۰ %	صوتی-چگالی (لارینف)
۷۰-۸۰ %	نوترون-صوتی (کلاویر)، صوتی-چگالی (کلاویر و استیبر)

در ادامه با استفاده از روش‌های تخمین هوشمند با نرم افزار MATLAB نسخه ۷/۱۱/۰ بهترین رابطه تخمین حجم رس با بالاترین ضریب همبستگی ممکن بین حجم پتروفیزیکی رس و حجم رس کمی حاصل از XRD در زیربخش‌های مختلف سازند شورجه تعیین شد. این رابطه که از این پس به نام تصحیح تجربی از آن یاد می‌شود، از نوع Rational Function به صورت  $Y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$  است که در آن  $a=0$ ،  $b=0/69$ ،  $c=3/90$  و  $d=-3/75$  است.

$$V_{cl} = \frac{0.69V_{sh}}{1+3.9V_{sh}-3.75V_{sh}^2} \quad (9)$$

جدول ۱۱ متوسط حجم رس تخمینی زیربخش‌های مختلف سازند شورجه با استفاده از داده‌های انواع لاگ‌ها پس از اعمال تصحیحات

روش محاسبه		متوسط حجم رس در چاه A (درصد)		متوسط حجم رس در چاه B (درصد)	
		C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>
شاخص پرتوزایی	پرتو گاما	۱۱/۲۵	۱۰/۲۴	۲۸/۷۲	۱۰/۲۴
	پتاسیم	۲۰/۱۲	۳۰/۱۹	۲۸/۱۹	۱۲/۷۸
	توریم	۱۱/۰۸	۱۰/۲۶	۱۶/۷۶	۱۰/۴۳
نوترون		۲۲/۷۶	۲۰/۳۷	۱۱/۸۴	۱۱/۶۱

نوترون-صوتی	۴۴/۱۷	۲۵/۰۵	۲۱/۴۸	۴۷/۲۷
صوتی-چگالی	۱۹/۲۶	۹/۵۸	۸/۸۷	۱۵/۰۶

جدول ۹ ضرایب تصحیح تبدیل حجم شیل به حجم رس [۲۲]

نام ضریب تصحیح	رابطه تصحیح کننده حجم شیل به حجم رس
ضریب ۰/۶ (براساس میانگین جهانی میزان رس در شیل)	$V_{cl} = 0.6V_{sh}$
لارینف (۱۹۶۹) (براساس سن زمین‌شناسی)	$V_{cl} = 0.33[2^{2V_{sh}} - 1.0]$
کلاویر (۱۹۷۱) (رابطه تجربی براساس اختلاف محلی لیتولوژی)	$V_{cl} = 0.083[2^{3.7V_{sh}} - 1.0]$
استیبر (۱۹۷۳) (براساس تفاوت توزیع رس در ماسه سنگ به نسبت شیل)	$V_{cl} = 1.7 - \sqrt{3.38 - (V_{sh} + 0.7)^2}$
	$V_{cl} = \frac{0.5V_{sh}}{1.5 - V_{sh}} = \frac{V_{sh}}{n - (n-1)V_{sh}}$

نتایج حاصل از روابط تصحیح‌کننده با نتایج کمی حاصل از آنالیز مغزه‌های دو چاه B و A (جدول ۴) مقایسه شد و متوسط درصد خطای نسبی هر تصحیح برای روش‌های مختلف با استفاده از انواع لاگ‌ها محاسبه و طبقه‌بندی شد (جدول ۱۰). جدول ۱۱، حجم رس محاسبه شده در زیربخش‌های مختلف سازند شورجه را با استفاده از لاگ‌های مختلف پتروفیزیکی نشان می‌دهد. شایان ذکر است که برای هر لاگ از تصحیحی که در کلاس کمترین خطا با توجه به نتایج جدول ۱۰ قرار می‌گیرد، استفاده شد. در مواردی که دو تصحیح برای یک لاگ در یک کلاس خطا واقع شده است، به مقدار عددی خطا مراجعه شد تا تصحیح با کمترین خطا، ملاک استفاده برای محاسبه نتایج جدول ۱۱ باشد.

جدول ۱۰ طبقه‌بندی لاگ‌ها و تصحیحات پتروفیزیکی تخمین حجم رس براساس متوسط خطای نسبی

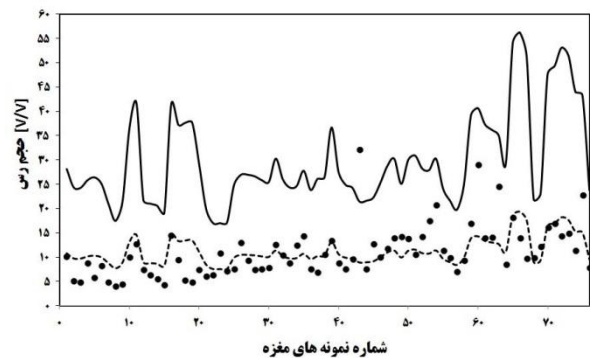


چگالی	۱۵/۷۶	۱۵/۳۲	۱۰/۹۸	۲۷/۵۰
صوتی	۳۹/۵۹	۲۷/۰۰	۱۱/۲۴	۴/۵۶
نوترون-چگالی	۸/۴۰	۳/۱۳	۷/۴۶	۸/۳۵
نوترون-صوتی	۲۲/۵۷	۱۵/۹۵	۸/۷۰	۲۶/۴۳
صوتی-چگالی	۱۱/۵۶	۵/۷۵	۵/۳۲	۹/۰۴

با توجه به شکل ۵، رابطه تصحیح کننده تجربی، زمانی که مقدار رس در محدوده ۲۰-۵٪ باشد، بهترین عملکرد را دارد. نهایتاً، مقدار متوسط حجم رس که با استفاده از اعمال تصحیح تجربی بر رابطه شاخص پرتوی گاما در زیربخش‌های مختلف سازند شوربچه محاسبه و در جدول ۱۲ آورده شد. با مقایسه اعداد جدول ۴ و ۱۲، مشخص است که با اعمال تصحیح تجربی بر داده‌های شاخص پرتوی گاما، کمترین خطای نسبی (۱۵٪) به دست می‌آید.

جدول ۱۲ تخمین متوسط مقدار حجم رس در زیربخش‌های D<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> سازند شوربچه در دو چاه B و A با استفاده از روش شاخص پرتوی گاما و تصحیح تجربی

روش محاسبه	متوسط حجم رس در چاه A (درصد)		متوسط حجم رس در چاه B (درصد)	
	D <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
تصحیح تجربی	۹/۱۲	۹/۵۲	۹/۹۹	۱۴/۵۱



شکل ۵ مقایسه حجم رس محاسبه شده از لاگ پرتو گاما با اعمال تصحیح تجربی (نقطه چین)، حجم شیل به دست آمده از لاگ پرتو گاما یعنی شاخص پرتوی گاما (خط ممتد) و حجم رس حاصل از آنالیز مغزه ها (●)

دو بخش C و D، از ضخیم‌ترین بخش‌های سازند شوربچه در میدان مورد مطالعه محسوب می‌شوند (جدول ۱) که لیتولوژی ناهمگنی به صورت مخلوطی از ماسه، رس، اکسید آهن و انیدریت دارند. با توجه به طبقه‌بندی نتایج آنالیز مغزه (شکل ۲ و جدول ۳)، اکثریت قریب به اتفاق نمونه‌ها در زیربخش‌های مختلف چاه تولیدی کمتر از ۱۰٪ رس دارند و لذا سازند شوربچه در این چاه بنابر تعاریف تمیز محسوب می‌شود. این در حالی است که در چاه خشک، درصد قابل توجهی از نمونه‌ها، ۳۳-۱۰ رس دارند و از این لحاظ سازند شوربچه در این چاه در رده ماسه شیلی قرار می‌گیرد. با بررسی نتایج آنالیز حساسیت لاگ‌ها و حجم رس حاصل از آنالیز مغزه‌ها (شکل ۳) مشخص است، چهار لاگ پرتوژی (علی‌الخصوص پرتو گاما)، چگالی، نوترون و صوتی، بیشترین تاثیر را بر پارامتر حجم رس در این سازند دارند. علت دارا بودن بیشترین ضریب تاثیر بر حجم رس توسط لاگ پرتو گاما، بر پایه مطالعات کانی‌شناسی این سازند [۳۰]، به دلیل (۱) عدم وجود یا وجود حداقلی کانی‌های غیر رسی پرتوزا از قبیل میکا و فلدسپارهای قلیایی، (۲) وجود حداقلی کانی‌های رسی غیر پرتوزا مانند کائولینیت و کلریت (۳) عدم وجود شکستگی‌های طبیعی، (۴) عدم وجود کانی‌های سنگین مانند زیرکن، مونازیت و غیره، (۵) عدم وجود دولومیت پرتوزا، (۶) عدم وجود ماده آلی مایع می‌باشد. مجدداً بر مبنای مطالعات کانی‌شناسی این سازند [۳۰]، کانی رسی غالب سازند شوربچه در هر دو چاه به ویژه چاه خشک از نوع ایلیت است که همین امر دلیل تاثیر شگرف این لاگ در هر دو چاه بر پارامتر حجم رس را توجیه می‌نماید. به طور کلی، به دلیل وجود پتاسیم پرتوزا در اغلب کانی‌های رسی و جذب سطحی کاتیون‌های پرتوزا، مجموعه لاگ‌های پرتوژی (پرتوی طبیعی گاما و مولفه‌های طیفی آن شامل پتاسیم و توریم) در زمره بهترین لاگ‌های شاخص زون‌های حاوی کانی‌های رسی به شمار می‌روند. لاگ اورانیوم که بیشتر معرف وجود شکستگی‌های طبیعی یا وجود مواد آلی در سازندهاست، در سازند شوربچه ارتباط چندانی با حجم رس ندارد (شکل ۳). کانی‌های رسی با داشتن گروه‌های هیدروکسیل متعدد، موجب افزایش قرائت لاگ نوترون می‌شوند و لذا از این طریق به خوبی توسط این لاگ، قابل شناسایی هستند. چگالی کانی‌های رسی بر حسب نوع، شرایط رسوبگذاری، درجه تحکیم، خشک یا تر بودن متغیر است و از این لحاظ بر لاگ چگالی تاثیرگذارند. وجود رس، زمان سیر امواج صوتی را افزایش می‌دهد که این اثر در سازند شوربچه قابل توجه بوده است. در روش‌های ترکیبی از تاثیر متقابل کانی‌های رسی بر دو لاگ برای تخمین مقدار و شناسایی مناطق شیلی استفاده می‌شود. دلیل کم بودن ضریب

ادامه، اعتبارسنجی تخمین‌های پتروفیزیکی، با مقایسه نتایج این تخمین‌ها با نتایج آنالیز کمی ۷۶ مغزه از زیربخش های D<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> سازند شورپیجه در دو چاه تولیدی و خشک در یکی از میداین شرق کپه داغ، انجام شد و بهترین لاگ شاخص رس و بهترین رابطه تصحیح‌کننده معرفی شدند. نهایتاً رابطه‌ای محلی با کمترین خطای تخمین برای تخمین حجم رس در سایر چاه‌های میدان توسعه داده شد. براساس نتایج آنالیز مغزه، سازند شورپیجه در چاه تولیدی تمیز و در چاه خشک، ماسه شیلی است. لاگ‌های پرتوزایی (پرتو گاما، پتاسیم و توریم) و چگالی بهترین لاگ‌های تخمین حجم رس در منطقه محسوب می‌شوند. از میان تصحیحات پیشین، تصحیح استیبر بهترین عملکرد را دارد و رابطه تصحیح تجربی با برتری قاطع بر سایر تصحیحات کمترین خطای تخمین حجم رس (<15٪) را دارد.

### مراجع

1. Ellis, D. V., Singer, J. M., 2008, "Well Logging For Earth Scientists", 2<sup>nd</sup> edition, Springer Publication, 692 p.
2. Sahabi, F., 2009, "Sedimentary Petrology", 6<sup>th</sup> edition, University of Tehran Publication, 266 p.
3. Bhuyan K., and Passey Q. R., 1994, "Clay estimation from GR and Neutron –Density porosity logs", SPWLA 35<sup>th</sup> Annual Logging Symposium, Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts.
4. Kamel, M. H. and Mabrouk, W. M., 2003, "Estimation of shale volume using a combination of three porosity logs", Journal of Petroleum Science and Engineering. 40(3), pp.145-157.
5. Adeoti, L., Ayolabi E.A., James, P.L., 2009, "An Integrated Approach to Volume of Shale Analysis: Niger Delta Example, Orire Field", World Applied Sciences Journal. 7(4), pp. 448-452
6. Hamada G.M., 1996, "An Integrated Approach to determine shale volume and hydrocarbon potential in shaly sands in the Gulf of Suez", SCA Conference Paper.
7. Mortazavi, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., & Nadjafi, 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.
8. 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.
9. 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,

تاثیر سایر لاگ‌ها بر حجم رس، احتمالاً شعاع جستجوی کم ابزار چاه‌پیمایی یا عدم توانایی تحت تاثیر قرار دادن گرفتن توسط میزان اندک رس موجود در چاه‌هاست. از آنجا که بر اساس مطالعات تفصیلی این سازند [۳۰]، شرایط مطلوب برای استفاده از روابط محاسبه حجم شیل (جدول ۶) وجود دارد، لذا این روابط مبنای محاسبه حجم شیل برای سازند شورپیجه قرار گرفت. براساس نتایج جدول ۱۰، لاگ‌های پرتوزایی (پرتو گاما، پتاسیم و توریم) و چگالی بهترین لاگ‌های تخمین حجم رس در منطقه محسوب می‌شوند که این امر با توجه به نتایج آنالیز حساسیت و همچنین آنالیز تفصیلی کانی‌شناسی تحت الارضی این سازند [۳۰] که در آن ایلیت کانی رسی غالب تشخیص داده شده است، کاملاً سازگار است. علت ضعف روش نوترون در تخمین صحیح حجم رس این سازند، احتمالاً به علت وجود هیدروکربور گازی در یکی از چاه‌های مورد مطالعه است. به طور کلی، میزان کانی‌های رسی سازند در مقایسه با سایر کانی‌ها اندک است [۳۰] و از این رو تفاوت شاخصی بین هدف (شناسایی کانی‌های رسی) و زمینه ایجاد نشده است تا ابزارهای پتروفیزیکی به درستی قادر به تخمین صحیح آن باشند. تصحیح استیبر با توجه به جدول ۱۰ بهترین عملکرد را دارند که این امر به دلیل فرض حاکم بر این روابط است که کاملاً سازگار با شرایط این مطالعه است. با استفاده از تصحیح تجربی که بر مبنای رابطه رگرسیون غیر خطی بین داده‌های حجم رس آزمایشگاهی و شاخص پرتو گاما به دست آمده است، کمترین خطای تخمین (<15٪) حاصل می‌شود. برتری تصحیح تجربی بر سایر روابط تصحیح‌کننده که توسط محققان پیشین (جدول ۹) ارائه شده است در فرضی است که بر مبنای آن توسعه داده شده است. این فرض، بر مبنای در نظر گرفتن میانگین جهانی مقدار متوسط رس در شیل است و سبب می‌شود تا برای حجم شیل برابر با یک، حجم رس ۶۰٪ تخمین زده شود، این در حالی است که به استثنای ضریب ۰/۶ سایر روابط، به ازای حجم شیل ۱، حجم رس را ۱۰۰٪ تخمین می‌زنند. تصحیح تجربی به علت ایجاد رابطه غیر خطی بر ضریب تصحیح‌کننده ۰/۶ نیز برتری دارد. زیرا لاگ‌های پتروفیزیکی عمدتاً رابطه خطی با حجم رس ندارند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت، در این منطقه رابطه تصحیح تجربی در مقادیر ۲۰-۵٪ رس بهترین عملکرد را دارد.

### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، حجم شیل سازند شورپیجه با استفاده از هفت رابطه پتروفیزیکی و داده‌های شش لاگ تخمین زده شد. سپس نتایج با استفاده از چهار رابطه تصحیح‌کننده که توسط محققان پیشین ارائه شده است به حجم رس تبدیل شد. در

21. R&D of Schlumberger, 2009, "*Schlumberger Chart Book*", Schlumberger Educational Services, France, 293 p.
22. Dresser Atlas, 1982, "*Well logging and interpretation techniques*", Dresser Atlas Industries, Houston, TX., USA, 107 p.
23. Dewan, J. T., 1983, "*Essentials of modern open hole log interpretation*", PennWell Books, Tulsa, Oklahoma, USA, 361 p.
24. Causey, G. L., 1991, "*Computer determination and comparison of volume of clay derived from petrophysical and laboratory analysis*", Master thesis, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA, 148 p.
25. Fertl, W. H., 1987, "*Log-derived evaluation of shaly clastic reservoirs*", Journal of Petroleum Technology, **39**(2), pp. 175-194.
26. Yaalon, D. H., 1962, "*Mineral composition of the average shale*", Mineralogical Magazine. **5**(27), pp. 31-36.
27. Larionov, V. V., 1969, "*Borehole radiometry*", Nedra, Moscow, 326 p.
28. Clavier, C., Hoyle, W.R., Meunier, D., 1971 "Quantitative interpretation of TDT logs: Parts I and II" Journal of Petroleum Technology. **23**(6), pp. 743- 763.
29. Steiber, R.G., 1973, "*Optimization of shale volumes in open hole logs*", Journal of Petroleum Technology. **31**(3), pp. 147- 162.
30. Jozanikohan G., Sahabi, F., Norouzi Baghkemeh, Gh.H., & Memarian, H., 2014, "*Evaluation of clay content of Shurijeh reservoir Formation using core analysis in Gonbadly gas field, eastern Kopet-Dagh Basin*", Approved for publication in the Ulum-I-Zamin, Scientific Quarterly Journal, Acceptance letter date: 17/03/2014, Letter No. 92-119-P.
10. Jamali, A.M., Sadeghi, A., & Adabi, M.H., 2011, "*Shurijeh Formation facies and sedimentary environment in Hamaghaleh and south of Kalat-e-Naderi sections*", Quaterly journal of Iran's Geology. **5** (17), pp. 87-102.
11. 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.
12. 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.
13. 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 17<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran, Shahid Beheshti University.
14. 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). **15**(57), pp. 327-340.
15. 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 5<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran, University of Tehran.
16. Zadmoghadasi, A., Hasani, H., Ataiepour, M., Sarkheyl, H., Moradi, B., Sarmadi, R., 2014, "*Petrophysical properties modeling using of fractal geometry in case of Shorijeh reservoir in Khangiran hydrocarbon field*", 32<sup>nd</sup> National and the 1<sup>st</sup> International Geosciences Congress: Petroleum Geology, National Iranian South Oilfields Company, Ahwaz, Iran.
17. 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.
18. Afshar-e-Harb, A., 1994, "*Geology of Iran: Geology of Kopet-Dagh* ", Geological survey of Iran publication, 275 p.
19. NIOC (Exploration Directorate), 1986. "*Gonbadli geological well completion report*", National Iranian Oil Company records, 23 p.
20. Jozanikohan, G., 2013, "*XRD identification of clay minerals*", Setayesh Publication Institute, 150 p.

