

ژئوشیمی مخزن :

پل ارتباطی بین زمین شناسی مخزن و مهندسی مخزن

محمد کسایی نجفی

خلاصه

این مقاله ضمن آرایه خلاصه‌های از کاربردهای ژئوشیمی در مطالعات توصیف مخزن، تأکید می‌کند که ترکیبات نیتروژنی و اکسیژنی نفت به دلیل داشتن کنش و واکنش با سطح کانی‌ها و آب، تأثیر مهمی بر روی خواص فشار/حجم/دم (PVT)، گرانروی و ترشوندگی مخزن دارند. توزیع این ترکیبات در مخزن در مقیاسی کمتر از یک متر غیرهمگن است و تا حدی توسط تغییرات کیفیت

مخزن کنترل می‌شود.

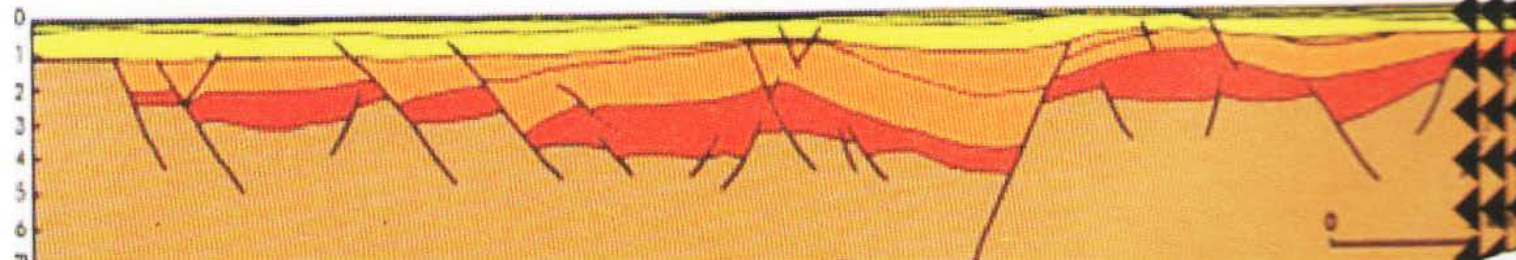
مقدمه

به طور سنتی، ژئوشیمی سیالات (به جز چند مورد استثنایی) در مطالعات مهندسی مخزن، نقش مهمی را ایفا نکرده است. اما از سال ۱۹۸۵ به بعد کانون کاربرد ژئوشیمی در صنعت نفت از تمرکز بر روی اکتشاف به سمت توصیف مخزن و تولید پیش‌رفته است. به این کانون جدید «زمین‌شناسی مخزن» اطلاق می‌شود که اخیراً توسط "Alpin و Larter" مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه با این که ژئوشیمیست‌ها هم با سنگ مخزن و هم با سیالات درون آن سروکار دارند، ژئوشیمی مخزن ارتباطی طبیعی بین زمین‌شناسان مخزن و مهندسان مخزن و یا نفت برقرار می‌نماید. هدف این مقاله، خلاصه کردن پیشرفت‌های اخیر در دانش ژئوشیمی مخزن و بحث در مورد

کاربردهای فعلی و بالقوه آن در نفت و مهندسی مخزن است.

وضعیت فعلی

متدهای به کار گرفته شده در ژئوشیمی مخزن مشابه متدهایی است که در طول سال‌های متمادی توسط ژئوشیمیست‌های سنتی نفت به کار گرفته است. نمونه‌های مورد مطالعه در این مبحث عبارتند از نمونه‌های سیالات آزمایش چاه (well-test fluids) و مواد جداسازی شده از مغزه‌ها و یا تراشه‌های حفاری توسط حلال یا آب بدون یون. تنها تفاوت در مدت مطالعات ژئوشیمی مخزن با مطالعات ژئوشیمی معمولی این است که در مطالعات ژئوشیمی مخزن تعداد نمونه‌های مورد آزمایش بیشتر است، به طوری که علاوه بر نمونه‌های سیال در دسترس چند صد نمونه از مواد جداسازی شده از مغزه‌ها مورد آنالیز قرار می‌گیرند. جمع‌آوری و



نگهداری صحیح نمونه‌ها اساس یک کار ژئوشیمی مخزن به شمار می‌رود. در صورتی که تشخیص و درک تغییرات مشاهده‌شده در زمان تولید مورد نظر باشد، مطالعات اولیه برای تعیین خط مبنای تولید (early baseline studies) مطلوب است.

پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های آنالیزی امروزه امکان تولید نمودارهای ترکیبی سه بعدی با دقت بالا را به صورت سریع و ارزان (به طور زود هنگام در زمان توصیف مخزن) فراهم ساخته‌اند. برای تعیین ویژگی‌های نفت‌ها و نمک‌های پسمانده در مخازن، سه روش توسط "Alpin و Larter" تعیین شده است. دوروش از آنها به اضافه چند کاربرد در شکل ۱ نشان داده شده است.

با استفاده از دستگاه‌هایی از قبیل ایتروسکن (Iatroscaan) در حال حاضر امکان محاسبه رتبه (Level) و ترکیب کلی (bull composition) نفت به صورت روتین، سریع و ارزان ممکن شده است. با استفاده از این روش می‌توان هم لاگ اشباع نفت (قابل مقایسه با اندازه‌گیری‌های لاگ الکتریکی) و هم لاگ ترکیب آن را به

دست آورد. با استفاده از این لاگ‌ها می‌توان پدیده‌هایی مانند سطح تماس نفت با آب و لایه‌های قبری کوچک (mini-tar mats) را تشخیص داد. این متد، امکان بررسی سریع مخزن با استفاده از دستگاه ارزیاب سنگ مادر (Rock Eval) را ارائه داده و امکان برآورد تغییرات در کیفیت نفت را در سرتاسر مخازن دارای مخازن دارای نفت سنگین و همچنین سبک فراهم کرده است. تشخیص لایه‌های قبری کوچک از آن جهت اهمیت حیاتی دارد که این لایه‌های قبری می‌توانند به عنوان زون تراوایی کند و یا مانعی برای جریان سیال عمل کنند (شکل ۲).

سیستم‌های اتوماتیک کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی / طیف‌سنجی جرمی با تبخیر حرارتی که توان تولید داده‌های با کیفیت بالا را با طور مستقیم از مغزه‌ها دارند، تحول شگرفی را در کاربردهای ژئوشیمی مولکولی در مطالعات ژئوشیمی مخزن به وجود آورده‌اند. این سیستم‌ها امکان تولید لاگ‌هایی از پارامترهای هیدروکربوری شامل بیومارکرها یا آروماتیک‌ها را با دقتی در

مقیاس متری و با سرعتی برابر با یک نقطه داده‌ای در ساعت فراهم می‌کنند. با استفاده از لاگ‌های ژئوشیمیایی مولکولی تفصیلی که از این گونه سیستم‌ها حاصل می‌شوند، می‌توان ستون نفت را از نظر ترکیب تقسیم‌بندی کرد که این تقسیم‌شدگی گاهی ممکن است به عنوان نشانی از وجود یک مانع برضد جریان نفت تعبیر و تفسیر شود. درستی این تعبیر و تفسیر با مشاهده افزایش‌های ناگهانی فشار در جهت تقسیم‌بندی‌های تشخیص داده شده تقویت می‌شود. فایده داده‌های ژئوشیمیایی در این است که می‌توان آنها را قبل از انجام آزمایش‌های فشار "RFT" انجام داد و می‌توان از آنها برای تصمیم‌گیری در مورد ارزش انجام این آزمایش‌ها استفاده کرد. مطابقت ترکیباتی که بر اساس سیال‌های تولیدی تعیین می‌شوند با آنهایی که از نمودارهای ترکیبی قبل از تولید پیش‌بینی می‌شوند کاری است که هنوز بایستی به طور گسترده انجام شود و ممکن است برای آزمودن اعتبار مدل‌های تولید مبتنی بر داده‌های مهندسی، زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی آزمون تعیین‌کننده باشد.



شده است. بر روی کلیه لاگ‌ها در مرزهای بخش‌های "ED" و "EE" مربوط به سازند تور (Tor) وقفه‌هایی یا بخش‌هایی قابل تشخیص هستند. بر اساس داده‌ها ژئوشیمیایی وجود یک مانع در مخزن تشخیص داده شد.

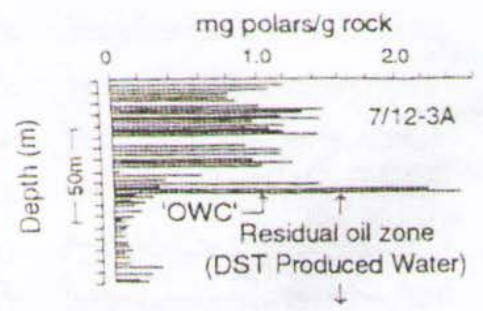
تعیین ترکیب ایزوتوپی استرانیوم $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در نمک‌های رسوب یافته از تبخیر آب‌های سازندی و یا آب پس داده شده از مغزه‌ها در زمان نگهداری، به ژئوشیمیست مخزن این امکان را می‌دهد که اطلاعاتی با دقت بالا در مورد ناهمگنی (heterogeneity) آب موجود در مخزن به دست آورد. تقسیم‌بندی‌های ترکیبی آب در جهت ناپوستگی‌های زمین‌شناسی حاکی از این است که این ناپوستگی‌ها به عنوان مانعی موثر بر ضد جریان دیگر سیال‌ها عمل می‌کنند. رود تغییرات این نسبت به طرف پایین ستون در طول ستون نفت نشانگر تکامل آب سازند در طول زمان پرشدن مخزن است و می‌توان از آن برای مطالعه

شکل ۱. تعدادی از کاربردهای روش‌های ژئوشیمی مخزن.

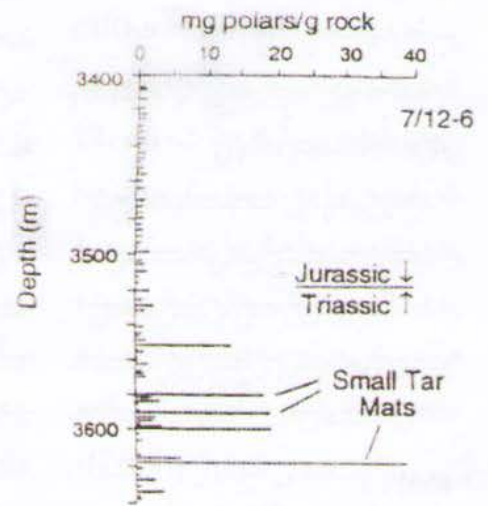
الف- مثالی از کاربرد لاگ‌های ژئوشیمیایی ایتروسکن. در این نمودار لاگ مقادیر ترکیبات قطبی (رزین و آسفالتن) از مغزه‌های حوضه نفتی یولا (Ula) نشان داده شده است که در آن سطح تماس نفت-آب مشخصی را می‌توان دید.

ب- ترکیبات قطبی در سازندهای یولا و اسکاجرک در چاه 7/12-6 حوضه نفتی یولا. در ستون مربوط به تریاس چندین زون دارای مقادیر زیادی از ترکیبات قطبی دیده می‌شود. این زون‌ها نشان‌دهنده وجود لایه‌های قیری کوچک (mini tar mats) در داخل ستون نفت‌اند که بر روی پدیده‌های زمین‌شناسی مشخصی به وجود آمده‌اند.

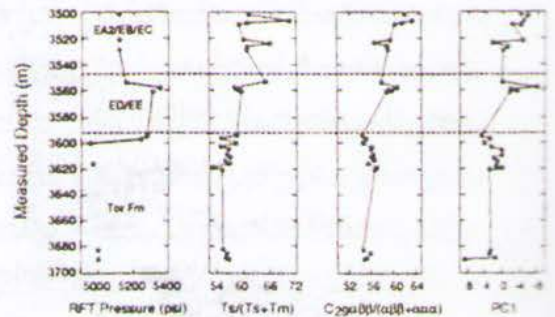
پ- نمودارهای داده‌های ژئوشیمیایی و مهندسی در طول یک چاه در حوضه نفتی الدفیسک (Eldfisk) شامل نمودارهای فشار "RFT" نشانه‌های زیستی (بیومارکرها) و PCI (خلاصه پارامترهای ژئوشیمیایی به دست آمده از آنالیز یک سری از داده‌های بیومارکرها). داده‌های ژئوشیمیایی به دست آمده از دستگاه GC/MS در متن توضیح داده



شکل ۱ - الف

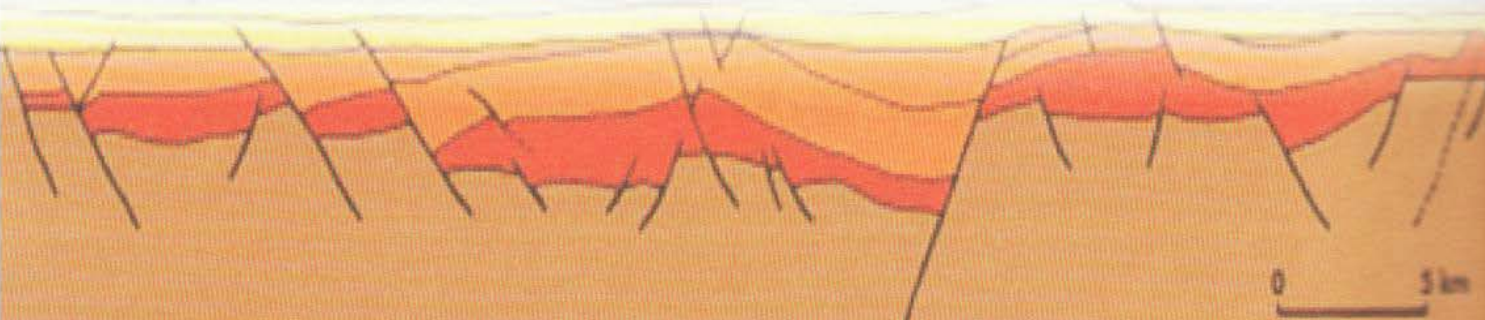


شکل ۱ - ب

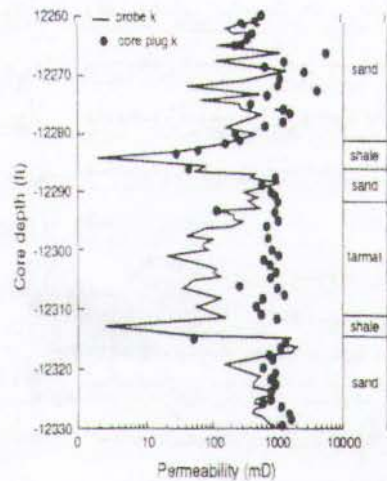


شکل ۱ - پ

شماره ۱۴ - شهریور ۱۳۸۳



تفصیلی سرگذشت پرشدگی مخزن استفاده کرد.



شکل ۲. لاگ یک مغزّه که هیدروکربورهای آن جداسازی نشده (به صورت خط) و لاگ تراوایی یک پلاگ مغزّه‌ای (به صورت نقطه) که از یک پلاگ شستشوشده توسط حلال به دست آمده، نشان داده شده است. این لاگ‌ها نشان می‌دهند که برخلاف ماسه سنگ اصلی مخزن لایه‌های قیری (که براساس مطالعات ژئوشیمیایی تشخیص داده شده‌اند) کاهش تراوایی مشخصی دارند.

در حالی که روش‌های جدید بر توان ما در تعیین ویژگی‌های مخازن تاثیر مهمی داشته است، روش‌های سنتی استفاده از نشانه‌های زیستی

(بیومارگرها) همراه با آنالیز داده‌های چندگانه و متنوع نیز کاربردهای جدیدی را در تعیین گسترش مخزن و تشخیص نشت در سیستم لوله‌بندی تولید یافته‌اند.

تغییرات شیمی آب در طول یک ستون نفت به‌طور فزاینده‌ای توسط ژئوشیمیست‌های مخزن مورد بررسی قرار گرفته است.، گرچه این اطلاعات معمولاً در مطالعات مخزن گنجانده نمی‌شود. در حوزه‌های نفتی، اندازه‌گیری شوری سیال‌های آبی که در انکلوژیون‌ها (حباب‌های کوچکی که در زمان رسوب کانی‌های دیاژنزی به تله می‌افتند) نشان می‌دهد که در طول زمان ممکن است شوری آب دستخوش تغییرات زیادی گردد. شواهد به دست آمده از مطالعات ما بر

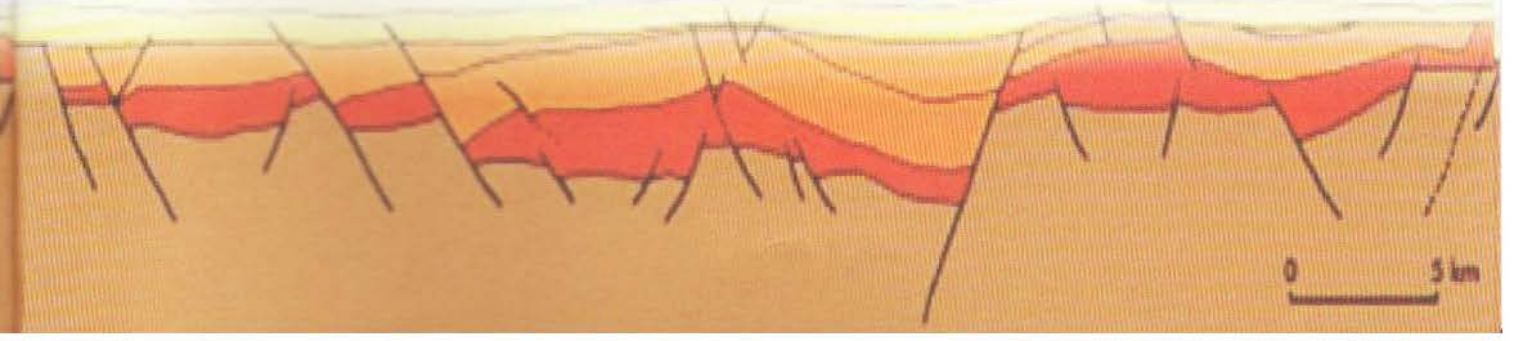
روی انکلوژیون‌های سیالات موجود در رسوبات یکی از حوزه‌های نفتی دریای شمال نشان می‌دهد که در زمان پرشدن مخزن، شوری بین چهار تا ۲۵ درصد متغیر بوده است. این امر نشان می‌دهد که آب‌های پسمانده (residual waters) که در ستون نفتی حبس شده‌اند نیز دارای شوری متغیر هستند. مطالعات Coleman نشان داد، آبی که در ستون نفت حوضه‌ای در دریای شمال به تله افتاد از

نظر ترکیب شیمیایی با آبی که در ستون آب به تله افتاد متفاوت است. اندازه‌گیری شوری آب‌های قدیمی به تله افتاده غلظت کلراید را 25 mg/l هزار نشان می‌دهد در حالی که رد آب‌های سازندی عصر حاضر mg/l ۶۰ هزار است. این اطلاعات ما را وادار ساخته است که در مورد دقت محاسبات مقدار نفت در جا (Oil In Place-OIP) تجدیدنظر کنیم زیرا این محاسبات با استفاده از لاگ مقاومت و به کارگیری معادله آرچی انجام می‌شوند. در این صورت فرض کردن این که آب پسمانده در ستون نفت مانند نفت پسمانده در ستون آب است موجب می‌شود که محاسبات مربوط به مقدار نفت در جا با ۱۰٪ خطا انجام شود.

به طور خلاصه روش‌های ژئوشیمی مخزن را می‌توان به عنوان یک مکمل مقرون به صرفه در روش‌های سنتی توصیف‌مزن و دستورالعمل‌های پایش (monitoring) و همچنین برای بعضی از اطلاعات به عنوان جایگزینی برای روش آزمایش چاه به کار برد.

کاربرد در مهندسی مخزن و نفت
گرچه ژئوشیمی مخزن در بعضی از

۱۴
شماره ۱۳ - شهریور ۱۳۸۳



مطالعات مربوط به اکتشاف، توصیف مخزن و تولید نفت به کار می‌رود ولی استفاده از این اطلاعات ژئوشیمیایی در دستورالعمل‌های شبیه‌سازی، اندک بوده است. این امر با توجه به این که ستون‌های نفت هتروژن بوده و خواص فیزیکی سیال‌ها در مطالعات شبیه‌سازی مخزن نقشی کلیدی را ایفای می‌کنند مایه شگفتی است.

ارتباط بین سیال‌های تولیدشده و انباشته‌شده در مخزن

علی‌رغم این که نفت از نظر مواد هیدروکربنی غنی است ولی این غیرهیدروکربن‌ها (ترکیبات غنی از نیتروژن، سولفور و اکسیژن) هستند که ممکن است در حل مشکلات مربوط به تولید نفت نقش کلیدی را ایفاکنند. نفت جداسازی شده از مغزه‌های دریای شمال، حاوی ۴۰ درصد ترکیبات غیرهیدروکربنی است. مقدار این ترکیبات در نفت تولیدشده کمتر از ۲۵ درصد است. به طور مثال، غیرهیدروکربورهای جداسازی شده از مغزه‌های مخزن گچی الدفیس در دریای شمال - که در آن هم مقدار ماده آلی در جازا و هم کانی‌های رسی پایین است - حاوی ۳۰ تا ۴۰ درصد غیرهیدروکربن است. مقدار این

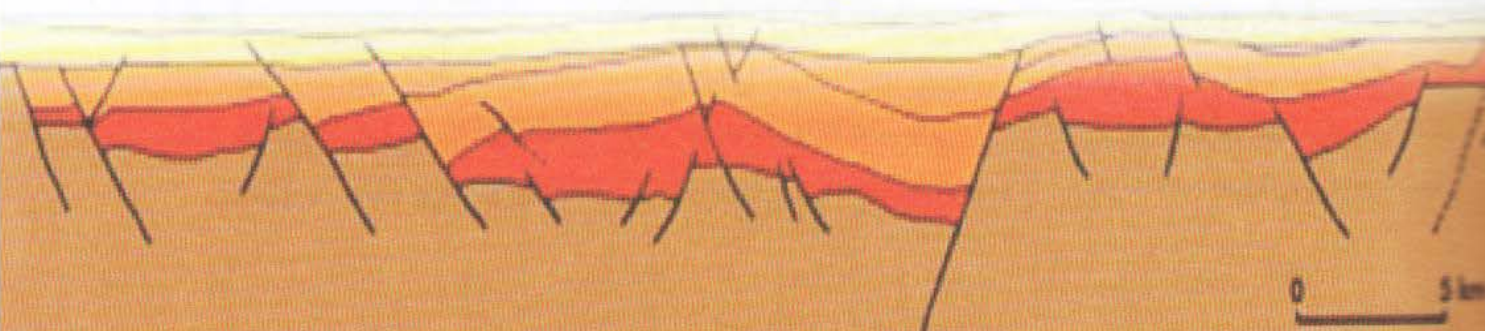
ترکیبات در نفت تولیدشده بین ۱۰ تا ۲۰ درصد است. موقعیت فیزیکی این غیرهیدروکربن‌های اضافی و ارتباط فازی آنها با نفت تولیدشده روشن نیست. همچنین میزان تاثیر بر روی خواص تحت‌الارضی سیال‌های قابل جدا شدن در طی زمانی در مقیاس زمان تولید شده روشن نیست. همچنین میزان تاثیر بر روی خواص تحت‌الارضی سیال‌های قابل جدا شدن در طی زمانی در مقیاس زمان تولید مشخص نیست. اما اگر این نفت‌های غنی از ترکیبات قطبی‌ها به سیال‌های قابل تولید ارتباط داشته باشند، این امر نشان‌دهنده این است که خواص فیزیکی تحت‌الارضی از قبیل bubble point و گرانروی، در مقایسه با خواص تعیین شده از آنالیز نفت تولیدی می‌تواند متفاوت باشد. به طور سنتی، اختلاف بین نتایج شبیه‌سازی مخزن با نتایج حاصل از بررسی سوابق تولید، به عدم آگاهی دقیق از خواص سنگ مخزن نسبت داده می‌شود و نه به سیال‌های انباشته شده در آن. در هر حال اختلاف و عدم قطعیت در مورد ترکیب و خواص فیزیکی سیال‌های تحت‌الارضی، حاکی از لزوم در نظر گرفتن اختلاف در خواص سیال

هنگام انجام آنالیزهای حساسیت در مطالعات کارایی مخزن است.

اخیراً Staddart و همکارانش داده‌هایی را ارائه کرده‌اند که حاکی از آن است که حداقل مقداری از هیدروکربورهای تولید نشده به سختی جذب سطح سنگ مخزن می‌شوند. آنان نشان داده‌اند که توزیع ترکیبات نیتروژنی (آلکیل کاربازول‌ها و آلکیل بنزو کاربازول‌ها) در نفت‌های جداسازی شده از مغزه‌های مخزن گچی الدفیسک در مقیاس یک متر متغیر است. این امر حاکی از آن است که غیرهمگن بودن از نظر ترکیب در نفت‌های جداسازی شده از مغزه‌ها، به جای تاثیر بر روی خواص PVT سیال‌های مخزن، بر روی ترشوندگی مخزن اثر می‌گذارد. اختلاف آشکار در ترکیب نفت‌های جداسازی شده از مغزه‌ها با نفت تولیدی حاکی از آن است که هر دوی خواص فیزیکی نفت و وضعیت مخزن از نظر ترشوندگی ممکن است در هر دو مقیاس کوچک (تخلخل) و بزرگ (بلوک گسلی) متفاوت باشد. ■

ادامه دارد

شماره ۱۴ - شهریور ۱۳۸۳



0 5 km