



Research Article

Determination of physicochemical properties and API of Asmari reservoir in Ahvaz oil field using petroleum inclusions study

Alireza Zarasvandi¹, Bahram Alizadeh², Abbas Maraveneh^{*2} , Mohammed Hussain Heidarifard³

1-Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2-Petroleum Geology and Sedimentary Basins Department, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3-National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

Received: 26 Oct 2022 Accepted: 04 May 2023

Extended Abstract

Introduction: Fluid inclusions provide valuable evidence of the formation temperature of minerals, the pressure on their formation environment, the fluids densities that make up the minerals, and the chemical composition of the mineralizing fluids. This data can be used to interpret temperature history, maturity, determination of diagenetic environment, cementation timing, and hydrocarbon migration related to burial history.

Materials and methods: In this study, 19 double-polished sections prepared from Asmari reservoir cores of 7 wells from Ahvaz field (AZ) were used. After the preliminary investigation, 54 fluid inclusions were selected for microthermometric studies. All microthermometric data were obtained using cooling and heating operations on the involved fluids using a Linkam THMSG 600 model stage placed on an Olympus microscope. In addition, in order to determine the amount of UV reflection in the fluids involved, the U-RFL-T model UV light source placed on the Olympus microscope was used. LABRAM model (ISA Jobin Yvon) of Montanuniversitat University was used to perform laser Raman spectroscopy analysis.

Results and discussion: Petrographic studies: All the samples were subjected to petrography study, which is in terms of the types of single-phase gas, single-phase liquid, two-phase liquid-rich (oil) intermediates. In terms of origin, it can be seen in different and varied types, primary and secondary false.

Microthermometric studies: The homogenization temperature of fluid inclusions is between 50 and 362 degrees Celsius. The samples of the Asmari reservoir show the melting temperature of the last ice crystal between -22 and 13.9. The degree of salinity is calculated to be 0.16 to 35% by weight equivalent to table salt.

API study: 54 fluid inclusions selected from the Asmari reservoir in Ahvaz field were analyzed by API. The frequency of reflective color is related to green with a value of 55%, (30-40 API degrees) has a density of 0.82 to 0.74 g/cm³, which generally indicates oil with a light density. and the value of 40% belongs to blue color (40-50 API degree), which indicates a density of less than 0.74 g/cm³, is considered an extremely light oil. and only 5% of these colors belong to the yellow color (20-30 API degree), which indicates the density of 0.9 to 0.82 g/cm³, it is considered a medium density oil.

Raman spectroscopy: The calculation of liquid phase salinity in petroleum inclusions cargoes using the Raman laser spectroscopy method is dependent on the geometric shape of the spectrum obtained from the liquid phase present in the petroleum inclusions. According to the Cauchy-Lorentz scattering, the Raman spectrum for pure water shows three peaks at cm-13220, cm-13433 and cm-13617.

Conclusion: Based on the physicochemical properties of the Asmari reservoir, it shows two temperature ranges, which can be concluded that this reservoir was charged during two phases in two different time periods. One of the reasons confirming this conclusion can be mentioned that the oil of this reservoir has two origins. Also, based on the composition of the phases in the fluid inclusions (two-phase, three-phase with oil, etc.), it is possible to predict the path of charging the reservoir.

Keywords: Physicochemical properties, Asmari reservoir, Fluid inclusions, Ahvaz oil field, API.

Citation: Alireza Zarasvandi, Bahram Alizadeh, Abbas Maraveneh, Mohammed Hussain Heidarifard (2023). Determination of physicochemical properties and API, *Res. Earth. Sci.* 14(4), (110-120) DOI: 10.48308/ESRJ.2022.102410

* Corresponding author E-mail address: abbasmaraveneh@gmail.com



تعیین خواص فیزیکوشیمیایی و API مخزن آسماری میدان نفتی اهواز با استفاده از مطالعه میان بارهای نفتی

علیرضا زراسوندی^۱، بهرام علیزاده^۲، عباس مراونه^{۳*} ID، محمد حسین حیدری فرد^۳

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- گروه زمین شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۴

چکیده گسترده

مقدمه: میان بارهای سیال، شواهد با ارزشی از دمای تشکیل کانی‌ها، فشار حاکم بر محیط تشکیل آن‌ها، چگالی سیال سازنده کانی‌ها و نیز ترکیب شیمیایی سیالات کانه‌سنگ ساز ارائه می‌دهند. می‌توان از این اطلاعات برای تفسیر تاریخچه دمایی، بلوغ، تعیین محیط دیاژنزی، زمان سیمان‌شدگی، مهاجرت نفت نسبت به تاریخچه دفن‌شدگی استفاده کرد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از ۱۹ مقطع دوبرصیقل که از مغزه‌های حفاری مخزن آسماری ۷ چاه از میدان اهواز (AZ) آماده شده استفاده گردید. پس از بررسی اولیه ۵۴ میانبار سیال جهت انجام مطالعات میکروترموتری انتخاب شدند. کلیه داده‌های میکروترموتری با استفاده از عملیات سرمایش و گرمایش بر روی سیالات درگیر با استفاده از استیج مدل Linkam THMSG 600 قرار گرفته بر روی میکروسکوپ Olympus صورت پذیرفت. علاوه بر این به منظور تعیین میزان انعکاس UV در سیالات درگیر، از منبع نور UV مدل U-RFL-T قرار گرفته بر روی میکروسکوپ Olympus استفاده شد. برای انجام آنالیز لیزر اسپکتروسکوپی رامان مدل LABRAM (ISA Jobin Yvon) دانشگاه Montanuniversitat استفاده گردید.

بحث و نتایج: مطالعات پتروگرافی: نمونه‌های بررسی شده دارای میانبارهای تک فاز گاز، تک فاز مایع، میانبار دو فاز غنی از مایع (نفت)، می‌باشند. در این نمونه‌ها از نظر پیدایش به صورت اولیه و ثانویه کاذب دیده می‌شوند.

مطالعات ریزدماسنجی: براساس مطالعات میکروترموتری دمای همگن‌سازی میانبارهای سیال بین ۵۰ تا ۳۶۲ می‌باشد. نمونه‌های مخزن آسماری دمای ذوب آخرین بلور یخ بین ۲۲- تا ۱۳۹ نشان می‌دهند. درجه شوری ۰/۱۶ تا ۳۵ درصد وزنی معادل نمک طعام طعام محاسبه شده است.

بررسی API: ۵۴ میانبار سیال از مخزن آسماری میدان اهواز مورد بررسی API قرار گرفتند. فراوانی رنگی بازتابشی مربوط به رنگ سبز با ۵۵٪ است که در محدوده ۳۰-۴۰ درجه API قرار دارد و نشان‌دهنده نفت با چگالی سبک می‌باشد. مقدار ۴۰٪ متعلق به رنگ آبی می‌باشد که API ۵۰-۴۰ را نشان می‌دهد و یک نفت فوق‌العاده سبک محسوب می‌گردد و تنها ۵٪ از این رنگ‌ها متعلق به رنگ زرد است که API در محدوده ۲۰-۳۰ را نشان و نفت با چگالی متوسط محسوب می‌شود.

طیف‌سنجی رامان: محاسبه شوری فاز مایع در میان بارهای نفتی با استفاده از روش طیف‌سنجی لیزر رامان، وابسته به شکل هندسی طیف به دست آمده از فاز مایع موجود در میان بار سیال است. با توجه به پراکندگی کوشی-لورنتز، طیف رامان برای آب خالص نشان‌دهنده سه قله در 3220cm^{-1} ، 3433cm^{-1} و 3617cm^{-1} می‌باشد.

نتیجه‌گیری: براساس خواص فیزیکوشیمیایی مخزن آسماری دو محدوده دمایی نشان می‌دهد که می‌توان نتیجه گرفت این مخزن در طی دو مرحله شارژ شدن در دو دوره زمانی متفاوت را داشته است. از دلایل تایید کننده این نتیجه‌گیری می‌توان به دو منشأ بودن نفت این مخزن اشاره کرد. همچنین براساس ترکیب فازهای موجود در میانبارها (دو فاز، سه فاز دارای نفت و ...) مشخص شده می‌توان مسیر شارژ شدن مخزن را نیز پیش‌بینی کرد.

واژگان کلیدی: خواص فیزیکوشیمیایی، مخزن آسماری، میانبارهای نفتی، میدان نفتی اهواز، API.

استناد: علیرضا زراسوندی، بهرام علیزاده، عباس مراونه، محمد حسین حیدری فرد (۱۴۰۲). تعیین خواص فیزیکوشیمیایی و API مخزن آسماری

میدان نفتی اهواز، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴ (۴)، (۱۲۰-۱۱۰)، DOI: 10.48308/ESRJ.2022.102410

مقدمه

در سنگ‌های رسوبی متبلور دارای سیمان‌شدگی، شکستگی‌ها و رگه‌ها مسیر اصلی حرکت سیال را تعیین می‌کنند. شواهد مهاجرت سیال از راه این شکستگی‌ها با حضور سیال (نفت، شوراب، گاز) به دام‌افتاده در کانی‌های پرکننده رگه‌ها تعیین می‌گردد. علاوه بر این، برخی از رگه‌ها یا شکستگی‌ها می‌توانند دارای بیتومن جامد یا سایر فازهای آلی نیز باشند که می‌توانند مراحل قدیمی مهاجرت هیدروکربن را نشان دهند. هنگامی که چنین شواهدی در تکامل زمین‌شناسی و زمین‌ساخت یک حوضه رسوبی مشاهده شود، می‌توان از آن‌ها برای تعیین زمان مهاجرت نفت و گاز و نیز شناسایی انواع سنگ منشأ بالقوه استفاده نمود (Levesse et al, 2019). میان‌بارهای سیال، شواهد میکروسکوپی دیرینه سیال‌های زیرسطحی و یا کنونی می‌باشند که در اثر اوضاع محیطی خاص درون سنگ‌ها و کانی‌ها به دام می‌افتد. سیالات مذکور نشان‌دهنده فاز به دام افتاده در فضاهای خالی هستند، به نحوی که به‌طور کامل از سیال مادر خود جدا شده‌اند (زراسوندی، ۱۳۹۷). با استفاده از مطالعه میان‌بارهای سیال می‌توان اطلاعات زیادی در مورد دمای تشکیل کانی‌ها، فشار حاکم بر محیط تشکیل آن‌ها، چگالی سیال سازنده کانی‌ها و نیز ترکیب شیمیایی سیالات کانه‌سنگ‌ساز به دست آورد (Zarasvandi et al, 2015). علاوه بر این از میان‌بارهای سیال می‌توان برای تفسیر تاریخچه دمایی، بلوغ و مهاجرت نفت نسبت به تاریخ دفن‌شدگی استفاده کرد. داده‌های دما، فشار و ترکیب شیمیایی مجموعه میان‌بارهای سیال^۱ می‌تواند برای تعیین محیط دیاژنزی، زمان سیمان‌شدگی و مهاجرت نفتی استفاده کرد. میان‌بارهای سیال موجود در سیمان‌های مخازن نفتی دارای نفت و فازهای آبگین می‌باشند (McLimans, 1987). میان‌بارهای سیال دارای نفت می‌توانند فرصتی با ارزش برای مطالعه تغییرات یک سامانه نفتی را فراهم آورند. این مطالعات از طریق چندین روش از جمله روش‌های نوری، طیفی، دماسنجی غیر تخریبی یا روش‌های شیمیایی تخریبی بر روی نمونه‌های دارای میان‌بارهای سیال منفرد^۲ انجام می‌شود (Volk and George, 2019). میان‌بارهای سیالی که در حین رشد بلورها به دام می‌افتد، نشانگر تاریخچه وضعیت فیزیکی-شیمیایی حاکم بر محیط به دام‌افتادگی می‌باشند. بر این

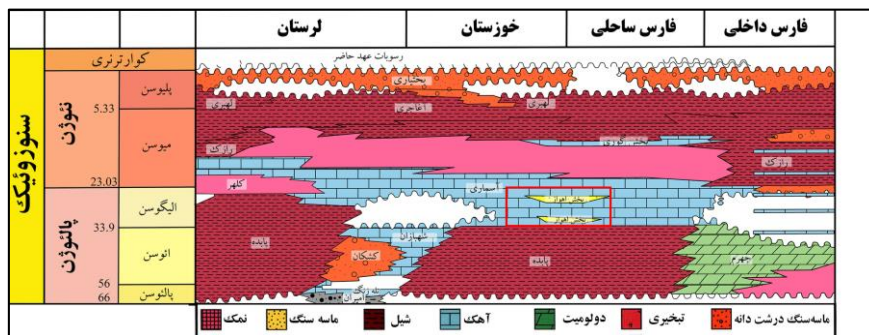
اساس مطالعه میان‌بارهای سیال در کانی‌ها، به عنوان یک ابزار مهم در شناخت محیط تشکیل کانی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zarasvandi et al, 2019, 2015, 2013). مطالعات میان‌بارهای سیال اولین گام در دستیابی به سیالات درون زمین و سیالات سازنده کانی‌ها یا کانه‌ها می‌باشد. این سیالات در اوضاع مختلف دمایی و فشاری محیط‌های زمین‌شناختی مانند کانسارهای گرمابی، سنگ‌های دگرگونی و آذرین و سامانه‌های زمین‌گرمایی به وجود می‌آیند. میان‌بارهای سیال به دام‌افتاده معمولاً قطری کمتر از ۵۰ میکرومتر دارند. بسیاری از مطالعات در ارتباط با بررسی اوضاع فیزیکی-شیمیایی و ترمودینامیکی میان‌بارهای سیال حاکی از وجود شواهدی مبنی بر تغییرات گسترده آن‌ها پس از به دام‌افتادن می‌باشد، در حالی که میان‌بارهای سیال طبیعی هنوز به عنوان سامانه‌ای بسته در نظر گرفته می‌شوند و در چنین وضعیتی مطالعه و تفسیر می‌شوند. در راستای بررسی ظرفیت تغییرات روی داده پس از به دام‌افتادن میان‌بارهای سیال و این‌که این تغییرات در چه سطحی می‌باشند، مطالعات تجربی متعددی صورت گرفته است. تا به حال این مطالعات بیشتر بر روی بلورهای کانی کوارتز اجزای شده است (Kempton et al, 2020; Wen et al, 2020b). رایج‌ترین کاربردهای میان‌بارهای سیال در علم زمین‌شناسی شامل تعیین ترکیب شیمیایی سیالات اولیه، دماسنجی و تعیین فشار سیالات، در اکتشافات معدنی و نفت و گاز می‌باشد. شایان ذکر است مهم‌ترین کاربردهای مطالعه میان‌بارهای نفتی در اکتشاف و تولید نفت و گاز عبارت‌اند از تشخیص محدوده‌ی دمایی که پختگی در آن صورت گرفته است، تعیین نوع سیالاتی که طی دیاژنز وجود داشته‌اند، تخمین مرز آب-نفت دیرینه، تعیین زمان نسبی و مسیر مهاجرت سیالات هیدروکربنی، تعیین نوع و کیفیت مواد هیدروکربن‌دار و نیز تفسیر تاریخچه پر شدن مخزن (Ping et al, 2013)؛ به عبارت دیگر میان‌بارهای سیال شواهدی ارزشمند در تعیین ترکیب دیرینه سیال طی تشکیل و مهاجرت نفت می‌باشند. مطالعه آن‌ها فرصتی را فراهم می‌کند تا تغییرات ترکیب نفت و حضور آن در زمان و مکان‌های مختلف بررسی شود (Volk and George, 2019). از میان‌بارهای شوراب و نفتی برای تعیین زمان و محیط فیزیکی-شیمیایی وقایع زمین‌شناختی مانند

سطحی این میدان را تشکیل می‌دهند. میدان اهواز از شمال توسط میداین رامین و سردرآباد، از شرق توسط میدان مارون، از غرب توسط میدان بندکرخه و از جنوب توسط میداین سوسنگرد، آب تیمور و منصوری محدود شده است. تاقدیس اهواز تقریباً از آخرین چین‌های ناحیه ساده چین خورده زاگرس به حساب می‌آید که بر روی یک هورست که در طبقات قدیمی تر اتفاق افتاده قرار دارد. این تاقدیس کم و بیش متقارن می‌باشد و شیب آن کم و بین ۱۰ الی ۲۱ درجه در دامنه شمالی و ۶ الی ۱۲ درجه در دامنه جنوبی متغیر است. سازند آسماری با سن الیگوسن-میوسن، در میدان نفتی اهواز شامل ماسه سنگ، آهک، آهک ماسه‌ای، آهک دولومیتی و مارن می‌باشد که قسمت‌های عمده‌ای از آن تحت عنوان بخش ماسه سنگی اهواز نامگذاری شده است (شکل ۱). این سازند به علت گسترش وسیع خود و به‌عنوان مخزن نفتی، یکی از مهم‌ترین واحدهای لیتواستراتیگرافی از جنوب غرب ایران (فروافتادگی دزفول، لرستان و فارس) تا شمال عراق به شمار می‌رود. سازند آسماری در میدان نفتی اهواز به ابعاد 67×6 کیلومتر می‌باشد.

سیمان‌شدگی، مهاجرت نفت و تفکیک‌پذیری در مخازن بالقوه استفاده می‌گردد. تفسیر داده‌های میان‌بارهای سیال وابسته به دانستن منشأ میان‌بار و احتمال باقی‌ماندن آن در محیط تدفینی می‌باشد (McLimans, 1987). به‌طور کلی چهار نوع داده را می‌توان از راه تجزیه و مدل‌سازی میان‌بارهای نفتی به دست آورد: (۱) بافت که اطلاعات غیر مستقیمی را از جنبه‌های زمانی ارائه می‌دهد، (۲) ترکیب شیمیایی سیال، (۳) ویژگی‌های فیزیکی سیال و (۴) فشار و دمای به دام‌افتادگی (Munz, 2001). در این پژوهش مخزن آسماری میدان اهواز مورد مطالعه میان‌بارهای نفتی قرار گرفته است. میدان اهواز در قسمت جنوب تا جنوب غربی ناحیه فروافتادگی دزفول شمالی قرار داشته و جزو میداین میداین عظیم می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

ابر میدان نفتی اهواز بین عرض‌های جغرافیایی ۳۱ و ۳۲ درجه و طول‌های جغرافیایی ۴۸ و ۴۹ درجه قرار دارد. این میدان در جنوب غرب فروافتادگی دزفول قرار گرفته است. سازند آغاجاری و آبرفت‌های عهد حاضر رخنمون‌های



شکل ۱: ستون چینه‌شناسی ساده شده زاگرس در زمان سنوزوئیک (Motiei, 1993)، بخش مورد مطالعه در این تحقیق با خط سبز نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

آنالیز میکروترمومتری در ابتدا کلیه نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در استون قرار داده شدند. در ادامه پس از جداسازی نمونه‌های دوبر صیقل از لام، به منظور حذف کامل آلودگی-های سطحی، نمونه‌ها به مدت پنج دقیقه در دستگاه اولتراسونیک در آب مقطر قرار گرفتند. در نهایت مطالعات پتروگرافی اولیه به منظور بررسی اولیه وجود و یا عدم رخداد سیالات درگیر بر روی نمونه‌های مورد مطالعه صورت پذیرفت. پس از بررسی اولیه رخداد سیالات درگیر در نمونه‌های مورد مطالعه، صرف نظر از اندازه سیالات

در این پژوهش از مغزهای حفاری مخزن آسماری ۷ چاه از میدان اهواز (AZ) استفاده گردید. پس بررسی خصوصیات ظاهری نمونه‌ها، تعداد ۱۹ مقطع دوبرصیقل با ضخامت ۲۰۰ تا ۳۰۰ میکرومتر آماده گردید. پس از آماده‌سازی اولیه، نمونه‌ها جهت انجام مطالعات سیالات درگیر، اندازه-گیری شاخص API و طیف‌سنجی رامان به آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه Montanuniversitat شهر لئوبن در کشور اتریش ارسال شدند. در این آزمایشگاه به منظور انجام

دانشگاه Montanuniversitat صورت پذیرفت. این دستگاه مجهز به لیزر پلاریزه فرکانس مضاعف Nd-YAG می‌باشد. همچنین طول موج برانگیختگی برابر با $532/6$ می‌باشد. در خلال آنالیز به منظور تعیین سیالات درگیر از لنز چشمی LMPlanFI 100_0.80 n.a. استفاده شد. همچنین به منظور وضوح بیشتر در طیف‌های رامان، برای هر اندازه گیری، چهار محدوده طول موج شامل 1000 ، 2000 ، 3000 و 4000 انتخاب گردید.

بحث و نتایج

الف) مطالعات پتروگرافی

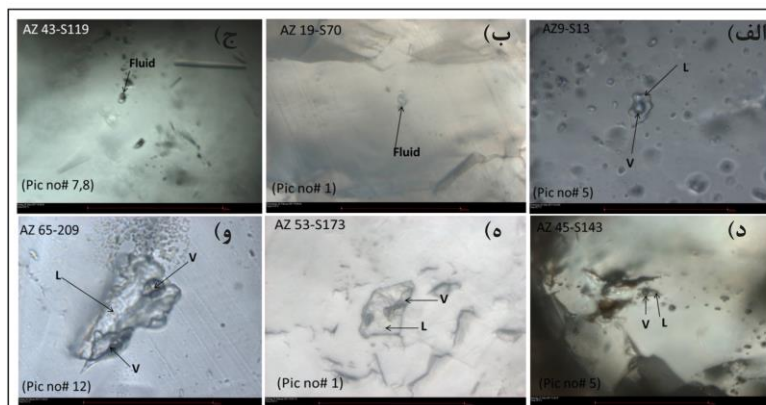
میان‌بارهای نفتی با استفاده از روش‌های پتروگرافی مطالعه می‌شوند تا ارتباط آن‌ها با کانی‌های میزبان و چگونگی پراکنش آن‌ها مشخص شود. توصیف پتروگرافی معمولاً با استفاده از تجزیه سامانمند ریزدماسنجی برای تعیین فازهای انتقالی دنبال می‌شوند (Goldstein, 2001; Munz, 2001). تنها روش کمی تعیین ویژگی‌های پتروگرافی میان‌بارهای نفتی، شمارش کلیه میان‌بارهای هر نمونه، بررسی اندازه و شکل میان‌بارها و نیز تعیین کمی رنگ‌های فلورسانس با استفاده از روش‌های جلوه رنگی^۴ یا ریز طیف‌سنجی فلورسانس^۵ است (George et al, 2001). با بررسی پتروگرافی می‌توان ویژگی‌های فیزیکی میان‌بارهای سیال مانند شکل، اندازه، رنگ، ارتباط زایشی و ترکیب فازی آن‌ها را با کانی‌های دربرگیرنده مشخص کرد. گام اول در مطالعه میان‌بار سیال بررسی وجود یا نبود میان‌بارهای نفتی در مقاطع دوبرصیقل است. در صورت وجود این میان‌بارها، موقعیت آن‌ها به شکل همزاد^۶ برای تعیین زمان نسبی مشخص شود (Volk and George, 2019). تمامی نمونه‌ها مورد مطالعه پتروگرافی قرار گرفتند که از نظر انواع میان‌بارهای همان‌گونه که برخی از نمونه‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است، تک فازی گازی، تک فازی مایع، میان‌بار دو فازی غنی از مایع (نفت)، می‌باشد. در این نمونه‌ها (شکل ۲ ج و د) مواد هیدروکربنی به صورت پراکنده و پراکنده شکستگی‌ها قابل مشاهده می‌باشد. از نظر پیدایش نیز در انواع مختلف و متنوع به صورت اولیه و ثانویه کاذب دیده می‌شود (شکل ۲).

درگیر، تعداد ۵۴ میان‌بار سیال جهت انجام مطالعات میکروترمومتری انتخاب شدند. کلیه داده‌های میکروترمومتری با استفاده از عملیات سرمایش و گرمایش بر روی سیالات درگیر با استفاده از استیج مدل Linkam THMSG 600 قرار گرفته بر روی میکروسکپ Olympus صورت پذیرفت. طی عملیات گرمایش، بیشینه حرارتی 300 درجه سانتیگراد و طی عملیات سرمایش نمونه‌های سیالات درگیر تا 120 - درجه سانتیگراد سرد شدند. پیش از شروع عملیات اندازه‌گیری، کالیبراسیون استیج با استفاده از نمونه‌های سیالات درگیر استاندارد سنتز شده بررسی گردید. دقت دماهای اندازه‌گیری شده ± 1 درجه سانتیگراد در حین گرمایش و ± 0.5 برای سرمایش می‌باشد. شایان ذکر است پارامترهای اندازه‌گیری شده طی عملیات میکروترمومتری شامل دمای همگن شدگی (Th)، دمای ذوب آخرین بلور یخ (T_{mice}) و در برخی موارد محدود، دمای ذوب هالیت می‌باشد (جدول ۱). به منظور محاسبه شوری سیالات درگیر براساس دمای ذوب آخرین بلور یخ (T_{mice}) و دمای ذوب هالیت از نرم‌افزار Flincor بر مبنای معادلات (Brown, 1989) در سیستم $H_2O-NaCl$ استفاده گردید. علاوه بر این صحت شوری‌های محاسبه شده توسط نرم‌افزار Package FLUIDS نیز بررسی گردید. علاوه بر این به منظور تعیین میزان انعکاس UV در سیالات درگیر مورد مطالعه، از منبع نور UV مدل U-RFL-T قرار گرفته بر روی میکروسکپ Olympus استفاده شد. این آنالیز در دمای اتاق و پیش از شروع عملیات سرمایش نمونه‌ها، بر روی سیالات درگیر مورد مطالعه صورت پذیرفت. به منظور ثبت تصاویر UV سیالات درگیر از فلیترهای $1/2$ و 2 استفاده شد، ضمن اینکه تنظیم وضوح تصاویر به صورت خودکار توسط نرم‌افزار اندازه‌گیری سیالات درگیر لینکام^۳ انجام شد. پس از انجام عملیات میکروترمومتری بر روی سیالات درگیر، نمونه‌های انتخابی به منظور انجام آنالیز لیزر اسپکتروسکپی رامان برای تعیین دقیق فازهای مایع و بخار سیالات درگیر انتخاب گردیدند. لازم به ذکر است آنالیزهای لیزراسپکتروسکپی رامان بر روی نمونه‌های آنالیز شده میکروترمومتری صورت پذیرفت. کلیه اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه اسپکترومتر رامان مدل LABRAM (ISA Jobin Yvon) موجود در آزمایشگاه سیالات درگیر

جدول ۱: شاخص‌های آزمایشگاهی - محاسباتی مطالعات میکروترموتری میانبرهای سیال مخزن آسماری میدان اهواز

NO	Sample	Well No.	Depth (m)	Lithology	Th	salinity (wt%)	T _{mcc}	Fluid	
1	AZ9-S13	AZ-9	2822.31	SST, SH	104	2.4	-1.4	LV	
2	AZ9-S13		2822.31	SST, SH	176	0.66	0.4	LV	
3	AZ9-S13		2822.31	SST, SH	124	0.82	0.5	LV	
4	AZ9-S13		2822.31	SST, SH	220	1.2	-0.7	LV	
5	AZ9-S13		2822.31	SST, SH	271	10.4	-6.9	LV	
6	AZ9-S13		2822.31	SST, SH	179	1.32	0.8	LV	
7	AZ19-S62		AZ-19	2575.12	ANHY, LS-I	137	15.4	-11.4	LV
8	AZ19-S70	2680.58		LS, DOL III, SST	n.d	24.1	-22.1	L	
9	AZ19-S70	2680.58		LS, DOL III, SST	n.d	8.8	-5.7	L	
10	AZ19-S74	2746.41		DOL, SST	n.d	18.9	-15.1	L	
11	AZ43-S97	AZ-43	2448.33	ANHY, LS, DOL	352	35	255.1	LVS	
12	AZ43-S97		2448.33	ANHY, LS, DOL	327	33.1	224.2	LVS	
13	AZ43-S97		2448.33	ANHY, LS, DOL	362	33.7	234.1	LVS	
14	AZ43-S119		2675.70	SST	249	0.5	-0.3	LV	
15	AZ43-S119		2675.70	SST	231	1.2	-0.7	LV	
16	AZ43-S119		2675.70	SST	256	0.2	-0.1	LV	
17	AZ43-S119		2675.70	SST	190	2.2	-1.3	LV	
18	AZ43-S119		2675.70	SST	164	4	-2.4	LV	
19	AZ43-S119		2675.70	SST	147	1.9	-1.1	LV	
20	AZ43-S119		2675.70	SST	158	2.4	-1.4	LV	
21	AZ43-S119		2675.70	SST	260	6.6	-4.1	LV	
22	AZ43-S123		2712.58	SST, LS	50.1	17.2	-13.2	LV	
23	AZ43-S123		2712.58	SST, LS	n.d	13.8	-9.8	L	
24	AZ43-S123		2712.58	SST, LS	280	5.3	-3.2	LV	
25	AZ43-S123		2712.58	SST, LS	323	3.6	-2.1	LV	
26	AZ43-S127		2749.16	DOL, SH	n.d	13.3	-9.4	L	
27	AZ43-S127		2749.16	DOL, SH	n.d	12.5	-8.7	L	
28	AZ43-S127		2749.16	DOL, SH	95.3	14.7	10.7	LV	
29	AZ45-S133		AZ-45	2612.61	LS, SST	62.2	12.8	-8.9	LV
30	AZ45-S133			2612.61	LS, SST	76.1	7.3	-4.6	LV
31	AZ45-S137			2673.57	LS+SST	n.d	15.5	-11.4	L
32	AZ45-S137			2673.57	LS+SST	n.d	12.1	-8.3	L
33	AZ45-S137	2673.57		LS+SST	n.d	17.3	-13.3	L	
34	AZ45-S140	2695.51		SST+ SH	138	11.6	-7.9	LV	
35	AZ45-S143	2758		SST	190	0.5	0.3	LV	
36	AZ45-S143	2758		SST	255	0.5	0.3	LV	
37	AZ45-S143	2758		SST	252	0.16	0.1	LV	
38	AZ45-S143	2758		SST	192	0.82	0.5	LV	
39	AZ45-S148	2813.47		LS	98.9	5.3	-3.2	LV	
40	AZ53-S173	AZ-53	2683.32	LS	152	8.8	-5.7	LV	
41	AZ53-S173		2683.32	LS	n.d	11	-7.4	L	
42	AZ53-S173		2683.32	LS	n.d	11.8	-8.1	L	
43	AZ53-S173		2683.32	LS	n.d	17.4	-13.4	L	
44	AZ53-S173		2683.32	LS	n.d	9.6	-6.3	L	
45	AZ65-S207	AZ-65	2633.95	LS+SST	116	12.1	-8.3	LV	
46	AZ65-S209		2663.21	LS	100	10.6	-7.3	LV	
47	AZ65-S209		2663.21	LS	156	17.4	-13.4	LV	
48	AZ89-S228	AZ-89	2591.75	LS, SST	n.d	11.6	-7.9	L	
49	AZ89-S228		2591.75	LS, SST	n.d	16.2	-12.1	L	
50	AZ89-S228		2591.75	LS, SST	n.d	15.8	-11.8	L	
51	AZ89-S228		2591.75	LS, SST	132	13.5	-9.6	L	
52	AZ89-S229		2601.25	LS, SST	124	7.2	-4.5	LV	
53	AZ89-S229		2601.25	LS, SST	120	11.1	-7.5	LV	
54	AZ89-S234	2666	LS, SST	111	16.14	-12.1	LV		

میدان نفتی اهواز (AZ)، پوش سنگ (C.R)، دولومیت (DOL)، شیل (SH)، مارن (MRL)، سنگ آهک (LS)، انیدرید (ANHY)، سیلستون (SST).



شکل ۲: مجموعه از تصاویر میانبرهای سیال زیر نور میکروسکوپ از چاه‌های مختلف میدان اهواز.

ب) مطالعات ریزدماسنجی

میان بارهای سیال ممکن است در دماهای مختلفی به دام افتاده باشند. ریزدماسنجی عبارت است از مطالعه غیرمخرب مقطع مورد نظر برای تعیین دما، میزان شوری، وزن مخصوص (چگالی) و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آن‌ها ساخته شده است. در اینجا اندازه‌گیری توسط آزمایش‌های سرمایش و گرمایش اجرای می‌پذیرد. مطالعات سرمایش برای به دست آوردن درجه شوری سیال استفاده می‌شود. در این آزمایش، میان بارهای سیال تا دماهای زیر صفر درجه سانتیگراد سرد و منجمد می‌شوند. پس از انجماد سیال، با یک روند آهسته و یکنواخت، دما افزایش داده می‌شود تا یخ شروع به ذوب شدن کند. ذوب یخ معمولاً از حاشیه‌ها شروع می‌شود. دمایی که در آن، آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، دمای ذوب نهایی یخ^۷ یا $T_m(\text{Ice})$ نامیده می‌شود که این دما نشان دهنده شوری سیال است و میزان شوری با استفاده از فرمول یا نمودارهای استاندارد به دست می‌آید. در آزمایش گرمایش، دمای همگن‌شدگی میان بارهای سیال به دست می‌آید که به عنوان کمینه دمای به دام افتادن میان بار سیال یا تشکیل بلور میزبان در نظر گرفته می‌شود. طی فرایند گرمایش میان بارهای سیال، فازهای مختلف تشکیل دهنده آن، برحسب میزان نسبت فاز بخار به مایع، به یکی از این دو فاز همگن می‌شوند (Shepherd et al, 1985). دماهای همگن‌شدگی نشان‌دهنده دمای سیال رخداد سیمان‌شدگی نیست و فقط کمینه دماهای به دام افتادگی را نشان می‌دهد. برای تخمین محدوده شرایط به دام افتادن سیال اولیه طی سیمان‌شدگی، درک فشار و دمای هر مرحله از به دام افتادگی لازم است. از فشار لیتوستاتیک برای تخمین بیشینه دمای به دام افتادگی و از فشار هیدروستاتیک برای کمینه فشار سیال، میتوان استفاده کرد (Karim et al, 2012). در ریزدماسنجی میان بارهای سیال، مؤلفه‌های فشار، دما، حجم، شوری و دیگر اطلاعات مورد نیاز در مورد میان بارهای سیال قابل بررسی می‌باشند. با استفاده از این روش جزئیات بیشتری در مورد میان بارهای سیال به دست می‌آید. میان بارهای سیال به عنوان سیالات بازمانده بسته و ایزوله اطلاعات ارزشمندی در مورد تاریخچه فشار-حجم-دما ارائه می‌دهند. همانگونه در جدول ۱ آورده شده است میکروترموتری بر روی ۵۴ عدد سیال درگیر انجام گرفت.

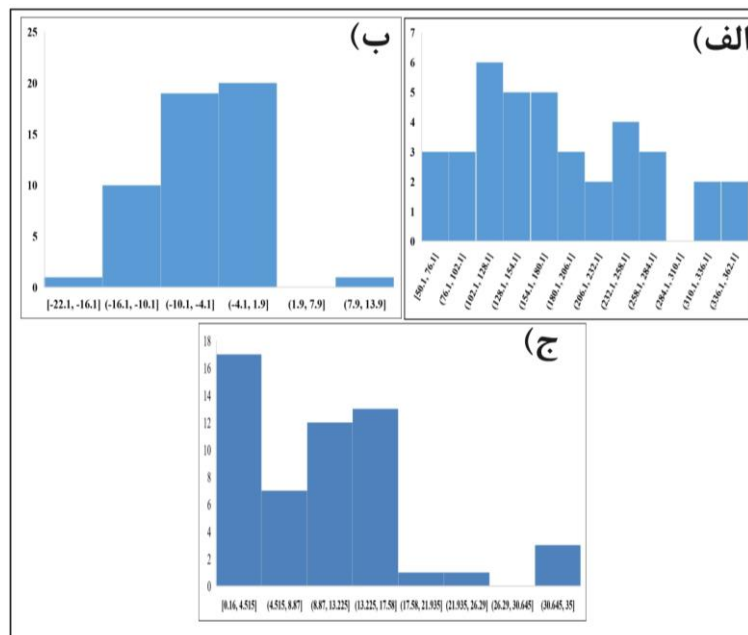
دمای همگن‌سازی میان بارهای سیال بین ۵۰ تا ۳۶۲ درجه ی سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۳ الف). نمونه‌های مخزن آسماری دمای ذوب آخرین بلور یخ بین ۲۲- تا ۱۳/۹ نشان می‌دهند (شکل ۳ ب). درجه شوری ۰/۱۶ تا ۳۵ درصد وزنی معادل نمک طعام طعام محاسبه شده است (شکل ۳ ج).

ج) بررسی API

رنگ فلورسانس میان بارهای نفتی مرتبط با چگالی نفت می‌باشد. به طور کلی ثابت شده است که میان بارهای نفتی با میزان API بالا، معمولاً فلورسانس آبی را در انتهای طیف مرئی نشان می‌دهند. اما در مقابل میان بارهای نفتی دارای API پایین‌تر، دارای فلورسانس قرمز می‌باشند. این رابطه براساس ویژگی فلورسانس نفت‌های خام می‌باشد که به طور گسترده مطالعه می‌شود (Volk and George, 2019). ارتباط بین رنگ فلورسانس و توزیع نفت در میان بارها می‌تواند با استفاده از اطلاعات شیمیایی این میان بارها بررسی شود. داده‌های شیمیایی میان بارهای نفتی منفرد را می‌توان با استفاده از میکروسپکتروتری فلورسانس مادون قرمز، تجزیه‌پذیری -طیف‌سنجی جرمی و برانگیختگی - تشعشع میکروسپکتروتری به دست آورد. میکروپیرولیز لیزری کرماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی^۸ امکان به دست آوردن داده‌های خاص مولکولی را بر روی میان بارهای نفتی منفرد فراهم می‌آورد، اما این روش تاکنون تنها به تجزیه گروه‌هایی از میان بارهای نفتی حساس بوده است (George et al, 2001). طیف‌سنجی فلورسانس برای شناسایی میان بارهای نفتی و تعیین بلوغ نفت به دام افتاده استفاده می‌شود. همچنین طول عمر فلورسانس در ارتباط با گرانش API نفت به دام افتاده است (McLimans, 1987). بسیاری از مطالعات مخزنی با استفاده از میان بارهای نفتی و زمین‌شیمی نفت خام، نشان‌دهنده بلوغ پایین میان بارهای نفتی در مقایسه با نفت موجود در مخزن می‌باشند. بنابراین این احتمال وجود دارد که غالب میان بارهای نفتی در فازهای اولیه تغذیه مخزن به دام افتاده باشند. این زمان انتخابی برای به تله افتادن نفت در طول شارژ اولیه به وسیله توسعه میان بارهای نفتی کنترل می‌شود. توسعه میان بارهای نفتی به نوبه خود به عواملی نظیر زمان سیمان‌شدگی دیاژنتیکی، ایجاد شکستگی‌ها و پر شدن آن‌ها در طول دیاژنز بستگی دارد.

بیشتر از ۳۰ درجه به عنوان نفت سبک، میزان API ۲۰ تا ۳۰ درجه تحت عنوان نفت متوسط و نفت‌های دارای API کمتر از ۲۰ درجه به عنوان نفت سنگین در نظر گرفته می‌شوند. با کیفیت‌ترین نفت‌ها، دارای API در حدود ۳۷ درجه می‌باشند (El-Hoshoudy and Desouky, 2019). نفت‌های پارافینیک ($>40^\circ\text{API}$) دارای فلورسانس آبی ($\max < 485 \text{ nm}$) هستند، در حالی که نفت‌های نفتینیک ($>35^\circ\text{API}$) دارای فلورسانس زرد یا نارنجی ($\max > 500 \text{ nm}$) می‌باشند (George et al, 2001).

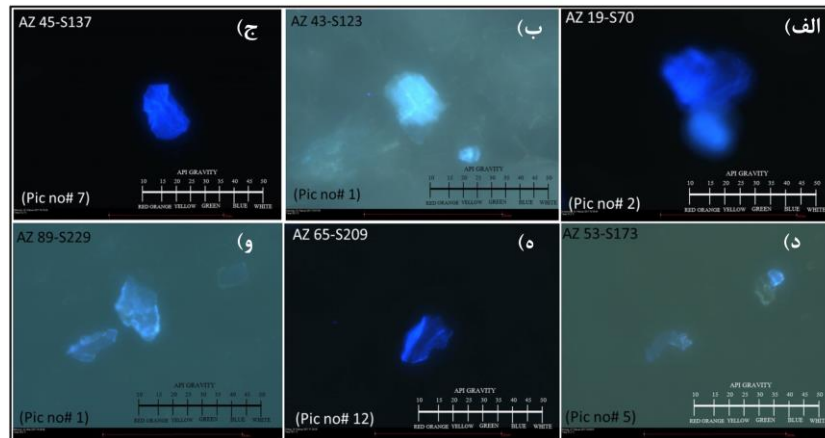
در مخازن نفتی سیلیسی آواری که معمولاً در طول زمان پرشدن مخزن، انعطاف‌پذیرتر باقی می‌مانند، فرآیندهای دیازنتیکی میان‌بارهای نفتی هم‌زمان با هم صورت می‌گیرد. این نکته نیز قابل توجه است که درجه API رابطه‌ای عکس با چگالی دارد. معمولاً نفت‌های سبک دارای درجه API بالا (تا حدود ۴۰) و تقریباً معادل با وزن مخصوص ۰/۸۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند. نفت‌های سنگین دارای درجه API کمتر از ۲۵ است که معادل با وزن مخصوص ۰/۹ می‌باشند. به‌طور کلی نفت‌های دارای API



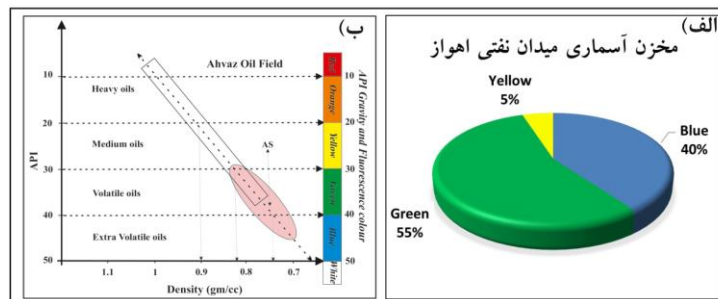
شکل ۳: الف: هیستوگرام دمای همگن‌شدگی در میان‌بارهای سیال، ب: هیستوگرام دمای ذوب آخرین بلور یخ و ج: هیستوگرام فراوانی شوری در سیالات درگیر.

ب در نمونه‌های مخزن آسماری رنگ سبز با فراوانی ۵۵٪ دارای چگالی ۰/۸۲ تا ۰/۷۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد که به‌طور کلی نشان‌دهنده نفت با چگالی سبک است. همچنین در رده دوم این نمونه‌ها فراوانی رنگی بازتابی فلورسانس، رنگ آبی با فراوانی ۴۰٪ دارای چگالی کمتر از ۰/۷۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، یک نفت فوق‌العاده سبک محسوب می‌گردد. در نهایت کمترین فراوانی رنگی بازتابی نمونه‌های مخزن آسماری به رنگ زرد با ۵٪ دارای چگالی ۰/۹ تا ۰/۸۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، یک نفت با چگالی متوسط محسوب می‌شود.

در نمونه‌های انتخاب شده از مخزن آسماری میدان اهواز، ۵۴ میان‌بار سیال شناسایی گردید. این میان‌بارهای سیال در زیر پرتو فرابنفش از خود طیف فلورسانسی به صورت زیر ساطع کردند (شکل ۴). همچنان که در شکل (۵ الف) مشاهده می‌گردد، فراوانی رنگی بازتابشی مربوط به رنگ سبز با مقدار ۵۵٪ است که در محدوده ۳۰-۴۰ درجه API قرار دارد و مقدار ۴۰٪ متعلق به رنگ آبی می‌باشد که نشان دهنده محدوده درجه API ۴۰-۵۰ می‌باشد و تنها ۵٪ از این رنگ‌ها متعلق به رنگ زرد است که نشان دهنده درجه API در محدوده ۲۰-۳۰ است. بنابراین با توجه به شکل ۵



شکل ۴: تصاویر میانبارهای سیال زیر پرتو فلورسانس؛ الف: نمونه AZ-19-S70، ب: نمونه AZ-43-S123، ج: نمونه AZ-45-S137، د: نمونه AZ-53-S173، و: نمونه AZ-65-S209، ه: نمونه AZ-89-S229.

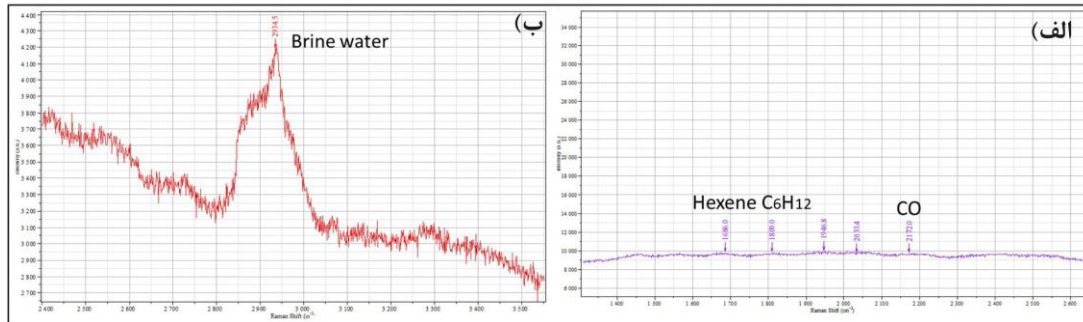


شکل ۵: الف: نمودار حاصل از فراوانی رنگی بازتابی پرتو فلورسانس در میانبارهای نفتی در مخزن آسماری میدان اهواز، ب: نمودار حاصل از تلفیق داده‌های رنگ فلورسانس و درجه API نفت (با تغییرات رضایی و تستا، ۱۹۹۰)، جهت تعیین چگالی نفت در میانبارهای نفتی مخزن آسماری میدان اهواز.

پذیر نیست. انتخاب طول موج لیزر بر عمل کرد طیف‌سنج مؤثر می‌باشد. همچنین ویژگی‌های هر یک از لیزرها متفاوت است و بنابراین یک لیزر خاص برای تجزیه تمام میان‌بارهای نفتی مناسب نیست. به طور کلی قدرت نوری پرتو لیزر و راندمان آشکارسازهای رامان CCD با کاهش طول موج افزایش می‌یابند. همچنین با کاهش طول موج لیزر، صحت فلورسانس و خطر گرم شدن نمونه نیز افزایش می‌یابد (Frezzotti et al, 2012). محاسبه شوری فاز مایع در میان‌بارهای نفتی با استفاده از روش طیف‌سنجی لیزر رامان، وابسته به شکل هندسی طیف به دست آمده از فاز مایع موجود در میان‌بار سیال است. با توجه به پراکندگی کوشی-لورنتز^۱، طیف رامان برای آب خالص نشان‌دهنده سه قله در 3617cm^{-1} ، 3433cm^{-1} و 3220cm^{-1} می‌باشد. در نمونه‌هایی که مورد آنالیز طیف‌سنجی رامان قرار گرفتند نشان‌دهنده ترکیبات هیدروکربنی در میان‌بارها می‌باشند (شکل ۶).

د) طیف‌سنجی رامان

همان‌طور که پیشتر گفته شد، میان‌بارهای سیال از نظر حجمی بسیار کوچک هستند (قطر $<50\ \mu\text{m}$). در این حجم محدود و کوچک، فشار و دما متغیرهای وابسته به یکدیگر هستند که هر دو با معادله حالت سیال محصور مرتبط می‌شوند و به صورت یک ارتباط نسبتاً خطی در فضای P-T خود را نشان می‌دهند. بنابراین برای مطالعات کاربردی، توصیف ترکیب و چگالی سیال ضروری است. این دو ویژگی معمولاً با روش‌های پتروگرافی و ریزدماسنجی به دست می‌آیند. در این میان طیف‌سنجی رامان یک روش غیر مخرب است که ترکیبات مایع، گازی، فلزهای جامد و انواع محلول در میان‌بار نفتی را به صورت دقیق تعیین می‌نماید. یکی از مزیت‌های این روش توصیف ساختاری و شیمیایی نمونه‌های میان‌بارهای کوچک با قطر $1\ \mu\text{m}$ است که توسط روش‌های پتروگرافی معمولی، ریزدماسنجی و سایر روش‌های طیف‌سنجی (مثلاً مادون قرمز) مطالعه آن‌ها امکان



شکل ۶: تصاویر مربوط به نمونه ۱۳۳ چاه AZ-43، الف: محدوده ۱۳۰۰ تا ۲۶۰۰ و ب: ۱۴۰۰ تا ۳۶۰۰، همانگونه که مشخص شده ترکیبات موجود در میانبار نفتی نشان داده شده‌اند که مهم‌ترین آنها؛ نرمال هگزان، کربن مونواکسید و آب شور می‌باشند، وجود ترکیب نرمال هگزان درون میانبار تأییدکننده به دام افتادن ترکیبات هیدروکربنی درون میانبار مورد مطالعه می‌باشد.

است. از دلایل تأیید کننده این نتیجه‌گیری می‌توان به دو منشای بودن نفت این مخزن اشاره کرد. همچنین براساس ترکیب فازهای موجود در میانبارها (دو فاز، سه فاز، دارای نفت، و ...) مشخص شده می‌توان مسیر شارژ شدن مخزن را نیز پیش‌بینی کرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مساعدت‌های بی دریغ معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و همچنین شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورند.

نتیجه‌گیری

براساس مطالعات پتروگرافی انجام شده بر ۱۹ نمونه (بیش از ۵۴ میانبار سیال) با توجه به تنوع آنها (اولیه، ثانویه) نشان‌دهنده و تأیید کننده ترکیبات متفاوت فعالیت فازهای مختلف شارژ شدن مخزن آسماری می‌باشد. براساس داده‌های حاصل از مطالعات ریزدماسنجی خواص فیزیکوشیمیایی مخزن از جمله دمای آخرین ذوب یخ، دمای همگن‌شدگی و شوری مخزن مشخص گردید. براساس خواص فیزیکوشیمیایی مخزن آسماری دو محدوده دمایی نشان می‌دهد که می‌توان نتیجه گرفت این مخزن در طی دو مرحله شارژ شدن در دو دوره زمانی متفاوت را داشته

پانویس

- 1-Fluid Inclusion Assemblage
- 2-Individual Fluid Inclusion
- 3-Linkam
- 4-Chromaticity techniques
- 5-Fluorescence micro-spectrometry

- 6-Paragenetic
- 7-Temperature of Final Melting of Ice (Tfm)
- 8-Laser micro-pyrolysis gas chromatography mass spectrometry
- 9-Cauchy-Lorentz distribution

منابع (References)

- AbdollahiFard, I., Braathen, A., Mokhtari, M. and Alavi, S.A., 2006. Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran: *Petroleum Geoscience*, v. 12(4), p. 347-362.
- Akbari et al, 2007. Study of microfacies, sedimentary environment, stratigraphic and biostratigraphic sequence of the Bangestan reservoir in the Binak Oilfield, Report No. P-6187, Deputy Director - Expansion Geology, Basic Geology Department.
- Bahroudi, A., 2003. The effect of mechanical characteristics of basal decollement and basement structures on deformation of the Zagros basin: Uppsala University Library.
- Berberian, M. and King, G., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Reply: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 18(11), p. 1764-1766.
- Frezzotti, M.L., Tecce, F., National, I. and Casagli, A., 2012. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. *J. Geochemical Explor.*, v. 112, p. 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.09.009>.

- George, S.C., Ruble, T.E., Dutkiewicz, A. and Eadington, P.J., 2001. Assessing the maturity of oil trapped in uid inclusions using molecular geochemistry data and visually-determined uorescence colours. *Appl. Geochemistry*, v. 16, p. 451-473.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(00\)00051-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00051-2)
- Goldstein, R.H., 2001. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems, *Lithos* v. 55, p. 159-193. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00044-X)
- Hooper, R., Baron, I., Agah, S., Hatcher, R. and Al-Husseini, M., 1994. The Cenomanian to recent development of the Southern Tethyan Margin in Iran: Middle East Petroleum Geosciences GEO, v. 2, p. 505-516.
- Karim, A., Hanley, J.J., Pe-Piper, G. and Piper, D.J.W., 2012. Paleohydrogeological and thermal events recorded by fluid inclusions and stable isotopes of diagenetic minerals in Lower Cretaceous sandstones, offshore Nova Scotia, Canada. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* v. 96, p. 1147-1169.
<https://doi.org/10.1306/11021110158>
- McLimans, R.K., 1987. The application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs. *Appl. Geochemistry*, v. 2, p. 585-603.
[https://doi.org/10.1016/0883-2927\(87\)90011-4](https://doi.org/10.1016/0883-2927(87)90011-4)
- Motiei, H., 1993. Stratigraphy of the Persian Gulf, 590 p.
- Munz, I.A., 2001. Petroleum inclusions in sedimentary basins: Systematics, analytical methods and applications, *Lithos*, v. 55, p. 195-212. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00045-1)
- Ping, H., Chen, H., George, S.C., Li, C. and Hu, S., 2019. Relationship between the fluorescence color of oil inclusions and thermal maturity in the Dongying Depression, Bohai Bay Basin, China: Part 1. Fluorescence evolution of oil in the context of hydrous pyrolysis experiments with increasing maturity. *Mar. Pet. Geol.*, v. 100, p. 1-19.
<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.10.053>
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to fluid Inclusion Studies, Blackie, USA Chapman and Hall, New york.
- Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East: *Nature*, v. 235, (5334), p. 147-150.
- Van den Kerkhof, A.M. and Sosa, G.M., 2012. Fluid inclusions - Petrography and genetic interpretation of fluid inclusions. Application of cathodoluminescence techniques. *Fluid inclusions - Petrogr. Genet. Interpret. fluid inclusions. Appl. cathodoluminescence Tech.* 230026, 57.
- Volk, H. and George, S.C., 2019. Using petroleum inclusions to trace petroleum systems – A review. *Org. Geochem*, v. 129, p. 99-123.
<https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2019.01.012>
- Wen, S., Liu, J. and Deng, J., 2020. Classification of fluid inclusions. *Fluid Incl. Eff. Flotat. Sulfide Miner*, p. 17-25.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819845-2.00002-8>
- Zarasvandi, A., Liaghat, S., Lentz, D. and Hossaini, M., 2013. Characteristics of Mineralizing Fluids of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Central Iran, Determined by Fluid Inclusion Microthermometry. *Resour. Geol.*, v. 63, p. 188-209. <https://doi.org/10.1111/rge.12004>
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Raith, J.G., Asadi, S. and Lentz, D., 2019a. Hydrothermal fluid evolution in collisional Miocene porphyry copper deposits in Iran: Insights into factors controlling metal fertility. *Ore Geol. Rev.*, v. 105, p. 183-200.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.12.027>
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Raith, J.G., Lentz, D., Azimzadeh, A.M. and Pourkaseb, H., 2015. Geochemistry and Fluid characteristics of the Dalli porphyry Cu-Au Deposit, Central Iran. *J. Asian Earth Sci.*, v. 111, p. 175-191.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.07.029>
- Zarasvandi, A., Sameti, M., Fereydouni, Z., Rezaei, M. and Bagheri, H., 2019b. Determine the Source of Mineralizing Fluid in Gol-e-Zard Zn-Pb Deposit, Aligudarz using Geochemical Studies and Fluid Inclusion. *Iranian J. of Geology*, v. 13(50), p. 57-74.