

# بررسی توزیع انیدریت و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند قم واقع در تاقدیس یورتشاه

فاطمه مظاهری<sup>۱</sup>، داریوش باغبانی<sup>۲\*</sup>، جهانبخش دانشیان<sup>۲</sup>، فرج اله فیاضی<sup>۲</sup>، داود جهانی<sup>۳</sup> و رحیم کدخدائی ایلخچی<sup>۵</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، تهران، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۴- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ایران

۵- پژوهشکده علوم زمین، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲

## چکیده

در این مطالعه، سازند قم در تاقدیس یورتشاه به‌عنوان یکی از مخازن نزدیک به تهران جهت ذخیره‌سازی گاز مورد ارزیابی قرار گرفته است. گسترش انیدریت از جمله فرآیندهای دیاژنزی است که می‌تواند تأثیر منفی بر خواص مخزنی داشته باشد. بررسی پتروگرافی عضوهای c-4 تا f سازند قم به‌عنوان ۴ عضو از ۹ عضو معرفی شده در برش الگو سازند قم، در تاقدیس یورتشاه حاکی از حضور ۶ بافت انیدریت است. توزیع انیدریت در این مخزن ۸-۳٪ است به استثنای انیدریت لایه‌ای که به ضخامت محدود، حداکثر m ۶ در عضو d دیده می‌شود و می‌تواند سنگ‌پوش بالقوه‌ای برای مخازن زیرین باشد. سیمان‌های انیدریتی از دیگر انواع انیدریت در این مخزن است که در کنار دیگر سیمان‌های موجود، تخلخل مخزن را کاهش داده است. توزیع تخلخل در عضوهای سازند قم تحت تأثیر سنگ‌شناسی‌های مختلف آنها متفاوت است. چنانچه عضوهای e و f به‌علت سنگ‌شناسی متفاوت از عضو c-4، علاوه بر ریزتخلخل‌ها دارای تخلخل شکستگی نیز هستند که باعث افزایش تراوایی و مخزنی شدن این عضوها می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** دیاژنز، انیدریت، سازند قم، تاقدیس یورتشاه، خواص مخزنی

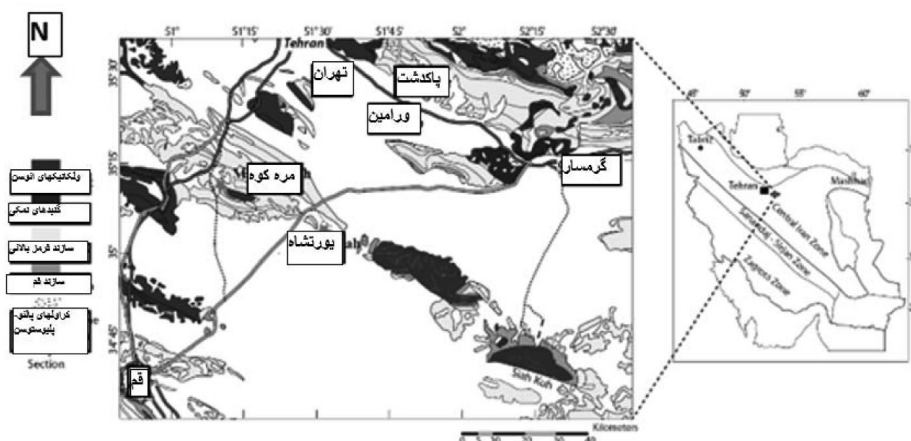
## مقدمه

به‌عنوان سنگ پوش گردید. با انجام مطالعات اکتشافی و حفاری روی سازند قم، نفت در چاه شماره-۵ البرز و گاز در چاه شماره-۲ سراج کشف گردید. تداوم فعالیت‌های اکتشافی تا سال ۱۹۶۵ با حفاری ساختمان‌های تلخه، سرخه و یورتشاه همراه بود و سبب شد که مخزن یورتشاه به‌عنوان یک مخزن آبی ارزیابی شود [۱].

سازند قم از سال ۱۹۵۵ مورد توجه زمین‌شناسان نفتی قرار گرفته است. نتیجه بررسی آنها منجر به شناخت سازند قم به‌عنوان سنگ مخزن و سازند قرمز بالای که در مرز بالای این سازند است،

قسم جهت پی بردن به قابلیت این مخزن آبی در راستای پروژه ذخیره سازی گاز صورت می گیرد. لذا با بررسی پدیده‌هایی که باعث تغییر کیفیت مخزنی آن می‌شوند می‌توان قابلیت تخلیه آب و ذخیره سازی گاز و همچنین بازیافت گاز از این مخزن آبی را ارزیابی نمود. در مطالعات ارزیابی مخزن جهت تخمین میزان ذخیره و حجم قابل برداشت هیدروکربور از مخزن، پارامترهای متنوعی همچون نوع و مقدار تخلخل، مقدار تراوایی، درصد اشباع‌شدگی سیالات مخزن، گرانیوی سیالات و فشار مخزن در نظر گرفته می‌شود [۱۴]، که این مطالعات توسط شرکت‌های نفتی و شرکت ذخیره سازی گاز در این مخزن صورت گرفته است. این مطالعه نیز با هدف بررسی انیدریت به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر کیفیت مخزنی سازند قم حائز اهمیت است که نتایج آن می‌تواند بخشی از مطالعات مخزنی این سازند را در ناحیه مورد مطالعه پوشش دهد. تبخیری‌ها طیف گسترده‌ای از نهشته‌های شیمیایی هستند که به‌صورت رشد بلوری، جان‌شینی و یا سیمان درون سنگ‌های میزبان تشکیل می‌شوند. انیدریت از کانی‌های تبخیری است که در این مخزن حضور دارد، لذا در این مقاله، تأثیر انیدریتی شدن، به‌عنوان یکی از عوامل دیاژنزی مؤثر بر خواص مخزنی به‌صورت کیفی بررسی می‌شود.

سازند قم از قاعده به رأس در ناحیه الگو به ۹ عضو (a, b, c-1, c-2, c-3, c-4, d, e, f, d) تقسیم می‌شود [۲] که در چاه‌های تاق‌دیس یورت‌شاه تنها چهار عضو جوان‌تر آن (c-4: مارنی و آهکی، d: ژیبسی، e: مارن و آهکی و f: آهکی) گسترش دارند. این ساختار زیرسطحی با روند WNW-ESE در ۷۰ km جنوب شرق تهران، ۳۵ km ورامین و در گستره ۳۰' ۵۱' تا ۴۵' ۵۱' طول شرقی و ۳۵' ۰۴' تا ۳۵' ۵۰' عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). محققین مختلفی در سال‌های اخیر این سازند را به لحاظ چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی (به‌طور مثال مظاهری [۳]، محمدی و همکاران [۴] و جلالی [۵])، رخساره و محیط رسوبی (به‌طور مثال محمدی و همکاران [۶]، زبیحی و همکاران [۷] و جلالی و همکاران [۸]) و چینه‌نگاری سکansı (به‌طور مثال روتر [۸] و همکاران [۹]، جلالی و همکاران [۱۰]، مظاهری [۱۱]، کاراوان و همکاران [۱۲] و امیرشاه‌کرمی و کاراوان [۱۳]) مورد مطالعه قرار دادند و اقدام به تعبیر و تفسیر نهشته‌های سازند قم در ناحیه الگو و اطراف آن نموده‌اند. مخزن آبی یورت‌شاه با سنگ مخزن سازند قم، در راستای حل معضل کمبود گاز استان تهران به جهت ذخیره‌سازی گاز، با توجه به نزدیک بودن به شهر تهران و خطوط لوله سراسری انتقال گاز، مورد توجه قرار گرفته است. بررسی ویژگی‌های پتروفیزیکی سازند



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ساختار تاق‌دیس یورت‌شاه (نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران)

مخزنی سازند قم در تاق‌دیس یورت‌شاه، از اطلاعات چاه به‌صورت زیر استفاده شد:

۱- مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از مغزه و خرده‌های حفاری سازند قم در چهار چاه صورت گرفت که شامل ۳۱۲ نمونه از ضخامت  $151/1$  m در چاه یورت‌شاه-۱، ۱۷۰ نمونه از ضخامت  $224/4$  m در چاه یورت‌شاه-۲، ۱۱۰ نمونه در چاه یورت‌شاه-۳ به ضخامت  $394/3$  m و ۴۳ نمونه از  $51$  m مغزه بخش رأسی سازند قم به ضخامت  $338$  m در چاه یورت‌شاه-۴ هستند. انتخاب نمونه‌ها براساس تغییرات سنگ‌شناسی و تقریباً در فواصل  $30$  cm از مغزه‌ها و  $2-3$  m از خرده‌های حفاری صورت گرفته است. در بررسی و توصیف بافت‌های مختلف انیدریت از تقسیم‌بندی لوسیا [۱۵] و در تخمین درصد انواع انیدریت در مقاطع نازک از نمودار مقایسه‌ای تخمین درصد چشمی که که تری و چیلینجر ارائه نموده‌اند [۱۶] استفاده گردید. شایان ذکر است که در زمان انجام این مطالعه از چاه یورت‌شاه-۲ و ۳ تنها گزارش پتروگرافی شرکت KBB موجود بود [۱۷ و ۱۸] و در چاه یورت‌شاه-۴ به‌علاوه این دو چاه امکان دسترسی به مقاطع نازک نبود، اما در این مطالعه از مغزه چاه-۴ دوباره ۴۳ مقطع نازک تهیه و مطالعه گردید.

۲- مطالعه ۱۷ نمونه توسط میکروسکپ الکترونی<sup>۱</sup> و آنالیز پراش اشعه ایکس<sup>۲</sup> بر روی ۹۵ نمونه از چاه یورت‌شاه-۳ در سازند قرمز بالایی و سازند قم به ضخامت  $394/3$  m براساس سری استاندارد ISO 9000/EN, 29000/BS [۱۸] انجام شد. مطالعه ۸۶ نمونه از چاه یورت‌شاه-۲ جهت مطالعات معمولی آنالیز مغزه<sup>۳</sup> [۱۹] که توسط شرکت آلمانی GMBH انجام شد و از نتایج این گزارش‌ها با اجازه از شرکت کارفرمای این مطالعه (شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی) استفاده گردید.

تنوع در نوع و بافت سنگ مخزن در کنار عملکرد فرآیندهای دیاژنزی باعث ناهم‌گونی توالی‌های مخزنی در مخازن کربناته و آواری و در نتیجه پیچیدگی در تفسیر ویژگی‌های مخزنی آنها می‌شود. این امر باعث توزیع غیریکنواخت سیستم تخلخل و در نتیجه، ناهم‌گونی تراوایی در مخزن می‌گردد که به نوبه خود تأثیر قابل توجهی بر تخمین ذخیره هیدروکربور و همچنین بازدهی مخزن خواهد داشت.

تعیین میزان انیدریت و نحوه توزیع آن در مخزن به‌عنوان یکی از منشأهای ذکر شده در تولید  $H_2S$  می‌تواند به پیش‌بینی وجود این گاز در میدان کمک نماید. از آنجا که این گاز یکی از عوامل ایجاد ریسک به جهت ایجاد انفجار است، لذا بررسی میزان آن به هنگام ذخیره‌سازی گاز ضروری است و به کاهش ریسک تولید می‌انجامد. سازند قم در تاق‌دیس یورت‌شاه با سن میوسن زیرین شامل توالی کربنات‌ها، مارن و تبخیری‌هاست. نتایج این بررسی نشان می‌دهد کیفیت مخزنی این سازند متأثر از فرآیندهای دیاژنزی در طول زمان است. از جمله فرآیندهای دیاژنزی، گسترش انیدریت به‌صورت بافت‌های مختلف مانند سیمان انیدریت با بافت پوکیلوئوپیک یا دربرگیرنده، فراگیر، پرکننده خلل و فرج و شکستگی، به‌همراه گرهک و بلورهای پراکنده در عضوهای مورد مطالعه است.

## روش کار

به‌دلیل اینکه کلیه چاه‌های یورت‌شاه در یک ناحیه تکتونیکی-رسوبی یعنی ناحیه مره کوه قرار دارند و تغییرات رخساره و ضخامت سازند قم در این محدوده از سازند قم نسبتاً کم است، لذا به نظر می‌رسد که تلفیق اطلاعات به‌دست آمده از چاه‌های یورت‌شاه با یکدیگر، نتایج قابل اعتمادی را فراهم نماید. در این مطالعه، جهت شناسایی بافت‌های مختلف انیدریت و بررسی ویژگی‌های

1. Scanning Electron Microscopy (SEM)  
2. X-Ray Diffraction (XRD)  
3. Routine Core Analysis Report (RCAL)

لایه‌های نازک‌تر (حداقل ۲۰ cm) در عضوهای e و f چاه‌های یورتشاه دیده می‌شود (شکل ۲ ب، پ و ت). لایه انیدریت می‌تواند به‌عنوان سنگ‌پوش بخش‌های مخزنی پائینی سازند قم باشد. با انطباق انیدریت‌های شناسائی شده بر روی مقاطع نازک و مشاهده میکروسکوپی این انیدریت‌ها به‌صورت لایه‌ای بر روی مغزه در همین عمق، وجود انیدریت لایه‌ای تأیید شد. حضور این انیدریت در سازند قم به‌صورت اولیه (به‌دلیل بافت دم چلچله‌ای در انیدریت‌های این بخش‌ها) است.

#### سیمان انیدریتی

سیمان انیدریتی یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار در کاهش خواص مخزنی سازند قم است. این سیمان در این مخزن مانند سیمان کلسیتی و دولومیتی، فضای تخلخل بین دانه‌ها را پر می‌کند. در محیط‌های دیاژنزی، انیدریت به‌صورت جانشینی ژپس و هم به‌صورت پرکننده حفرات و قالب‌های انحلالی و یا شکستگی‌ها مشاهده می‌شود.

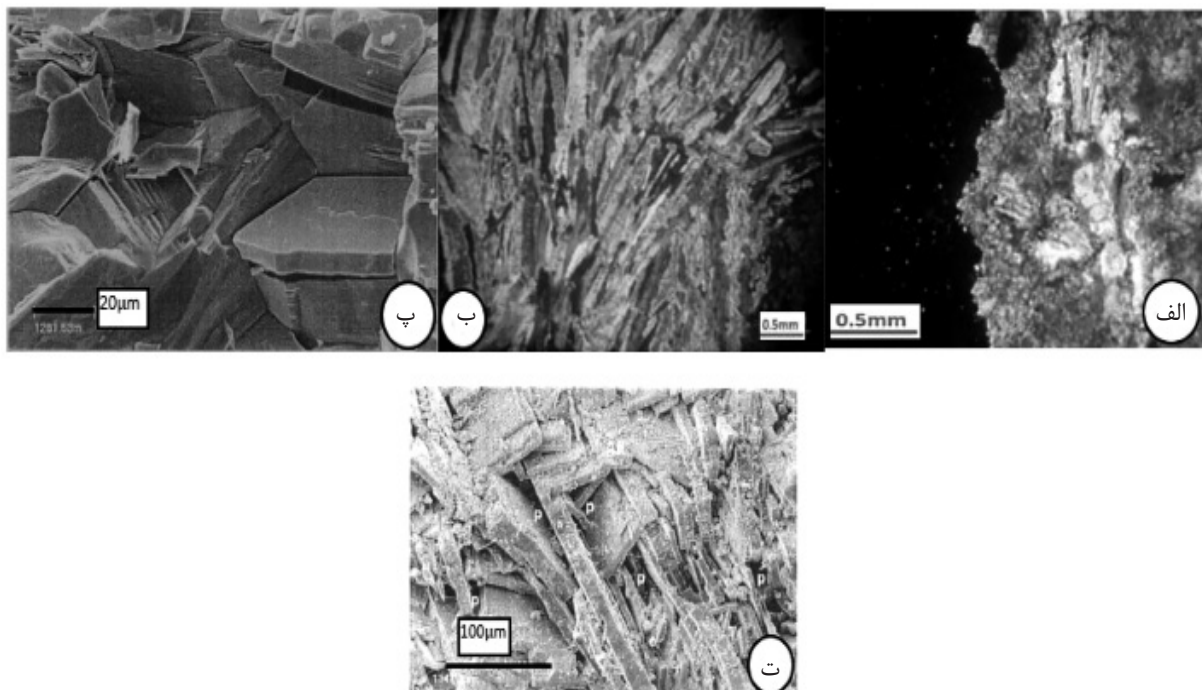
۳- بررسی نمودارهای پتروفیزیکی موجود در چاه یورتشاه-۴ از عمق ۹۳۲-۱۳۲۶ m و مطالعه زمین‌شناسی ساختمانی و رسوب‌شناسی [۲۰] حاصل از توصیف میکروسکوپی مغزه‌های این چاه در ۵۱ m مغزه از بخش رأس سازند قم صورت گرفت.

#### نتایج تحقیق

##### شناخت انواع بافت‌های انیدریت

کانی انیدریت به‌صورت رخساره مستقل و یا با بافت‌های گوناگون همراه با دولومیت‌ها (شکل ۲ الف) در داخل رخساره‌های کربناته در سازند قم تاقدیس یورتشاه دیده می‌شود. بافت‌های شناسائی شده در سازند قم این ناحیه عبارتند از:

۱- انیدریت لایه‌ای این نوع انیدریت می‌تواند به‌عنوان سدی مانع مهاجرت هیدروکربور به لایه‌های بالاتر شود. در بررسی ضخامت آن در چاه‌های تاقدیس یورتشاه، ضخامت آن حداکثر در حدود ۶ m در چاه یورتشاه-۱ و ۵ m در چاه یورتشاه-۴ در عضو d است. همچنین به‌صورت

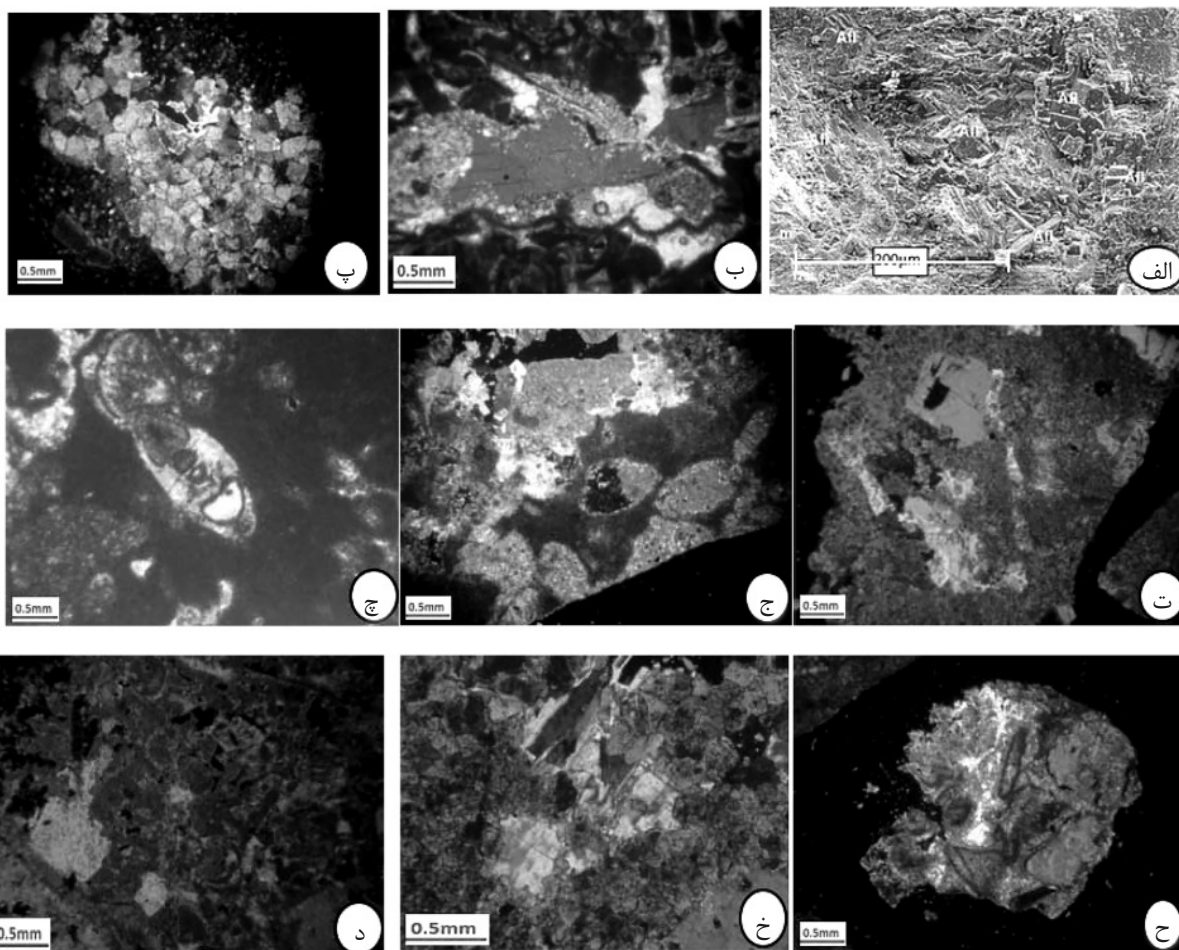


شکل ۲ الف) حضور انیدریت به‌همراه دولومیت در چاه یورتشاه-۱، ب) انیدریت لایه‌ای در عضو d، چاه یورتشاه-۴، پ) تخلخل بین‌بلوری شکل گرفته در انیدریت‌های سوزنی، عضوهای e-f چاه یورتشاه-۳، تصویر SEM از عمق ۱۲۶۱/۵ m، ت) انیدریت‌های سوزنی که مابین آنها تخلخل‌های بین بلوری شکل گرفته است، تصویر SEM از چاه یورتشاه-۳ در عضو 4-c، عمق ۱۳۴۴/۰۳ m



مختلف دیاژنزی تشکیل شده است.  
 ۳- سیمان انیدریت فراگیر<sup>۱</sup> و پرکننده تخلخل<sup>۲</sup> این نوع انیدریت به صورت تجمعی از بلورهای بزرگ با گسترش پراکنده و نامنظم درون مخزن وجود دارد. در بخش‌هایی از این سازند به صورت سیمان در مراحل انتهایی دیاژنز دفنی، فضاهاى موجود را پر کرده و موجب کاهش کیفیت مخزنى شده است (شکل ۳ تا د). تشکیل این انیدریت در قطعات اسکلتی کربناته نیز دیده می‌شود (شکل ۳ ت).

۲- انیدریت پویکیلو توپیک یا دربرگیرنده این بافت در انواع رخساره‌های مخزنى دیده می‌شود که به صورت جانیشینی در زمینه سنگ (شکل ۳ الف) و همچنین، در مواردی به صورت پرکننده تخلخل (شکل ۳ ب) و نیز به طور بخشی در ماسه سنگ‌های قاعده‌ای عضو c-4 مشاهده می‌شود (شکل ۳ پ). سیمان انیدریت پویکیلو توپیک از انواع بافت‌های انیدریت کومه‌ای و به عنوان فراوان‌ترین بافت انیدریت موجود در این مخزن است که طی مراحل



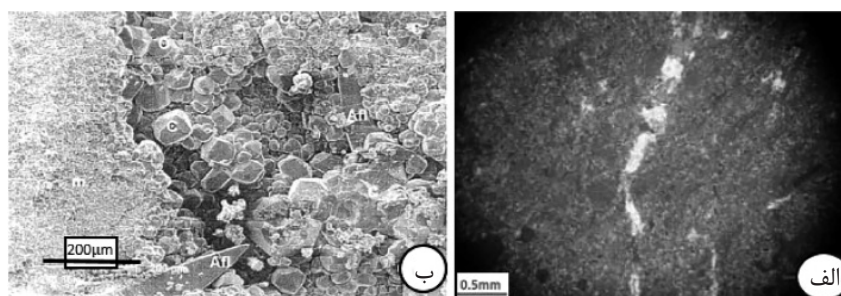
شکل ۳ انواع سیمان انیدریت پویکیلو توپیک و فراگیر در سازند قم، الف) جانیشینی انیدریت (Afl) در زمینه میکرایتی، تصویر SEM از چاه یورتشاه-۳ در عمق ۱۲۶۱/۵ m، ب) سیمان پرکننده تخلخل، پ) سیمان انیدریت پویکیلو توپیک در ماسه سنگ‌های قاعده‌ای سازند قم، عضو c-4 در چاه یورتشاه-۱، ت) سیمان انیدریت فراگیر پرکننده و جانیشینی در تخلخل قالبی فسیل، ج) سیمان انیدریت فراگیر به صورت جانیشینی در دانه‌ها و پرکننده قالب خالی آنها، چ) سیمان انیدریت فراگیر به صورت کومه‌ای که دارای ادخال دولومیت است، ح) سیمان انیدریت فراگیر کومه‌ای که بعد از تراکم دانه‌ها و به صورت جانیشینی در رخساره دولوپکستون شکل گرفته است، خ) سیمان انیدریت کومه‌ای به صورت بلورهای درشت جانیشینی، د) سیمان انیدریت فراگیر کومه‌ای در رخساره دانه غالب گرینستونی که همراه با انحلال است.

1. Pervasive Anhydrite Cement
2. Pore-filling

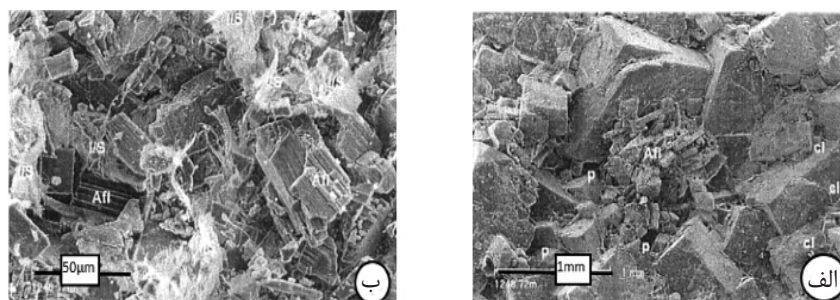
۶ الف، ب و پ). گرهک های انیدریت معمولاً طی مراحل اولیه دیاژنز در محیط های سبخائی و در رخساره های دانه ریز مانند دولومادستون ها تشکیل می شوند [۲۳، ۲۴، ۲۵] و [۲۶]. به سمت بخش های بالایی منطقه بالای جزر و مدی یا سبخا با افزایش شوری به تدریج بر تعداد و بزرگی گرهک ها افزوده شده و ساخت قفس مرغی را ایجاد می کنند [۲۷ و ۲۸]. همراهی این گرهک ها با استروماتولیت های دولومیتی شده [۲۹]، تشکیل آنها را در بخش های بالایی پهنه جزر و مدی یا سبخا تأیید می کند. ۶- بلورهای انیدریت پراکنده و منفرد، این بلورها به صورت پراکنده گسترش یافته اند. شکل بلورها به شکل لوزالوجهی، هم بعد و در مواردی به فرم چندبلوری است (شکل ۶ ت و ج). در مواردی در اثر رخنمون یافتن در سطح و انحلال این بلورها، قالب های آنها به صورت تخلخل های مجزا درون رسوبات باقی مانده و یا توسط سیمان های کلسیتی پر شده است. این بلورها بیشتر در رخساره های بالای پهنه جزر و مدی تا ابتدای سبخا طی مراحل اولیه دیاژنز تشکیل شده اند [۳۰]، که همراهی استروماتولیت های دولومیتی شده با این بافت تأییدی بر این محیط است [۲۹]. از آنجاکه رخساره های جزر و مدی در سازند قم این تاقدیس گسترش چندانی ندارند، این بافت تأثیر چندانی در کاهش کیفیت مخزنی ندارد. به طور کلی، بلورهای انیدریت پراکنده و منفرد و گرهک های انیدریت طی دیاژنز اولیه تشکیل شده اند.

اندازه درشت بلورها و گسترش آن بعد از سیمان های کلسیتی مراحل اولیه دیاژنز، بیانگر تشکیل آن طی مراحل دیاژنز دفنی است. برخی شواهد از قبیل جانشینی دانه ها (شکل ۳ ج) و نیز سیمان های نسل قبلی، وجود ادخال های دولومیت (شکل ۳ چ) یا سیمان های مراحل قبلی درون این نوع سیمان، همراهی آن با سیمان های مراحل تدفینی و تشکیل این سیمان پس از تراکم (شکل ۳ ح) و حضور آن به صورت بلورهای بزرگ (شکل ۳ خ) بیانگر تشکیل آن طی مراحل دیاژنز دفنی است [۲۱]. باید توجه داشت در مواردی انحلال بخشی انیدریت فراگیر آن را به صورت کومه ای و پراکنده نمایان می سازد که تشخیص آن را از این نوع سیمان مشکل می نماید (شکل ۳ د). در این حالت انحلال این سیمان همراه با ایجاد فضاهای تخلخل بهم مرتبط بوده که از دیدگاه مخزنی حائز اهمیت است [۲۲].

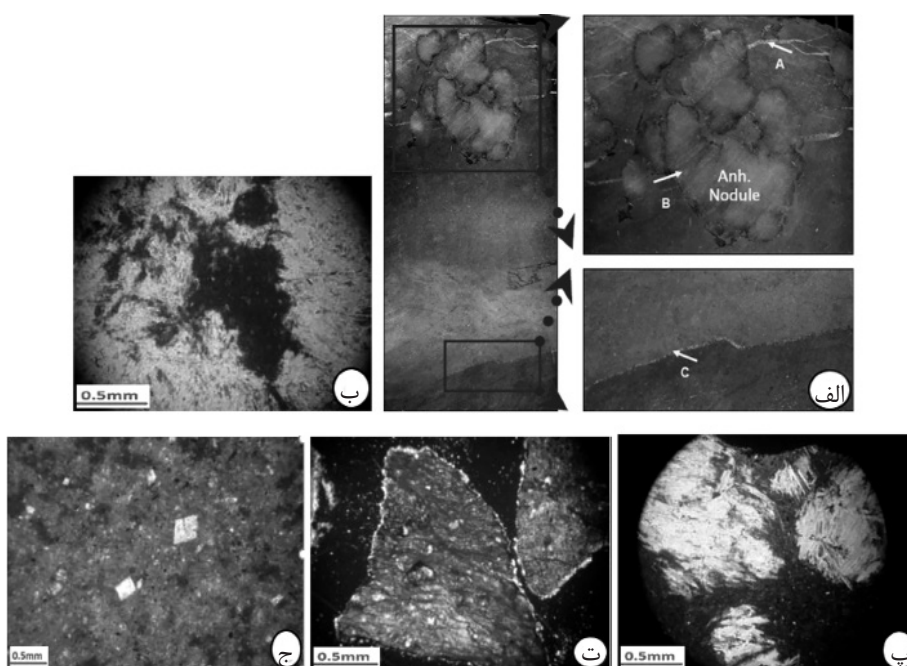
۴- سیمان انیدریت پرکننده شکستگی ها این نوع بافت انیدریت پس از شکستگی سنگ ها در مرحله تدفین، تخلخل های حاصل از شکستگی را به طور کامل یا بخشی مسدود نموده است (شکل های ۴ الف و ب و ۵ الف و ب). معمولاً به صورت سیمان دیاژنز تدفینی، همراه با سایر سیمان های دفنی و در رخساره های دانه ریز دولومادستونی یافت می شود. این بافت در تاقدیس یورتشاه گسترش چندانی ندارد. ۵- گرهک های انیدریت این نوع بافت با اندازه بزرگ در زمینه ای از آهک دانه ریز (مادستون) در روی نمونه های مغزه قابل تشخیص است (شکل



شکل ۴ الف) سیمان انیدریت، شکستگی را به طور کامل پر کرده است، چاه یورتشاه-۱، ب) شکستگی توسط سیمان کلسیتی (c) و سیمان انیدریتی (Afl) به طور بخشی پر شده است، تصویر SEM از چاه یورتشاه-۳، عمق ۱۲۹۶ m



شکل ۵ الف) سیمان کلسیتی پرکننده شکستگی، در کنار آن انیدریت (Afl) نیز به عنوان سیمان پرکننده دیده می شود، تصویر SEM از چاه یورتشاه-۳، عمق ۱۲۴۸/۷۲ m، ب) انیدریت (Afl) به همراه سیمان کلسیتی که پرکننده تخلخل شکستگی هستند، تصویر SEM از چاه یورتشاه-۳، عمق ۱۲۴۸/۷۲ m



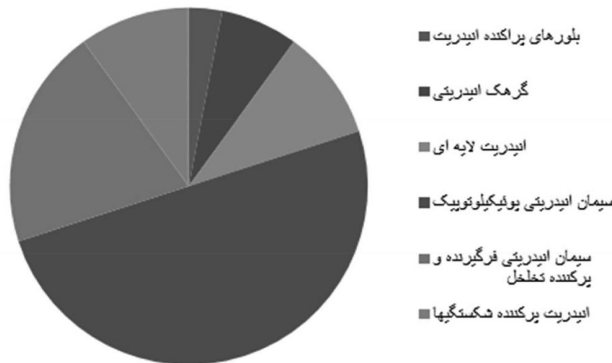
شکل ۶ الف) شکستگی های پر شده که گرهک های انیدریتی آنها را احاطه کرده اند، چاه یورتشاه-۴، عمق ۱۰۰۴/۱ m، ب) گرهک انیدریتی با بافت قفس مرغی (پ) گرهک های انیدریت پراکنده در متن ماتریکس، ت) بلورهای پراکنده تبخیری در متن ماتریکس مربوط به قسمت فوقانی پهنه جزر و مدی تا محیط سبخائی، ج) بلورهای پراکنده ژئپس که در قالب های لوزی شکل بلورهای دولومیت پراکنده در متن ماتریکس جانشین شده اند، رخساره مربوط به پهنه جزر و مدی

انیدریت در این چاه را به طور متوسط ۸-۳٪ بیشتر نشان می دهند. بررسی تأثیر سیمان انیدریت بر خواص مخزنی سازند قم در مطالعات زمین شناسی مخزن، تشکیل انواع انیدریت می تواند به دو صورت افزایش یافته و یا کاهش یافته کیفیت مخزنی عمل نموده و به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر کیفیت خواص مخزنی مؤثر باشد. به طور کلی سیمانی شدن، انحلال و توسعه شکستگی ها مهم ترین فرآیندهای دیاژنتیکی کنترل کننده کیفیت سنگ مخزن قم هستند.

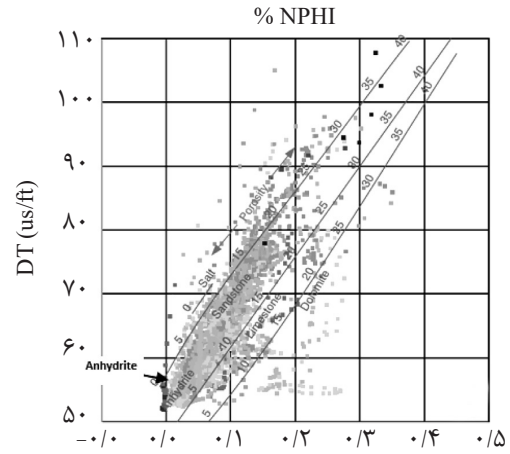
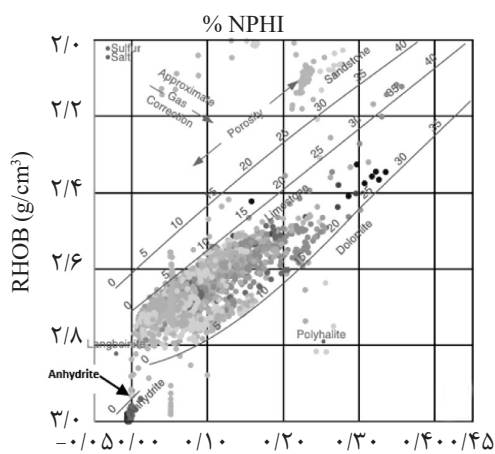
جدول ۱ به صورت شماتیک انواع بافت های انیدریت و توالی پارژنتیکی آنها را در مخزن مورد مطالعه نشان می دهد. تنوع بافت های انیدریت بازتابی از زمان تشکیل و خاستگاه اولیه آنها است. درصد فراوانی انواع بافت های انیدریت در چاه یورتشاه-۱ در شکل ۷ نشان داده شده است. بررسی انجام شده بر روی نمودارهای مقاطع پتروفیزیکی NPHI/RHOB (شکل ۸ الف) و NPHI/DT (شکل ۸ ب) چاه یورتشاه-۴، حضور انیدریت را نشان می دهد. این نمودارها پراکندگی

جدول ۱ انواع انیدریت و توالی دیاژنتیکی آن در ناقدیس یورتشاه

شرح	محیط های دیاژنتیکی			وقایع دیاژنتیکی
	تدفین عمیق	تدفین کم عمق	محیط دیاژنتیکی سطحی	
ژپیس و انیدریت که عمدتا در ارتباط با پهنه جزر و مدی است				متداول کمتر متداول
بیشتر در ارتباط با محیط سبخانی و تحت تاثیر شورابه های منفذی درون رسوبات تشکیل شده و احتمالا بصورت ژپیس اولیه تشکیل شده باشد				
درون شورابه های سبخانی و احتمالا بصورت ژپیس اولیه ته نشین شده				
بصورت پرکننده تخلخل و جانشینی گاهی همراه با ادخال دولومیت				انیدریت پویکلوئوپیک
بلورهای درشت با گسترش یکنواخت، پرکننده کل منافذ رخساره دانه پشتیبان				انیدریت فراگیر
بلورهای درشت، عمدتا پرکننده شکستگیهای موجود در دولوماندستونها				انیدریت پرکننده شکستگی



شکل ۷ درصد فراوانی انواع انیدریت در سازند قم، چاه یورتشاه-۱



شکل ۸ الف) کراس پلات NPHI/DT در چاه یورتشاه-۴، ب) کراس پلات NPHI/RHOB در چاه یورتشاه-۴



نتیجه‌گیری بهتر با تهیه مقاطع نازک میکروسکپی جدید (۴۳ مقطع) از چاه یورتشاه-۴ وجود سیمان انیدریتی بررسی و حضور آن در این میدان کاملاً محرز شد [۱۱]. وجود سازند قرمز بالای در مرز بالایی سازند قم به همراه لایه‌های تبخیری فراوان می‌تواند به‌عنوان نزدیکترین منشأ و از جمله منابع اصلی تأمین‌کننده رسوب سیمان انیدریت باشد که این سیمان در اثر شستشوی لایه‌های تبخیری بالا و نفوذ به لایه‌های زیرین به‌صورت سیمان به شکل ثانویه تشکیل می‌گردد. این منشأ به‌دلیل وجود لایه‌های تبخیری نزدیک به سازند قم حاوی انیدریت فراوان - که به‌عنوان پوش سنگ مخزن قم مطرح است - به‌عنوان منشأ احتمالی انیدریت در نظر گرفته می‌شود. چاه یورتشاه-۴ در عضوهای e و f دارای شکستگی‌های پر شده با کلسیت و انیدریت تا شکستگی‌های باز به‌همراه زون گسلی فاقد کانی‌زایی است و زون مخزنی مناسبی جهت تولید است [۱۱].

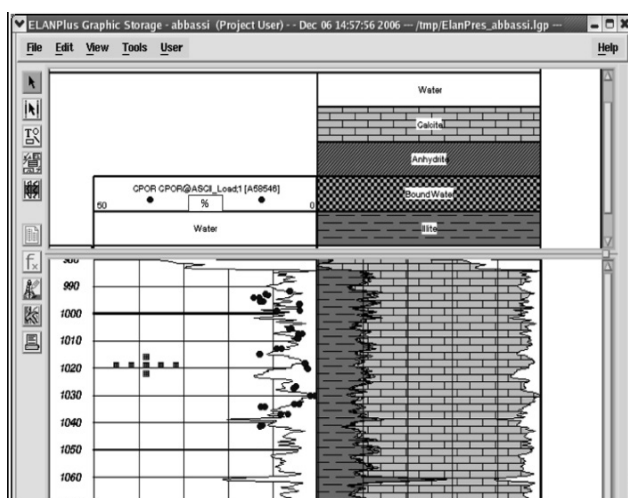
سازند قم در این میدان با عضو c-4 آغاز شده که در قاعده شامل آهک با قطعات کنگلومرانی است و در ادامه آهک با میان لایه‌های آهک رسی ته‌نشست یافته است. جداسازی عضوهای e و f در این مطالعه امکان‌پذیر نیست و براساس تغییرات سنگ‌شناسی که در بخش بالایی غالب آن مارن تا سنگ آهک رسی، قسمت میانی شامل سنگ آهک ماسه‌ای و بخش زیرین شامل سنگ آهک، دولومیت، سنگ آهک رسی و لایه‌های ژئوسی نزدیک به رأس است، قابل مطالعه است و در مجموع به‌صورت تناوبی از سنگ آهک تا سنگ آهک رسی و مقدار کمی مارن است. در عضوهای e و f رسوبات بیشتر به‌صورت گل غالب بوده و تناوبی از مارن و آهک رسی مشاهده می‌شود. براساس مطالعه ۱۷ نمونه در میکروسکپ الکترونی که در چاه یورتشاه-۳ انجام شد، عمده تخلخل این چاه ریزتخلخل شناسائی شده است.

مهم‌ترین عوامل دیاژنزی کاهش‌دهنده تخلخل و تراوایی در سازند قم تراکم و سیمانی شدن است. آثار تراکم در این مخزن به‌صورت گسترش استیلولیت‌ها بر روی مغزه‌ها و سیمانی شدن به‌صورت پرکننده منافذ تخلخل و شکستگی‌ها قابل مشاهده است.

در بررسی انجام شده توسط میکروسکپ الکترونی و آنالیز پراش اشعه ایکس در چاه یورتشاه-۳، سیمان‌های کلسیتی به فور، کمی کلسیت آهن‌دار، دولومیت، دولومیت آهن‌دار و انیدریت (به‌ترتیب فراوانی آنها کاسته می‌شود) به‌طور وسیعی تخلخل‌های اولیه و ثانویه را پر کرده‌اند. شبکه تخلخل‌های باز به‌طور محلی شامل شکستگی‌هایی است که به میزان زیاد تا متوسط پر شده‌اند. استیلولیت‌ها و ریزتخلخل‌های درون ماتریکس میکرایتی گسترش دارند. استیلولیت‌ها نیز ریزتخلخل‌های موجود در ماتریکس را با رس پر کرده و باعث کاهش تراوایی قائم شده‌اند [۱۵]. مطالعه محیط رسوبی مغزه چاه یورتشاه-۴ که معادل با بخش‌های بالایی عضو e و عضو f است، نشان می‌دهد که سنگ‌شناسی آهک تا آهک رسی با بافت گل پشتیبان بیشترین توسعه را دارد. بررسی که شرکت پژوهشگاه نفت در این چاه انجام داده است [۲۰]، نشان می‌دهد که پرشدگی شکستگی‌ها تنها با کلسیت است. حتی شکستگی‌هایی که در مجاورت گرهک‌های بزرگ انیدریت قرار دارند، نیز هیچ‌گونه پرشدگی با انیدریت را نشان نمی‌دهند. اما در مطالعات انجام گرفته با میکروسکپ الکترونی بر روی نمونه‌های چاه یورتشاه-۳ در عمق ۱۲۴۸/۷۲ m و همچنین مطالعات مقاطع نازک میکروسکپی در اعماق مختلف، به حضور سیمان انیدریت در بخش‌های مختلف سازند قم به‌صورت felted lath یا بلورهای پوئیکیلوتوپیک پرکننده حفرات، شکستگی‌ها، منافذ استیلولیت‌ها، قالب‌های فسیلی و شکستگی‌های بین‌اسکلتی در این چاه اشاره دارد [۱۵]. لذا، جهت

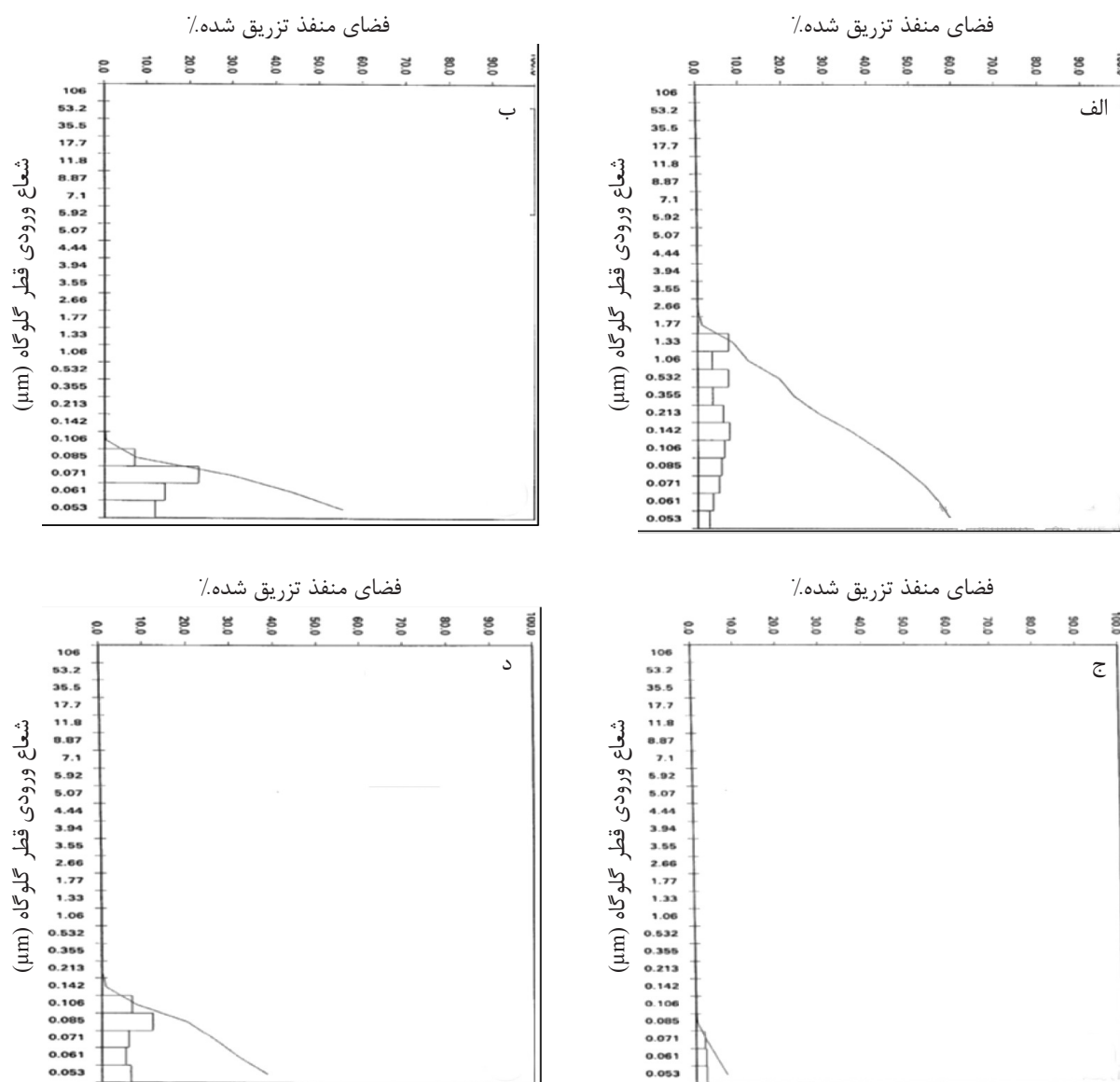
افزایش تراوایی در سازند قم شده است عمدتاً در مارن‌ها و آهک‌های مارنی مشاهده می‌شود. این موضوع سبب شده است که بخش‌های تولیدکننده در چاه‌های تولیدی سازند قم به‌طور مثال در میدان البرز صرفاً منطبق بر مارن‌ها و آهک‌های مارنی دارای شکستگی باشد. همچنین در چند تست تولیدی که در چاه‌های میدان یورتشاه انجام شده است، نیز بخش‌های مخزنی منطبق بر مارن‌ها و آهک‌های رسی دارای شکستگی عضوهای e و f است. در سازند قم این عضوها با وجود بالا بودن درصد اشباع آب، توان تولید خوبی خواهند داشت، چراکه در آنها به‌دلیل ریزتخلخل بودن بافت سنگ، کشش سطحی ماتریکس رسی نسبت به آب بیشتر شده و متعاقباً درصد آب غیرقابل تولید<sup>۲</sup> بیشتر خواهد بود. چنانچه در میدان یورتشاه نیز ریزتخلخل‌ها در عضوهای e و f فراوان است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). بررسی نتایج آزمایش مغزه‌ها در سازند قم میدان البرز تأیید می‌کند که این عضوها به‌دلیل بالا بودن درصد اشباع‌شدگی آب غیرقابل استحصال با وجود اشباع‌شدگی بالای آب (تا حدود ۷۵٪) هم می‌توانند مخزن و زون تولیدی خوبی باشند و قابلیت تولید در مناطقی که با شکستگی‌ها همراه باشند، به‌دلیل افزایش تراوایی، افزایش خواهد یافت.

نمودارهای پتروفیزیکی چاه یورتشاه-۴ در نرم‌افزار Elan به‌طور کامل از عمق ۹۳۲ تا ۱۳۲۶ m بر روی مجموعه اصلی چاه باز<sup>۱</sup> به‌جز نمودار مقاومت که در چاه گرفته نشده، تفسیر شد که در روی آن تخلخل تفسیر شده در بخش‌های پایینی عضوهای c-4 تا e، بین ۵-۸٪ است، اما در بخش‌های بالایی عضو e و در عضو f (۹۴۰-۱۱۰۰ m)، ریزتخلخل افزایش یافته و بر میزان تخلخل می‌افزاید که براساس تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی و انطباق آنها با نمونه‌های مغزه تخلخل بین ۹ تا ۱۲٪ تأیید می‌گردد (شکل ۹، [۳۱]). بر مبنای شواهد میکروسکوپی، تخلخل ثانویه در تقادیس یورتشاه عمدتاً شکستگی و به‌طور کمتر تخلخل قالبی (در قالب اسکلت‌ها) است که به تخلخل موجود اضافه شده و تا حد زیادی کیفیت مخزنی، وابسته به آن است. تخلخل حاصل از شکستگی در نمونه‌های مغزه و مقاطع میکروسکوپی مارن‌ها و آهک‌های مارنی بخش e و c-4 سازند قم قابل مشاهده است. شکستگی‌ها از مهم‌ترین عوامل دیاژنزی افزایش‌دهنده تراوایی سازند قم هستند و باعث افزایش تراوایی از کمتر ۰/۰۱ mD در ماتریکس فاقد شکستگی به حدود ۴۰ mD در بخش‌های همراه با شکستگی گردیده است. در ضمن ایجاد شکستگی که منجر به

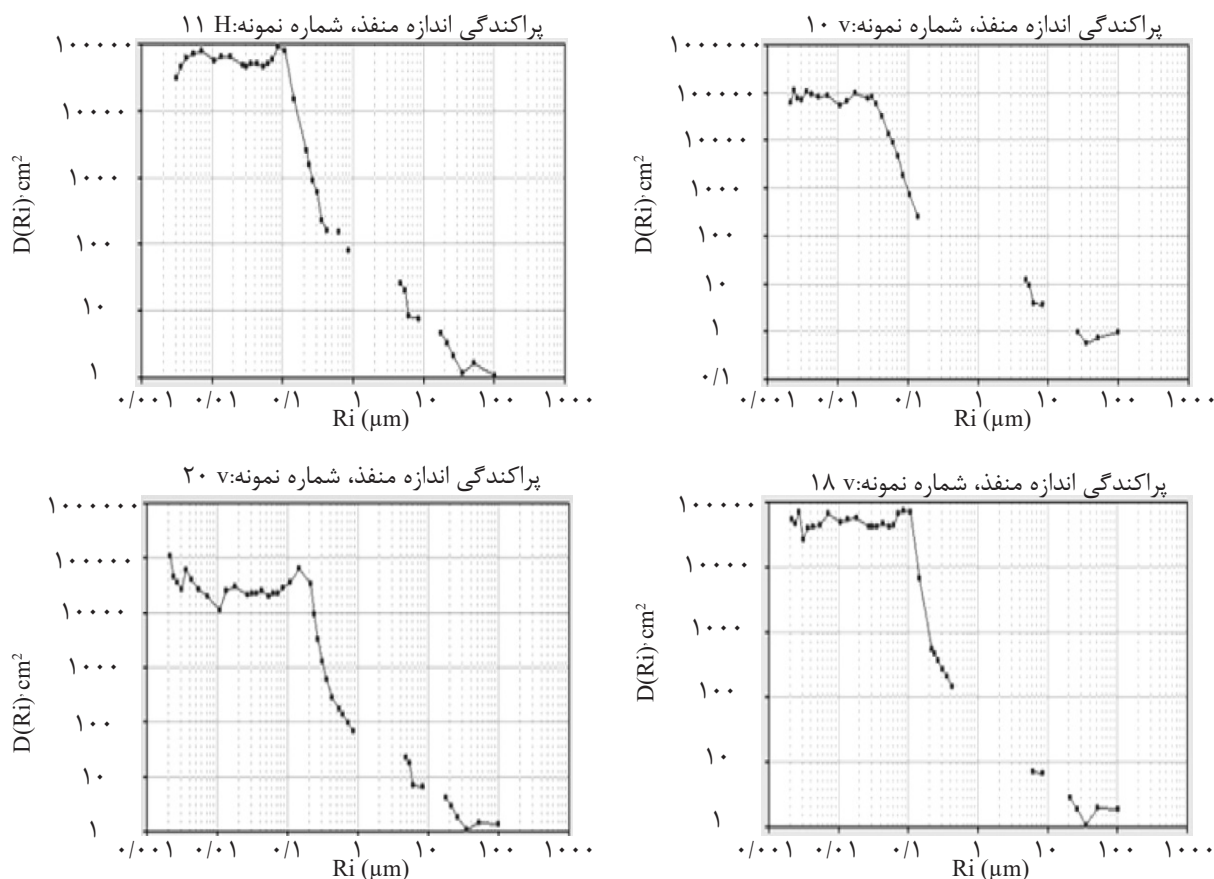


شکل ۹ مطابق لاج پتروفیزیکی تخلخل با تخلخل حاصل از مغزه در سازند قم، چاه یورتشاه-۴، مقیاس قائم ۱/۱۰۰۰

1. Basic Partial Set of Open Hole Wirelines Tools
2. Irreducible Water Saturation



**شکل ۱۰** اندازه‌گیری گلوگاه منافذ چهار نمونه از چاه یورتشاه-۲، قطر منافذ از آنالیز فشار موئینگی با تزریق جیوه محاسبه شده است، الف) نمونه از عمق ۵۴۱/۷۳ m با تخلخل ۱۳/۹٪ و تراوایی ۰/۰۳ mD، ب) نمونه از عمق ۵۷۶/۱۸ m با تخلخل ۹/۳٪ و تراوایی ۰/۱۷ mD، ج) نمونه از عمق ۶۲۹/۹۵ m با تخلخل ۹/۱٪ و تراوایی کمتر از ۰/۰۱ mD، د) نمونه از عمق ۷۰۶/۲ m با تخلخل ۸٪ و تراوایی کمتر از ۰/۰۱ mD [۱۷]



شکل ۱۱ اندازه منافذ چهار نمونه از چاه یورتشاه-۴، پراکندگی قطر منافذ براساس توسط تئوری ۱۹۴۵ Dark and Ritter. با استفاده از سیال جیوه انجام شد. الف) نمونه از عمق ۱۰۱۲/۸۵ m، ب) نمونه از عمق ۱۰۱۴/۸۶ m، ج) نمونه از عمق ۱۰۳۴/۲۷ m، د) نمونه از عمق ۱۰۴۱/۲۲ m

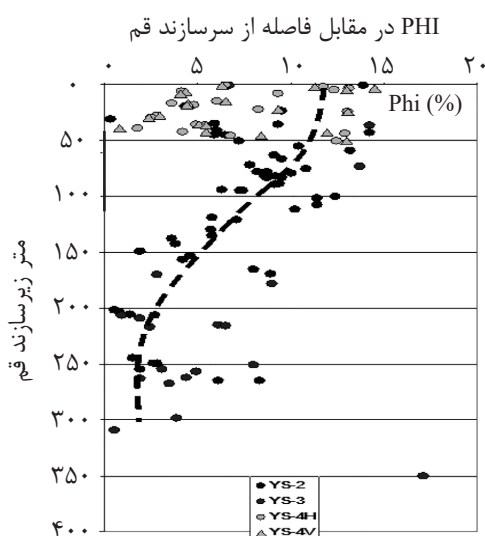
و تشکیل انواع سیمان‌ها از جمله سیمان انیدریتی شده است که در بعضی عضوها به‌همراه دیگر سیمان‌ها به‌طور کامل تخلخل موجود را از بین برده است. تخلخل در عضو ۴-۵ عمدتاً ریزتخلخل در ماتریکس است که ریز تخلخل‌ها به‌دلیل کوچک بودن گلوگاه‌های تخلخل، تراوایی بسیار کمی هم دارند. بررسی نمونه‌های مغزه از چاه یورتشاه-۴ نشان می‌دهد که عمده تخلخل در عضوهای e و f ریزتخلخل‌ها هستند (شکل ۱۱)، [۱۹]. همچنین، با مطالعه ماکروسکوپی مغزه و مطالعه نمودارهای پتروفیزیکی چاه یورتشاه-۴ در عضوهای e و f، تخلخل شکستگی‌ها به میزان متوسط قابل مشاهده است (شکل ۹) که در کنار ریزتخلخل در ماتریکس، تخلخل را در حدود ۱/۵-۱٪ افزایش می‌دهد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

بهره برداری از چاه‌های البرز ۱۰، ۹ و ۱۱ نشان می‌دهد که مناطق تولیدکننده در بخش e عمدتاً افق‌های دارای شکستگی و دارای اشباع شدگی آب در محدوده ۷۵-۶۷٪ هستند که این موضوع تأییدکننده مطالب فوق است [۱۴]. اگرچه سازند قم در این میدان مخزن آبی بوده و اشباع آب ۱۰۰٪ است، اما با تخلیه آب از این عضوها می‌توان از آنها به‌عنوان یک مخزن مناسب جهت ذخیره‌سازی گاز استفاده نمود. به‌خصوص آنکه در این عضوها عمدتاً شکستگی‌ها در مارن و آهک‌های رسی توسعه یافته و باعث افزایش تراوایی آنها شده است. در حال حاضر عضوهای e و f مخزن قم، در ایران مرکزی و میدان البرز، بخش‌های تولیدی چاه‌ها را تشکیل داده‌اند [۱۴]. چرخش آب غنی از املاح در بین عضوهای سازند قم میدان یورتشاه باعث رسوب



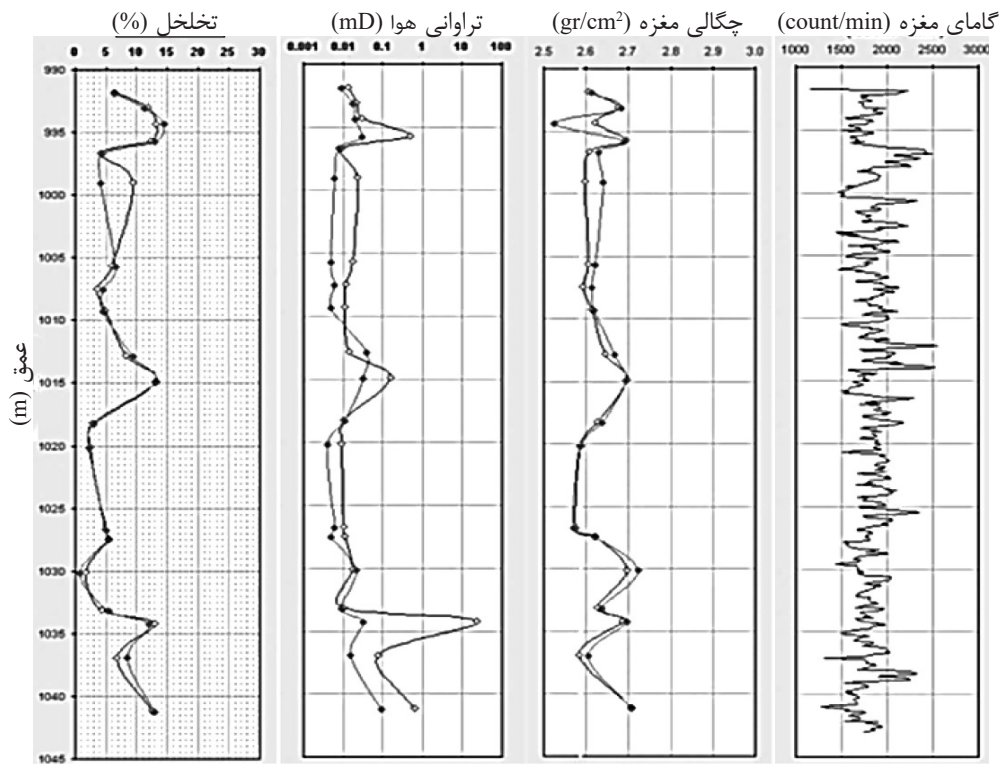
مخازن زیرین در منطقه باشد. اگرچه که عضو c-4 خاصیت مخزنی ضعیفی در این میدان دارد و سازند قرمز بالایی هم در این میدان به‌عنوان سنگ‌پوش عضوهای بالایی سازند قم در نظر گرفته شده است. به‌طور کلی، می‌توان گفت که توزیع انیدریت در رخساره‌های آهکی به‌صورت اندک است و غالباً در رخساره‌های دولومیتی دیده می‌شود (شکل ۱۵) لذا در کیفیت مخزنی رخساره‌های آهکی تأثیر چندانی ندارد. انواع بافت‌های انیدریت با اهمیت و گسترش بیشتر در مخزن شامل انیدریت لایه‌ای، انیدریت پویکیلو توپیک و انیدریت نودولی و نیز انواع با اهمیت کمتر شامل بلورهای تبخیری و انیدریت پرکننده شکستگی‌ها است. انیدریت لایه‌ای به‌صورت زون‌های جداگانه در سازند قم تنها در ضخامت محدودی (کمتر از ۱ m در بخش‌های بالایی سازند قم تا حداکثر ۶ m در عضو d) گسترش دارد که توزیع انیدریت به استثنای این بخش‌ها درصد کمی (۳-۸٪) را در این مخزن شامل می‌شود. در شکل ۱۵، درصد پراکندگی کلی بافت‌های انیدریت در سازند قم در چهار عضو مذکور با ستون چینه‌شناسی به نمایش در آمده است.

ماتریکس سازند قم در این میدان اساساً کم تراوا<sup>۱</sup> و دارای تراوایی ۱ تا ۰/۰۱ mD می‌باشد، اما شکستگی‌ها تراوایی را به ۴۰ mD می‌رسانند (شکل ۱۴). در چاه یورتشاه-۴ روش اندازه‌گیری تراوایی، اندازه‌گیری تراوایی هوا<sup>۲</sup> است که با دستگاه التراپروزمیتر<sup>۳</sup> در شرایط محیطی اندازه‌گیری شده و از معادله داری برای محاسبه استفاده شده است. تخلخل و چگالی دانه‌ها در شرایط محیطی با استفاده از انبساط هلیوم و به‌کارگیری قانون بویلی برای حجم عددی دانه‌ها با استفاده از دستگاه التراپروزمیتر A 200 است. شایان ذکر است که چاه یورتشاه-۴ نسبت به چاه یورتشاه-۲ به‌علت نزدیکی به گسل، دارای شکستگی بیشتری است. تخلخل شکستگی‌ها در این عضوها اکثراً نیمه پر شده‌اند. به‌طور کلی تخلخل سنگ مخزن براساس تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی در اوایل سازند قم یعنی عضوهای e و f حدود ۱۰ تا ۱۴٪، سپس در بخش‌های پایینی عضو e کاهش یافته و به ۳ تا ۶٪ و بالاخره در عضو c-4 به مقدار کمتر از ۳ تا ۵٪ می‌رسد (شکل ۱۲). عضو d به‌دلیل تشکیل لایه انیدریتی می‌تواند به‌عنوان سنگ‌پوش برای

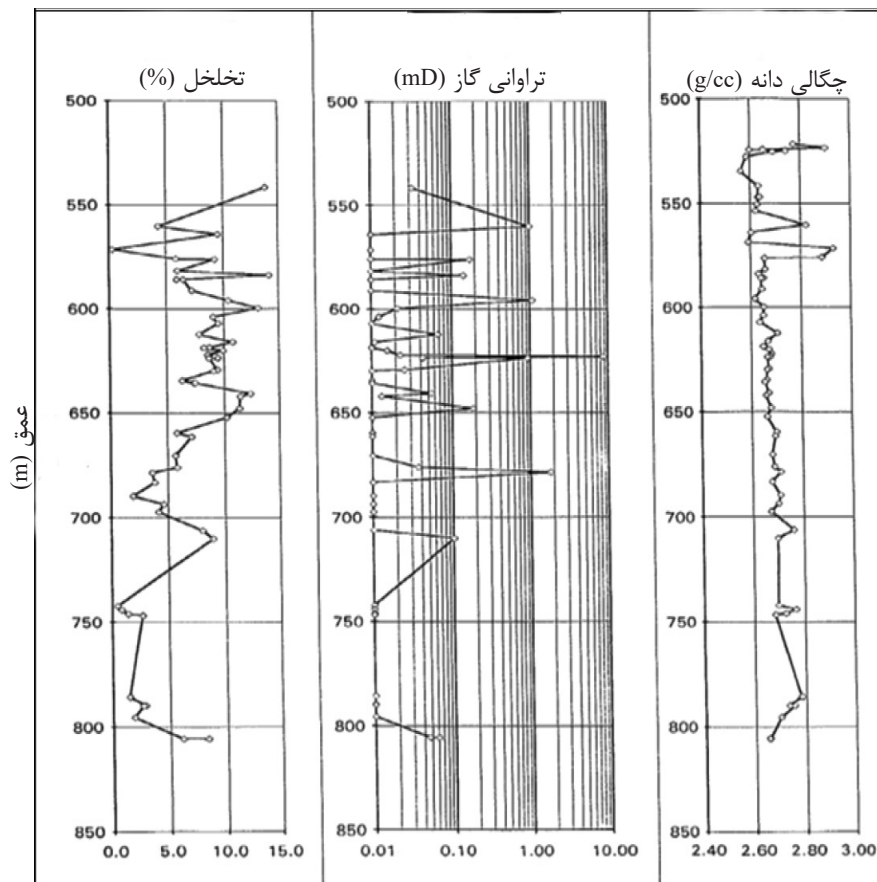


شکل ۱۲ پراکندگی تخلخل نسبت به فاصله از سازند قم در میدان یورتشاه

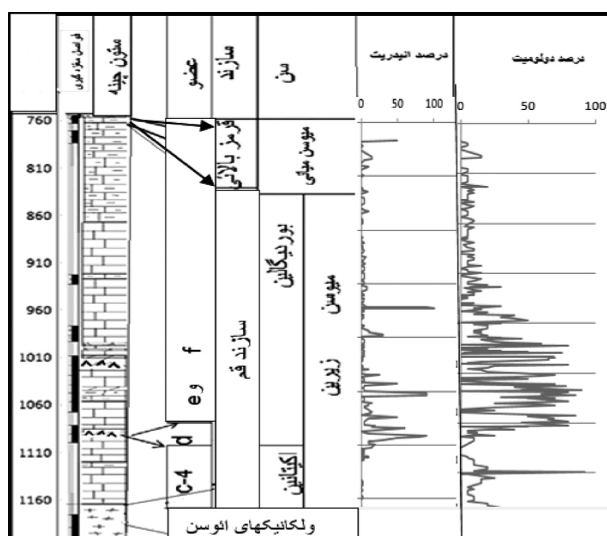
1. Tight
2. Air Permeability
3. Ultrapermometer



شکل ۱۳ میزان چگالی، تخلخل و تراوانی افقی و قائم نمونه‌ها از ۵۱ مغزه بخش راسی سازند قم، چاه یورتشاه-۴



شکل ۱۴ میزان چگالی، تخلخل و تراوانی افقی و قائم نمونه‌ها در ۳۵۰ m مغزه چاه یورتشاه-۲، سازند قم



شکل ۱۵ درصد انیدریت و دولومیت براساس مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی در برابر ستون چینه‌شناسی چاه یورتشاه-۱

پدیده در بعضی از مقاطع نازک این مخزن در تاقدیس یورتشاه مشاهده می‌شود. بنابراین، در مخزنی که تحت تأثیر سیمان انیدریت فراگیر قرار گرفته باشد، باید فرآیندهای دیاژنزی دیگری همچون انحلال و شکستگی را نیز مد نظر داشت. به‌طور کلی، می‌توان گفت که گسترش بافت‌های مختلف انیدریت و تأثیرشان بر روی کیفیت مخزنی تحت کنترل سه عامل نوع رخساره، فرآیندهای دیاژنزی دیگر (انحلال، شکستگی و تراکم) و حضور سیالات شور (غنی از سولفات) و ارتباط متقابل آنها در مخزن است [۲۱]. در پایان باید به این نکته اشاره نمود که توانایی پیش‌بینی وجود سولفید هیدروژن در میادین حفاری نشده، ایده بسیار مناسبی در کاهش ریسک اکتشاف و تولید خواهد بررسی میزان و گسترش انیدریت به‌عنوان یکی از منشأهای ذکر شده در تولید  $H_2S$  در مخازن ضروری است و باید مورد بررسی قرار گیرد چرا که سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) یک ترکیب غیرمطلوب در مخازن گازی به شمار می‌رود که نه تنها سهم اقتصادی هیدروکربن‌های باارزش مخازن گازی را کم می‌کند، بلکه دارای اثرات سمی است و باعث خوردگی تجهیزات بهره‌برداری مخازن می‌گردد. بنابراین، بود.

روند و گسترش سیمان انیدریت همسو با دولومیتی‌شدن است (شکل ۱۵). پدیده دولومیتی‌شدن باعث می‌شود سیالات، فقیر از منیزیم و غنی از کلسیم شوند. این امر ارتباط بین دولومیتی‌شدن و ته‌نشینی انیدریت در جایی که سولفات موجود باشد را نشان می‌دهد و می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش تخلخل شود [۳۲ و ۳۳]. اما در جاهایی که لایه‌های انیدریت حضور دارند به‌علت اولیه بودن انیدریت، گسترش دولومیت‌ها دیده نمی‌شود. به‌طور کلی، گسترش سیمان انیدریت پرکننده تخلخل و فراگیر، باعث از بین رفتن کیفیت مخزنی شده است، اما تأثیر مثبت این سیمان بدین صورت است که با گسترش در بین دانه‌های سنگ و سیمانی کردن کامل آن در طی تدفین کم‌عمق و در نتیجه، اشغال بخش عمده فضای خالی سنگ از تراکم بیشتر آن در مراحل بعدی جلوگیری می‌کند. در مواردی که سیمان انیدریتی تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی دیگری همچون انحلال و شکستگی در مراحل بعدی قرار گیرند، کیفیت مخزنی را بهبود می‌بخشد [۱۸]. از طرفی، سیمانی‌شدن کامل رخساره‌های دانه غالب توسط سیمان فراگیر احتمالاً شکنندگی آنها را افزایش می‌دهد. چنانچه در مواردی این

## نتیجه‌گیری

۱- شش بافت مختلف انیدریت در سازند قم تاقدیس یورتشاه شناسائی شد.

۲- از بین بافت‌های مختلف انیدریت، سیمان‌های تاخیری انیدریت پوئیکیلوتوپیک و فراگیرنده نسبت به سایر سیمان‌ها نقش مؤثرتری در کاهش کیفیت مخزنی داشته‌اند. از طرف دیگر، تأثیر فرآیندهای دیاژنزی از جمله انحلال و پدیده‌هایی مانند شکستگی که به دنبال انیدریتی شدن ایجاد شده‌اند را در بررسی‌های مخزنی باید مدنظر قرار داد. لذا، گسترش انیدریت و بافت‌های مختلف آن و ارتباط آنها با کیفیت مخزنی تحت کنترل سه عامل بافت رسوبی، حضور شورابه‌های غنی از سولفات در محیط و در نهایت، تأثیر فرآیندهای دیاژنزی دیگری مانند انحلال و شکستگی طی مراحل بعدی است.

۳- سیمان انیدریت به‌همراه دیگر سیمان‌ها، عضوهای c و f سازند قم را کمتر متأثر کرده و از آنجا که در این عضوها ریزتخلخل به‌همراه شکستگی‌ها، تخلخل غالب را تشکیل می‌دهد، این دو عضو بهترین بخش جهت ذخیره‌سازی گاز هستند. اما در عضو c-4 به‌علت سنگ‌شناسی متفاوت آن از سایر عضوها، تخلخل‌ها توسط سیمان انیدریت و دیگر سیمان‌ها پر شده است و این عضو کیفیت مخزنی مناسبی جهت ذخیره‌سازی گاز ندارد. به نظر می‌رسد که

عضو d به‌علت تشکیل انیدریت لایه‌ای با ضخامت محدود ۶ m می‌تواند سنگ‌پوش خوبی برای مخازن محتمل زیرین باشد.

۴- در مرحله ذخیره‌سازی گاز، شناسایی نواحی گسترش انیدریت، پیش‌بینی وجود سولفید هیدروژن را در فواصل حفاری فراهم ساخته و ریسک ذخیره‌سازی را کاهش می‌دهد زیرا انیدریت به‌عنوان یکی از منشأهای ذکر شده در تولید  $H_2S$  است. این گاز از آنجا که می‌تواند گاز شیرین را ترش کند و نیز باعث خوردگی لوله‌های حفاری و تجهیزات شود، باعث افزایش هزینه‌های به‌سازی تجهیزات تولید، مثل جایگزینی خطوط لوله و امکانات سرچاهی و پالایش می‌شود.

۵- از آنجا که انیدریت عموماً درصد کمی (۰.۳-۸٪) را در این مخزن شامل می‌شود، به تنهایی و بدون در نظر گرفتن تأثیر دیگر سیمان‌های موجود در این سازند، تأثیر چندانی در کیفیت مخزنی آن ندارد.

## تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانیم از شرکت ملی گاز ایران که به‌عنوان حمایت‌کننده مالی بوده و مساعدت لازم را در جهت انجام این مقاله در مخزن ذخیره‌سازی فراهم نموده، تشکر و قدردانی نمائیم.

## مراجع

- [۱]. باغبانی د، الهیاری م، و شاکری ع، "زمین‌شناسی و چینه‌شناسی حوضه ایران مرکزی بویژه رسوبات الیگو-میوسن و بررسی توان هیدروکربوری آن (ایران مرکزی)"، شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف، گزارش زمین‌شناسی شماره ۱۸۳۸، ۱۰۳ صفحه، ۱۳۷۵.
- [2]. Stöcklin J. and Setudehina A., "Stratigraphic lexicon of Iran," Geological Survey of Iran Report, Vol. 18, pp. 1-376, 1991.
- [۳]. مظاهری ف، "مجموعه جانوری مرجانی الیگوسن و میوسن زیرین ایران مرکزی: محیط زیست دیرینه و جغرافیای دیرینه"، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۷۹، صفحات ۶۰ تا ۶۷، ۱۳۹۰.
- [4]. Mohammadi E., Vaziri M. R. and Dastanpour M., "Biostratigraphy of the nummulitids and lepidocyclinids bearing Qom Formation based on larger benthic foraminifera (Sanandaj - Sirjan fore-arc basin and Central Iran back-arc basin, Iran)," Arabian Journal of Geosciences, Vol. 8, Issue 1, pp. 403-423, 2015.



[۵]. جلالی م.، صادقی ع. و آدابی م.، "ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند قم درچاه یورته‌شاه-۱ برش سطحی مورده کوه (جنوب تهران)،" پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره پیاپی ۶۶، شماره اول، سال سوم، صفحات ۴۸-۲۵، ۱۳۹۶.

[6]. Mohammadi E., Safari A., Vaziri-Moghaddam H., Vaziri M.R. and Ghaedi M., "Microfacies analysis and paleoenvironmental interpretation of the Qom Formation, South of the Kashan, Central Iran," Carbonates and Evaporates, Vol. 26, Issue 3, pp. 255-271, 2011.

[7]. Zabihi Zoeram F., Vahidinia M. and Sadeghi A., "Larger benthic foraminifera: a tool for biostratigraphy, facies analysis and paleoenvironmental interpretations of the Oligo-Miocene carbonates, NW Central Zagros Basin, Iran," Arabian Journal Geosciences, Vol. 8, Issue 2, pp. 931-949, 2014.

[8]. Jalali M., Sadeghi A. and Adabi M. H., "Microfacies, sedimentary environment and sequence stratigraphy of Qom Formation in SE Siah Kuh Surface Section (South of Garmsar)," Geology of Iran, Vol. 39, pp. 83-102, 2017.

[9]. Reuter M., Piller W. E., Harzhauser M., Mandic O., Berning B. F., Rogl F., Kroh A., Aubry M. P., Wielandt-Schuster U. and Hamedani A., "The Oligo-Miocene Qom Formation (Iran): evidence for an early Burdigalian restriction of the Tethyan seaway and closure of its Iranian gateway," International Journal of Earth Sciences, Vol. 98, Issue 3, pp. 627-650, 2007.

[10]. Jalai M., Feizi A., Asilian H., Motamedi H. and Motamedi B., "Sequence Stratigraphy and basin evolution of Miocene deposits in the North-West part of Central Iran Basin, International Lithosphere Program (ILP)," 5th workshop of the ILP-Task force on sedimentary basin, Abu Dhabi, 2009.

[۱۱]. مظاهری ف.، "زیست چینه‌نگاری، چینه‌نگاری سکانسی و ارزیابی خواص مخزنی سازند قم در تاق‌دیس یورته‌شاه،" رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۹۱.

[12]. Karavan M., Mahboubi A., Vaziri-Moghaddam H. and Moussavi-Harami R., "Sedimentary facies analysis and sequence stratigraphy of Qom Formation deposits in NE Delijan-NW Central Iran," Geosciences Journal, Vol. 24, pp. 237-249, 2015.

[13]. Amirshahkarami M. and Karavan M., "Microfacies models and sequence stratigraphic architecture of the Oligocene-Miocene Qom Formation, south of Qom City, Iran," Geoscience Frontiers, Vol. 6, Issue 4, pp. 593-604, 2015.

[۱۴]. رضائی م. و هنرمند ج.، "پارامترهای کنترل‌کننده کیفیت سنگ مخزن سازند قم در میدان البرز، حوضه قم، ایران مرکزی،" مجله علوم دانشگاه تهران، جلد بیست و هفتم، شماره ۱، صفحات ۲۶-۱، ۱۳۸۰.

[15]. Lucia F. J., "Carbonate reservoir characterization," New York, Springer-Verlag, 226 p., 1999.

[۱۶]. کلانتیری ا.، "رخساره‌های میکروسکیی سنگ‌های کربناته ایران،" چاپ اول، وزارت نفت، شرکت ملی نفت ایران، آزمایشگاه‌های زمین‌شناسی، نشریه شماره-۱۱، ص. ۱۶، ۱۳۶۵.

[17]. Hannover, "Petrographical Study Yortessa-e-2(Ys#2), Vol. 3, Lab Investigation of the Aquifer Exploration Well," Kavrene Buuand Betriebs. GMBH. Co., 1998.

[18]. Hannover, "Petrographical Study Yortessa-e-3(Ys#3), Vol. 2, Lab Investigation of the Aquifer Exploration Well," Kavrene Buuand Betriebs. GMBH. Co., 1999.

- [19]. Esfahani M. R., Kazemzadeh E. and Vali J., "Routine core analysis report, Yort-e-shah field, well no. YS-4," Exploration & Production Research Division Core Research Department, 2006.
- [20]. Research Institute of Petroleum Industry Exploration and Production Division Petroleum Geology Department, "Structural Geology and Sedimentology of the Qum formation, Yort-e shah field, Well # 4," September 2006.
- [۲۱]. کدخدائی ایلخچی ر، رحیم‌پور بناب ح، موسوی حرمی س. و کدخدائی ایلخچی ع، "فاکتورهای کنترل‌کننده گسترش بافت‌های مختلف سیمان انیدریت و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان میدان پارس جنوبی،" پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و هفتم، شماره اول، صفحات ۱ تا ۲۶، ۱۳۹۰.
- [22]. Lonoy A., "Making sense of carbonate pore systems," AAPG Bulletin, Vol. 90, Issue 9, pp. 1381-140, 2006.
- [23]. Hovorka S. D., "Halite pseudomorphes after gypsum in bedded anhydrite – clue to gypsum – anhydrite relationships," Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 62, No. 6, pp. 1098 –1111, 1992.
- [24]. Machel H. G., "Anhydrite nodules formed during deep burial," Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 63, Issue 4, pp. 659-662, 1993.
- [25]. Kasprzyk A. and Otri F., "Palaogeographic and burial controls on anhydrite genesis: The Badenian basin in the Carpathian Fore deep (southern Poland, western Ukraine)," In: Sedimentology, Vol. 45, Issue 5, pp.889-907, 1998.
- [26]. Gundogan I., Mehmet O. and Tolga D., "Sedimentology, petrography and diagenesis of Eocene–Oligocene evaporites: The Tuzhisar Formation, SW Sivas Basin," Turkey. In: Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 25, Issue 5, pp.791–803, 2005.
- [27]. Prothero D. R. and Schwab F., "Sedimentary Geology: An introduction to sedimentary rocks and stratigraphy," In: New York: W.H. Freeman & Co. pp. 575, 1996.
- [28] Warren J.K., "Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons," I Springer-Verlag, Brunei, pp.1035, 2006.
- [۲۹]. مظاهری ف، فیاضی ف، دانشیان ج، باغبانی د. و جهانی د، "بررسی فرایند دولومیتی‌شدن در بخش‌های C4 تا F سازند قم در برش یورتشاه و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی،" پژوهش نفت، سال بیست و چهارم، شماره ۸۰، صفحات ۱۶۷–۱۴۱، ۱۳۹۳.
- [30]. Flugel E., "Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application," Springer Verlag, New York, p. 996, 2010.
- [31]. Schlumberger company at the request of Sofregaz company, "Petrophysical processing and interpretation of Ys-4, study interval 1326m-932m," 15 August, 2006.
- [32]. Kendall A. C. and Walters K. L., "The age of metasomatic anhydrite in Mississippian reservoir carbonates, southeastern Saskatchewan," Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 15, Issue 3, pp. 424-430, 1977.
- [33]. Wilson A., Sanford W., Whitaker F. and Smart P., "Spatial patterns of diagenesis during geothermal circulation in carbonate platforms," American Journal of Science, Vol. 301, Issue 8, pp.727–752, 2001.



## Petroleum Research

Petroleum Research, 2020(February-March), Vol. 29, No. 109, 48-51

pr.2019.3606.2646/10.22078

# Investigation of Anhydrite Distribution and its Impact on Reservoir Quality of the Qom Formation in Yortshah Anticline

Fatemeh Mazaheri<sup>1</sup>, Darioush Baghbani<sup>2\*</sup>, Jahanbakhsh Daneshian<sup>3</sup>, Farajollah Fayazi<sup>3</sup>, Davoud Jahani<sup>4</sup> and Rahim Kakhodaie-Ilkhchi<sup>5</sup>

1. Department of Geology, Faculty of Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Department of Geology, Faculty of science, Damavand branch, Islamic Azad University

3. Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

4. Department of Geology, Faculty of Science, North of Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

5. Petroleum Geology Department, Research and Development in Upstream Petroleum Industry, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

d.baghbani@damavandiau.ac.ir

pr.2019.3606.2646/10.22078

Received: January/12/2018

Accepted: September/25/2019

## INTRODUCTION

The lower Miocene Qom Formation in Yortshah structure consists of carbonate, clastic and evaporite sequences. This structure is located at 70 km southeast of Tehran city and 35 km of Varamin city (Figure 1). The Qom reservoir in this area due to its proximity to Tehran city can be considered for the targets of gas storage project. Therefore, regarding the reservoir importance of Qom Formation, this study focuses on anhydrite textures and its distribution as one of the factors controlling the reservoir quality of the formation.

## METHODOLOGY

The data and information used in this study to

identify different anhydrite textures and their effects on reservoir properties of the Qom Formation in Yortshah structure are from 4 drilled wells in this area. Thin sections of the Qom Formation were prepared and studied from 312 samples in well#1, 170 samples in well#2, 110 samples in well#3 and 43 samples in well#4. Anhydrite textures were described based on the classification of Lucia [1]. For SEM study, 17 samples and for XRD analysis 95 samples from well#3 were utilized. In addition, SCAL data based on 86 samples from well#2, and petrophysical logs of well#4 were used in this study.

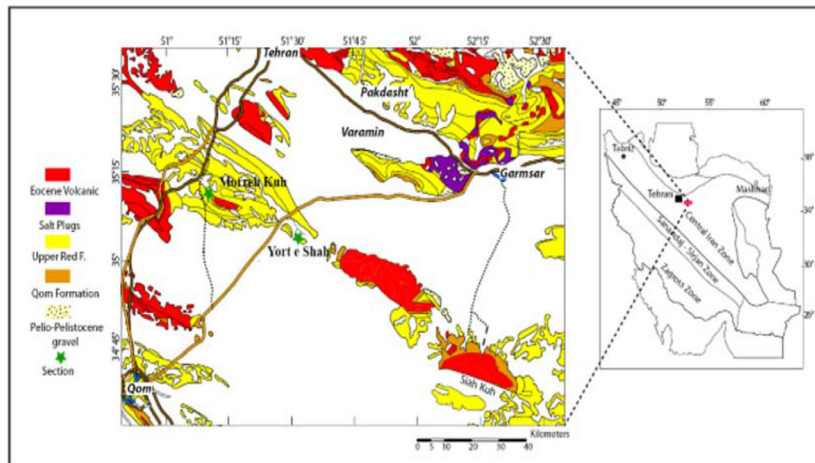


Figure 1: Location map of the Yortshah anticline (1:1000000 Map of NIOC).

## RESULTS AND DISCUSSION

### ANHYDRITE TEXTURES OF THE QOM FORMATION

The results of microscopic studies indicate the presence of 6 textures of anhydrite in different facies of the Qom Formation. These textures include anhydrite layer and a variety of cements (poikilotopic, pervasive, fracture filling) and anhydrite nodules and sparse crystals, as described below.

1. Anhydrite Layer: The anhydrite layer can be used as a cap rock for the lower reservoir sections of the Qom Formation. The presence of this anhydrite in the Qom Formation is primary and related to depositional environment. In the wells of Yurtshah Anticline, its maximum thickness in d member in Yurtshah-1 is about 6 m and in Yurtshah-4 is about 5 m. It is also seen as thinner layers (at least 20 cm) in e and f members of the Yurtshah wells.

2. Poikilotopic anhydrite: This texture is found in a variety of reservoir facies, which is seen as replacement in the rock matrix, pore-filling and partly in the basal c-4 sandstones. Poikilotopic anhydrite cement is one of the most common anhydrite textures in the reservoir, formed during various stages of diagenesis.

3. Pervasive and pore-filling anhydrite cement: This type of anhydrite exists as a cumulative of large crystals in the reservoir. The large size of the crystals and their formation after calcite cement in the early stages of diagenesis indicate its formation during burial diagenesis.

3. Fractures filling anhydrite cement: This type of anhydrite texture has been completely or partially filled the fractures. It is commonly found as burial diagenesis cement, along with other burial cements, mostly in dolomitic fine-grained facies. This texture shows insignificant importance and frequency in Qom reservoir of the Yortshah Anticline.

4. Anhydrite nodules: This texture with large size is detectable in the matrix of fine-grained limestones (mudstone) on core samples. Anhydrite nodules are usually formed during the early stages of diagenesis in sabkha environments and in fine-grained facies such as dolomudstone facies.

5. Sparse anhydrite crystals: These crystals are scattered within the matrix. The shape of the crystals is in the form of equant, rhombohedral and sometimes in polycrystalline form. These crystals are mostly formed in upper parts of intertidal environment to Sabkha during the



early stages of diagenesis. This texture does not have much effect on reducing reservoir quality of the Qom Formation in the studied area. Generally, sparse anhydrite crystals and anhydrite nodules are formed during early stages of diagenesis.

### **EFFECT OF ANHYDRITE ON RESERVOIR PROPERTIES OF THE QOM FORMATION**

In reservoir geology studies, the formation of anhydrite can act as agent controlling the reservoir quality, and can directly or indirectly affect the reservoir properties. The Upper Red Formation at the upper part of the Qom Formation with abundant evaporite layers can be the nearest source and one of the main sources of anhydrite cement in this formation. This cement is formed by washing from the upper evaporite layers and penetrating to the lower layers of the Qom Formation.

The trend and formation of anhydrite cement is consistent with dolomitization. In general, it can be said that the distribution of anhydrite in calcareous facies is small and is often seen in dolomitic facies. Therefore, it has little effect on reservoir quality of the calcareous facies. The most important and extending anhydrite textures in the reservoir include anhydrite layer, poikilotopic and pervasive cements and nodular anhydrite, and the less important types include evaporite crystals and fracture filled anhydrite. Anhydrite layer extends as separate zones in the Qom Formation only to a limited thickness (less than 1m in the upper parts of the Qom Formation up to a maximum of 6 m in member d). Based on the results of the study of petrophysical logs, anhydrite distribution, except for anhydrite layer, comprises a small percentage (3-8%) in the reservoir of Qom Formation in the study area.

In general, it can be said that the formation of different anhydrite textures and their effect on reservoir quality are controlled by three factors of depositional facies, subsequent diagenesis processes (dissolution, fracture and compaction) and presence of saline fluids (rich in sulfate) and their interaction [2].

Investigation of the amount and extent of anhydrite as one of the sources mentioned in H<sub>2</sub>S production in the reservoirs is essential and should be considered. Because hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) is an undesirable compound in gas tanks, it not only reduces the economic contribution of precious hydrocarbons to the gas reservoirs, but also has toxic effects and causes corrosion the equipments used in the reservoirs.

### **CONCLUSION**

1. The six anhydrite textures identified in the Qom Formation of the Yortshah anticline include anhydrite layer, a variety of cements (poikilotopic, pervasive, fracture filling) as well as anhydrite crystals and nodules.
2. Among different anhydrite textures, poikilotopic and pervasive anhydrite cements have had a more effective role in reducing reservoir quality than other cements. On the other hand, the impact of diagenesis processes including dissolution and fracturing following anhydrite formation should be taken into account in reservoir studies. Therefore, the formation of anhydrite and its various textures and their relationship with reservoir quality is under the control of three factors including sedimentary facies, the presence of sulfate-rich brines in the environment, and finally, the influence of subsequent diagenetic processes such as dissolution and fracturing.

3. The anhydrite cement, along with other cements, is less affected the e and f members of the Qom Formation and since in these members, micropores with fractures constitute the dominant porosity, these two members are the best units for gas storage. But in c-4 member, due to its different lithology than the other members, the pores have been filled by anhydrite cement and other cements and this member does not have good potential for gas storage. It appears that the d member due to the formation of an anhydrite layer of about 6 m in thickness can be a good cap rock for the probable lower reservoirs.

4. At the gas storage stage, identifying the zones with anhydrite expansion, provides hydrogen sulfide prediction at drilling intervals and reduces storage risk because anhydrite is one of the sources mentioned in H<sub>2</sub>S production. This gas can sour sweet gas and cause corrosion of drilling pipes and equipments, and it increases the cost of upgrading production equipment, such as replacement of pipelines and wells and refining facilities.

5. Since anhydrite generally comprises a small percentage (3–8%) in the reservoir of the Qom Formation in the study area, alone and without considering the influence of other cements present in this formation, it has little effect on the reservoir quality.

*to reservoir quality in the Upper Dalan and Kangan carbonate reservoirs, South Pars field,” Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches, No. 42, pp. 1-26, 2010.*

## REFERENCES

- [1]. Lucia F. J., “*Carbonate Reservoir Characterization*,” New York, Springer-Verlag, p. 226, 1999.
- [2]. Kadkhodaie-Ilkhchi R., Rahimpour-Bonab H., Moussavi-Harami R. and Kadkhodaie-Ilkhchi A., “*Factors controlling distribution of different textures of anhydrite cement and its relation*