

بررسی آزمایشگاهی اثرات رس موجود در سنگ مخزن بر کاهش نفوذپذیری در فرایند تزریق آب به مخازن هیدرو کربوری

سعید عباسی*، عباس شهرآبادی

تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، مرکز مطالعات ازدیاد برداشت از مخازن

پیام‌نگار: abbasis@ripi.ir

چکیده

سهولت تزریق آب به درون مخازن نفتی یکی از فاکتورهای موثر در موفقیت پروژه‌های تزریق آب است. یکی از پارامترهایی که باعث اثرات نامطلوب در تزریق پذیری آب می‌شود رس موجود در سنگ مخزن است. رسها با توجه به ساختار متفاوتشان، اثرات نامطلوبی بر نفوذپذیری سنگ مخزن ایجاد می‌کنند. رسهای موجود در خلل و فرج و گلوگاهها یا توسط آب تزریقی وارد حفرات می‌شوند و یا ناشی از ساختار سنگ مخزن می‌باشند. پدیده بادکردن (متورم شدن) رس با در نظر گیری نوع و ساختار رس می‌تواند کاهش نفوذپذیری سنگ مخزن را به دنبال داشته باشد. در این تحقیق، پس از بررسی اجمالی اثرات رس و مکانیزم عملکرد آن با انتخاب سنگهای نمونه به عنوان شاخص یکی از میادینی که در جنوب ایران واقع شده و در حال تزریق آب بوده، سعی شده است با انجام آزمایشهای XRD نوع رس و درصد هر یک از انواع آن تخمین زده شود، سپس با انجام آزمایشهای تزریق به مغزه و ایجاد تورم رس با تزریق آب مقطر در نمونه‌ها، میزان کاهش نفوذپذیری برای هر یک برآورد گردد.

کلمات کلیدی: تزریق آب، رس، بادکردن (متورم شدن) رس، نفوذپذیری، تزریق مغزه

۱- مقدمه

کاهش میزان رسوب و امکان تزریق آب با شدت جریان بالا و در نتیجه حفظ فشار مخزن، افزایش بازیافت نهایی نفت را تضمین می‌کند. هدف از بهبود کیفیت آب^۱ هنگامی که برای تزریق آبها، چه در مورد بهره‌برداری ثانویه و چه مورد تزریق آبهای دور ریختنی^۲، به کار برده می‌شود، این است که آب کمترین میزان فشار را برای تزریق، نیاز داشته باشد. هنگامی که آب به سنگهای مخازن خاصی، تزریق می‌شود، خساراتی از نظر کاهش نفوذپذیری به آنها وارد می‌شود. این

تزریق آب به مخازن هیدروکربوری به منظور حفظ فشار مخزن و یا بازگردانی پسابهای حاصل از فضولات نمک زدایی به بخش آبد مخزن انجام می‌پذیرد. بصورت ایده‌آل آب تزریقی به مخزن باید فاقد هرگونه ذرات معلق و فیلم نفت، و سازگار با آب مخزن باشد. تا مانع از تشکیل رسوبهای معدنی در سنگ مخزن، کاهش نفوذپذیری و یا کاهش تزریق پذیری سنگ مخزن گردد. مطالعه بر روی یونهای مزاحم، تعیین احتمال رسوبگذاری و همچنین نحوه جلوگیری و

1. Water Treatment
2. Disposal Water

متخلخل را میوک^{۱۲} مطالعه کرد. وی نتیجه گرفت که ماسه سنگهای سخت نشده^{۱۳}، مقدار زیادی ذرات بسیار ریز جامد با تنوع در اندازه و ترکیب دارند که در محیط متخلخل کاملاً ناپایدار می باشند. همچنین او دریافت که سیستم سیالی که برای جلوگیری از وارد آمدن آسیب به سازند توسط این ذرات، طراحی می‌شوند بایستی نه تنها رسهای معدنی در آن لحاظ شود، بلکه توانایی روبرو شدن با مشکل مواد معدنی دیگر و همچنین ذرات غیر معدنی را نیز داشته باشد. زمانی که جریان سیال، تک فازی است و سرعت کافی برای معلق نگهداشتن ذرات وجود داشته باشد، ذرات موجود در سازند در داخل خلل و فرج حرکت میکنند؛ مگر اینکه توسط مسیرهای بسته محیط متخلخل از حرکت بازایستند. پلهای تشکیل شده در گلوگاهها ممکن است به وسیله اختلالات فشار یا جریانهای برگشتی سیال، از هم پاشیده شوند. در حالتی که جریان سیال بصورت چند فازی است، خاصیت ترشوندگی و نیروهای سطحی سنگ/سیال، اثر بسزایی در حرکت ذرات دارند[۱۸].

۲- پدیده بادکردن (تورم) رس

یکی از فرایندهایی که باعث کاهش نفوذپذیری سنگ مخزن و انسداد آن می‌شود بادکردن (تورم) رس موجود در ساختار سنگ مخزن است. رسها از ذرات ریز کریستالی تشکیل شده اند. این ذرات، بر اساس ساختمان کریستالیشان به گروههای مختلفی از کانیهای رسی تقسیم می شوند. کانیهای رسی شامل واحدهای ساختمانی نسبتاً ساده ای هستند. دو گروه عمده این واحدهای ساختمانی عبارتند از صفحات سیلیسیمی چهارپر و صفحات آلومینیمی شش پر. صفحات سیلیسیمی چهار پر از یک اتم سیلیسیم تشکیل شده که توسط چهار اتم اکسیژن یا گروههای هیدروکسیل احاطه شده است. صفحات آلومینیمی شش پر متشکل از یک اتم آلومینیم است که با شش گروه هیدروکسیل احاطه شده است. صفحات آلومینیمی شش پر ممکن است شامل اتم آهن یا منیزیم نیز باشند. کانیهای رس از جفت شدن دو صفحه از انواع مذکور به یکدیگر، تشکیل می‌شوند. ممکن است گونه های یونی یا مولکولی فاصله این صفحات را پر کنند. این مواد ممکن است کاتیونها، گروههای هیدروکسیل، مولکولهای آب، کمپلکسهای هیدراته یا ترکیبات آلی باشند. کانیهای رسی بر اساس

خسارت و آسیب که به خصوصیات سنگ بستگی دارد، بر اثر تورم رسهای^۱ موجود در حفره‌ها و نیز پراکندگی و پخش شدن ذراتی که دارای خصوصیات تورم پذیری نیستند، در طول جریان سیال، ایجاد می‌شود.

محققین مختلفی در زمینه آسیب دیدگی سازند و اثرات آن به عملکرد تولید از مخزن پرداخته اند تحقیقات این گروه به این نتیجه رسیده است که آسیب دیدگی سازند ناشی از عوامل شیمیایی، می تواند به دلیل عوامل مختلفی از جمله ناسازگاری سنگ و سیال باشد. پدیده های مختلفی در ناسازگاری سنگ و سیال ایجاد می گردند که باعث بوجود آمدن اثرات نامطلوبی در خواص فیزیکی سنگ می شوند و عملکرد فرایند تزریق را تحت تاثیر قرار می دهند. از جمله این پدیده ها میتوان به بادکردن (تورم) رس، شکسته شدن تجمعات رسی^۲، حل شدن^۳ سازند و جذب مواد شیمیایی اشاره کرد[۱۱-۱]. بنابراین، وجود مواد رسی میتواند طی فرایندهای مختلف، باعث کاهش نفوذ پذیری سنگ مخزن شده و افزایش فشار تزریق و یا کاهش تزریق پذیری سنگ مخزن را به دنبال داشته باشد.

گری^۴ و رکس^۵ در مورد مهاجرت میکاهای سوزنی، ایلیت و کائولینیت مطالعه کردند. آنها دریافتند که مهاجرت، زمانی اتفاق می افتد که غلظت املاح^۶ یا غلظت یونهای دوقطبی کاهش یابد یا با یونهای تک قطبی جایگزین شوند[۱۲]. مانگان^۷، پریشلم^۸ و گانتز^۹ مشاهده کردند که تغییرات pH باعث مهاجرت ذرات و تغییرات تدریجی در غلظت املاح و موجب کاهش مهاجرت ذرات میشود[۱۳،۱۴،۱۵]. لیو^{۱۰} نشان داد که فشار اضافی^{۱۱} چگونه بر مهاجرت ذرات، تاثیر می گذارد و اینکه بسته به قابلیت ارتجاع گلوگاه و افزایش فشار، مهاجرت ذرات در نمونه با فشار زیاد، در مقایسه با نمونه کم فشار، شدت بیشتری به خود می گیرد. هر چند، مشکلات جدی و اساسی که در نتیجه مهاجرت ذرات به وجود می آیند، برای مخزنهای با تراوایی بالا نیز گزارش شده است اما این مساله اغلب در سازندهای با تراوایی کمتر، با شدت بیشتری مشاهده می شود[۱۶،۱۷]. فرایند مهاجرت ذرات در محیط

1. Clay Swelling
2. Clay Deflocculation
3. Dissolution
4. Gray
5. Rex
6. Salinity
7. Mungan
8. Priisholm
9. Gunter
10. Liu
11. Overburden Pressure

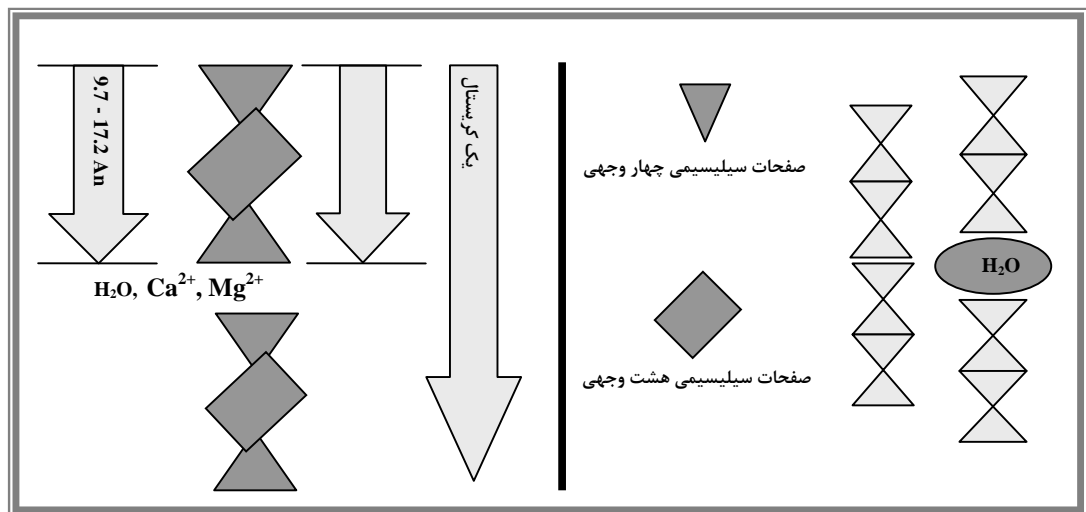
12. Muecke
13. Unconsolidated Sandstone

(۱) کاهش شدید تراوایی و مسدود کردن خلل و فرج، (۲) مهاجرت ذرات ژلاتینی که باعث انسداد می شوند، (۳) تجمع و به دام افتادن مقادیر زیادی سیال که در لاگهای پتروفیزیکی به صورت درصد اشباع بالای آب نشان داده میشود. این موضوع باعث میشود که چاه به اشتباه ترک شده فرض شود، در صورتیکه توان تولید نفت عاری از آب را دارد. ذرات رس سمنتیت عموماً تمایل دارند که در ساختمان سازندهای ماسه ای با عمق کمتر مشارکت کنند. رسهای واکنش دهنده نوع مذکور معمولاً در سازندهای آهکی و دولومیتی وجود ندارند.

سمنتیت ها را همچنین در مخازن عمیق و یا با دمای بالا (دماهای بیشتر از ۱۰۰ یا ۱۲۰ درجه سانتیگراد) را نمی توان به صورت عمده یافت. گونه مذکور، گونه غالب رسی در بسیاری نقاط دنیا است. جزئیات بیشتر در مورد واکنشهای نوع سمنتیت را می توان در تحقیقات بالتز^۵، آذری^۶، هیمس^۷ و زایتن^۸ جستجو کرد [۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳].

نوع صفحات، مواد بین صفحات و بار الکتریکی لایه ها تقسیم بندی میشوند. مهمترین انواع کانی رسی در مطالعه کاهش تراوایی برای اغلب مخازن ماسه سنگی، کائولینیت^۱، سمنتیت^۲، ایلیت^۳، کلریت^۴ و کانیهای ترکیبی مشبک هستند [۱۹].

تورم رس عموماً زمانی اتفاق می افتد که با گونه سمنتیت یا نوع لایه های مختلط برخورد کنیم. پدیده تورم نتیجه اعمال اثر ورود لایه نازک آب به سطح داخلی و همچنین مابین صفحات کانیهای تشکیل دهنده رس است. ورود این لایه نازک آب، خود نتیجه وجود بار منفی روی ذرات رس است. محققین بسیاری نشان داده اند که این لایه آب بوسیله پیوند هیدروژنی به ذرات رس پیوند شده و جهتگیری می کنند. ضخامت لایه آب بسته به نوع کانی رس و کاتیونهای مبادله شونده تغییر می کند. کاتیونهای قابل مبادله (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+) باعث افزایش نیروی جاذبه بین ذرات رس شده و ضخامت لایه آب را کاهش می دهند (شکل (۱)). تورم ذرات رسی که وجه غالب آنها از نوع سمنتیت است معمولاً باعث ایجاد سه مشکل اساسی میشوند:



شکل ۱- مشخصات ساختار کریستال رسهای نوع سمنتیت و تورم و بادکردن (تورم) ساختار کریستال رسهای نوع سمنتیت به دلیل قرارگیری مولکولهای آب بین کریستالها

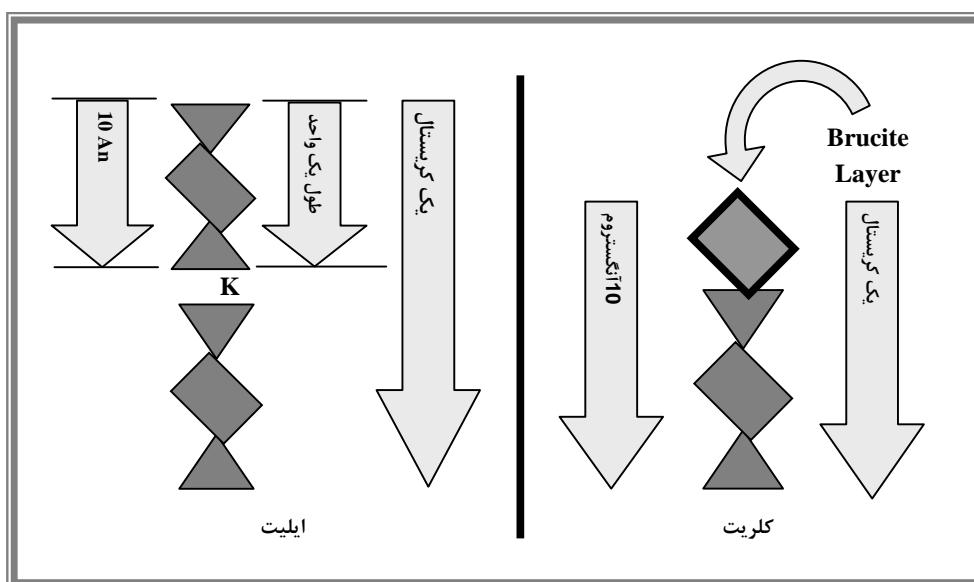
- | | |
|--------------|------------|
| 1. Kaolinite | 5. Baltz |
| 2. Smectite | 6. Azari |
| 3. Illite | 7. Himes |
| 4. Clorite | 8. Zaitoun |

است و پتاسیم بین لایه ها ذاتا غیر قابل هیدراته شدن است. (شکل ۲)

۳- بررسی پدیده تورم رس در فرایند تزریق آب

در این تحقیق پس از بررسی نوع و میزان رس موجود در سنگ مخزن سعی شده است کاهش نفوذ پذیری مورد بررسی قرار بگیرد. آنچه که تحقیقات انجام گرفته تاکنون نشان داده کاهش نفوذپذیری در پدیده‌های فوق، بیشتر در مخازنی از نوع ناپیوسته، با نفوذپذیری پائین و میزان رس بالا دیده شده است. در بسیاری موارد دیگر، بسته به نوع رس موجود در سنگ مخزن پدیده هیدراتاسیون مشاهده نمی‌گردد برای مثال می‌توان به مطالعات آزمایشگاهی که بر روی سنگ‌های مخازن گرفته شده از ۴۰ میدان در حضور آب دریای شمال اشاره کرد که با توجه به نوع رس موجود در این مغزه‌ها، اصلاً هیچ هیدراتاسیون رس در حضور آب مورد نظر دیده نشد. به عبارت دیگر پدیده تورم رس به طور موثر که بتواند کاهش نفوذپذیری را به همراه داشته باشد مشاهده نگردید. پدیده تورم رس بیشتر در مخازنی اتفاق می‌افتد که سنگ مخزنی دارای مقادیر بالایی از رس باشد. تماس آب تزریقی با سازند و جذب آب توسط رس‌ها و تورم و باد کردن رس‌ها باعث گرفتگی و تنگ شدن مجراهای عبوری آب می‌گردد که خود نقش

در قسمت راست شکل (۱) طرح اجمالی پدیده تورم رس در یک نمونه سمنتیت با لایه های مختلط حساس به آب نشان می‌دهد. به دلیل عدم تعادل بار الکتریکی در ساختمان آن، میتوان یک بار منفی را در فاصله بین صفحات مشاهده کرد. این بار الکتریکی می‌تواند با قرار گرفتن یک بار مثبت یک قطبی، دو قطبی یا سه قطبی مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم یا آلومینیم در داخل ساختمان رس متعادل شود. از آن جایکه آب از خود رفتار قطبی نشان می‌دهد، می‌تواند در فواصل ساختمانی قرار گیرد و بار الکتریکی منفی مذکور را متعادل کند. اندازه بزرگ مولکول آب در مقایسه با کاتیونهای اشاره شده و قرار گرفتن آب در بدنه ساختمانی رس، یک انبساط فیزیکی در آن به وجود می‌آورد. این انبساط در برخی موارد تا ۵۰۰ درصد حجم اولیه رس نیز میرسد. مطالعات موردی از موارد واقعی مخازن، درباره پتانسیل آنها در تورم رس بوسیله محققین مختلفی ارائه شده اند [۲۷ و ۲۶ و ۲۵ و ۲۴]. پلیمرهای کاتیونی مانند پلی هیدروکسیل آلومینیم و زیرکونیم اکسی کلراید میتوانند با پیوند دادن بارهای مثبت مواد افزودنی به شبکه ساختمانی سیلیکاتها با بار منفی و اندود کردن ذرات رس و در نتیجه محافظت آنها از واکنش بیشتر، از تورم کانیهای رسی جلوگیری کنند. از آنجاییکه کاتیون بین لایه ای رسهای ایلیت، پتاسیم است که کاملاً در فضای خالی شبکه شش پر قرار می‌گیرد، تورم این نوع رس بسیار کم است. جذب صفحات کاتیونی در این نوع رس، قوی



شکل ۲- مشخصات ساختار کریستال رسهای نوع ایلیت و کلریت

۴- آزمایشهای انجام شده

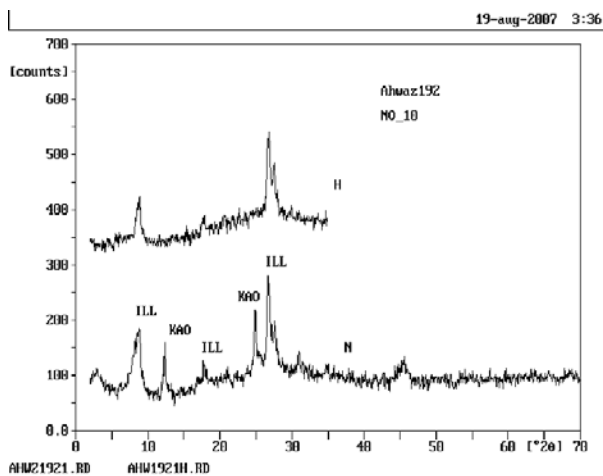
الف- آزمایشهای XRD بر روی نمونه ها

در این تحقیق، سه نمونه سنگ مخزن یکی از میداین جنوبی ایران (A-1,2,3) انتخاب گردید. نمونه A-1 مربوط به یک چاه و نمونه های A-2 و A-3 مربوط به دو عمق (به ترتیب ۲۵۸۳ و ۲۵۸۵ متری) از چاه دیگر می باشند که این اختلاف در عمق باعث تفاوت اندکی در خصوصیات سنگ مخزن (تخلخل و نفوذپذیری) شده که فرایند تزریق نیز بر روی آنها انجام گرفت. نمونه های انتخاب شده جهت آزمایشهای XRD آماده شدند. در آزمایش XRD با توجه به زاویه های تابش و بازتابش پرتو X میزان و نوع کانی مورد نظر در نمونه مورد ارزیابی قرار می گیرد. زاویه بازتابش متفاوت در کانیهای مختلف می تواند ما را به سمت هدف مورد نظر هدایت کند. هدف اصلی از این آزمایشها تعیین نوع رس و درصد ترکیب آن نسبت به سایر رسها می باشد. در آزمایش بر روی نمونه A-1 همچنانکه در شکل (۳) نشان داده شده است، نوع رسهای مشخص شده کائولینیت و ایلیت می باشند. شکل (۳) طیف حاصل از آزمایش XRD بر روی نمونه A-1 را نشان می دهد. خواص سنگ مورد نظر نیز در جدول (۱) آورده شده است. نوع سنگ، آهکی است و طیف حاصل نشان می دهد کانیهای رسی عبارت از کائولینیت و ایلیت می باشند. با توجه به سطح پیکهای حاصل در منحنی تشکیل شده به طور تقریبی می توان گفت که ۵۸٪ رسها را در این نمونه کائولینیت و ۴۲٪ دیگر را ایلیت تشکیل می دهند بنابراین رسهای موجود در این سنگ هر چند امکان متورم شدن را دارا می باشند اما تجربیات نشان می دهند این مقدار تورم تغییر محسوسی در کاهش نفوذپذیری ایجاد نمی کند.

نمونه بعدی که تحت آزمایشهای آنالیز رس، قرار گرفت مقطع نمونه برداری شده از A-2 بود که در لایه آسماری میدان مورد نظر قرار دارد. همانطور که مشاهده شد و در جدول (۱) نیز نشان داده شده، نمونه حاصل دارای لیتولوژی از نوع ماسه ای بوده است. طیف حاصل از آزمایشهای XRD که در شکل (۴) نشان داده شده تنها وجود ایلیت را مشخص می کند. بنابراین می توان گفت در نمونه مورد نظر ۱۰۰ درصد رس سنگ مخزن مورد نظر از نوع ایلیت می باشد. تورم این نوع رس، از کائولینیت بیشتر است اما در مقایسه با مونتورینیت و با سمنتیت، تغییر بسیار کمتری در میزان نفوذپذیری سیال ایجاد می کند.

موثری را در کاهش نفوذپذیری به همراه دارد. تقریباً همه شنها و ماسه سنگها دارای رس می باشند. این رسها می توانند ناشی از رسهایی باشند که همراه با دانه های ماسه هنگام شکل گرفتن حوضه رسوبی به وجود می آیند و یا رسهایی که از آب سازند ته نشین و یا در اثر واکنش بین آب سازند و کانیهای رسی ای که از قبل موجود بوده اند تشکیل می شوند. همچنان که بیان شد، تفاوت میان رسها بیشتر به آرایش آنها در ساختار کریستالیت، به جای تفاوت میان فرمولهای شیمیایی آنها، وابسته است. این تفاوت ساختاری، مساحت سطحی را که هر رس در معرض جریان سیالات مخزن قرار می گیرد تعیین می کند و واکنش پذیری رس تابعی از این سطح است. همچنان که در قسمتهای قبل دیده شد، کانیهای رس از جفت شدن دو صفحه از انواع صفحات سیلیسیمی به یکدیگر تشکیل می شوند. ممکن است گونه های یونی یا مولکولی فاصله این صفحات را پر کنند. این مواد ممکن است کاتیونها، گروههای هیدروکسیل، مولکولهای آب، کمپلکسهای هیدراته یا ترکیبات آلی باشند. کانیهای رسی بر اساس نوع صفحات، مواد بین صفحات و بار الکتریکی لایه ها تقسیم بندی میشوند. مهمترین انواع کانی رسی در مطالعه کاهش تراوایی برای اغلب مخازن ماسه سنگی می تواند، کائولینیت، سمنتیت، ایلیت، کلریت و کانیهای ترکیبی مشبک باشند. هر چند واکنش مایع آبی صاف شده روی رسهای مخزن می تواند نفوذپذیری سنگ را به مقدار زیادی کاهش دهد اما این کاهش می تواند کاملاً مشخص و یا به صورتی باشد که اثر محسوسی را نتوان ملاحظه کرد که تمام این موارد، به نوع رس موجود در سنگ بستگی دارد. معمولی ترین رس متورم شده مونتورینیت است. مونتورینیت با جذب آب متورم می شود که مقدار افزایش حجم حتی به ۶۰٪ نیز می رسد. بنابراین موجب کاهش بسیار در نفوذپذیری می گردد. اگر مونتورینیت فقط حفرات و منافذ خیلی کوچک را پر کند مشکل ساز نیست اما اگر در حفرات بزرگتر و مسیرهای جریان وجود داشته باشد در صورت تورم، مانند سدی جلوی جریان را می گیرد. سازندهایی که نفوذپذیری آنها بوسیله سیالات آبی کاهش می یابد سازندهای حساس به آب نامیده می شود. بررسیهای دیگر نشان داده است هنگامی که مونتورینیت و رسهای دیگر در ماتریکس سنگ موجود باشند کاهش نفوذپذیری بیشتر است این کاهش برای ایلیت کمتر و برای کائولینیت و کلریت بسیار کمتر است.

بنابراین آنالیز مغزه‌های گرفته شده در میدان A نشان داده‌اند که نوع رس در نمونه‌ها کائولینیت و یا ایلیت می باشد. در نتیجه می‌توان گفت انتظار کاهش نفوذپذیری کمتری را نسبت به دیگر رسها داریم.

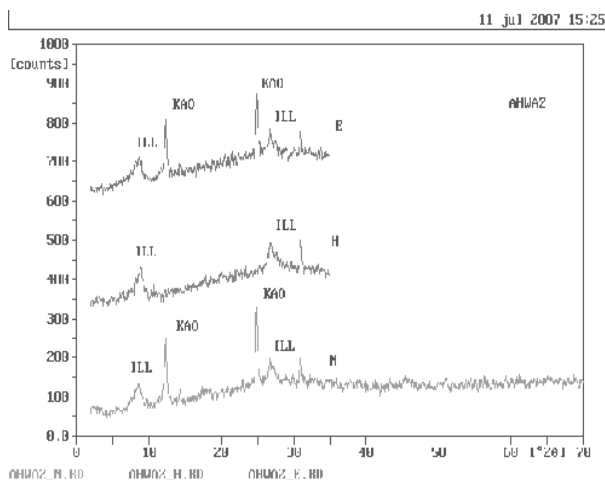


شکل ۵- طیف حاصل از آنالیز XRD برای تعیین نوع و مقدار رس از نمونه سنگ مخزن (چاه A-192 مغزه-۱۰)

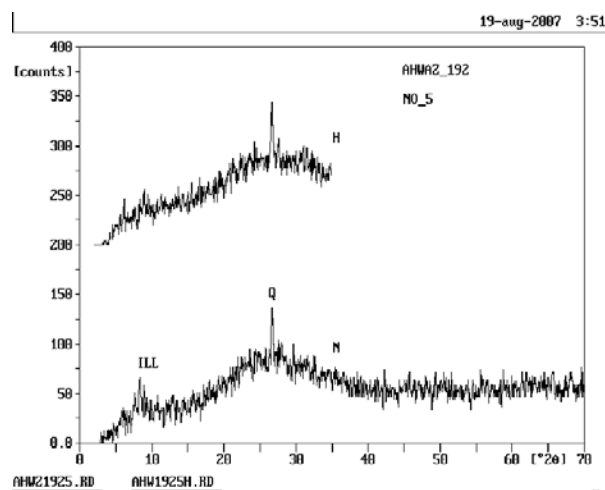
ب- آزمایشهای تزریق به مغزه

این دستگاه دارای مشخصات بارزی است که می‌تواند تحت شرایط مخزن، از نظر درجه حرارت و فشار، عمل تزریق سیال را انجام دهد. با توجه به طراحی‌های دستگاه می‌توان در آزمایشگاه به روشها و مدل‌های مختلف سیلاب زنی روی مدل‌های فیزیکی (سنگ آهک - ماسه سنگی) مختلف پرداخت. بطور کلی دستگاه فوق از دو قسمت اصلی پمپ تزریق و مغزه نگهدارنده تشکیل شده‌اند. در شکل (۶) طرح اجمالی سیستم تزریق به همراه نمای پمپ تزریق با سایر تجهیزات جانبی آن نشان داده شده است.

بعد از انجام عملیات شستشو و خشک کردن و سپس اندازه‌گیری خواص فیزیکی مغزه، مغزه مورد نظر را از آب سازند اشباع می‌کنیم، و پس از قرار دادن در سیستم مغزه نگهدارنده، عملیات تزریق را با شدت جریان تزریق ۴cc/hr آغاز می‌نمائیم. در ابتدا با تزریق آب سازند و ایجاد شرایط پایدار، برای بررسی میزان تورم رس در سنگ مخزن تزریق آب مقطر را با شدت جریان ۴cc/hr ادامه می‌دهیم.

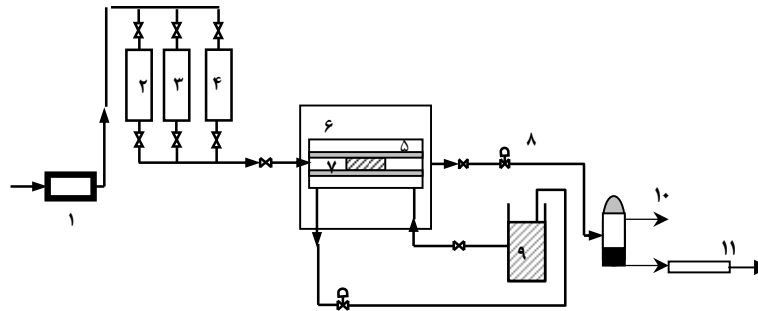


شکل ۳- طیف حاصل از آنالیز XRD برای تعیین نوع و مقدار رس نمونه سنگ مخزن، چاه A-368 (مغزه-۱)



شکل ۴- طیف حاصل از آنالیز XRD برای تعیین نوع و مقدار رس نمونه سنگ مخزن (چاه A-192، مغزه-۵)

نمونه مقطع سوم که برای XRD انتخاب گردید از نمونه مغزه A-3 گرفته شده که خصوصیات سنگ مورد نظر در جدول (۱) آورده شده است. طیف حاصل از آن نیز در شکل (۵) نشان داده شده است. در این نمونه نیز ۶۴٪ از رس دیده شده از نوع ایلیت و ۳۶٪ از آن از نوع کائولینیت برآورد گردید.



- ۱- پمپ تزریق
- ۲- آب سازند
- ۳- آب مقطر
- ۴- آب تزریقی
- ۵- نگهدارنده مغزه
- ۶- حمام هوا
- ۷- نمونه مغزه
- ۸- تنظیم کننده فشار سیستم
- ۹- مخزن ذخیره روغن جهت فشار اضافه بر سیستم
- ۱۰- جدا کننده
- ۱۱- فیلتر تحت فشار و دما

شکل ۶- طرح اجمالی سیستم تزریق سیال به مغزه

جدول ۱- خصوصیات نمونه سنگهای مخزن در آزمایشها

مغزه شماره #۳ (A-3)	مغزه شماره #۲ (A-2)	مغزه شماره #۱ (A-1)	خواص مغزه
۵/۲۵۵	۵/۱۰۵	۴/۹۳	طول (cm)
۳/۷۳۷	۳/۷۵۶	۳/۷۵۷	قطر (cm)
۱۲۴/۲۱۱	۱۱۰/۳۴۳		وزن (gr)
۱۸/۹۱۴	۲۷/۰۲	۱۴/۶۰۸	تخلخل (%)
۱۱۷/۲۸۶	۳۴۹/۶۵۷	۲۷/۷۷	نفوذپذیری (md)
۱۰/۸۹	۱۵/۲۷۵		نسبت حجم تزریقی به حجم سیستم P.V
ماسه ای	ماسه ای	آهکی	لیتولوژی

میزان تورم رس چندان مؤثر نبوده و تأثیر قابل ملاحظه ای در کاهش نفوذپذیری از خود نشان نمی‌دهد. تغییرات متناوب و افزایش و کاهش نفوذپذیری در یک محدوده مشخص که در شکلها مشاهده می‌شود به علت کوتاه بودن مغزه است. بنابراین تغییراتی که در شکلها ملاحظه می‌شود به خاطر این محدودیت و جزء خطاهای غیرقابل کنترل است. همانطور که در شکلها نشان داده شده است در این شرایط، تغییرات چندان در نفوذ پذیری مشاهده نگردید. بنابراین نتایج تزریق در داخل مغزه تاکید بر این مورد دارند که رسهای موجود در نمونه ها نمی‌توانند تغییرات قابل توجهی را در نفوذپذیری از خود نشان دهند و این نتیجه با نتایج آنالیز رسها تقریباً مطابقت می‌نماید.

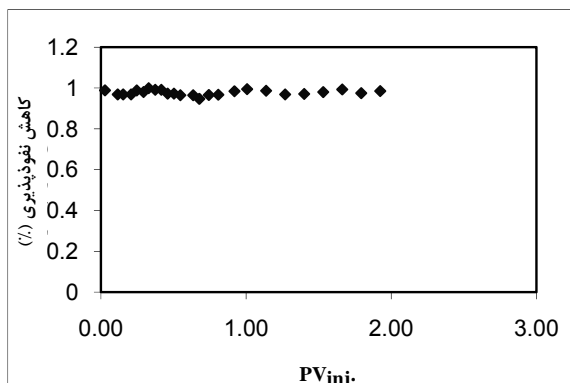
برای ایجاد حداکثر تورم رس موجود در سنگ مخزن و بررسی این پدیده، آب تزریقی در این آزمایش آب مقطر انتخاب گردید. شکلهای (۷) و (۸) کاهش نفوذپذیری با زمان را در شدت جریانهای ۴cc/hr و ۷cc/hr نشان می‌دهند که تغییرات چندان را در نفوذپذیری آشکار نمی‌سازند. همچنین شکل (۹) نتایج تزریق به مغزه A-2 را نشان می‌دهد. در این آزمایش نیز پس از اشباع نمونه سنگ از آب سازند، آب مقطر تزریقی با شدت جریان 9cc/hr در شرایط فشار و دمای مخزن (تحت دمای ۸۰ درجه و فشار ۲۵۰۰ پام) در مدت ۳۰ ساعت به مغزه تزریق گردید. همچنان که از شکل نیز مشخص است کاهش نفوذپذیری چندان در سنگ مشاهده نگردید. بنابراین می‌توان گفت

۵- نتیجه گیری

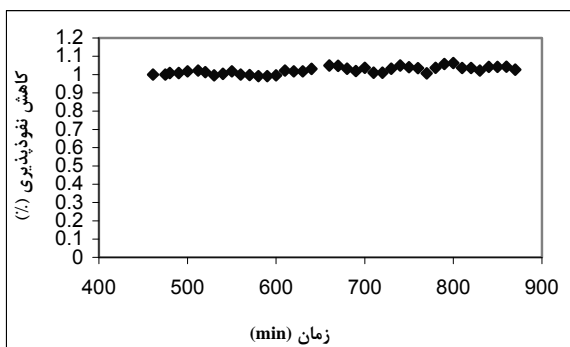
از آنجایی که رس موجود در سنگ مخزن می تواند در فرایند تزریق آب اثرات نامطلوبی را به همراه داشته باشد، مناسب است که نوع رس و میزان آن در نمونه سنگ مخزن و یا در نتایج مطالعات زمین شناسی و یا حاصل از چاه پیمایی مورد بررسی قرار بگیرد. در صورت وجود رس از گروه سمنتیت مثل مونتورینیت، برای پی بردن به مقدار کاهش نفوذپذیری، انجام فرایند تزریق ضروری است و علاوه بر آن، لازم است میزان پراکندگی آن در مخزن مورد بازبینی قرار گیرد. وجود رس از نوع کائولینیت و یا ایلیت، تغییر چندانی در کاهش نفوذپذیری بواسطه تورم رس نشان نمی دهد. تنها نکته مهم در این سازندها حرکت ذرات است زیرا به دلیل عدم استحکام سازند در بعضی از موارد و با توجه به افزایش شدت جریان سیال در حفرات، احتمال جدا شدن ذرات و حرکت در خلل و فرج وجود دارد و می تواند باعث انسداد سازند، در نقاط دورتر شود. برای بررسی این پدیده، نیاز به تزریق در مغزه با طول بیشتر می باشد. برای جلوگیری از تورم رس، علاوه بر تغییر میزان شوری آب، می توان از مواد افزودنی نیز استفاده کرد. با توجه به مکانیسم عمل در تورم رس می توان گفت که پلیمرهای کاتیونی مانند پلی هیدروکسیل آلومینیم و زیرکونیم اکسی کلراید می توانند با پیوند دادن بارهای مثبت مواد افزودنی به شبکه ساختمانی سیلیکاتهای دارای بار منفی و اندود کردن ذرات رس و در نتیجه محافظت آنها از واکنش بیشتر، از تورم کانیهای رسی جلوگیری به عمل آورند، مطالعه موردی در نمونه های انتخابی نشان داده است که رسهای مشخص شده در نمونه تغییر چندانی را در کاهش تزریق پذیری نشان نمی دهند لذا کاهش نفوذپذیری در تزریق آب تولیدی از مخزن، می تواند به دلیل ناسازگاری آب تزریقی با آب سازند و یا وجود ذرات در آب تزریقی باشد.

مراجع

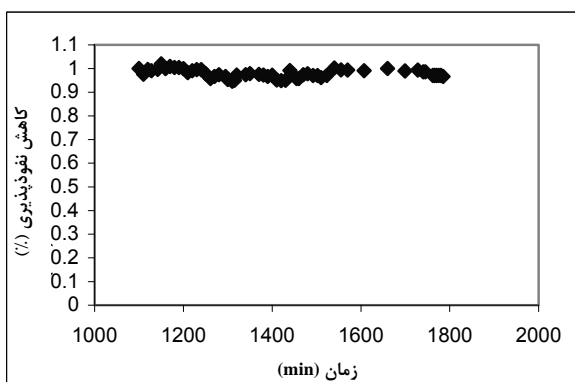
- [1] Hewitt, C.H: "Analytical Techniques for Recognizing Water Sensitive Reservoir Rocks", JPT, Aug (1963) (SPE 584).
- [2] Marx, C. and Rahman, S.S: "Evaluation of Formation Damage Caused by Drilling Fluids, Specifically in Pressure Reduced Formations", JPT, Nov (1987) (SPE 12494).
- [3] Amaefule, J.O., Ajufo, A., Peterson, E and Durst, K., "Understanding Formation Damage Processes: An Essential ingredient for Improved Measurement and Interpretation of Relative Permeability Data", Oklahoma City, OK, March 8-10, (1987).



شکل ۷- عدم کاهش نفوذ پذیری بر اثر تزریق آب مقطر در شدت جریان 4 cc/hr در آزمایشهای تزریق به مغزه شماره ۱-



شکل ۸- عدم کاهش نفوذ پذیری بر اثر تزریق آب مقطر در شدت جریان 7 cc/hr در آزمایشهای تزریق به مغزه شماره ۱.



شکل ۹- کاهش نفوذ پذیری بر اثر تزریق آب مقطر در شدت جریان 9 cc/hr در آزمایشهای تزریق به مغزه

- [4] Amaefule, J.O., "A Hydraulic Flow Unit Based Approach for Predicting Formation Damage profiles in Uncored Intervals / Wells Using Core/Log Data", Lafayette, La., Feb 7-10, (1994) (SPE 27365).
- [5] Ohen, H.R. and Civan, F: "Formation Damage in Petroleum Reservoirs { : Modeling", Unsolicited Manuscript, July, (1989) (SPE 19380).
- [6] Porter, K.E: "An Overview of Formation Damage", JPT, (1989) (SPE 19894).
- [7] Di Giorgi, P: "A Systematic Determination of Formation Damage Causes", Rio de Janeiro, Oct 14-19, (1990), (SPE 21143).
- [8] Civan, F., "Evaluation and Comparison of Different Formation Damage Models", Lafayette, LA., Feb 26-27, (1992) (SPE 23787).
- [9] Civan, F., "A Multi Purpose Formation Damage Model", Lafayette, La., Feb 14-16, (1996) (SPE 31101).
- [10] Chang, F.F. and Civan, F., "Predictability of Formation Damage by Modeling Chemical and Mechanical Processes", Lafayette, La, Feb 26-27, (1992), (SPE 23793).
- [11] Burnett, D.B. and Hodge, R.M., "Laboratory and Field Evaluation of the Role of Drill Solids in Formation Damage and Reduced Horizontal Well Productivity", Calgary, Canada, Nov 18-20, (1996), (SPE 37125).
- [12] Gray, D.H., and Rex, R.W: "Formation Damage in Sandstone Caused by Clay Dispersion and Migration", Clay and Clay Min., (1966).
- [13] Mungan, N: "Permeability Reduction Through Changes in phi and Salinity", JPT, Dec. (1965), Trans. AIME.
- [14] Priishalm, S., Neilson, B.L. and Haslund, O: "Fines Migration, Blocking and Clay Swelling of Potential Geothermal Sandstone Reservoirs, Denmark", SPEFE, (1987) (SPE15199).
- [15] Gunter, W.D: "Modeling Formation Damage Caused by Kaolinite from 25 to 300°C in the Oil Sand ~' Reservoirs of Alberta", SPE Advanced Technology Series, Apr, (1994) (SPE 23786).
- [16] Liu, X. and Civan, F: "Formation Damage and Filter Cake Buildup in Laboratory Core Tests: Modeling and Model Assisted Analysis", SPEFE, Mar, 199G (SPE 25215 - P).
- [17] Oyenenin, M.B: "Factors to Consider in the Effective Management and Control of Fines Migration in High Permeability Sands", The Hague, Netherlands, May 15-16, (1995) (SPE 30112).
- [18] Muecke, T.W: "Formation Fines and Factors Controlling Their Movement in Porous Media", JPT, Feb (1979), SPE 7007.
- [19] Grim, R.E: Clay Mineralogy, M^cGraw Hill, New York, (1953).
- [20] Baltz, T H., Himes, R.E. and Dalrymple, D., "Field Evaluation Results of New Clay Stabilizer in the Appalachian Area", Morgantown, VW, Oct 24-17, (1989) (SPE 19325).
- [21] Azari, M., and Liemkuhler, J.M., "Formation Permeability Damage Induced by Completion Brines", JPT, Apr. (1990) (SPE 17149).
- [22] Himes, R.E: "Clay Stabilization in Low Permeability Formations", SPEPE, Aug, (1991) (SPE 18881).
- [23] Zaitoun, A. and Berton. N: "Stabilization of Montmorillonite Clay in Porous Media by Polyacrylamide", Lafayette, LA, Feb 14-16, (1996) (SPE 31109).
- [24] Bennion, D.B., Thomas, F.B. and Sheppard, D.A., "Formation Damage Due to Mineral Alteration and Wettability Changes During Hot Water Injection and Steam Injection in Clay-Bearing Sandstone Reservoirs", Lafayette, Louisiana, Feb 26-27, (1992) (SPE 3783).
- [25] Zhou, Z. "Clay Swelling Diagrams: Their Applications in Formation Damage Control", Lafayette, LA, Feb 14-16, (1996) (SPE 31123).
- [26] Claussner, R.M., "Case History: Formation Damage and Completion Techniques in Water Sensitive Basal Colorado Gas Reservoirs of Southeastern Alberta, Canada", Denver, CO., April 5-8. (1998) (SPE 39925).
- [27] Nasr-El-Din, H.A: "Evaluation of Clay Stabilizers for a Sandstone Field in Central Saudi Arabia", Lafayette, LA, Feb 18-19, (1998) (SPE 39584).
- [28] Johnson, Al, and Norton, F. H: "Mechanism of Deflocculation in Clay-Water Systems", J. Am. Cer. Soc., (1941).