

تعیین نمودار تخریب سنگ مخزن حاصل از رسوب ذرات جامد با استفاده از شبیه‌سازی آزمایشگاهی

(بخش پایانی)

مولفان: ف. الابدوانی، احمدشیرزادی، و. م. ووند بروک، پ. ک. کوری

کار تحقیقی در دانشگاه فنی TUDelft هلند



(Produced Water re-Injection) PWRI

۲-۳-۲- تحلیل شیمیایی

پس از به دست آوردن تصاویر مورد نیاز از مقاطع مغزه، تحلیل شیمیایی انجام گرفت. از آنجا که تحلیل شیمیایی، یک روش مخرب مغزه است لذا، کلیه اطلاعات مربوط به مغزه می‌بایست قبل از انجام این آزمایش‌ها حاصل شده باشد.

این روش نه تنها برای تحلیل شیمیایی تزریق هماتیت، بلکه برای تحلیل تزریق هرذره، عنصر و یا یک حلقه آروماتیک، که اثری از خود بر روی مسیر بگذارد، قابل استفاده است. در ادامه، توصیفی از نحوه اندازه‌گیری رسوب هماتیت در طول مغزه، بیان می‌گردد.

قطعاتی از مغزه که تحلیل تصویری بر روی آن انجام گرفته، در استوانه‌های ارلن مایر، که برچسب خورده، قرار گرفته است، نخست ۳۰ ml آب مقطر، سپس ۳۰ ml اسید کلریدریک شش مول، در هر کدام ریخته شد. یک شیشه ساعتی برای تسهیل میعان بر روی استوانه گذاشته شد و سپس استوانه بر روی صفحه گرم‌کننده‌ای با دمای ۱۵۰ برای مدت دو ساعت قرار گرفت.

قطعه مغزه از استوانه خارج شد و برای افزایش سطح تماس در فعالیت شیمیایی خرد شد. سپس، خرده‌های مغزه به استوانه برگردانده شد. ۳۰ ml HCl رقیق شده با غلظت سه مول برای شستشوی هاون و دسته هاون استفاده شد و بعد به محتویات استوانه اضافه گردید. مخلوط حاصل، برای ۱/۵ ساعت دیگر حرارت داده شد و در ادامه، پس از سرد کردن استوانه (تا حد دمای اتاق) با استفاده از یک قیف و کاغذ فیلتر، مخلوط اسید از دانه‌های سنگی جدا و مقادیری دیگر آب مقطر اضافه شد و

سپس محلول همگن برای آزمایش طیف جذب اتمی (AAS) ارسال گردید. AAS، مقدار غلظت آهن موجود در محلول را بر حسب mg/1 اندازه می‌گیرد. با دانستن حجم محلول، جرم آهن موجود در یک قسمت مشخص از مغزه محاسبه گردید.

البته ضروری است که مقدار آهن اولیه موجود در ماسه سنگ اندازه گرفته شود. با آزمایش‌هایی که بر روی ماسه سنگ Bentheim انجام شد معلوم گردید که محتویات آهن اولیه، نسبت به آهن حاصل از رسوب هماتیت، قابل اغماض است. برای به دست آوردن جرم هماتیت رسوب شده از روی جرم آهن، از رابطه نسبت وزن مولکولی ($Fe_2O_3/2Fe$) استفاده شد.

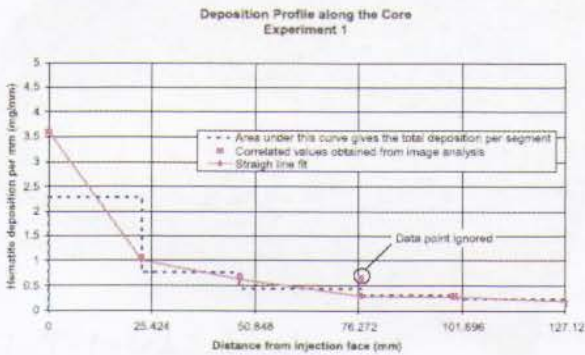
روش شیمیایی دیگر، یعنی AES برای اندازه‌گیری هماتیت به کار گرفته نشد.

بسیاری از محققان از ذرات لتکس به جای هماتیت برای تزریق استفاده می‌کنند. در این حالت با کمی تغییر، روش شیمیایی مذکور را می‌توان برای یافتن پروفیل رسوب‌گذاری به کار گرفت. با استفاده از دی‌کلرومتان، بدون آسیب رساندن به پیوستگی حلقه بنزن، لتکس را حل می‌کنیم. اندازه‌گیری‌های مربوط به حلقه‌های بنزن، با استفاده از روش‌های مختلفی مانند طیف‌سنجی، کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی مایع، در فشار بالا انجام می‌گیرد. تعداد ثابتی از حلقه‌های بنزن در هر کره لتکس موجود است، لذا با در نظر گرفتن خطای آزمایش برای کره‌های هم‌اندازه، می‌تون با یک سری تبدیل، جرم کل ذرات لتکس رسوب شده را به دست آورد.

۳-۲-۳- کناره هم قرار دادن تحلیل های تصویری و تحلیل های شیمیایی

مقدار کل هماتیت رسوب شده در هر قسمت مغزه که از تحلیل شیمیایی حاصل می شود و نیز، سطح پوشیده شده در سطح تکه های مغزه که از طریق تحلیل تصویری حاصل گردید، پروفیل رسوب گذاری در طول مغزه را مشخص می کنند. شکل ۱۱ مثالی از جرم هماتیت رسوب شده در تکه های مغزه را نشان می دهد. این شکل همچنین سطح رسوب گذاری شده، حاصل از تصاویر دو بعدی، بر روی هر قسمت مغزه را نشان می دهد.

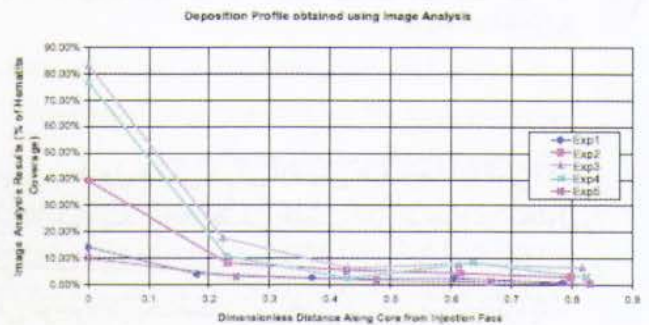
با تطبیق روندهای حاصله در شکل ۱۱ می توانیم پروفیل رسوب گذاری را تا حد یک میلی گرم هماتیت در طول مغزه برای هر واحد طول به دست آوریم (شکل ۱۲). با استفاده از یک میانگین خطی، هنگام ایجاد تطابق با نتایج تحلیل تصویری خطایی معادل ۸/۱ درصد به دست آمد. این خطا هنگام تطابق با میزان رسوب گذاری در تکه های مغزه معادل ۸/۳ درصد بود.



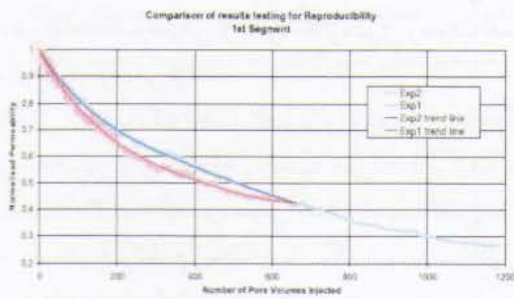
شکل ۱۲- میانگین خطی حاصل از نمودار رسوبگذاری و تحلیل شیمیایی در Exp 1

۳. تحلیل ها

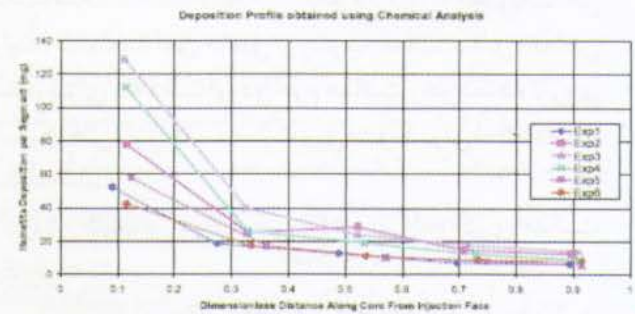
شش آزمایش مطابق جدول ۱ انجام شد. برای مشاهده قابلیت تکرار، دو آزمایش Exp1 و Exp2 با شرایط یکسان تزریق (دبی و غلظت سوسپانسیون هماتیت) انجام گرفت.



شکل ۹- نمودار رسوبگذاری حاصل از تحلیل تصویری (Exp1-Exp5)

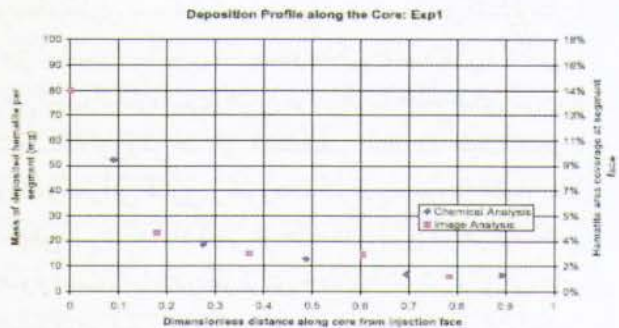


شکل ۱۳- نفوذپذیری نرمال شده در تکه اول مغزه در Exp 1 & Exp 2 برای نمایش تکرار پذیری



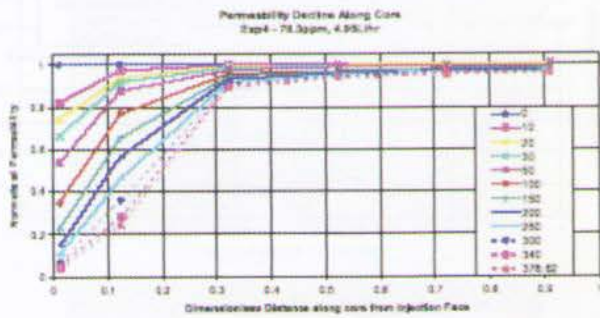
شکل ۱۰- نمودار رسوبگذاری با استفاده از تحلیل شیمیایی (AAS) برای هر شش آزمایش

خطای تطبیق در افت فشارها در طول مغزه به ترتیب، از سطح ورود جریان، معادل ۱۳/۰ درصد، ۵/۳ درصد، ۱/۷ درصد، ۲/۱ درصد، ۲/۵ درصد و ۳/۵ درصد بود (شکل ۱۳). این انحراف از محاسبه، در نقاط اخذ اطلاعات حاصل شد که در آنها نوسان موجود است. با به کارگیری خطوط مسطح شده روند برای ارزیابی خطا، می توان آن را کاهش داد. به عنوان مثال خطای ۱۳/۰ درصد به ۱۰/۰ درصد کاهش پیدامی کند.

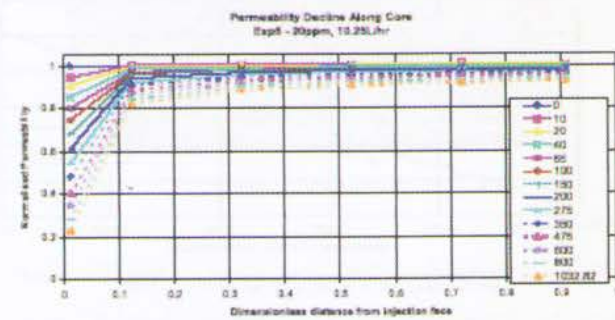


شکل ۱۱- نمودار رسوبگذاری حاصل از تحلیل تصویری و شیمیایی در Exp 1

۱۲
شماره ۱۷- آذر ۱۳۸۳



شکل ۱۷ - نمودار نفوذپذیری نرمال شده در طول مغزه در Exp4 در حجم‌های مختلف تزریق

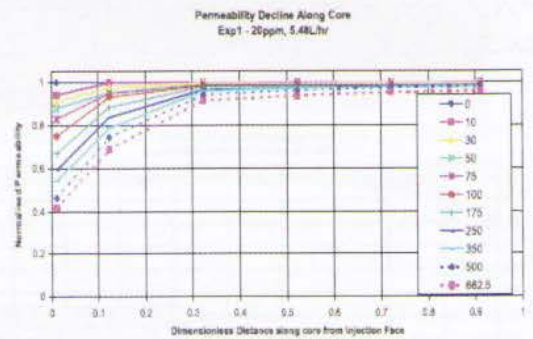


شکل ۱۸ - نمودار نفوذپذیری نرمال شده در طول مغزه در Exp5 در حجم‌های مختلف تزریق

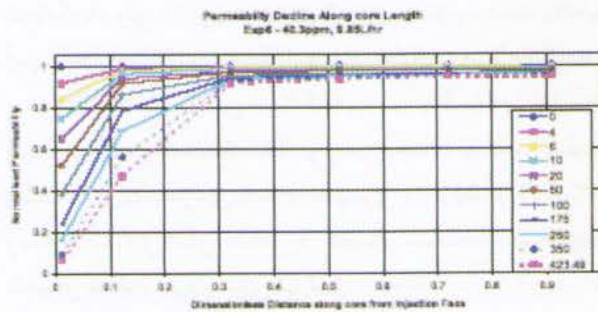
برای محل تکرارپذیری آزمایش‌های تصفیه استاتیکی با استفاده از آنالیز شیمیایی، غلظت سیال خروجی، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲) که یک تطبیق قابل قبول حاصل گردید.

با اطمینان از تکرارپذیری آزمایش‌ها و در نتیجه، اطمینان از دستگاہ آزمایش، مقایسه بین آزمایش‌های مختلف، حقایق بیشتری را برای مارویشن خواهد نمود. شکل‌های ۱۴ تا ۱۹، کاهش نفوذپذیری در طول مغزه را برای هر شش آزمایش، در حجم تزریق‌های متفاوت، نشان می‌دهند.

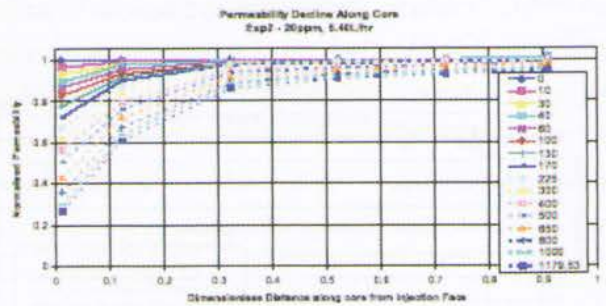
نفوذپذیری نرمال شده (K/K_i) و نسبت نفوذپذیری لحظه‌ای به نفوذپذیری اولیه هر قطعه از مغزه، برای نشان دادن افت نفوذپذیری مورد استفاده قرار گرفته است.



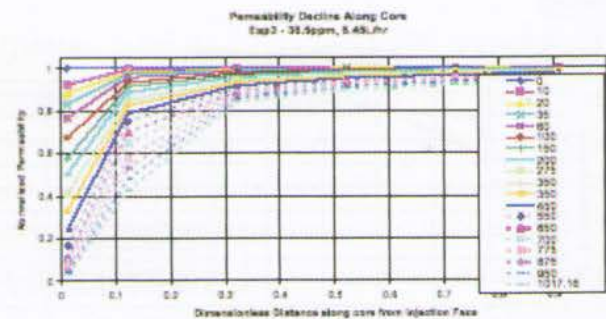
شکل ۱۴ - نمودار نفوذپذیری نرمال شده در طول مغزه در Exp1 در حجم‌های مختلف تزریق



شکل ۱۹ - نمودار نفوذپذیری نرمال شده در طول مغزه در Exp6 در حجم‌های مختلف تزریق



شکل ۱۵ - نمودار نفوذپذیری نرمال شده در طول مغزه در Exp2 در حجم‌های مختلف تزریق



شکل ۱۶ - نمودار نفوذپذیری نرمال شده در طول مغزه در Exp3 در حجم‌های مختلف تزریق

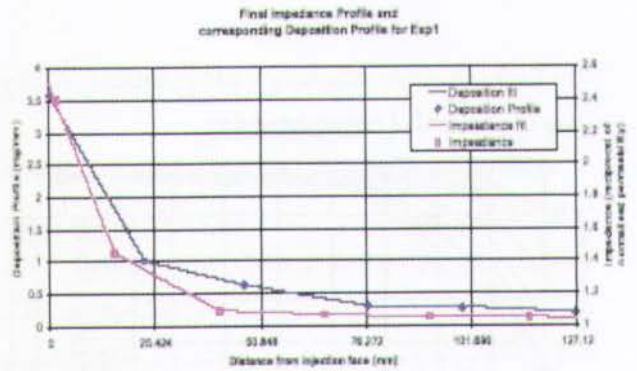
همان‌گونه که در شکل‌ها دیده می‌شود، میزان تخریب‌سازند در اولین ۴۰ mm (معادل ۳۱٪ طول مغزه) بسیار شدیدتر است. برای تعیین اثر رسوب‌گذاری بر کاهش نفوذپذیری، امیدانس (عکس نفوذپذیری نرمال شده) بر پروفیل رسوب‌گذاری در طول مغزه تقسیم گردید (شکل ۲۰ و ۲۱).

شماره ۱۷ - آذر ۱۳۸۳



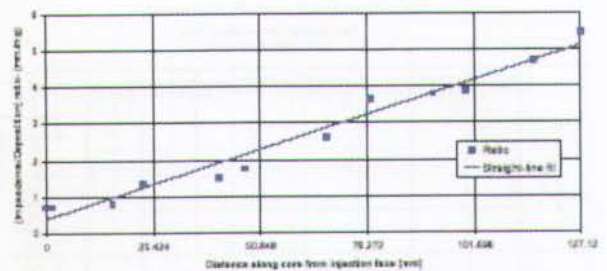
شکل ۲۳ - تصویر سطح بررسی شده پنجم در Exp1

با مقایسه نتایج آزمایش های EXP2 تا EXP6 از دیدگاه مقدار هماتیت تزریق شده (شکل های ۲۴ - ۲۷) این وابستگی کاملاً مشهود است. در Exp1 در این شکل ها نیامده است زیرا با ۱۰ درصد خطا کاملاً مشابه Exp2 است. در نتیجه، حاصل ضرب دو پارامتر تحت بررسی، دبی و غلظت سوسپانسیون، اثر اولیه ای بر روی کاهش نفوذپذیری دارد. از طرف دیگر، هر پارامتر به طور مجزا برای خود ۲۴ تا ۲۷ تاثیر ثانویه بر کاهش نفوذپذیری دارد.

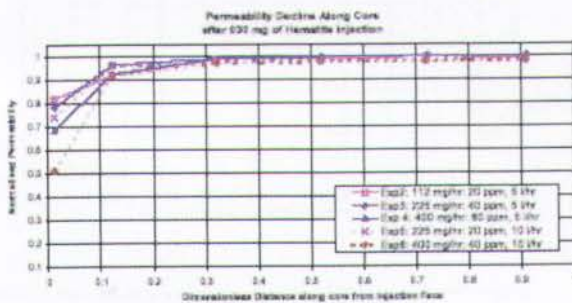


شکل ۲۰ - مقایسه نمودار رسوبگذاری و امیدانس در طول مغزه در Exp1

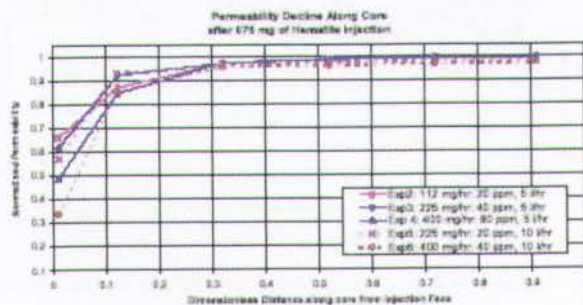
Ratio of Impedance to Deposition along the Core of Exp1



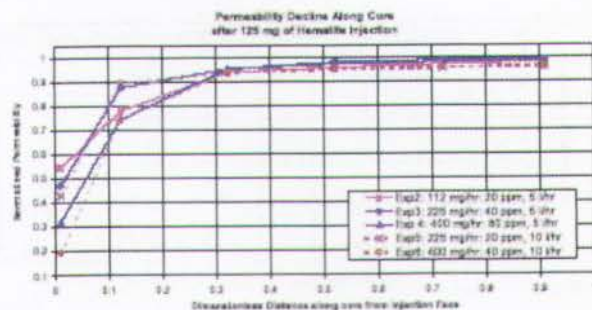
شکل ۲۱ - نسبت امیدانس به رسوبگذاری در طول مغزه در Exp1



شکل ۲۴ - نمودار نفوذپذیری در Exp2-Exp6 بعد از تزریق ۳۱۰mg هماتیت

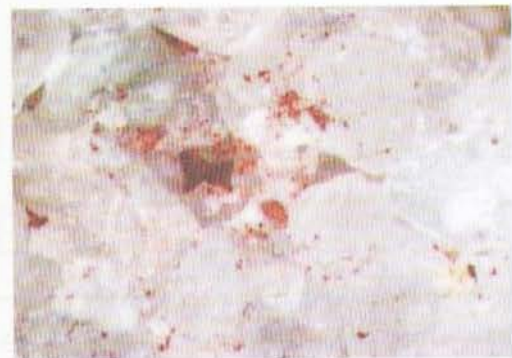


شکل ۲۵ - نمودار نفوذپذیری در Exp2-Exp6 بعد از تزریق ۷۵mg هماتیت

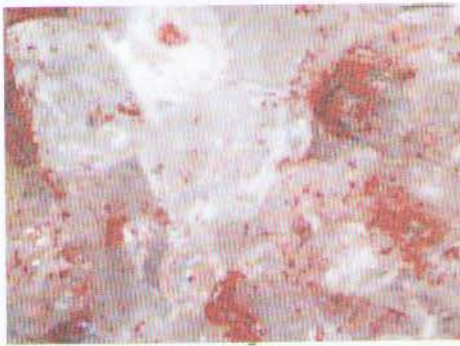


شکل ۲۶ - نمودار نفوذپذیری در Exp2-Exp6 بعد از تزریق ۱۲۵mg هماتیت

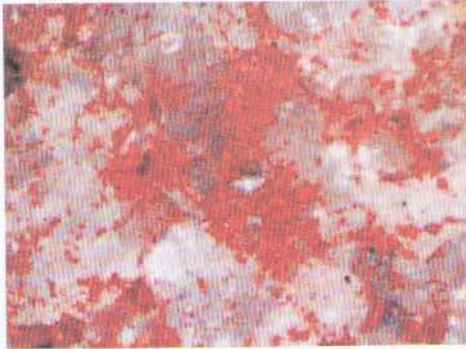
به وسیله ایجاد این گونه نمودارها، برای آزمایش هایی که با مولفه های تزریق (دبی و غلظت) مشابه انجام گرفته ولی دارای حجم تزریق PV، متفاوتی هستند، تعیین آسیب حاصل از رسوب گذاری های متوالی، میسر می گردد. اعتقاد بر این است که رسوب گذاری اولیه ای که در گلوگاه تخلخل رخ می دهد، تاثیر بسیار زیادی بر روی نفوذپذیری دارد (شکل ۲۲ و ۲۳). رسوب گذاری های بعدی در فضای متخلخل، کمک بسیار ناچیزی به افت نفوذپذیری می نماید.



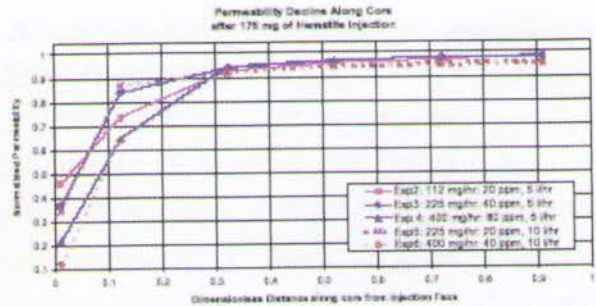
شکل ۲۲ - تصویر سطح بررسی شده سوم در Exp1



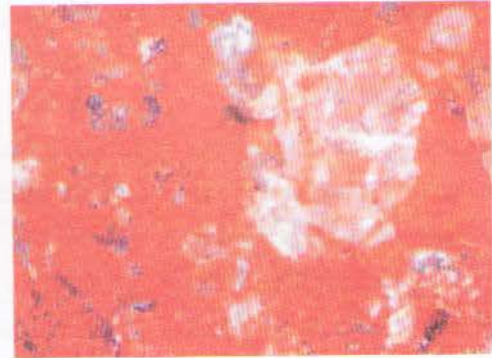
شکل ۲۹ - تصویر سطح اول بررسی شده در Exp1



شکل ۳۰ - تصویر سطح اول بررسی شده در Exp2



شکل ۲۷ - نمودار نفوذپذیری در طول مغزه در آزمایش Exp2-Exp6 پس از تزریق ۱۷۵ mg هماتیت



شکل ۲۸ - تصویر سطح اول بررسی شده در Exp3

مقاله عبارتند از:

- اندازه گیری موفقیت آمیز آزمایشگاهی پروفیل رسوب ذرات جامد تزریق شده در یک مغزه، که امکان بررسی صحت و سقم مدل های معتبر موجود را فراهم می آورد.
- ایجاد آسیب شدید سازند در ۴۰mm اول مغزه برای حالتی که نسبت اندازه ذره به اندازه گلوگاه ۱:۱۲/۵ است.
- ایجاد لایه خارجی که منجر به افت نفوذپذیری نرمال شده، در سه میلیمتر اول مغزه تا حد ۱/۰ می شود (۱۰ درصد عدد نفوذپذیری در حالتی که آب تمیز به مغزه تزریق گردد و سازند آسیبی نبیند).
- به طور موفقیت آمیز، از روش های طیف سنجی جذب اتمی و طیف سنجی تابش اتمی و پراش لیزری پیوسته برای اندازه گیری غلظت آب خروجی استفاده شد.
- بدون هیچ گونه اثری نامطلوب، غلظت مایع خروجی در حد ۴۵ درصد غلظت مایع تزریقی پایدار گردید.
- تاثیر رسوب گذاری اولیه بر نفوذپذیری، بسیار بیشتر از مراحل بعدی رسوب گذاری است.

- تشکیل لایه صافی داخلی حتی پس از تشکیل لایه صافی خارجی ادامه دارد.

- نفوذپذیری نسبی قبل از هر چیزی به دبی جرمی ذرات جامد تزریق شده بستگی دارد.

- علاوه بر تاثیر اولیه حاصل ضرب عددی دو عامل دبی تزریق و غلظت سوسپانسیون (دبی جرمی ذرات جامد) بر روی کاهش نفوذپذیری، هر کدام از آنها به طور مجزا نیز دارای تاثیرات ثانویه ای هستند. □

منبع: SPE 82235

این مقاله در سال ۲۰۰۲ در کنفرانس اروپایی تخریب سازند ارائه شده است.

برای سه آزمایش (Exp3, Exp4, Exp6) لایه صافی خارجی تشکیل شد، که عامل افت نفوذپذیری نرمال شده تا حد ۱۰ درصد است. همین امر عامل پوشش رسوبی در سطح تزریق تا حد ۷۵ درصد است (شکل ۲۸). شکل های ۲۹ و ۳۰ پیشرفت در رسوب گذاری بر روی سطح تزریق قبل از تشکیل لایه صافی خارجی را نشان می دهد. آزمایش های (Exp6, Exp3) بلافاصله پس از تشکیل لایه صافی خارجی انجام شده اند. شکل ۱۷ گویای این مطلب است که علی رغم تشکیل لایه صافی خارجی، آسیب داخلی به سازند در حال انجام است. در حقیقت، پدیده «رسیدن ذرات هماتیت به اعماق مغزه» از این حقیقت که افت نفوذپذیری در سطح تزریق ثابت بوده ولی در اعماق در حد بالایی است نتیجه گیری شده است. مدل های ریاضی اصلی برای شبیه سازی پروفیل رسوب گذاری و افت نفوذپذیری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج عددی به دست آمده از این مدل ها با نتایج PMA مقایسه خواهد شد.

۴. نتایج

این مقاله روش کالبد شکافی پس از انجام آزمایش (PMA) را برای حصول پروفیل رسوب گذاری ذرات جامد تزریق شده در آزمایش های کنترل شده معرفی می نماید. این روش به طور موفقیت آمیزی بر روی آزمایش های تصفیه استاتیکی اعمال شد و می تواند برای اشکال مختلف مغزه مورد استفاده قرار گیرد. آب تولیدی مصنوعی استفاده شده در این آزمایش محتوی ذرات هماتیت است. یک روش متفاوت PMA برای آزمایش هایی که در آنها از لتکس استفاده شده پیشنهاد شده است. بنابراین نتایج این