



۳- سیلاب زنی (Water Flooding)

وقتی که آب در مخازن شکاف دار تزریق شود ضمن جریان در داخل شبکه ماتریکسی، با نفت موجود در ماتریکس ها عمل متقابل دارد. این عمل متقابل می تواند به طرق مختلف انجام پذیرد که بستگی به خاصیت ماتریکس ها دارد. اگر ماتریکس با آب مرطوب شده باشد آب به وسیله خاصیت جذب موئینگی به داخل ماتریکس جذب می شود و نفت درون ماتریکس را خارج می کند. این مورد به وسیله ارتفاع بلوک ماتریکس کنترل می شود. یکی از مهمترین عوامل محدود کننده بازیافت نفت از ماتریکس در ضمن تزریق آب ویسکوزیته نفت است. افزایش ویسکوزیته نفت میزان بازیافت را کم می کند. در این مطالعه، نمونه های متفاوتی از سنگ مخزن نفت سنگین بررسی شد. برای مقایسه، آزمایشهای مشابهی روی نفت سبک انجام گردید. به کمک این آزمایشها، بازیافت نفت سبک و سنگین از ماسه سنگ و سنگ آهک مقایسه شد. همان

زمانی که شرایط نامساعدی از قبیل سنگین بودن نفت، ابعاد بزرگ ماتریکس، تراوایی پایین ماتریکس ها، آغشته شدن ماتریکس با نفت و وجود شبکه ضعیف ارتباطی بین شکاف ها در یک مخزن وجود داشته باشد، هزینه های اضافه برای افزایش بازیافت نفت از ماتریکس غیر قابل اجتناب است. آب و گاز را می توان به ترتیب به وسیله نیروهای موئینگی و چگالی به منظور بازیافت نفت به مخزن تزریق کرد ولی از آنجایی که نفت مربوط به ماتریکس سنگین تر بوده و رطوبت کم تری دارد استفاده از این فرایندها احتمالاً نمی توانند افزایش قابل توجهی را داشته باشند در حالی که استفاده از روش های حرارتی و تزریق مواد شیمیایی و گاز قابل امتزاج می تواند بر این محدودیت ها غلبه کند. مطالعات اخیر نشان داده است که این روش ها احتمالاً منجر به افزایش بازیافت نفت خواهند شد. همچنین شرایط مشخص دیگری وجود دارند که این

ارزیابی روش های ازدیاد برداشت برای بازیافت نفت سنگین در مخازن شکاف دار

طور که انتظار می رفت، نمونه هایی از سنگ مخزن که از نوع نفت دوست هستند بهره تولید و بازیافت نفت کمتری را نسبت به نمونه هایی از سنگ مخزن که از نوع آب دوست هستند نشان می دهد. به هر حال اساساً میزان بازیافت، تحت تأثیر ویسکوزیته نفت است. بنابراین اولین مورد حفظ فرآیند و دومین مورد افزایش حد نهایی بازیافت است. در زیر روش های افزایش بازیافت برای انواع مختلف سنگ مخزن مورد ارزیابی قرار می گیرند.

۴- مواد شیمیایی به عنوان عامل افزایش ضریب بازیافت ۴-۱- سورفوکانت

ایده تزریق محلول سورفوکانت برای بهبود بازیابی حاصل از عمل جایگزین شدن فاز تر شونده به جای فاز غیر تر شونده برای مخازن کربناته در ایالات متحده و در دریای شمال پیشنهاد شده بود. تمام این مطالعات محدود به مقیاس آزمایشگاهی بودند و هیچگونه کاربردی از تزریق آب با سورفوکانت هنوز گزارش نگردیده است. مطالعات دیگری به عنوان تأثیر سورفوکانت بر روی بازیابی حاصل از عمل جایگزین شدن فاز تر شونده به جای فاز غیر تر شونده (به منظور شناسایی مکانیسم آن بدون در نظر گرفتن نوع میدان) انجام گرفته است. به طور کلی تأثیر مثبت پایین بودن کشش سطحی بر روی حد نهایی بازیافت به واسطه افزودن سورفوکانت در این تحقیق مشاهده شده بود. برای نفت سبک، بازده محلول سورفوکانت عملکرد مشابهی را همانند محلول آب نمک در میزان بازیافت نشان می دهد. در مورد نفت سنگین به هر حال افزایش قابل ملاحظه ای در حد نهایی بازیافت به وسیله افزودن سورفوکانت به دست می آید. این مورد قابل انتظار است که با افزودن سورفوکانت به آب نمک کشش سطحی پایین نیاید. آزمایشهای گزارش شده در بالا در ارتباط با نمونه

روش ها را از نظر اقتصادی و فنی توجیه نمی کند. این مقاله روش های مختلف ازدیاد برداشت نفت سنگین را بر اساس مشاهدات تجربی و متغیرهایی که در بازیابی آن تأثیر می گذارد بررسی می کند، همچنین شرایط کاربرد این روش ها از نقطه نظر فنی و اقتصادی مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۱- مقدمه

بازیافت نفت از ماتریکس در مخازن شکاف دار به وسیله عمل متقابل بین سیال موجود در شکاف و نفت موجود در ماتریکس به دست می آید. سیال موجود در شکاف به عنوان یک نیروی جابجا کننده عمل کرده و نفت موجود در ماتریکس را به وسیله خاصیت ویسکوزیته (گران روی)، انتقال جرم یا جابجایی از طریق خاصیت موئینگی خارج می سازد. نوع جابجایی به وسیله خصوصیت سنگ ماتریکس و سیال تعیین می شود. چنانچه ماتریکس مرطوب بوده و مقدار کافی آب در شبکه ماتریکسی موجود باشد، جذب از طریق خاصیت موئینگی بر بازیافت از مخازن شکاف دار تأثیر می گذارد. با توجه به اندازه ماتریکس، ترشوندگی و موقعیت شکاف، مقدار حد آستانه فشار برای عمل متقابل ویسکوزیته و نیروی ثقلی حاصل از سیال درون ماتریکس تعیین می شود. چنانچه شرایط امتزاج پذیری حاصل گردد، عمل انتقال جرم بین سیال موجود در شکاف و نفت موجود در ماتریکس صورت می پذیرد.

۲- ارزیابی روش های ازدیاد برداشت

ارزیابی روش های ازدیاد برداشت ویسکوزیته نفت، نوع سنگ مخزن، تر شوندگی ماتریکس ها و شرایط مرزی ماتریکس برای تزریق سیالات مختلف انجام خواهد پذیرفت.

هایی هستند که از تمام جهات با فاز آبی در تماس هستند. تماس مختصر بر میزان بازیافت و حد نهایی آن تأثیر گذار است. اخیراً گزارش شده است که در مورد نفت سبک در حالی که سطح تماس ماتریکس با فاز آبی کاهش می‌یابد، تأثیر منفی کشش سطحی پایین، بروی میزان بازیافت خیلی اثر گذار است. همچنین مشاهده شده است که اگرچه هیچ گونه تغییر مهمی بر حد نهایی بازیافت رخ نمی‌دهد، ولی میزان بازیافت با اضافه کردن سورفکتانت به طور چشمگیری کاهش یافته است. شرایط مرزی در مورد نفت سنگین نشان می‌دهد که افزایش سورفکتانت مقدار قابل توجهی را در افزایش میزان



بازیافت نشان می‌دهد. تأثیر افزودن سورفکتانت بر روی بازیابی حاصل از عمل جایگزین شدن فاز تر شونده به جای فاز تر نشونده برای نمونه سنگ آهک بررسی گردید. برای نفت سبک افزایش قابل ملاحظه‌ای در حد نهایی بازیافت با افزودن سورفکتانت به دست آمد. همچنین زمانی که کشش سطحی پایین باشد بازیافت سریعتری مشاهده می‌شود. در مورد نفت سنگین نتایج قدری نامطلوب بود. به واسطه خاصیت تر شوندگی نامطلوب نمونه، بازیافت با آب نمک همراه، کمتر از دو درصد بود و افزودن سورفکتانت افزایش کمی را در میزان بازیافت و حد نهایی آن نشان داد، به طوری که این بازیافت از نظر کاربری اقتصادی مقرون به صرفه نیست، بنابراین تزریق سورفکتانت برای ماسه سنگ پیشنهاد می‌شود، ولی برای بازیافت نفت سنگین از سنگ آهک پیشنهاد نمی‌گردد.

۴-۲-۴- پلیمر

تزریق محلول پلیمر به عنوان فاز آبی در بازیافت نفت از ماتریکس برای شرایط مختلف، در گذشته و در مقیاس آزمایشگاهی برای نفت سبک انجام شده بود. تنها میدانی که از طریق مواد پلیمری برای افزایش بازیافت در آن اشاره شده است، میدانی در ایالت وایومینگ است. در مطالعه فعلی، محلول پلیمری به عنوان فاز آبی، هم برای نمونه ماسه سنگ و هم برای سنگ آهک آزمایش شده است. محلول پلیمر افزایش قابل توجهی را در سرعت بازیافت نشان می‌دهد و حد نهایی بازیافت به هر حال تحت تغییر سرعت های مختلف بازیابی قرار نمی‌گیرد. بازیابی حاصل از اثر موئینگی می‌تواند به وسیله کاهش ویسکوزیته نفت، کاهش کشش سطحی و احتمالاً تغییر در مقدار تر شوندگی افزایش یابد. این موارد در مورد سنگهای کربناتی دارای اهمیت ویژه‌ای است اما به گونه‌ای است که نمی‌توان مقدار بازیافت زیادی از آن انتظار داشت. تغییر میزان ترشوندگی از حالت نفت دوست به آب دوست برای سنگ های کربناتی با افزایش درجه حرارت مورد انتظار است.

در این قسمت تأثیر آب گرم بر روی بازیافت نفت سنگین از ماتریکس ماسه سنگ مورد بررسی قرار گرفت. هم حد نهایی ضریب بازیافت و هم سرعت

بازیافت به وسیله تزریق آب گرم به صورت قابل توجهی افزایش یافت. انتظار می‌رفت که نیروی رانش که تحت اثر موئینگی قرار دارد با کاهش ویسکوزیته نفت و کشش سطحی، بهبود یابد در صورتی که افزایش کلی حد نهایی بازیافت در اثر انبساط حرارتی بیشتر از حد انتظار بود. برای نمونه در سنگ آهک اگرچه آب سرعت بازیافت را افزایش می‌دهد اما تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی حد نهایی ضریب بازیافت مشاهده نمی‌گردد. در اینجا حد نهایی ضریب بازیافت برای نفت سنگین وقتی که آب گرم استفاده می‌شود فقط هفت درصد افزایش یافت پس تأثیر آب گرم با انبساط حرارتی محدود است.

محدودیت دیگر در بازیافت نفت سنگین شرایط مرزی ماتریکس است که سطح تماس و در نتیجه سرعت بازیافت و مقدار آن را محدود می‌کند. تأثیر آب گرم بر روی حد نهایی بازیافت برای جریان های ناهمسو قابل ملاحظه است. زمانی که آب گرم به عنوان فاز آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد فرایند به صورت قابل توجهی در مرز کاملاً باز ماتریکس تسریع می‌شود. وقتی که عملکرد سورفکتانت و محلول پلیمر در مورد نفت سنگین مقایسه می‌شود، نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که سورفکتانت از دیدگاه فنی خیلی سودمندتر است به گونه‌ای که بهره بیشتر و بازیافت بیشتری را نسبت به محلول پلیمر می‌دهد. برای ارزیابی اقتصادی فرایند، نیاز به تخمین مقدار مواد شیمیایی و هزینه آن است. اثر تماس محلول پلیمر بر روی بازیافت نفت سنگین از نمونه سنگ آهک قابل مشاهده خواهد بود. محلول پلیمر

عملکرد ضعیف تری را برای نفت سنگین نشان می‌دهد. انتظار می‌رود که جذب سطحی پلیمرها بر روی سنگ آهک خیلی شدیدتر از جذب بر روی ماسه سنگ باشد و این موضوع احتمالاً دلیل کاهش بازیافت خواهد بود.

۵- روش های حرارتی

تزریق سیال با درجه حرارت بالا به داخل مخازن شکاف دار به عنوان یکی از روش های مؤثر ازدیاد برداشت در نظر گرفته می‌شود و مطالعات متعددی با مدارک کافی در تأیید آن منتشر شده است. درک پدیده بازیافت

نفت از ماتریکس برای روش تزریق سیال با دمای بالا نسبت به روش سیلاب زنی و تزریق

مواد شیمیایی خیلی پیچیده تر است. چرا که بازیافت بستگی به چند مکانیسم دارد و سهم هر مکانیسمی در بازیافت بستگی به نوع مخزن، درجه حرارت و شرایط تغییر پذیری پیوسته در مخزن دارد که به نوع سنگ مخزن هم مربوط می‌شود. مکانیسم های اصلی و عمده بازیافت شامل نیروی رانش حاصل از موئینگی، انبساط حرارتی، تولید گاز، تخلیه ثقلی، تقطیر، رانش تحت اثر گاز محلول و کاهش فشار است. عده‌ای از محققان مشخص کرده‌اند که سهم هر مکانیسم در درجه اول به تزریق آب مخصوصاً در سنگ های مخزنی آبدوست و خالی نمودن ماتریکس و سپس به آب گرم و بخار بستگی دارد. با توجه به پایین بودن هزینه تزریق آب چنانچه میزان بازیافت رضایت بخش باشد از این روش در فرایند هایی که هزینه در آنها مهم است استفاده می‌شود. عده‌ای از محققان به ترتیب تزریق آب گرم و بخار را آزمایش کردند. تزریق آب موفقیت آمیز بود. مشاهده کردند که افزایش حد نهایی بازیافت و مقدار اضافی این بازیافت به واسطه انبساط حرارتی در هر دو مورد است. برای ماتریکس کربناته



نفت دوست، بهبود نیروی رانش حاصل از موئینگی یک مورد قطعی است. بهره تزریق آب گرم در سنگ آهک دو برابر است که این مطلب به عنوان دست آوردی برای مخازن کربناته شکاف دار است. در بازیافت نفت سنگین خصوصاً برای سیستم های نفت دوست، مفهوم اصلی از دیدگاه مدیریت مخزن، افزایش میزان تولید تا حد نهایی بازیافت است. بنابراین تزریق آب گرم از دیدگاه اقتصادی بیشتر قابل توجه است. به طور خلاصه انتخاب روش صحیح بستگی به مدیریت و هزینه پروژه دارد.

۶- تزریق گاز

گاز را نیز می توان به منظور راه یافتن به درون ماتریکس و خارج نمودن نفت از درون آن تزریق کرد. از آنجایی که فاز گازی در حالت عادی فاز غیر تر شونده است نفت به وسیله فرایندی که به اختصار (GOGD) (Gas Oil gravity drainage) یا تخلیه ثقلی نفت توسط گاز نامیده می شود بازیابی می گردد و این فرایند به واسطه اختلاف گرانش بین سیال در شکاف و ماتریکس رخ می دهد. این فرایند کاهش میزان بازیابی را نسبت به سایر مکانیسم های قابل اجرا خصوصاً برای نفت سنگین به دست می دهد ولی می توان آن را به وسیله تزریق گاز یا عملیات حرارتی افزایش داد. مطالعات زیادی بر روی بازیافت نفت از ماتریکس به وسیله جایجایی صورت گرفته است. با توجه به قابلیت دسترسی و ارزان بودن گاز نیتروژن، این گاز عموماً به مخازن شکاف دار به منظور تثبیت فشار تزریق می شود. چنانچه شرایط امتزاج پذیری به دست آمد، نفت می تواند از ماتریکس به وسیله مکانیسم نفوذ تولید شود.

گاز رایج دیگری که با همان هدف قبلی تزریق می گردد متان است. عده ای از محققان مشاهده کردند که با تزریق متان، سرعت بازیافت نفت دو برابر می گردد و اجزاء کربنی سنگین تری از متان نیز به عنوان گاز تزریق شونده مورد آزمایش قرار گرفته اند. در مطالعه بالا نمونه های نفت سبک به عنوان نفت ماتریکس استفاده شدند. بررسی امتزاج پذیری نفت سنگین به همراه حلال های مختلف در شکاف ها ارزشمند است. در مطالعه فعلی، هیچگونه تجربه ای از بازیافت نفت از ماتریکس از طریق جایجایی گزارش نگردیده است. این امر قابل تأکید است که برای گازهایی از قبیل نیتروژن و متان، امتزاج پذیری با نفت سنگین مشکل است. سایر حلال ها مورد آزمایش قرار می گیرند اما این مورد احتمالاً یک فرایند غیر اقتصادی است حتی اگر از نظر فنی، کاربردی موفقیت آمیز داشته باشند.

۷- راندمان فرایندهای روش های ازدیاد برداشت

روش های ازدیاد برداشت از دیدگاه فنی مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور مدیریت موثر میدان، این تجربیات برای تصمیم گیری می توانند سودمند باشند. چنانچه مقصود خارج کردن موثر نفت از ماتریکس باشد، هدف می تواند حد نهایی بازیافت باشد. به بیان دیگر چنانچه هدف افزایش میزان بازیافت باشد می توان بر روی افزایش میزان بازیافت به جای حد نهایی آن متمرکز شد. میادینی که ضریب بازیافت پایینی دارند برای این گونه استراتژی کاندید مناسبی هستند. امور مدیریت مخزن روش های صحیح ازدیاد برداشت برای نفت سنگین را تعیین می کنند. میزان بازیافت و حد نهایی آن به عنوان شاخص های عملکرد بازیافت در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند.

این مطلب اساساً موثر بودن فرایند را تعریف می کند. وقتی که بازده فرایند مورد نظر باشد به طور مثال، مقدار نفت بازیابی شده به ازای هزینه واحد، تجزیه و تحلیل بالا با در نظر گرفتن هزینه فرایند انجام خواهد شد. برای تخمین هزینه، شیوه های تجربی در ارتباط با نیروی رانش حاصل از موئینگی مناسب نخواهد بود



چرا که کل مواد شیمیایی تزریق شده در این حالت مشخص نیست و این به دلیل ماهیت فرایند است. اما در واقع پیوسته بودن تزریق فاز آبی وجود دارد. با دانستن میزان تزریق و غلظت آن، می توان احتمالاً هزینه فرایند را محاسبه نمود به طوری که مقدار مورد نیاز برای تزریق برای رسیدن به حد نهایی بازیافت ضروری است. این مورد راندمان فرایند و در نتیجه به دست آوردن هزینه پروژه را مقدر می سازد.

عده ای از محققین راندمان تزریق مواد شیمیایی را بر روی نمونه های همگن و غیر شکافدار تجزیه و تحلیل کرده اند. آنان با در نظر گرفتن تأثیر جذب، شوری آب و آنالیز کردن سناریوهای تزریق مواد شیمیایی مختلف، موثرترین آن را از نظر هزینه انتخاب نموده اند. تجربه مشابهی برای سیستم های شکاف دار سودمند خواهد بود اما در این زمینه هیچ گونه مطالعه ای گزارش نشده است. مطالعات تجربی تحت شرایط دینامیک برای سیلاب زنی اجرا شده است.

نتایج به دست آمده از آزمایشات دینامیک می تواند توسعه داده شود تا بتوان هزینه های فرایند را تخمین زد. برای تزریق آب، تخمین هزینه با توجه به کم بودن هزینه تزریق آب یک مورد مهم نیست. به هر حال برای سایر روش های ازدیاد برداشت، تخمین هزینه و بنابراین میزان تزریق بسیار مهم است. به منظور تعریف میزان بهینه تزریق بخار برای ماتریکس های مختلف با در نظر گرفتن هزینه بخار تزریق شده دو نفر از محققان مطالعات شبیه سازی عددی را انجام داده اند. این مطالعات پیشنهاد می نماید که میزان تزریق با توجه به تراوایی ماتریکس و ظرفیت حرارتی، می بایست تنظیم شود، اما هیچ گونه تلاشی برای تزریق مواد شیمیایی و گاز قابل امتزاج در مقیاس آزمایشگاهی و یا در عمل در میادین صورت نگرفته است. در چنین مطالعه ای جذب سطحی مواد شیمیایی بویژه برای سنگ های کربناته، میزان غلظت مواد شیمیایی و یا تزریق گاز و درجه حرارت برای بهینه سازی فرایند باید در نظر گرفته شوند.

۸- نتایج و نقطه نظرات

در این مقاله روش های ازدیاد برداشت برای نفت سنگین از ماتریکس در مخازن شکاف دار ارزیابی گردید. عملکرد بازیابی حاصل از نیروی رانش و موئینگی با محلول آب نمک، سورفکتانت، محلول پلیمر و آب گرم برای نمونه های متفاوت سنگ مخزن و شرایط مرزی ماتریکس مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه قرار گرفت. آنچه مشاهده شده این است که افزایش بازیافت نفت سنگین با استفاده از روش های ازدیاد برداشت نسبت به روش هایی که برای نفت سبک مورد استفاده قرار می گیرد، قطعی تر است. نفت سبک حتی از ماسه سنگ هایی که آب همراه زیادی دارند با کمک تکنیک های حرارتی و شیمیایی می تواند بازیابی گردد. آب گرم برای بالا بردن حد نهایی بازیافت نسبت به محلول های شیمیایی بازده بیشتر دارد. استفاده از آب گرم نسبت به محلول سورفکتانت بازیابی حاصل از نیروی رانش از ماسه سنگ را برای نفت سنگین افزایش می دهد. پلیمر نیز همانند آب نمک باعث بازیابی سریع می گردد. برای سنگ های کربناته نفت دوست اساساً با توجه به انبساط حرارتی آب گرم بازیافت نفت تسریع می گردد. بنابراین تزریق گاز قابل امتزاج برای بازیافت نفت سنگین می تواند یک راه حل باشد اما راندمان این عمل نیاز به تحقیق دارد. بازده فرایند و تخمین هزینه نیاز به تجربه عملی دارد به طوری که بتوان مقدار سیال تزریق شده به منظور دستیابی به حد اکثر بازیافت را تعیین کرد.