شبیه سازی ازدیاد برداشت نفت از مخزن نفتی ((آزادگان)) به کمک تزریق تواما سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن و بررسی افزایش ضریب بازیافت نفت

پیمان رهبرنیا[۱]

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان، شاغل در بخش ذخیره سازی گاز پالایشگاه شهید هاشمی نژاد، سرخس، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۶
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

کلمات کلیدی:
ازدیاد برداشت نفت
روش هیبریدی
تزریق متناوب

چکیده

از آن‌جا که بیشتر مخازن کشور در نیمه دوم عمر خود به سر می برند و هر چه از عمر مخزن می‌گذرد برداشت از آن دشوارتر می شود باید با روش های خاصی با توجه به شرایط مخزن، برداشت از آن را بهتر و بیشتر کرد، البته نباید فراموش کرد که در روش های ازدیاد برداشت باید بهترین روش را از لحاظ عملی و اقتصادی انتخاب کرد. در این مقاله برای مطالعه ازدیاد برداشت به کمک تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن برای افزایش بازیافت نفت از مخازن کربناته از یک سکتور مدل مخزن هتروژن استفاده شده است. در این سکتور مدل در حالت تولید طبیعی ضریب بازیافت ۸٪ است که نسبتا پایین است و نرخ تولید نفت و فشار متوسط مخزن با سرعت کاهش می یابد. تزریق سدیم سولفات با دبی های مختلف ضریب بازیافت را به ۲۰٪ رسانده است. برای حالت تزریق سدیم سولفات با غلظت های مختلف ضریب بازیافت حداکثر به ۲۳٪ رسیده است که نسبت به تزریق سدیم سولفات ۳٪ افزایش بازیافت نفت داشته ایم. تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن در سیکل های زمانی مختلف برای بهینه سازی سناریوی تزریق انجام و در حالتی که سیکل تزریق سدیم سولفات دوبرابر سیکل تزریق گاز گاز دی اکسید کربن است ضریب بازیافت نفت تا ۳۰٪ رسیده است که نشان می دهد تاثیر تزریق سدیم سولفات در تزریق متناوب بیشتر است و مکانیزم های ترکیبی موجب افزایش بازیافت نفت شده است.

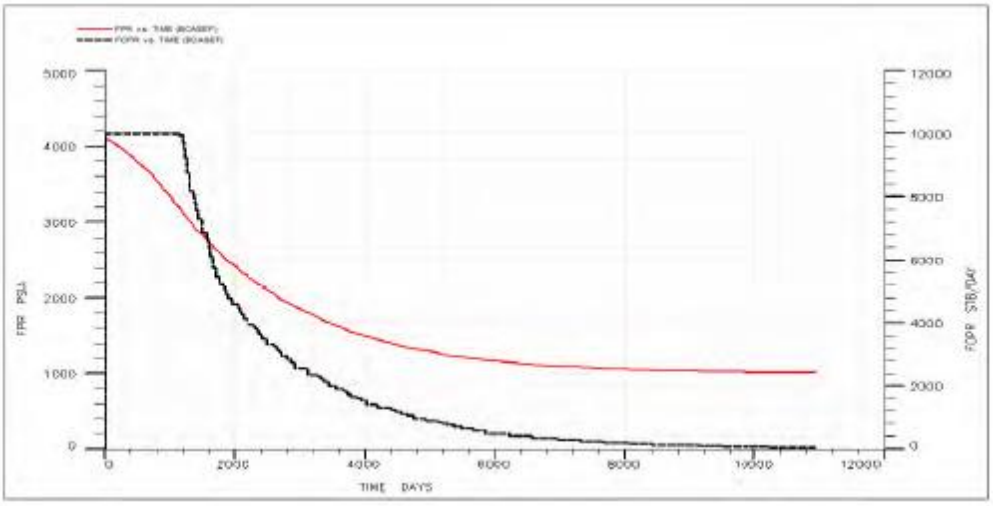
۱. مقدمه

محققان مختلف تعریف‌های متفاوتی از ازدیاد برداشت نفت ارائه داده‌اند، اما به طور کلی هر روشی که به برداشت بیشتر از برداشت اولیه نفت منجر شود، ازدیاد برداشت نفت نامیده می‌شود. عبارت دیگری که اغلب در کنار ازدیاد برداشت نفت استفاده می‌شود ((بهبود برداشت نفت)) است که تعریفی جامع دارد و علاوه بر تمام مراحل قبلی شامل فعالیت های وسیع‌تری مانند توصیف مخزن، مدیریت و صیانت از مخزن و حفاری جایگزینی است. یک تقسیم-بندی کلی در پایه‌ریزی یک بستر مناسب برای ارتباط کارشناسان مفید است امّا مشکلات خاص خود را نیز به همراه دارد؛ مثلا عملیات تولید بسیاری از مخازن به ترتیب زمانی گفته شده انجام نمی‌شوند. یک مثال پرکاربرد تولید نفت سنگین در بیشتر نقاط دنیاست که اگر گرانروی نفت خام زیاد باشد، ممکن است تولید تحت رانش انرژی طبیعی مقرون به صرفه نباشد و بنابراین می‌توان از تولید اولیه صرف نظر کرد. برای این‌گونه مخازن سیلابزنی نیز عملی نخواهد بود و شاید استفاده از انرژی های حرارتی تنها راه تولید اقتصادی نفت باشد. در اینجا یک روش که در شرایط عادی به مرحله ثالثیه تعلق دارد به عنوان روش اول و شاید آخرین روش برداشت استفاده شود. در سایر حالات نیز روش هایی که ثالثیه نامیده می‌شوند ممکن است به جای سیلابزنی به عنوان عملیات ثانویه به کار روند. پارامترهایی نظیر ماهیت روش و در دسترس بودن مواد تزریق شونده و جنبه اقتصادی عملیات در انتخاب روش‌های تولید تعیین کننده اند؛ مثلا اگر استفاده از سیلابزنی قبل از روش ثالثیه، باعث کاهش راندمان کلی شود، از مرحله سیلابزنی صرفه نظر می‌شود. با توجه به مشکلات ذکر شده در دسته بندی زمانی تولید نفت، دسته بندی براساس تعریف روش مفیدتر و در حال حاضر قابل قبول تر است؛ اگرچه نامگذاری روش ها هنوز بر مبنای تقدم زمانی است.

۲. روش انجام تحقیق

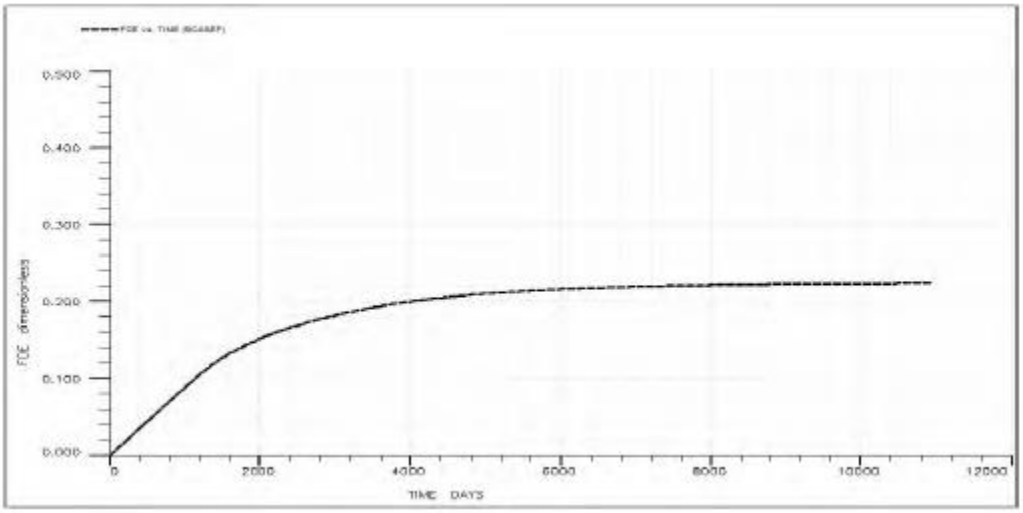
شبیه سازی تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن با استفاده از شبیه ساز ایکلیپس انجام شده است. ایکلیپس یک شبیه ساز سه بعدی، سه فازی با قابلیت مدلسازی سیال به روش نفت سیاه و ترکیبی را دارد. در این شبیه ساز مدل سدیم سولفات موجود است و مکانیزم اصلی آن تغییر ترشوندگی است که اثر آن بر روی نمودارهایی تراوایی نسبی و فشار مویینگی در مدلسازی جریان چند فازی وارد می شود. برای بررسی اثر تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن بر روی بازیافت نفت از یک مخزن کربناته یک سکتور مدل بعنوان پایلوت استفاده نموده ایم. سکتور مدل با طول ۲ کیلومتر و عرض ۲ کیلومتر در نظر گرفته شده است. فشار اولیه مخزن در عمق ۷۵۵۰ فوتی برابر ۳۶۰۰ پام می باشد. سطح تماس سدیم سولفات و نفت در عمق ۷۷۵۰ فوتی قرار دارد. مدل دارای آبده زیرین است. تغییرات مقادیر تخلخل در مدل بین ۷ تا ۳۰٪ متغیر می باشد. میانگین تخلخل گریدبلاک حدود ۱۶٪ می باشد. تغییرات تراوایی افقی بین ۱ تا ۱۰۰ میلی دارسی متفاوت می باشد. تراوایی عمودی سکتور مدل بین ۱ تا ۳۰ میلی دارسی متغیر می باشد. برای اجرای روش ازدیاد برداشت چاه های تولیدی و تزریقی با الگوی چاه های پنج نقطه ای معکوس آرایش یافته اند که در شکل زیر نشان داده شده است. الگوی پنج نقطه ای معکوس به دلیل استفاده کمتر از تعداد چاه های تزریقی از نظر اقتصادی یکی از به صرفه ترین الگوهای ازدیاد برداشت می باشد. سکتور مدل شامل ۳ چاه تولیدی و دو چاه تزریقی با آرایش الگوی پنج نقطه ای معکوس می باشد. دبی چاه های تزریقی بر اساس سناریوی مورد نظر تنظیم شده است و دبی تولیدی چاه های تولیدی با کنترل فشار ته چاهی ۱۰۰۰ پام تنظیم شده است.

برای شبیه سازی سناریوهای ازدیاد برداشت و بررسی تاثیر اثر سدیم سولفات بر بازیافت این مخزن کربناته حالت های مختلفی در نظر گرفته شده است. در حالت تولید طبیعی با انرژی طبیعی مخزن این مخزن کربناته ضریب بازیافت پایین است. نمودار زیر نرخ تولید نفت و فشار متوسط مخزن حین تولید طبیعی را نشان داده شده است:



شکل ۱: نمودار نرخ تولید نفت و افت فشار مخزن

همانطور که مشاهده می شود در ابتدا دبی تولیدی ۱۰ هزار بشکه می باشد که پس از مدتی شروع به کاهش سریع می نماید و فشار مخزن نیز به سرعت افت می نماید. فشار متوسط مخزن در صورت تولید طبیعی و عدم اجرای برنامه های تزریق سیال و حفظ فشار تا ۱۲۰۰ پام کاهش خواهد یافت. در شکل زیر نمودار ضریب بازیافت نفت برای تولید طبیعی نشان داده شده است: ضریب بازیافت نفت در حالت طبیعی برابر ۲۲,۳٪ می باشد. با توجه به اینکه ضریب بازیافت نسبتا پایین می باشد و حجم زیادی از نفت درون مخزن باقی می ماند و نیاز به تزریق سیال برای حفظ فشار و جابجایی نفت به طرف چاه های تولیدی می باشد.

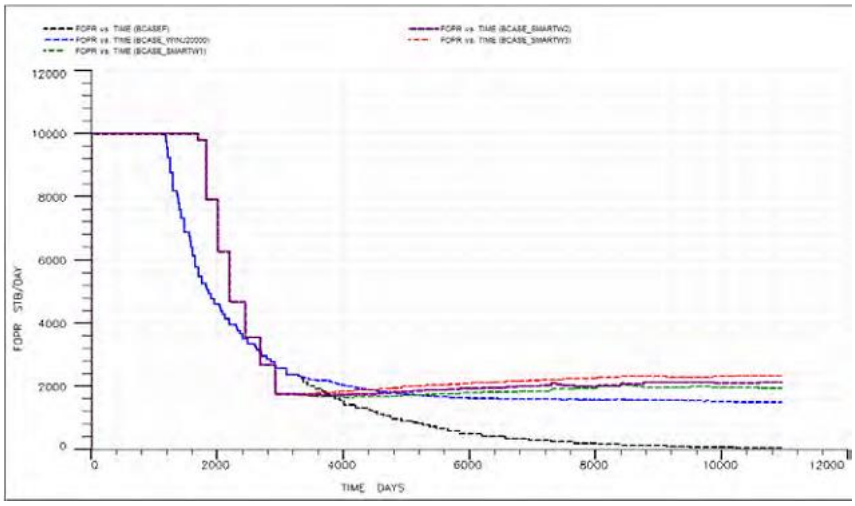


شکل ۲: نمودار ضریب بازیافت نفت در تولید طبیعی

۳. بحث و نتایج

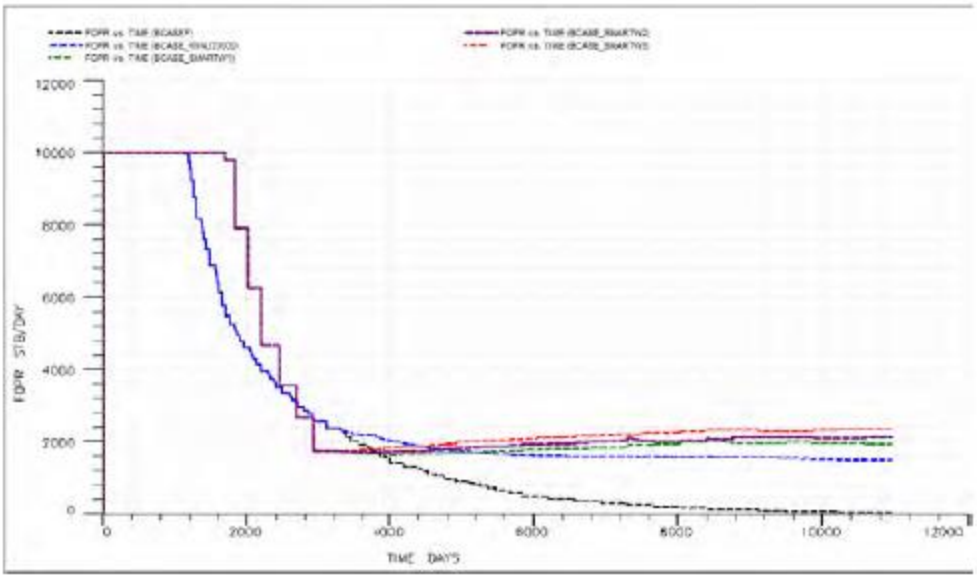
تزریق سدیم سولفات با غلظت های مختلف ۱۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ppm انجام شده است که در شکل زیر نمودار نرخ تولید

نفت برای تزریق سدیم سولفات در مقایسه با تولید طبیعی نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار نرخ تولید نفت برای تزریق سدیم سولفات

در حالت تزریق سدیم سولفات با غلظت کمتر، دبی نفت تولیدی بیشتری داشته ایم که به دلیل تغییر ترشوندگی به سوی حالت آبدوستی بوده است و در نتیجه جابجایی میکروسکوپی نفت افزایش یافته است و نرخ تولید نفت بهبود یافته است. نمودار ضریب بازیافت نفت برای تزریق سدیم سولفات در دبی های مختلف در شکل زیر در مقایسه با حالت تولید طبیعی نشان داده شده است:



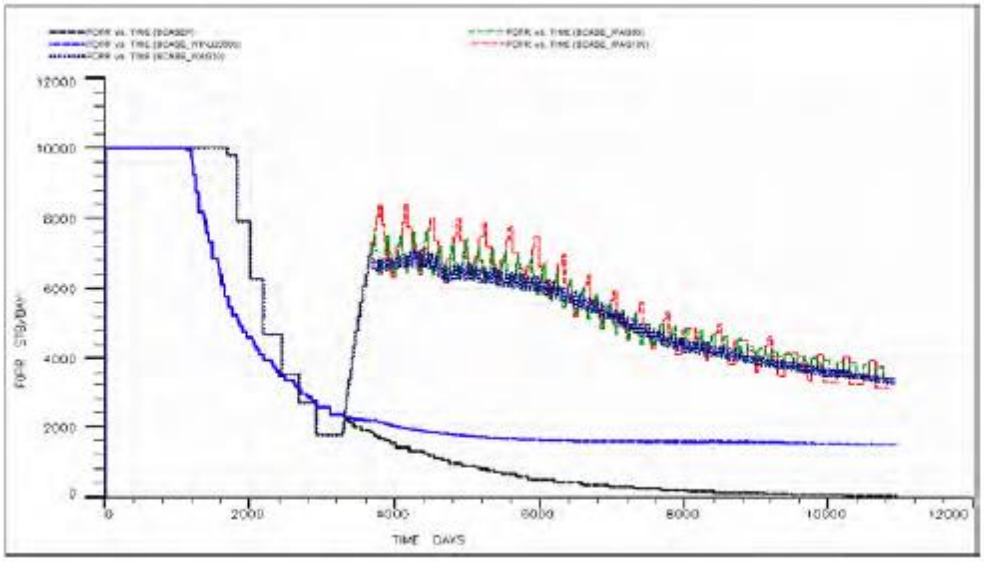
شکل ۴: نمودار ضریب بازیافت نفت برای تزریق سدیم سولفات

ضریب بازیافت نفت برای تزریق سدیم سولفات تا ۲۳٪ افزایش یافته است که نسبت به تزریق سدیم سولفات ۳٪ افزایش و نسبت به حالت تولید طبیعی ۱۲۲۱٪ افزایش ضریب بازیافت داشته ایم. این افزایش ضریب بازیافت به دلیل تغییر ترشوندگی در اثر تغییر شوری سدیم سولفات تزریقی می باشد که با افزایش ترشوندگی سطح سنگ به سوی آبدوستی موجب بهبود بازیافت نفت شده است.

۳ . ۱.تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن

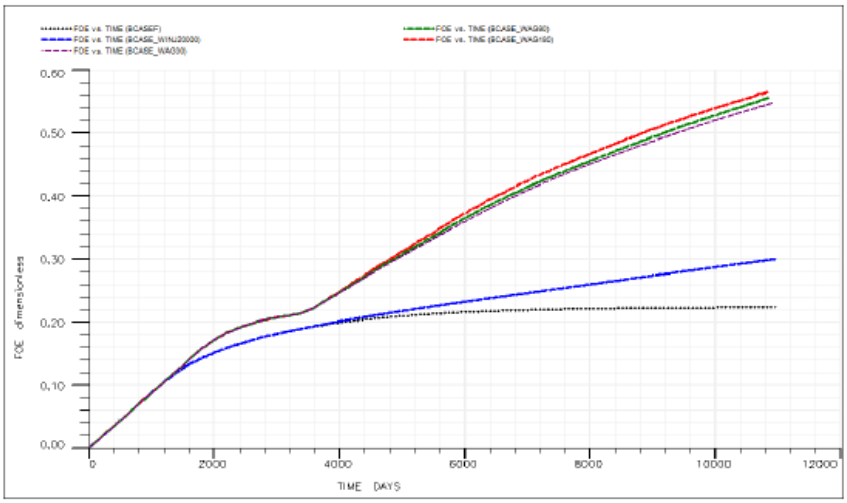
با توجه به اثر سدیم سولفات بر بازیافت نفت، برای بهبود نسبت تحرک و افزایش بازیافت نفت تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز

دی اکسید کربن در حالت های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا تزریق متناوب با سیکل های مساوی و دوره زمانی مختلف انجام شده است و سپس برای بررسی اثر مدت زمان سیکل تزریقی گاز دی اکسید کربن یا سدیم سولفات، دو حالت مختلف تزریق متناوب با سیکل های زمانی مختلف یک ماهه، سه ماهه و شش ماهه در شکل زیر نشان داده شده است. در این حالت نسبت سیکل تزریق برابر در نظر گرفته شده است:



شکل ۵: نمودار نرخ تولید نفت برای تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن

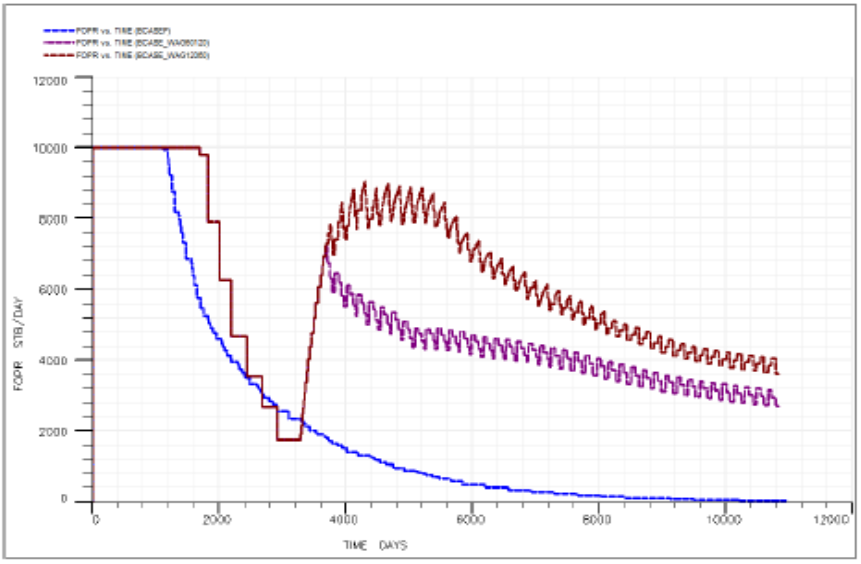
افزایش چشمگیر نرخ تولید نفت در حالت تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن در مقایسه با تزریق فقط سدیم سولفات مشاهده شده است که به دلیل مکانیزم های ترکیبی تغییر ترشوندگی، کاهش ویسکوزیته، متورم شدن نفت و کنترل نسبت پویایی می باشد. در سیکل تزریق ۳ ماهه که ۳ ماه تزریق گاز دی اکسید کربن و سپس ۳ ماه تزریق سدیم سولفات انجام شده است دبی تولید نفت بهتر بوده است. ضریب بازیافت نفت برای تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن در سیکل های مساوی با دوره زمانی مختلف در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۶: نمودار ضریب بازیافت نفت برای تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن

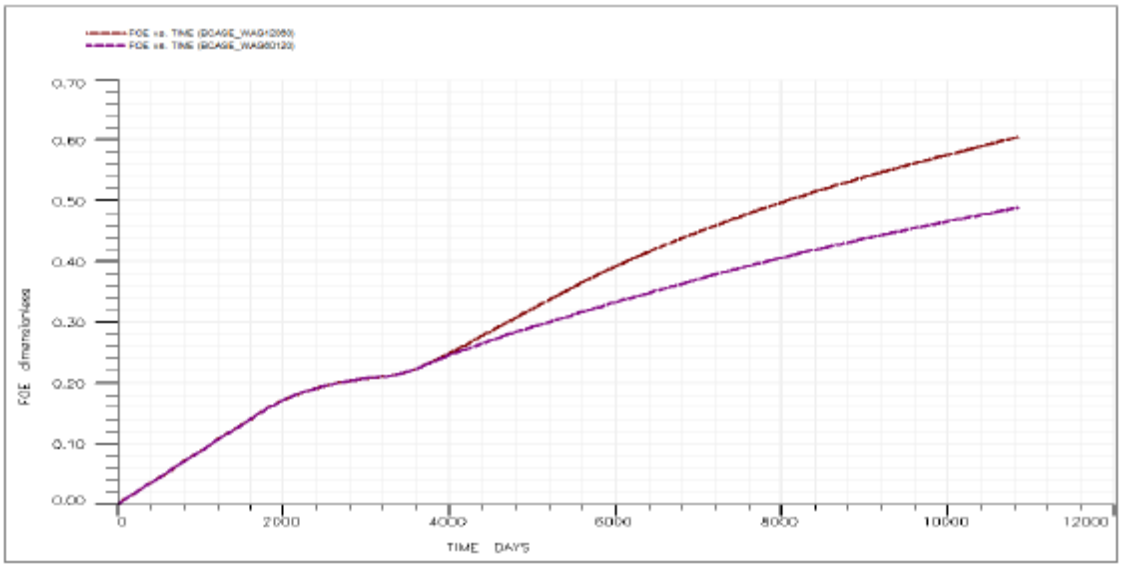
ضریب بازیافت نفت برای برای تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن به ۵۳٪ رسیده است که نسبت به تزریق فقط سدیم سولفات ۸۰٪ افزایش بازیافت نفت داشته است. در سیکل تزریق ۳ ماهه ضریب بازیافت بیشتر است. در این روش سدیم سولفات با تغییر ترشوندگی و گاز دی اکسید کربن تزریقی با کاهش ویسکوزیته و متورم شدن نفت موجب بهبود بازیافت نفت شده است. برای بررسی اثر سیکل تزریق گاز دی اکسید کربن و سدیم سولفات شبیه سازی در دو حالت انجام شد. در حالت اول (نمودار بنفش) سیکل دو ماهه سدیم سولفات تزریق شده و سیکل ۴ ماهه گاز دی اکسید کربن تزریق شده است و در حالت دوم (نمودار قرمز) سیکل

اول ۴ ماه سدیم سولفات و سیکل دوم ۸ ماه تزریق گاز دی اکسید کربن انجام گردید. نرخ تولید نفت برای هر دو حالت با سیکل های مختلف تزریقی در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۷: نمودار نرخ تولید نفت برای سیکل های تزریق متفاوت

در حالتی که سیکل تزریق سدیم سولفات بیشتر است، دبی نفت تولیدی بیشتر است که به دلیل تغییر ترشوندگی و کنترل نسبت تحرک سیال تزریقی می باشد. در این فرآیند مکانیزم های ترکیبی و کنترل نسبت پویایی مناسب موجب افزایش بازیافت نفت شده است. در شکل زیر ضریب بازیافت برای تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن در دو حالت مختلف مشاهده می شود.



شکل ۸: نمودار ضریب بازیافت نفت برای تزریق متناوب با سیکل های مختلف

ضریب بازیافت در حالتی که سیکل تزریق سدیم سولفات دو برابر تزریق گاز دی اکسید کربن است به ۳۰٪ رسیده است و نسبت به حالت تخلیه طبیعی ۲۱۲۱٪ و نسبت به تزریق سدیم سولفات ۲۰٪ افزایش بازیافت نفت داشته ایم. اثر مکانیزم‌های تغییر ترشوندگی، متورم شدن نفت و کاهش ویسکوزیته همراه با کنترل نسبت تحرک در تزریق متناوب باعث شده است نسبت به دیگر حالت بیشترین ضریب بازیافت را داشته باشد. در اطراف چاه های تزریقی کمترین اشباع نفت را داریم که به دلیل جابجایی به سوی چاه های تولیدی می باشد و همچنین در اطراف چاه های تولیدی به دلیل بازیافت مناسب نفت کمترین اشباع نفت باقیمانده را داریم. در صورت ادامه این روش می توان اشباع نفت باقی مانده را به مقدار بیشتری کاهش داد.

۴. نتیجه گیری

در حالت تولید طبیعی در این مخزن کربناته در مقیاس سکتورمدل ضریب بازیافت ۸۸۲۲٪ است که نسبتا پایین است و نرخ تولید نفت و فشار متوسط مخزن با سرعت کاهش می یابد. تزریق سدیم سولفات با دبی های مختلف ضریب بازیافت به ۲۰٪ رسیده است. تزریق با بهبود فشار مخزن و جابجایی نفت به سوی چاه تولیدی موجب بهبود بازیافت شده است ولی بخش زیادی از اشباع نفت باقیمانده در مخزن وجود دارد. برای حالت تزریق سدیم سولفات با غلظت های مختلف ضریب بازیافت حداکثر به ۲۳٪ رسیده است که نسبت به تزریق سدیم سولفات معمولی ۳٪ و نسبت به تولید با انرژی طبیعی مخزن ۱۲۲۱٪ افزایش بازیافت نفت داشته ایم . در این روش مکانیزم تغییر ترشوندگی به سوی آبدوست موجب بهبود بازیافت نفت شده است.

تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن در سیکل های زمانی یک ماهه، دو ماهه، سه ماهه و شش ماهه نشان می دهد که افزایش دوره زمانی به سیکل شش ماهه باعث بهبود بازیافت نفت شده است. در تزریق متناوب سدیم سولفات و گاز دی اکسید کربن ضریب بازیافت به ۵۳٪ رسیده است که نسبت به تزریق سدیم سولفات ۸۰٪ افزایش داشته است. در حالتی که سیکل تزریق سدیم سولفات دو برابر سیکل تزریق گاز دی اکسید کربن است ضریب بازیافت نفت به ۳۰٪ رسیده است که نشان می دهد تاثیر تزریق سدیم سولفات در تزریق متناوب بیشتر است و مکانیزم های ترکیبی موجب افزایش بازیافت نفت شده است. مکانیزم های ترکیبی تغییر ترشوندگی توسط سدیم سولفات و همچنین متورم شدن نفت و کاهش ویسکوزیته توسط گاز دی اکسید کربن موجب بهبود بازیافت نفت در مقیاس میکروسکوپی شده است. تزریق متناوب با کنترل نسبت تحرک موجب بهبود جابجایی ماکروسکوپی شده و در نتیجه ضریب بازیافت نفت افزایش داشته است.

منابع

1. Ahmed, T., *Reservoir engineering handbook*. 2006: Elsevier.
2. Thomas, S., *Enhanced oil recovery-an overview*. Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'IFP, 2008. 63(1): p. 9-192.
3. Owens, W. and V. Suter, *Steam stimulation–newest form of secondary petroleum recovery*. Oil and Gas J, 1965. 90: p. 82-872.
4. Shah, A., et al., *A review of novel techniques for heavy oil and bitumen extraction and upgrading*. Energy & Environmental Science, 2010. 3(6): p. 700-7142.
5. Butler, R., *A new approach to the modelling of steam-assisted gravity drainage*. Journal of Canadian Petroleum Technology, 1985. 24(03): p. 42-512.
6. Moghadam, S., M. Nobakht, and Y. Gu, *Theoretical and physical modeling of a solvent vapour extraction (VAPEX) process for heavy oil recovery*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009. 65(1-2): p. 93-1042.
7. Greaves, M., et al. *THAI-CAPRI process: tracing downhole upgrading of heavy oil* in *Canadian International Petroleum Conference*. 2004. Petroleum Society of Canada.
8. Selby, R., A. Alikhan, and S. Ali, *Potential of non-thermal methods for heavy oil recovery*. Journal of Canadian Petroleum Technology, 1989. 28(04).
9. Mai, A. and A. Kantzas, *Heavy oil waterflooding: effects of flow rate and oil viscosity*. Journal of Canadian Petroleum Technology, 2009. 48(03): p. 42-512.