

بررسی آزمایشگاهی اثر پلیمر در حضور سورفکتانت بر بازده جاروب نفت از مسیرهای بسته

پژوهش نفت

سال بیست و سوم

شماره ۷۴

صفحه، ۸۷-۹۸ ۱۳۹۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۶/۲۹

هادی جباری*^۱ و احمد رضانی سعادت آبادی^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مهندسی نفت

Hadi_oilengineering@yahoo.com

چکیده

جهت بررسی عملکرد پلیمر و سورفکتانت بر خروج نفت باقی مانده در مسیرهای بسته (بن بست‌ها)، نمونه میکرو مدل شیشه‌ای با حفره‌هایی به ابعاد مختلف ساخته شد. یک میکرو مدل شامل تعدادی مسیر بسته با نسبت‌های طول به عرض مختلف، طراحی و ساخته شد و سیلاب‌زنی پلیمرهای مختلف و ترکیبی از سیلاب‌زنی پلیمر سورفکتانت در سرعت تزریق ثابت انجام گردید. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت پلیمر در سیلاب‌زنی سیال، بازده جارویی از بن بست به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، که می‌تواند به افزایش تنش برشی و همچنین افزایش فشار حفره نسبت داده شود. نتایج ارائه شده مؤید این مطلب است که افزایش درصد هیدرولیز و سولفونه شدن در زنجیره‌های پلی اکریل آمید منجر به جاروب بیشتر نفت از مسیرهای بسته می‌شود. طبق نتایج به دست آمده اضافه شدن سورفکتانت به محلول پلیمری، میزان جاروب نفت از مسیرهای بسته را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد، که بیشتر برای پلیمرهای سولفونه شده پلی اکریل آمید قابل توجه است.

واژه‌های کلیدی: سیلاب‌زنی پلیمر - سورفکتانت، سولفوناسیون، هیدرولیز، میکرومدل شیشه‌ای

مقدمه

در اوایل سده ۱۹۰۰، پژوهشگران متوجه شدند که روش‌های ازدیاد برداشت (اولیه و ثانویه) کافی نیست و از آن پس تحقیقات زیادی در راستای بهبود بازده جاروب‌زنی و جابه‌جایی در استخراج نفت انجام گرفت [۱].

دتلینگ در سال ۱۹۴۴ با اضافه کردن پلیمرهای محلول در آب، فرآیند سیلاب‌زنی با پلیمر را اختراع کرد [۲]. در زمینه سیلاب‌زنی با پلیمر پس از دتلینگ و طی دو دهه ۲۵ اختراع ثبت شد. در سال ۱۹۶۴ پی [۳] و سندیفورد [۴] متوجه شدند که می‌توان تحرک‌پذیری آب استفاده شده در سیلاب‌زنی آبی را با اضافه کردن پلیمر کاهش داد. در میدان گولفکس نروژ، مالدار و همکاران فرآیند سیلاب‌زنی با مواد فعال سطحی و پلیمر را در سال ۱۹۹۸

به نظر می‌رسد که ترکیبی از این فرآیندها می‌تواند اثر هم‌افزایی داشته و بازدهی را افزایش دهد. کاربرد هم‌زمان سیلاب‌زنی پلیمر و سورفکتانت می‌تواند بازده جاروب‌زنی میکروسکوپی و ماکروسکوپی را بهبود بخشد. یکی از مهم‌ترین روش‌های سیلاب‌زنی شیمیایی، استفاده از سیلاب‌زنی پلیمر-سورفکتانت است که باعث افزایش راندمان حجمی و راندمان جابه‌جایی می‌شود. با توجه به اینکه حجم زیادی از سنگ‌های مخزن شامل حفره‌ها و مسیرهای بسته هستند که نفت باقی‌مانده در آنها طی فرآیند سیلاب‌زنی آبی بی‌حرکت باقی می‌ماند، استفاده از روش‌هایی که منجر به حداکثر نمودن خروج نفت از این حفره‌ها می‌شود، اهمیت زیادی دارد.

یکی از مهم‌ترین عوامل در بالا بردن بازده ماکروسکوپی، توزیع یکنواخت سیال تزریقی در سراسر مخزن می‌باشد. در فرآیند سیلاب‌زنی آبی یکی از مشکلات رایج، پدیده انگشتی شدن است. بر اثر این پدیده، آب از مسیری که افت فشار کمتری به آن وارد می‌شود، عبور کرده و با ورود به چاه تولید، وارد جریان تولیدی شده و باعث بالا رفتن حجم آب تولیدی می‌گردد. بیشتر شدن میزان آب در چاه تولید، باعث بالا رفتن هزینه‌های جداسازی و دفع آب در تأسیسات سرچاهی و بالارفتن میزان آب تزریقی و در نتیجه افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. با تزریق سیال پلیمری به مخزن که ویسکوزیته بالاتری نسبت به آب دارد، سیال جابه‌جا کننده، مسیرهای موازی را می‌پیماید و از پدیده انگشتی شدن جلوگیری می‌نماید. در نتیجه بازده ماکروسکوپی فرآیند ازدیاد برداشت افزایش می‌یابد [۱۱].

به منظور بررسی و اندازه‌گیری آزمایشگاهی، میزان نفت خارج شده از درون مسیرهای بسته، یک میکرومدل ساخته شد و پس از پر نمودن مسیرها از نفت، سیال تزریقی شامل انواع پلیمر و سورفکتانت با غلظت‌های مختلف، به آن تزریق و از نحوه حرکت جریان عکس‌برداری شد. سپس این تصاویر به منظور تعیین میزان نفت جاروب شده از درون حفره، مورد تحلیل قرار گرفت تا اثر پلیمر،

انجام دادند [۵]. داخلیا در سال ۱۹۹۵ سیلاب‌زنی پلیمری و سیلاب‌زنی با مواد فعال سطحی را با استفاده از چاه‌های افقی شبیه‌سازی نمود. او نشان داد که چاه‌های افقی قابلیت تزریق و تولید بیشتری نسبت به چاه‌های عمودی برای عملیات سیلاب‌زنی پلیمری دارند و باعث افزایش بازدهی جاروب‌زنی می‌شوند [۶]. وایت و همکارانش در سال ۲۰۰۲، ازدیاد برداشت با ASP^۱ را در مخازن ایلینویز که برای مدتی آب داشته بررسی کردند که نتیجه آن به افزایش میزان بازیافت نفت در اثر کم شدن نیروهای موینگی منجر شد [۷]. رمضانی و همکاران در سال ۲۰۰۹ بر روی اثر سیلاب‌زنی با پلیمر بر ازدیاد برداشت نفت مطالعه کردند [۸]. کامیابی و رمضانی در سال ۲۰۱۱ سیالات نیوتونی [۹] و سیالات ویسکوالاستیک [۱۰] را به منظور ازدیاد برداشت نفت از مسیرهای بسته مورد بررسی قرار دادند.

بیشتر نفت باقی‌مانده به سختی در فرآیند سیلاب‌زنی با آب جابه‌جا و بازیابی می‌شود. سیلاب‌زنی پلیمری به گونه‌ای طراحی شده تا با اصلاح نسبت تحرک‌پذیری، بازده جاروبی را بهبود بخشد. از طرفی سورفکتانت‌ها مولکول‌های آمفی‌پاتیک یا دوگانه دوستی هستند که با قرار گرفتن در سطح بین دو فاز (با قطبیت مختلف) منجر به کاهش کشش سطحی و بین سطحی و تشکیل میکرو امولسیون‌های ناشی از انحلال جزئی هیدروکربن در آب و یا آب در هیدروکربن می‌گردند. سورفکتانت‌ها بر روی سطح جذب شده و یا در سطح آزاد سیال یا سطح تماس بین دو سیال تجمع می‌کنند. نفت باقی‌مانده در مخزن به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شود که یکی از مهم‌ترین آنها نفت باقی‌مانده در بن‌بست می‌باشد. بنابراین، اطلاعات حاصل از بررسی اثر سیالات ویسکوالاستیک در استخراج این نوع نفت می‌تواند به افزایش استخراج نفت کمک کند [۸]. بهینه‌سازی روش‌هایی چون تزریق سورفکتانت-پلیمر می‌تواند در استخراج نفت از فضاهاى مرده مؤثر باشد که این مهم در این مقاله مورد نظر قرار گرفته است. تکنولوژی‌های سیلاب‌زنی پلیمری-سورفکتانتی درصدد افزایش راندمان حجمی و راندمان جابه‌جایی هستند. سیلاب‌زنی پلیمر و سورفکتانت دو فرآیند سیلاب‌زنی شیمیایی مهم و با تأثیرگذاری بالا هستند. اگر چه،

1. Alkaline Surfactant Polymer (ASP)

مدل شیشه‌ای، ابتدا نقشه مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار کورل در ۱۲ رسم شد و سپس با استفاده از اشعه لیزر، تصویر مورد نظر بر روی شیشه حکاکی گردید. پس از حکاکی و تمیز نمودن مسیرهای عبور جریان بر روی شیشه، با شیشه دیگری در کوره گذاشته و به هم چسبانده شد. فاصله بین حفرات ۳ تا ۴ mm انتخاب شد تا جریان پس از عبور از حفره و قبل از رسیدن به حفره بعدی کاملاً توسعه یافته گردد.

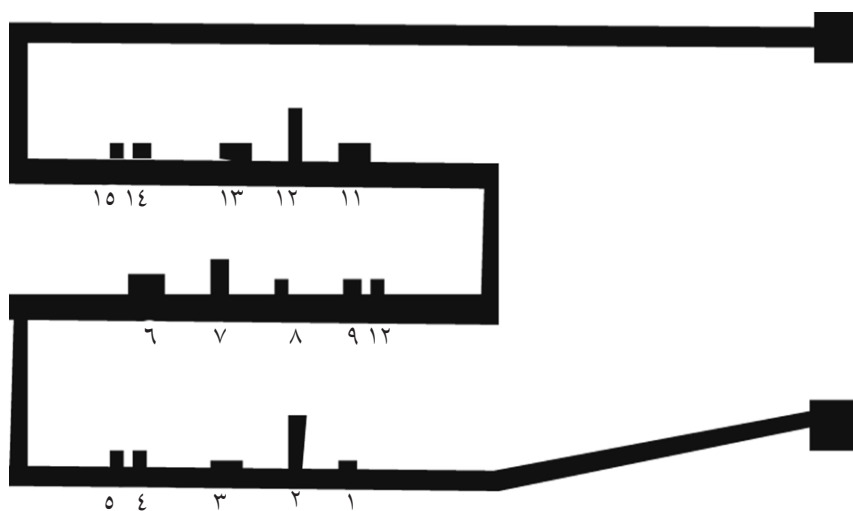
برای تزریق سیال از پمپ Quizix که پمپ‌های بسیار دقیقی هستند، استفاده می‌شود. دقت این پمپ‌ها ۰/۰۰۰۱ cc/min است و به وسیله کامپیوتر کنترل می‌شود. پمپ دارای دو سیلندر است که این دو سیلندر به صورت موازی با یکدیگر قرار داشته و امکان تزریق پیوسته را فراهم می‌نماید.

به منظور نگهداری سیال تزریقی از ظرف انتقال استفاده می‌شود که در برابر فشار بالا، توانایی مقاومت دارد. سیال مورد نظر در ظرف منتقل کننده ریخته می‌شود. (پیستون توسط سیال منتقل شده توسط پمپ به جلو رانده و باعث می‌شود که سیال جا به جا کننده از سیلندر به بیرون رانده شده و وارد مدل گردد). شکل ۲ شماتیکی از دستگاه‌های مورد استفاده در فشار ثابت را نشان می‌دهد.

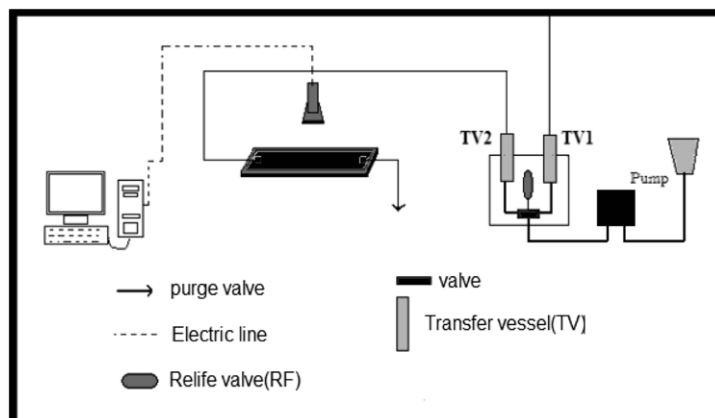
سورفکتانت و همچنین ترکیب پلیمر+سورفکتانت در غلظت‌های مختلف و در حالت‌های هیدرولیز شده و هیدرولیز نشده، سولفون‌شده و سولفون‌نشده مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان تعیین نمود که تغییر هر یک از این عوامل چه تأثیری بر ازدیاد برداشت نفت دارد. نوآوری این مقاله به دلیل حضور سورفکتانت در کنار پلیمر می‌باشد که در مقالات مشابه که روی مسیرهای بسته کار کرده‌اند، سیلاب‌زنی فقط با پلیمر صورت گرفته و اثر غلظت‌های مختلف سورفکتانت بر پلیمر مورد بررسی قرار نگرفته است.

شرح دستگاه

مدل ساخته شده در شکل ۱ نشان داده شده است. اندازه ابعاد حفره متفاوت می‌باشد. در این مقاله حفره ۴ با ابعاد ۱×۱ mm مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به پیچیدگی شکل مسیرهای بسته در مقیاس واقعی، به منظور ساده‌سازی اجرای آزمایش، مسیر بسته به شکل ایده‌آل و ساده مطابق شکل ۱ ساخته شد. به منظور ناچیز نمودن اثرات نیروهای موینگی بر الگوی جریان و بررسی دقیق‌تر حرکت سیال، اندازه کانال در مقیاس میلی‌متر در نظر گرفته شده است. عمق کانال ۱۶۶ میکرون ساخته شده است. جهت ساختن



شکل ۱- نمایی از مدل ساخته شده اشباع از نفت و شماره‌گذاری حفره‌ها



شکل ۲- نمایی از دستگاه‌های میکرومدل در فشار اتمسفر

مواد و سیالات به کار رفته شده

مشخصاتی از محلول‌های مختلف پلیمری و محلول‌هایی از پلیمر- سورفکتانت که برای آزمایش‌های سیلاب‌زنی استفاده شدند، در جدول ۱ ارائه شده است و ویژگی‌های نفت خام نیز در جدول ۲ آورده شده است.

تشخیص نفت دوست یا آب دوست بودن مدل

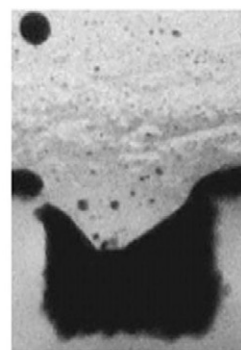
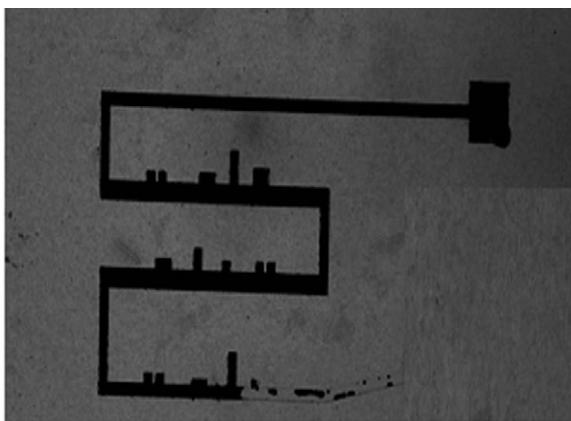
با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ مشخص است که سطح نفت در درون حفره مقعر می‌باشد، از طرفی لایه‌ای از نفت بر جداره میکرومدل چسبیده است. هم‌چنین می‌توان مشاهده کرد که نفت گوشه‌های مدل را نیز اشغال کرده است. بنابراین مدل، نفت دوست می‌باشد.

جدول ۱- نوع و مشخصات سیالات تزریق شده در آزمایش سیلاب‌زنی

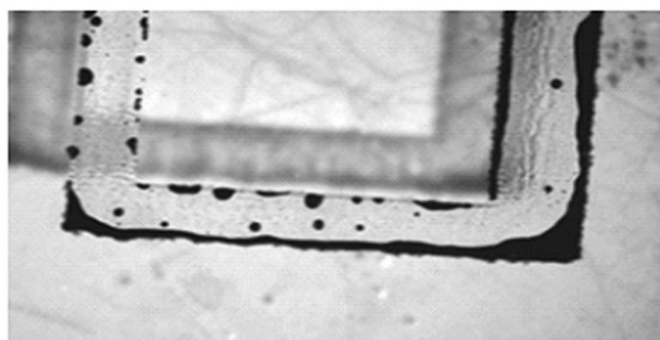
میزان هیدرولیز پلیمر (%)	میزان سولفوناسیون پلیمر (%)	جرم مولکولی پلیمر (میلیون دالتون)	غلظت‌ها (ppm)	نام اختصاری و مشخصه پلیمر و سورفکتانت
۰	۰	۸	۱۴۰۰،۷۰۰،۳۵۰	PA
۲۵	۰	۸	۱۴۰۰،۷۰۰،۳۵۰	HPAM
۰	۵	۶	۱۴۰۰،۷۰۰،۳۵۰	AN105
۰	۲۵	۸	۱۴۰۰،۷۰۰،۳۵۰	AN125
-	-	-	۲۰۰۰،۱۰۰۰،۵۰۰	SDS
۰	۰	۸	۱۴۰۰+۷۰۰،۵۰۰+۳۵۰،۵۰۰+۵۰۰ ۱۴۰۰+۷۵۰،۱۰۰۰+۳۵۰،۱۰۰۰+۱۰۰۰	PA+SDS
۲۵	۰	۸	۱۴۰۰+۷۰۰،۵۰۰+۳۵۰،۵۰۰+۵۰۰ ۱۴۰۰+۷۵۰،۱۰۰۰+۳۵۰،۱۰۰۰+۱۰۰۰	HPAM+SDS
۰	۵	۶	۱۴۰۰+۷۰۰،۵۰۰+۳۵۰،۵۰۰+۵۰۰ ۱۴۰۰+۷۵۰،۱۰۰۰+۳۵۰،۱۰۰۰+۱۰۰۰	AN105+SDS
۰	۲۵	۸	۱۴۰۰+۷۰۰،۵۰۰+۳۵۰،۵۰۰+۵۰۰ ۱۴۰۰+۷۵۰،۱۰۰۰+۳۵۰،۱۰۰۰+۱۰۰۰	AN125+SDS
-	-	-	-	H ₂ O

جدول ۲- مشخصات نفت مورد استفاده

چگالی	API	نوع سیال
۰/۸۶۹۶	۳۱/۲	نفت



شکل ۳- وضعیت نفت در درون حفره‌ها



شکل ۴- وضعیت نفت در جداره‌ها و گوشه‌های میکرو مدل

مشاهدات و تجزیه تحلیل نتایج

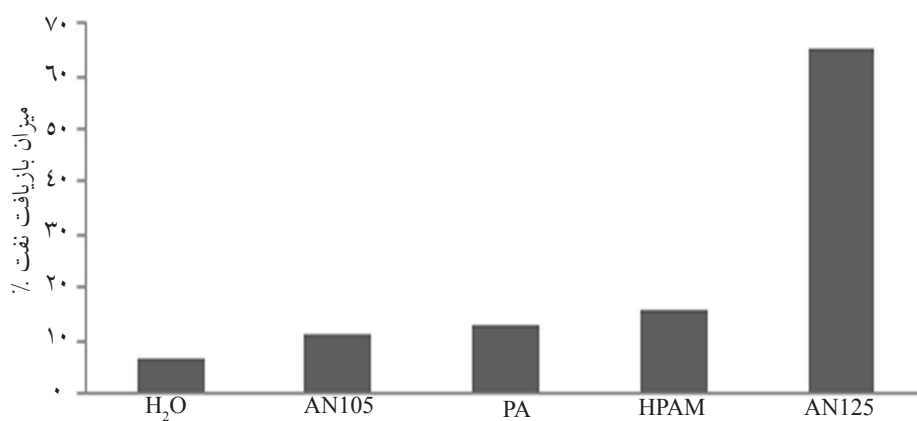
آب و محلول‌های پلیمر و پلیمر-سورفکتانت که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده، با نرخ ثابت تزریق 0.001 cc/min در میکرو مدلی که قبلاً از نفت اشباع شده است، تزریق می‌گردد.

برای اینکه میکرو مدل به طور کامل از نفت اشباع شود، از خلأ مناسب استفاده شده است. آزمایشات با بررسی اثر آب خالص و محلول‌های پلیمری بر راندمان بازیافت شروع و با محلول‌های سورفکتانت و محلول‌های حاوی پلیمر و سورفکتانت ادامه یافته است.

با استفاده از این آزمایشات می‌توان به بررسی و مقایسه اثر انواع پلیمر و ترکیب پلیمر- سورفکتانت در غلظت‌های ثابت و متغیر بر میزان بازده جاروب نفت از مسیرهای بسته

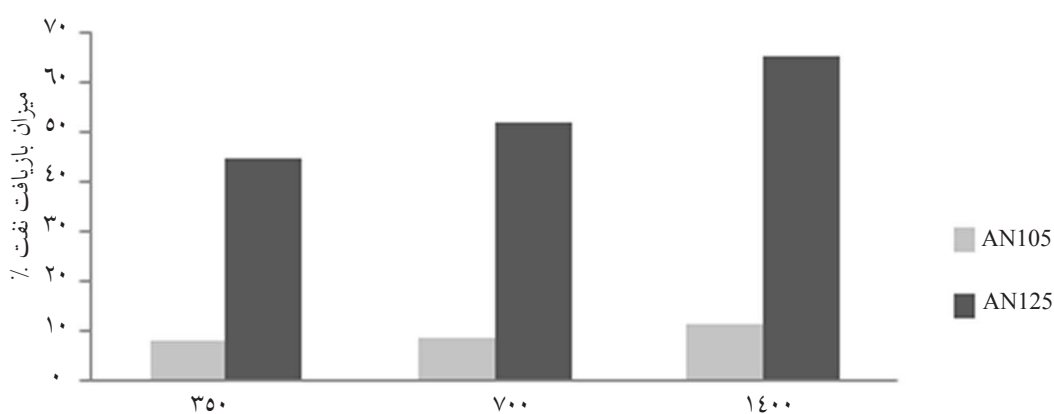
پرداخت. برخی از نتایج به دست آمده در شکل‌های ۵ تا ۱۱ ارائه و مقایسه شده‌اند که نتایج حاصل از این شکل‌ها به طور کامل و خلاصه در جدول ۳ آورده شده‌اند.

مقایسه آب تازه و برخی از سیلاب‌زنی‌های پلیمرهای مختلف بر روی بازیابی نفت از حفره شماره ۴ در شکل ۵ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که تمام نمونه‌های پلیمری نسبت به آب خالص، راندمان بیشتری را در بازیابی نفت از مسیرهای بسته ارائه می‌دهد. با این حال، بیشترین بازده جاروب برای نمونه AN125 (۲۵٪ سولفونیزه) برابر $65/3\%$ و کمترین بازده در میان پلیمرها، مربوط به نمونه AN105 با مقدار $11/1\%$ می‌باشد وزن مولکولی AN105 کمی کمتر از AN125 است. این مقایسه نشان می‌دهد که سولفونیزه شدن پلیمر اثرات قابل توجهی روی توانایی آن برای افزایش راندمان جاروب نفت از مسیرهای بسته دارد.



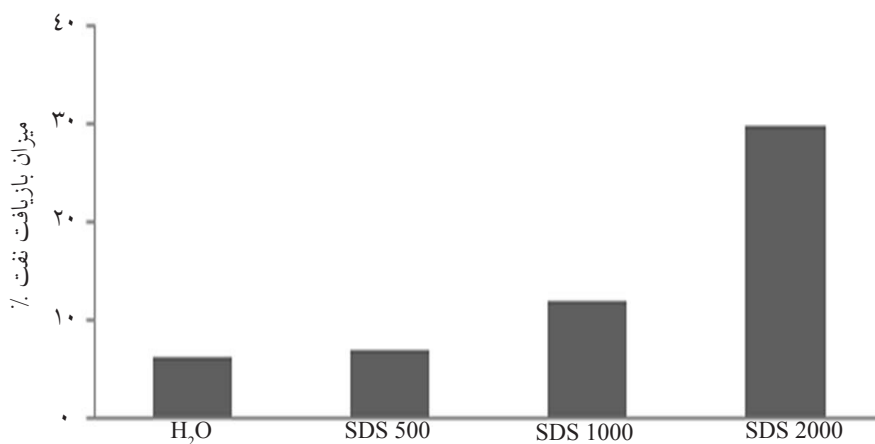
انواع پلیمر در غلظت ۱۴۰۰ ppm و آب

شکل ۵- میزان بازیافت نفت برای انواع پلیمر با غلظت ۱۴۰۰ ppm و آب در حفره شماره ۴



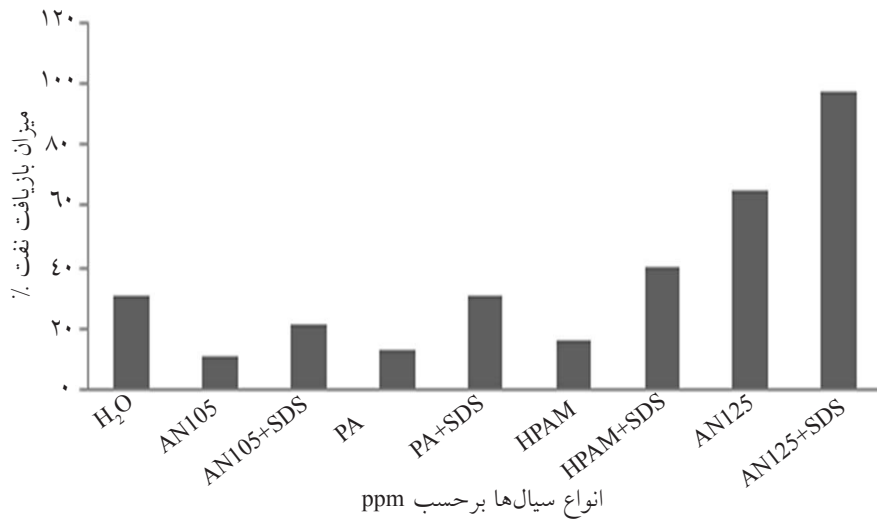
غلظت‌های مختلف برحسب ppm

شکل ۶- میزان بازیافت نفت برای پلیمرهای AN125 و AN105 در غلظت‌های مختلف برای مسیر بسته شماره ۴

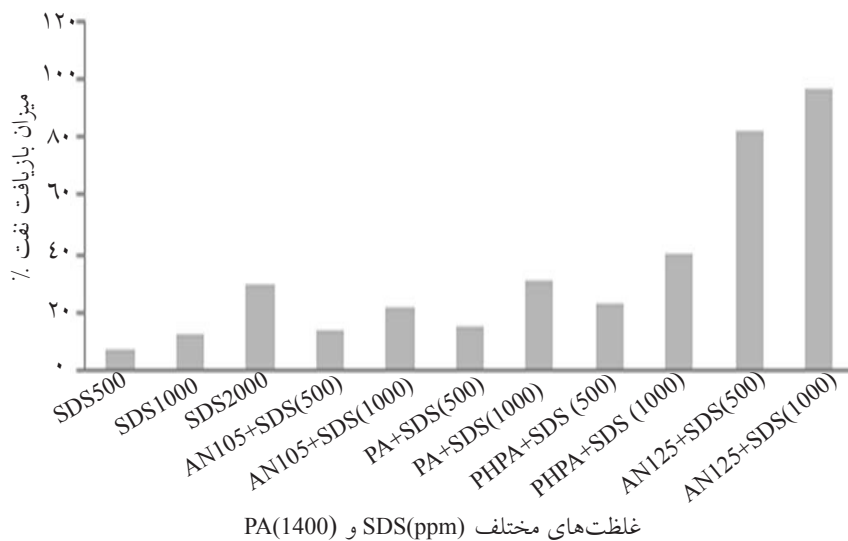


غلظت‌های مختلف SDS (ppm) و آب

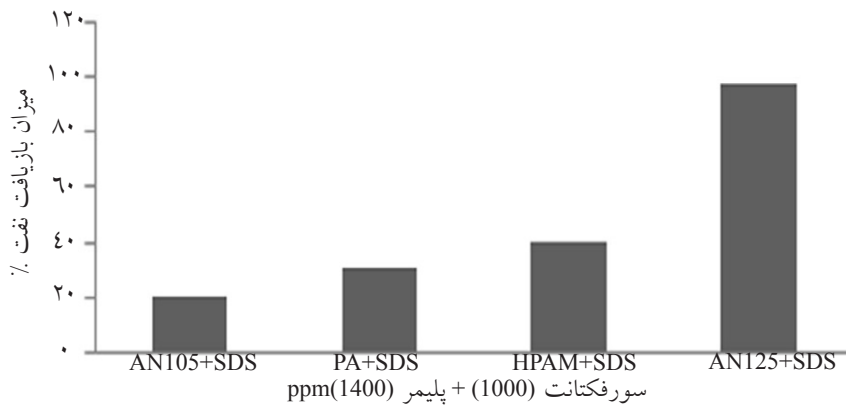
شکل ۷- مقایسه اثر غلظت‌های مختلف SDS با یکدیگر و با آب



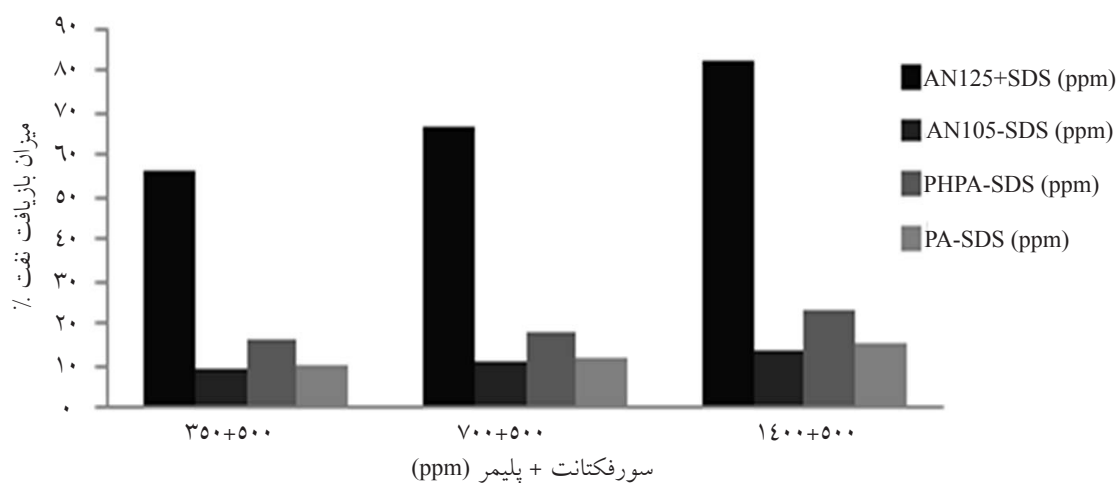
شکل ۸- مقایسه انواع پلیمرها با غلظت ۱۴۰۰ ppm با یکدیگر و با ترکیب پلیمر+سورفکتانت جهت مشاهده اثر سورفکتانت (ppm) ۱۰۰۰ بر بازیافت نفت در حفره ۴



شکل ۹- مقایسه انواع غلظت‌های SDS با یکدیگر و با پلیمر (۱۴۰۰ ppm) + سورفکتانت در حفره شماره ۴



شکل ۱۰- اثر انواع پلیمر بر میزان بازیافت نفت (%) در حفره شماره ۴



شکل ۱۱- اثر نوع و غلظت پلیمر بر بازیافت نفت به وسیله ترکیبی از پلیمر-سورفکتانت در حفره شماره ۴

جدول ۳- انواع بازیافت نفت با غلظت‌های مختلف پلیمر، سورفکتانت، و پلیمر- سورفکتانت در حفره شماره ۴

نام سیال تزریقی	غلظت (ppm)	(%) بازیافت نفت	نام سیال تزریقی	غلظت (سورفکتانت+پلیمر) (ppm)	(%) بازیافت نفت
PA	۳۵۰	۹/۰۳	HPAM+SDS	۳۵۰+۵۰۰	۱۵/۹۴
	۷۰۰	۱۰/۱۹		۳۵۰+۱۰۰۰	۱۷/۰۶
۱۴۰۰	۱۲/۹	۷۰۰+۵۰۰		۱۸/۲۴	
HPAM	۳۵۰	۱۰/۸۱		۷۰۰+۱۰۰۰	۳۱/۴۴
	۷۰۰	۵۶/۱۲		۱۴۰۰+۵۰۰	۲۳/۱
	۱۴۰۰	۱۵/۹		۱۴۰۰+۱۰۰۰	۳۹/۸
AN105	۳۵۰	۷/۸۸	AN105+SDS	۳۵۰+۵۰۰	۹/۵۲
	۷۰۰	۸/۷۵		۳۵۰+۱۰۰۰	۱۴/۲۸
	۱۴۰۰	۱۱/۱		۷۰۰+۵۰۰	۱۱/۰۶
AN125	۳۵۰	۴۵/۰۵		۷۰۰+۱۰۰۰	۱۶/۵۴
	۷۰۰	۵۲/۲۴		۱۴۰۰+۵۰۰	۱۴
	۱۴۰۰	۶۵/۳		۱۴۰۰+۱۰۰۰	۲۱
SDS	۳۵۰	۷	AN125+SDS	۳۵۰+۵۰۰	۵۶/۲۳
	۷۰۰	۱۲		۳۵۰+۱۰۰۰	۶۷/۵۵
	۱۴۰۰	۳۰		۷۰۰+۵۰۰	۶۶/۹
PA+SDS	۳۵۰+۵۰۰	۱۰/۳۳		۷۰۰+۱۰۰۰	۷۷/۰۲
	۳۵۰+۱۰۰۰	۲۷/۱۷		۱۴۰۰+۵۰۰	۸۲/۷
	۷۰۰+۵۰۰	۱۱/۸۶		۱۴۰۰+۱۰۰۰	۹۷/۵
	۷۰۰+۱۰۰۰	۲۴/۳۳			
	۱۴۰۰+۵۰۰	۱۵			
	۱۴۰۰+۱۰۰۰	۳۰/۸			

کردن ۱۰۰۰ ppm از SDS به محلول پلیمری، میزان بازیافت نفت در بن‌بست را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. بنابراین اضافه شدن سورفکتانت به محلول پلیمری، می‌تواند اثرات هم‌افزایی روی فرآیند بازیافت نفت به‌خصوص برای نمونه‌های پلیمر با درصد سولفوناسیون بالا داشته باشد.

شکل ۹ فاکتور بازیافت برای محلول‌های سورفکتانت با غلظت‌های مختلف و محلول‌های ترکیبی پلیمر-سورفکتانت شامل غلظت ثابتی از پلیمر ۱۴۰۰ ppm و غلظت‌های متغیر سورفکتانت را بررسی کرده است. نتایج ارائه شده در این شکل نیز تاکید می‌کند که ترکیبی از پلیمر-سورفکتانت تاثیرات هم‌افزایی بیشتری در فاکتور بازیافت دارد که این تاثیر برای نمونه‌های با سولفوناسیون بالا (AN125) مشهودتر است. این شکل نشان می‌دهد که اضافه کردن ۱۰۰۰ ppm از سورفکتانت به آب، فاکتور بازیافت را فقط به اندازه‌ی ۱۰٪ افزایش می‌دهد. اضافه کردن ۱۰۰۰ ppm از سورفکتانت به محلول ۱۴۰۰ ppm از AN125 فاکتور بازیافت را به اندازه ۹۷/۵٪ افزایش می‌دهد. (رجوع کنید به جدول ۳). چنین رفتاری را می‌توان در غلظت‌های بسیار پایین این پلیمر نیز مشاهده کرد. اثر انواع پلیمر بر بازیافت نفت برای ترکیبی از پلیمر-سورفکتانت در غلظت ثابت پلیمر (۱۴۰۰ ppm) و سورفکتانت (۱۰۰۰ ppm) و همچنین در غلظت‌های مختلفی از پلیمر و غلظت ثابتی از سورفکتانت (۵۰۰ ppm) به ترتیب در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ رسم شده است. با توجه به این شکل‌ها و نتایج ارائه شده در جدول ۳، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ترکیبی از سورفکتانت با پلی اکریل آمید هیدرولیز شده، فاکتور بازیافت نفت را به میزان ناچیزی افزایش می‌دهد، در حالی که ترکیبی از سورفکتانت با پلیمری که زیاد سولفون شده، به طور قابل توجهی باعث افزایش بازیافت نفت می‌شود که تقریباً برای همه ترکیبات پلیمر سورفکتانت قابل مشاهده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیبی از دو گروه هیدرولیز و سورفکتانت اثرات قابل توجه هم‌افزایی در افزایش بازیافت نفت را نشان نمی‌دهد. اثرات غلظت سورفکتانت بر روی بازیافت نفت به وسیله

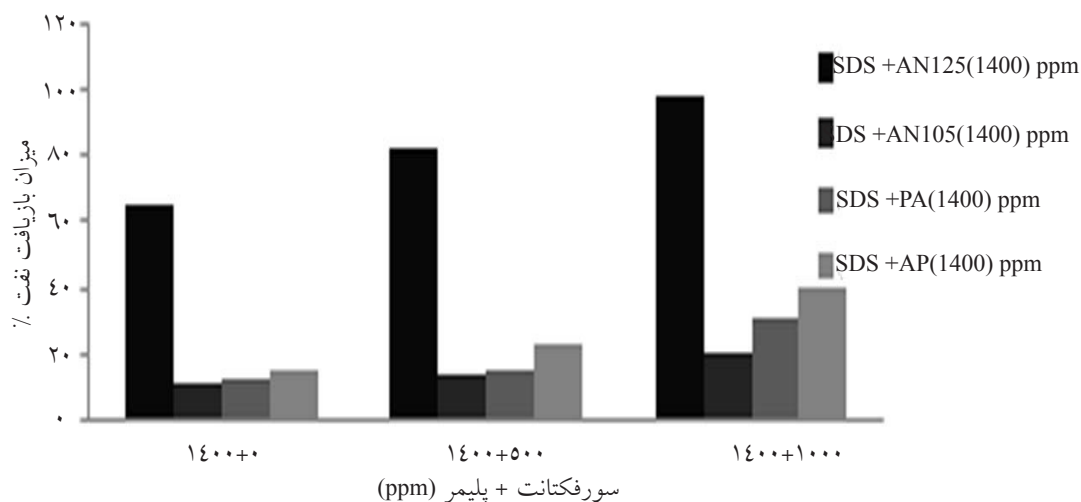
با توجه به اینکه تمام پلیمرها در غلظت یکسان (۱۴۰۰ ppm) و با وزن مولکولی تقریباً یکسان هستند، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار هیدرولیز شدن می‌تواند بازیابی نفت را افزایش دهد، اما این افزایش نسبت به مقدار سولفون شده بسیار کمتر است. هیدرولیز شدن پلیمر منجر به تشکیل گروه آنیونی بر روی مولکول پلیمر گشته و باعث می‌گردد که زنجیره‌ها حالت کشیدگی خود را حفظ نمایند و سبب بالا رفتن ویسکوزیته می‌گردد. به دلیل نیروی دافعه بین زنجیره‌های پلیمر هیدرولیز شده، کاهش ویسکوزیته بر اثر افزایش تنش برشی بسیار کمتر می‌شود. مکانیزم عملکرد پلیمرهای AN105 و AN125 بر میزان ازدیاد برداشت نفت در شکل ۶ برای حفره شماره ۴ مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس پلیمر AN125 در غلظت ۳۵۰ ppm، به اندازه ۳۷/۱۷٪، در غلظت ۷۰۰ ppm، به اندازه ۴۳/۴۹٪ و در غلظت ۱۴۰۰ ppm، به میزان ۵۴/۲٪، بازیافت نفت بیشتری نسبت به AN105 دارد. بنابراین سولفونیزه کردن AN125 به مقدار ۲۰٪ بیشتر از AN105، تاثیر بسزایی در افزایش جاروب نفت از مسیرهای بسته دارد. در اینجا می‌توان به ارزش سولفون شده شدن پلیمر نسبت به افزایش غلظت پی‌برد. با مقایسه پلیمر ۵٪ سولفون شده (AN105) در غلظت ۷۰۰ ppm با پلیمر ۲۵٪ سولفون شده (AN125) در غلظت ۳۵۰ ppm، متوجه می‌شویم که پلیمر ۲۵٪ سولفون شده حدود ۳۶/۷۵٪ بازیافت نفت را افزایش می‌دهد. اثر غلظت سورفکتانت در بازیابی نفت از مسیرهای بسته در شکل ۷ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش غلظت سورفکتانت، راندمان بازیابی به طور محسوسی افزایش می‌یابد، که در غلظت ۲۰۰۰ ppm از سورفکتانت بسیار قابل توجه است. بنابراین می‌توان گفت که این غلظت باید نزدیک به غلظت بحرانی سورفکتانت باشد که در آن کشش سطحی به حداقل مقدار خود می‌رسد. با این حال، نتایج ارائه شده در شکل‌های ۵ و ۷ نشان می‌دهد که پلیمرها به ویژه با یک مقدار سولفونیزاسیون زیاد، می‌توانند تا حدی مانند عامل سورفکتانت عمل نمایند. بنابراین، نسبت به سورفکتانت اثر بیشتری بر فاکتور بازیابی دارد. در شکل ۸، اثر ترکیبی از پلیمر و سورفکتانت بر فاکتور بازیافت ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که اضافه

مختلف نشان می‌دهد. از روی این شکل می‌توان روند پیشرفت سیال در بدنه میکرومدل و حفره را به خوبی مشاهده نمود. همچنین برای مشاهده بهتر حفره‌ها چندین عکس میکروسکوپی از میکرومدل گرفته شد که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود.

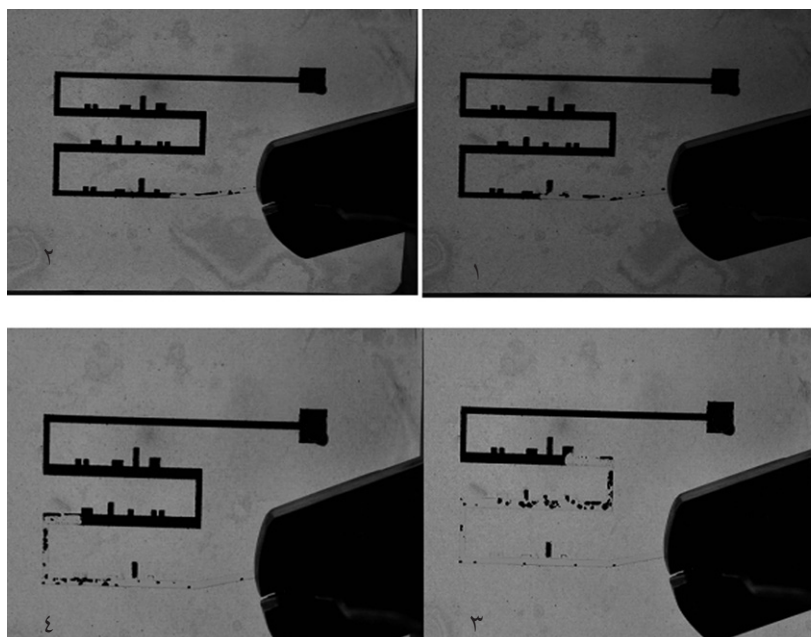
نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک میکرومدل شیشه‌ای جهت بررسی اثر غظت پلیمر و سورفکتانت و خصوصیات پلیمر بر میزان بازیابی نفت از مسیرهای بسته با موفقیت به کار برده شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که افزایش غظت پلیمر و سورفکتانت، بازده جارویی را افزایش می‌دهد، اما افزایش برای نمونه‌های پلیمر شامل گروه‌های سولفونه شده قابل توجه است. نتایج ارائه شده مؤید این مطلب است که افزایش بازیافت نفت به وسیله ترکیبی از پلیمر-سورفکتانت بیشتر از افزایش بازیافت ناشی از هر یک از نمونه‌ها به تنهایی است. این افزایش برای نمونه‌های با مقدار سولفونیزاسیون بالا بیشتر است. تجزیه و تحلیل نتایج، حاکی از آن است که اثرات هم‌افزایی ناشی از ترکیبی از پلیمرها با سولفونیزاسیون بالا و سورفکتانت، باید به ساختار بین زنجیره پلیمر و سورفکتانت مربوط باشد. این ساختار همراه ممکن است ویسکوزیته را بیشتر از پلیمر افزایش داده و کشش سطحی را بیشتر از سورفکتانت کاهش دهد.

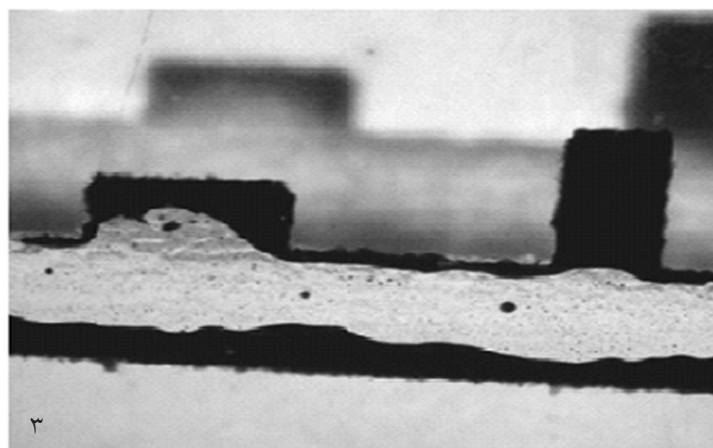
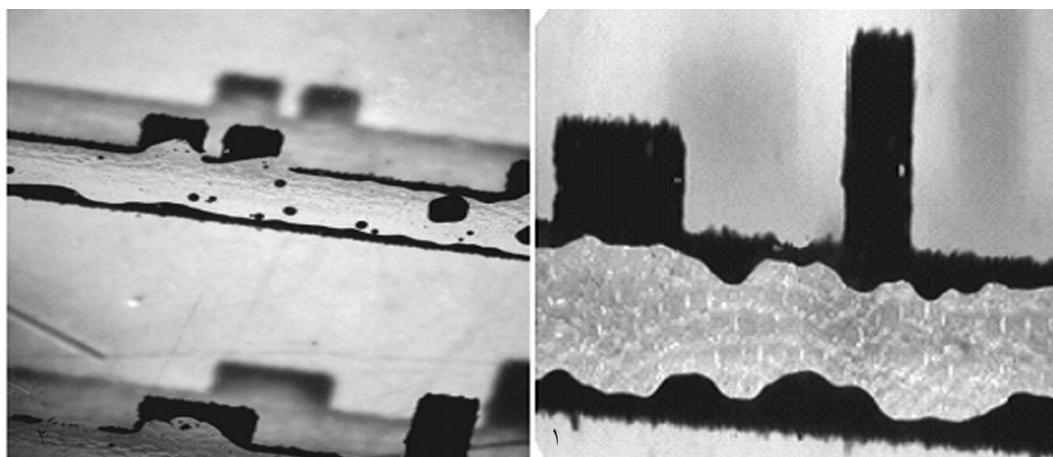
ترکیبی از سورفکتانت پلیمر در غلظت ثابت پلیمر ۱۴۰۰ ppm در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این شکل و نتایج ارائه شده برای بازیافت نفت توسط سورفکتانت و پلیمر خالص، می‌توان گفت که تقریباً برای همه ترکیب‌های پلیمر-سورفکتانت بازیافت نفت نسبت به بازیافت هر یک از اجزا به تنهایی، بیشتر است. با این حال، افزایش در بازیافت توسط ترکیبی از AN125 با سورفکتانت در هر غلظتی از پلیمر-سورفکتانت، بسیار بیشتر از هر یک از اجزاء به تنهایی است. این پدیده را می‌توان به برهمکنش بالای بین گروه‌های سولفونه شده از این پلیمر با گروه سورفکتانت که ممکن است همراه ساختار پلیمر-سورفکتانت در محلول سیلاب زده تولید شود، نسبت داد. این مقاله به بررسی یکی از حفره‌ها می‌پردازد تا بتوان با دید بهتر و دقیق‌تر اثر انواع پلیمر و ترکیب پلیمر-سورفکتانت در غلظت‌های ثابت و متغیر را بر روی بازده جاروب نفت مورد بررسی قرار داد. اما با توجه به اینکه میکرومدل دارای حفره‌هایی با ابعاد مختلف می‌باشد، مشخص گردید که با افزایش نسبت طول به عرض مسیرهای بسته، میزان بازیافت نفت کاهش می‌یابد. لذا میزان اثرگذاری پلیمرها وابسته به اندازه حفرات است. همچنین با توجه به ویژگی‌های نفت، میزان اثرگذاری پلیمرها بر آنها متفاوت خواهد بود. در این مقاله نفت مورد استفاده، نفت سبک استخراج شده از یکی از مخازن دریایی ایران است. لذا، نتایج حاصل برای نفت‌های سبک قابل قبول می‌باشد. شکل ۱۳ چندین تصویر از میکرومدل را در زمان‌های



شکل ۱۲- اثر غلظت سورفکتانت بر بازیافت نفت به وسیله ترکیبی از پلیمر-سورفکتانت در حفره شماره ۴



شکل ۱۳- چندین تصویر از میکرومدل در زمان‌های مختلف تزریق سیال



شکل ۱۴- چند عکس میکروسکوپی از میکرو مدل جهت مشاهده نحوه حرکت سیال درون حفره

مراجع

- [1]. Baranes A. L., "The use of a viscous slug to improve water flood efficiency in a reservoir partially invaded by bottom water", Transaction AIME, pp. 225:1147–1153, Oct. 1962.
- [2]. Aurel C., *Applied Enhanced Oil Recovery*, Prentice Hall Publishing, USA 1995.
- [3]. Pye D. J. "Improved secondary recovery by control of water mobility. *Journal of Petroleum Technology Transaction AIME*", pp. 231:911–916, 1964.
- [4]. Sandiford B. "Laboratory and field studies of water floods using polymer solutions to increase oil recoveries", Transaction AIME, pp. 231:917–922, 1964.
- [5]. Maldal T., Gilje E., Kritensen R., Kårstad T., Nordbotten A., Schilling B.E.R., and Vikane O., "Evaluation and Economical Feasibility of Polymer-Assisted Surfactant Flooding for the Gullfaks Field", Norway., SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 161 Apr. 1998.
- [6]. Dakhliia H., *A Simulation Study of Polymer Flooding and Surfactant Flooding Using Horizontal Wells*, Ph.D. Thesis, University of Texas at Austin, Austin. Texas. 1995.
- [7]. Wyatt K., Pitts J., and Surkalo H., "Mature Waterfloods Renew Oil Production by Alkaline-Surfactant-Polymer Flooding", SPE 78711, 2002.
- [8]. Ramazani A., Nourani M. and Emadi M.A., *Investigation of Intrinsic Viscosity and Mark- Houwink Parameters of hig Molecular Weight, Partially Hydrolyzed Polyacrylamide in Petroleum Reservoir Conditions*, 9th International Seminar on Polymer Science and Technology (ISPST2009), Tehran/Iran, Oct., 17-21, 2009.
- [9]. Kamyabi A. and Ramazani A., "Simulation of two generalized newtonian fluid flow in micropore with dead end". *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 25(3): pp. 163–173, Mar. 2011.
- [10]. Kamyabi A. and Ramazani A., "Comparison between viscoelastic, Newtonian and generalized Newtonian fluids in extracting oil from dead ends", accepted to applied mathematica modeling journal.
- [11]. Caudle B. H. and Witte M. D. "Production potential changes during sweep-out in five-spot system", Transaction AIME, pp. 216:448–449, 1959.