

تولید کوپلیمر مقاوم جدید به منظور ازدیاد برداشت نفت در مخازن کربناته شکافدار با دما و شوری بالا

علی مقصودیان*، شاهین کرد، بهرام سلطانی سولگانی، دانشگاه صنعت نفت اهواز ■ یوسف تمثیلان، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

استفاده از پلیمرهای رایج مانند پلی آکریل آمید و پلی آکریل آمید هیدرولیز شده در ازدیاد برداشت با چالش‌هایی جدی چون جذب سطحی بالا، حساسیت بالا نسبت به میزان شوری و دمای مخزن، وجود میکروب‌ها، مشکلات مکانیکی و عدم پایداری مواجه است. به همین دلیل تاکنون استفاده از این روش در فرایند ازدیاد برداشت از میدان‌های نفتی در مقایسه با روش‌های حرارتی و تزریق گاز، به صورت فراگیر انجام نگرفته است. به دست آوردن شرایط بهینه به منظور افزایش برداشت نهایی و در عین حال کاهش پیامدهای نامطلوب نیازمند آنالیز دقیق می‌باشد. در این تحقیق، روشی نوین برای ساخت کوپلیمری سازگار با دما از ترکیب پلی آکریل آمید و استایرن مطرح شده است که می‌تواند تا حدودی مشکلات ذکر شده را برطرف کند. در راستای سنجش کوپلیمر ساخته شده، آزمایش‌هایی مانند رزونانس مغناطیسی هسته‌ای پروتون برای بررسی حضور استایرن در کوپلیمر، بررسی میزان ویسکوزیته تحت دما و شوری بالا و نیز میکروسکوپ الکترونی کریوژنیک برای بررسی اندازه ذرات کوپلیمر انجام گرفته است. بررسی نتایج آزمایش‌های مرتبط با رئولوژی نشان داد که ویسکوزیته‌ی کوپلیمر سازگار با دما، در مقابل شوری و دمای بالا افزایش می‌یابد. تمام تست‌های اولیه انجام گرفته نشان دهنده‌ی آن است که استفاده از این کوپلیمر می‌تواند یک گزینه‌ی مناسب برای ازدیاد برداشت باشد؛ به عبارت دیگر، در این مطالعه یک روش سنتز موثر برای تولید پلیمرهای هوشمند با مقاومت بالا ارائه گردیده است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۱۰/۲۵

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۱۲/۱۲

واژگان کلیدی:

کوپلیمر سازگار با دما، دمای بالا، شوری بالا، ازدیاد برداشت نفت

مقدمه

بیش از نیمی از مخازن نفت دنیا را مخازن کربناته تشکیل می‌دهند. در طی دهه‌های گذشته روش‌های گوناگونی برای افزایش قابلیت بهره‌دهی مخازن کربناته شکافدار در مقیاس‌های آزمایشگاهی و میدانی مورد مطالعه، تفسیر و آزمایش قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها، سیلاب‌زنی با آب در مخازن بوده که علت استفاده از این روش وجود تفاوت در گرانیوی آب تزریقی و نفت جهت جایگزینی آب تزریقی به جای نفت باقی‌مانده در مخزن می‌باشد. به دلیل وجود شبکه‌ی شکاف، بسیاری از حفرات سنگ مخزن در تماس با سیال تزریقی قرار نمی‌گیرند که این امر سبب کاهش بازده جاروبی و متعاقباً کاهش میزان نفت تولیدی نسبت به مقدار مورد انتظار می‌شود. دانشمندان با بررسی مواد شیمیایی مختلف، اضافه کردن پلیمر به آب تزریقی را به عنوان یک گزینه‌ی موثر و مناسب برای افزایش میزان ازدیاد برداشت نفت در راستای حل مشکلات به وجود آمده پیشنهاد کرده‌اند [۱].

پلیمرها با افزایش گرانیوی سبب کاهش قابلیت تحرک پذیری آب، افزایش پایداری پروفایل حرکتی، کاهش پدیده انگشتی شدن سیال تزریقی و در نهایت، افزایش تولید نفت از درون مخزن می‌شوند. پلیمرهای مرسوم مورد استفاده، پلیمرهای صنعتی و طبیعی بوده که

مهم‌ترین آنها به ترتیب پلی آکریل آمید و زانتان می‌باشد [۲]. در حال حاضر با وجود این‌که این مواد شیمیایی در مقیاس آزمایشگاهی نتایج مطلوبی داشته‌اند، اما به دلیل وجود محدودیت‌هایی مانند دمای بالا، شوری بالا، وجود میکروب‌ها، جذب سطحی بالا، مشکلات مکانیکی و عدم پایداری که در مخازن هیدروکربوری وجود دارد، هنوز استفاده از این روش در فرایند ازدیاد برداشت میدان‌های نفتی به صورت فراگیر انجام نگرفته است [۳]. به دست آوردن شرایط بهینه به منظور افزایش برداشت نهایی و در عین حال کاهش پیامدهای نامطلوب نیازمند آنالیز دقیق می‌باشد. در همین راستا، امروزه محققان زیادی به دنبال این موضوع هستند که با تغییر در ساختار شیمیایی پلیمرهای مرسوم بتوانند به افزایش تولید از مخزن کمک کنند [۴]. یکی از این پیشنهادها در این زمینه، ایجاد تغییر در ساختار شیمیایی پلیمرهای پلی آکریل آمید با استفاده از گروه‌های آب‌گریز در درون زنجیره‌ی اصلی این دسته از پلیمرها می‌باشد، که نام آنها کوپلیمر بر پایه‌ی پلی آکریل آمید و در تعامل با زنجیره‌ی آب‌گریزی^۱ است [۵، ۶]. هدف از انجام این پروژه نیز ارائه‌ی روشی نوین برای سنتز یک پلیمر جدید می‌باشد. در این سنتز مونومر آکریل آمید که ماده‌ی شیمیایی متداول برای استفاده در فرایند ازدیاد برداشت بوده و همچنین استایرن

* نویسنده‌ی عهد‌ه‌دار مکاتبات (ali.maghsoodian@gmail.com)

۳،۴ به عنوان بهترین محدوده‌ی آب‌دوست-آب‌گریز سورفکتانت‌ها (تمثیلیان و همکاران، ۲۰۱۶)، برای تسهیل در تشکیل، مایسل‌های موردنظر درون محفظه‌ی رآکتور ریخته و به‌وسیله هموژنایزر با حداکثر سرعت به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط می‌شوند. در ادامه، محلول آبی حاوی آکریل‌آمید با استفاده از سرنگ به درون محفظه تزریق گردیده، پس از تزریق کامل محلول ذکر شده، محلول آبی و فاز آلی با حداکثر سرعت هموژنایزر به مدت ۴۰ دقیقه با یکدیگر مخلوط می‌شود. پس از پایان زمان این مرحله و تشکیل امولسیون معکوس، مونومر استایرن به‌عنوان گروه آب‌گریز درون محفظه تزریق می‌گردد و محلول به مدت ۶۰ دقیقه با حداکثر سرعت هموژنایزر ترکیب می‌شود. پس از این مرحله دمای محلول به وسیله‌ی سیرکولاتور به ۶۰ درجه سانتی‌گراد رسانده و آغازگر آلی آزوبیسیسوبوتیرونیتریل به محفظه افزوده می‌شود. در این قسمت، محلول به مدت ۲۴۰ دقیقه به وسیله‌ی هم‌زن مکانیکی با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه مخلوط می‌گردد. دلیل افزایش دما در مرحله افزودن آغازگر، فعال‌سازی رادیکال‌های آزاد بوده که این مسئله باعث برقراری و استحکام پیوند بین مواد آب‌گریز و آب‌دوست حاضر در سنتز کوپلیمر می‌گردد. در پایان این مرحله فرایند سنتز کوپلیمر به پایان رسیده و حال با خارج کردن محلول از محفظه، کوپلیمر محلول به وسیله‌ی پنج برابر حجم خود در متانول ترسیب داده می‌شود. این کار در راستای اطمینان یافتن از حذف کامل پلی‌استایرن که به صورت جدا از کوپلیمر تشکیل شده است، انجام می‌پذیرد. در ادامه، پس از جداسازی کامل متانول، برای اطمینان از خشک بودن کامل کوپلیمر و خارج شدن آب از بین پیوندهای کوپلیمر، با استفاده از آون^۵ تحت دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد کوپلیمر کاملاً خشک گردیده و پس از آسیاب کردن آن، آماده‌ی انجام آزمایش‌های مشخصه‌یابی می‌گردد.

۳- یافته‌ها

در راستای سنجش کوپلیمر طراحی و سنتز شده، تعدادی تست برای شناسایی و شناخت بهتر این ماده صورت گرفته است که بتوان خصوصیات و رفتار رئولوژیک این ماده را در راستای انجام آزمایش‌های ازدیاد برداشت بررسی کرد. در این مقاله دلایل و نتایج تست‌هایی که تاکنون انجام پذیرفته، مشخص و بیان گردیده است. نتایج تست‌های باقی‌مانده در مقاله‌های بعدی که منتشر خواهد شد، بیان می‌گردد. شکل ۱- نمودار تست رزونانس مغناطیس هسته‌ای^۶ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل یک مشخص گردیده است، قله‌های قسمت در میلیون ۱،۷، ۲،۳، ۷،۱ تا ۷،۴ و ۳،۴ تا ۴،۸ نشان دهنده‌ی

به‌عنوان یک مونومر ارزان قیمت، مواد تشکیل دهنده‌ی این کوپلیمر سازگار با دما خواهند بود. استفاده از این کوپلیمر در فاز آبی، باعث افزایش ویسکوزیته فاز آبی در حضور دمای بالا و میزان شوری بالای آب می‌شود. در همین راستا استفاده از این کوپلیمر در شرایط بحرانی مخزن می‌تواند یک گزینه‌ی مطلوب برای برطرف کردن مشکلاتی که قبلاً ذکر گردید، باشد و در نهایت، با حداکثر کردن میزان پایداری پلیمر در مخزن مقدار بهره‌دهی نهایی را بهبود ببخشد.

۱- روش تحقیق

کوپلیمری جدید که نام آن کوپلیمر سازگار با دما^۲ است، از ترکیب دو پلیمر به نام‌های پلی‌آکریل‌آمید و پلی-استایرن تشکیل شده است که با استفاده از روش پلیمریزاسیون یک مرحله‌ای امولسیون معکوس، طراحی و سنتز گردیده است. در این روش سنتز، فاز پیوسته ماده‌ی آلی بوده و به روش تشکیل مایسل درون فاز آلی فرایند پلیمریزاسیون انجام می‌پذیرد. همچنین براساس آزمایش‌ها انجام گرفته در گذشته برای تسهیل در نتیجه و توزیع بهتر و مطلوب‌تر آغازگر در محلول امولسیون معکوس از آغازگر آلی استفاده شده است [۷].

۲- روش انجام آزمایش

مواد شیمیایی مورد استفاده در سنتز این کوپلیمر شامل مونومر آکریل‌آمید، مونومر استایرن، تولوئن، اسپن ۸۰، آزوبیسیسوبوتیرونیتریل^۳ و آب دیونیزه بوده که تمامی مواد مورد استفاده در آزمایش خریداری شده از شرکت مرک آلمان و با خلوص ۹۹ درصد می‌باشد. برای سنتز این کوپلیمر از دستگاه رآکتور شیمیایی مدل آیکا ۲۰۰۰ به همراه یک سیرکولاتور در راستای ایجاد یک دمای ثابت در محفظه‌ی رآکتور استفاده شده است که توانایی تحمل فشار تا ۸۰ پوند بر اینچ مربع و دمای ۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد را دارا می‌باشد. به علاوه، برای خارج کردن اکسیژن از محفظه‌ی رآکتور در هنگام سنتز از کپسول نیتروژن با خلوص ۹۹ درصد استفاده شده است. فشار نیتروژن ورودی به محفظه به صورت تقریبی ۳۵ پوند بر اینچ مربع بوده که بتواند اکسیژن موجود در محفظه را خارج کرده و بدین ترتیب از کاهش وزن مولکولی ماده سنتز شده جلوگیری کند.

در ابتدا مقداری مونومر آکریل‌آمید را در محلول نمک سدیم و آب دیونیزه ریخته و به آکریل‌آمید زمان کافی داده می‌شود که به‌طور کامل به وسیله‌ی مگنتیک استیرر درون فاز آبی حل شود. پس از برقراری جریان نیتروژن در محفظه‌ی رآکتور، تولوئن به‌عنوان فاز آلی پیوسته و ماده اسپن ۸۰ با مقدار تعادلی آب‌دوست^۴-نفت‌دوست

میزان بالای نمک حل شده، با استفاده از دو حالت وضعیت تست میکروسکوپ انتقال الکترونیک^۸ در مقادیر متفاوت شوری و دما انجام پذیرفت که در شکل ۲- نتایج نشان داده شده است. دو محلول ساخته شده به ترتیب عبارتند از:

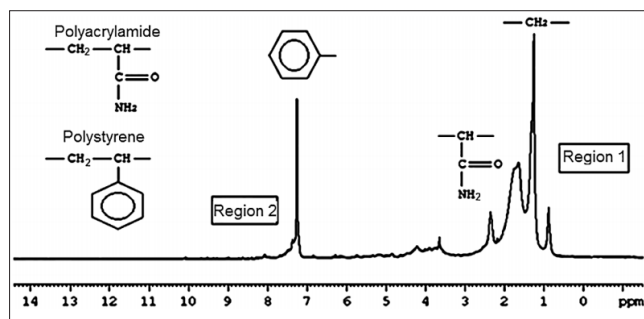
۱- محلول استفاده شده در شکل ۲-الف کوپلیمر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در عدم حضور نمک سدیم کلراید ۲- محلول بعدی که در شکل ۲-ب نشان داده شده است، محلول آب شور همراه با کوپلیمر در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار شوری ۳۰۰۰۰ قسمت^۹ نمک سدیم کلراید.

این آزمایش در راستای بررسی و ارزیابی کوپلیمر سنتز شده در شرایطی شبیه به مخازن شکافدار تحت دما و شوری بالا انجام پذیرفته است. در دما و شوری بالا، در شکل (الف) فاز آبی در عدم حضور نمک همانند یک حلال ضعیف، قادر به حل کردن گروه عاملی آب‌گریز بنزن متصل به ستون اصلی کوپلیمر نمی‌باشد. اما در شکل (ب) نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نمک و دما لکه‌های در تصویر نمایان شده‌اند که نشانگر افزایش ویسکوزیته می‌باشد. این رفتار به دلیل مشارکت زنجیره‌های آویزان آب‌گریز استایرن در حضور نمک است. این مکانیسم به کوپلیمر کمک می‌کند که در مخازن نفتی با شرایط دما و شوری بالا از خود مقاومت بیشتری نشان دهد و بتواند بستری مناسب برای استفاده از این کوپلیمر در مخازن با شرایط ذکر شده ایجاد کند.

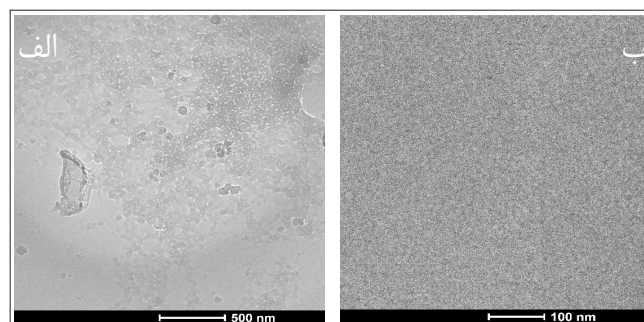
برای اندازه‌گیری مقدار ویسکوزیته‌ی سینماتیکی کوپلیمر سازگار با دما و مقایسه آن با پلیمرهای مرسوم، دو مرحله در نظر گرفته شده است. مرحله‌ی اول بدون حضور دما و شوری و مرحله‌ی دوم تحت دما و شوری بالا. در این آزمایش برای اندازه‌گیری ویسکوزیته‌ی سینماتیکی از دستگاه ویسکومتر آبلهولده^{۱۰} استفاده شده است. در این آزمایش، به این دلیل که پلیمرهای صنعتی نسبت به پلیمرهای طبیعی از جمله زانتان ارزان تر بوده و مقدار ریکواری آن‌ها مطلوب تر است [۸]، پلیمر مورد استفاده برای مقایسه پلی‌آکریل‌آمید می‌باشد. پلی‌آکریل‌آمید استفاده شده در این آزمایش توسط روش امولسیون معکوس سنتز گردیده و تمامی مراحل و روش تهیه‌ی آن مانند سنتز کوپلیمر سازگار با دما بوده و تنها تفاوت آن حذف مونومر آب‌گریز استایرن می‌باشد. در شکل ۳- تصاویر پلیمرهای سنتز شده، مشخص گردیده است. در این تصویر از چپ به راست کوپلیمر سازگار با دما و پلی‌آکریل‌آمید خالص نشان داده شده‌اند. علت تفاوت رنگ این دو پلیمر سنتز شده به دلیل حضور پلی-استایرن در زنجیره کوپلیمر می‌باشد که رنگ این پلیمر نسبت به پلی‌آکریل‌آمید خالص اندکی

حضور پیوندهای (-CH₂-)، (-CH-) در زنجیره‌ی اصلی کوپلیمر و حضور پروتون‌های حلقه‌ی بنزن^۷ که زنجیره آویزان موجود در ترکیب پلی‌استایرن بوده، می‌باشند. این شکل نشان می‌دهد، مونومر آب‌گریز در زنجیره‌ی اصلی کوپلیمر مطابق انتظار شرکت کرده است. پلی‌استایرن در آب محلول نمی‌باشد و تنها قسمتی از ماده‌ی آب‌گریز که در سیستم ستون اصلی زنجیره‌ی کوپلیمر مشارکت داشته، در شکل نمایان شده است. همان‌طور که در شکل ۱- نشان داده شد، با توجه به حضور پلی‌آکریل‌آمید و پلی‌استایرن در درون ماده‌ی سنتز شده، می‌توان اطمینان حاصل نمود که کوپلیمر موردنظر حاوی مواد شیمیایی مورد نظر، سنتز گردیده است.

برای مشاهده و ارزیابی بصری رفتار کوپلیمر در مقابل دما و حضور



شکل ۱ | تست رزونانس مغناطیسی هسته‌ای پروتون گرفته شده از کوپلیمر سازگار با دمای سنتز شده



در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۳۰۰۰۰ قسمت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و بدون حضور نمک

شکل ۲ | بررسی و نمایش اهمیت وابستگی ویسکوزیته به مقدار دما و شوری



کوپلیمر سازگار با دما (HTAP)

پلی‌آکریل‌آمید خالص (PAM)

شکل ۳ | نمایش پلیمرهای سنتز شده در آزمایش

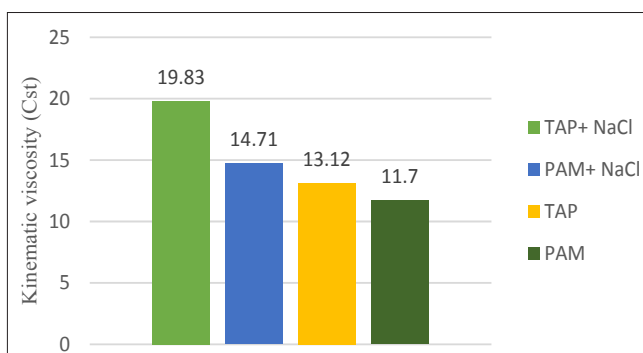
کدر شده است.

پس از سنتز و آماده‌سازی پلی آکریل آمید و کوپلیمر سازگار با دما، ابتدا برای مقایسه مقدار ویسکوزیته‌ی این دو پلیمر بدون در نظر گرفتن تأثیر دما و شوری و در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، محلول‌های جداگانه از این دو پلیمر با غلظت ۲۰۰۰ قسمت تهیه گردید. پس از آن توسط ویسکومتر آبله‌ولده با ضریب ثابت ۰,۰۳ میلیمتر مربع بر ثانیه^{۱۱} مقدار ویسکوزیته‌ی سینماتیکی آنها بررسی شد که نتایج ویسکوزیته در شکل-۴ مشخص گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پس از حل کردن کوپلیمر سازگار با دما در آب دیونیزه و اندازه‌گیری ویسکوزیته‌ی سینماتیکی، مشخص گردید که ویسکوزیته‌ی سینماتیکی محلول نسبت به پلی آکریل آمید کمتر می‌باشد، در صورتی که مقدار ویسکوزیته‌ی محلول پلی آکریل آمید به مقدار ۱۹,۳ سنتی استوک افزایش پیدا کرده است. این نتیجه نشان می‌دهد که برای تزریق این کوپلیمر به وسیله‌ی پمپ‌های سرچاهی نیازمند توان کمتری بوده و مقدار استهلاک و همچنین هزینه‌های جانبی حاصل از ویسکوزیته و اصطحاک بالای پلیمرهای مرسوم کاهش خواهد یافت.

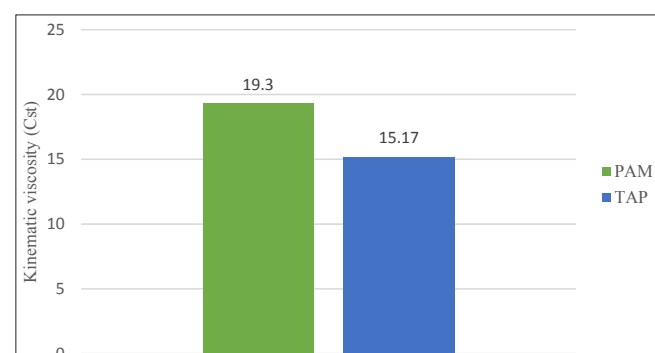
در این مرحله برای بررسی مقدار ویسکوزیته‌ی سینماتیکی پلیمرهای سنتز شده تحت دما و شوری بالا از چهار محلول متفاوت استفاده گردید که به ترتیب عبارتند از:

۱- محلول پلی آکریل آمید و آب دیونیزه بدون حضور نمک سدیم کلراید (PAM) ۲- محلول پلی آکریل آمید و آب نمک با شوری ۱۰۰۰۰۰ قسمت نمک سدیم کلراید (PAM+NaCl) ۳- محلول کوپلیمر سازگار با دما و آب دیونیزه بدون حضور نمک سدیم کلراید (TAP) ۴- محلول کوپلیمر سازگار با دما و آب نمک با شوری ۱۰۰۰۰۰ قسمت نمک سدیم کلراید (TAP+ NaCl). مقدار غلظت پلیمر در هر چهار ظرف یکسان و برابر با ۲۰۰۰ قسمت می‌باشد.

برای ثابت ماندن حجم محلول درون ظرف تحت دمای بالا، تمامی این محلول‌ها در ظروف شیشه‌ای درپوش‌دار با حجم یکسان ریخته شدند. پس از آن به‌منظور همگن‌سازی دما در کل محلول و ایجاد شرایطی مشابه با مخزن نفتی، ظروف ذکر شده، به مدت ۱۶۸ ساعت تحت دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بر روی مگنتیک استیرر قرار داده شدند. پس از سپری شدن مدت‌زمان مذکور، به‌ترتیب ویسکوزیته‌ی سینماتیکی تمامی مواد محلول با استفاده از ویسکومتر آبله‌ولده با ضریب ۰,۰۳ تحت دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد درون محفظه‌ی مخصوص این دستگاه اندازه‌گیری گردید که نتایج در شکل-۵ شرح داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، پس از افزایش دما، ویسکوزیته محلول پلی آکریل آمید و آب دیونیزه بدون حضور نمک سدیم کلراید کاهش حدودی ۲۰ درصدی داشته، در حالی که ویسکوزیته‌ی محلول کوپلیمر سازگار با دما و آب دیونیزه بدون حضور نمک سدیم کلراید به مقدار کمتری دچار کاهش ویسکوزیته شده است. همچنین پس از افزودن ۱۰۰۰۰۰ قسمت نمک سدیم کلراید مقدار ویسکوزیته‌ی محلول پلی آکریل آمید و آب نمک به مقدار کمی دچار افزایش شده است، در صورتی که ویسکوزیته‌ی محلول کوپلیمر سازگار با دما و آب نمک افزایش شدیدتری داشته و مقدار آن بهبود یافته است. علت افزایش نسبی ویسکوزیته‌ی پلی آکریل آمید در حضور نمک احاطه شدن زنجیره‌های پلیمر به وسیله‌ی یون‌های منفی و مثبت بوده، که با افزایش دما یون‌های احاطه کننده دچار تورم شده و ویسکوزیته مقداری افزایش یافته است. اما برای کوپلیمر سازگار با دما با افزایش دما و شوری همان‌طور که قبلاً ذکر گردید زنجیره‌های آویزان گروه پلی-استایرن به یکدیگر نزدیک و در هم قفل می‌شوند که این عامل باعث افزایش استحکام زنجیره‌ی کوپلیمر گردیده و نهایتاً ویسکوزیته‌ی کوپلیمر افزایش می‌یابد. این موضوع نشان دهنده‌ی این امر است که خواص این کوپلیمر در شرایط بد مخزن مانند دما



شکل ۵ | ویسکوزیته‌ی سینماتیکی پلیمرهای سنتز شده در حضور شوری ۱۰۰۰۰۰ قسمت و دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد



شکل ۴ | ویسکوزیته‌ی سینماتیکی پلیمرهای سنتز شده بدون حضور شوری و در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد

این ماده نسبت به پلی آکریل آمید خالص مقداری به مراتب کمتر داشت، در صورتی که پس از افزودن نمک و بالا بردن میزان شوری و افزایش دما مشاهده گردید که به نسبت قدری افزایش در ویسکوزیته محلول پلی آکریل آمید، مقدار ویسکوزیته کوپلیمر سازگار با دما دچار افزایش بیشتری می‌شود. همین امر نشان دهنده‌ی رفتار هوشمند این پلیمر بوده و همچنین آن را به یک گزینه‌ی مناسب برای استفاده در مخازن با شوری بالا تبدیل می‌کند.

همان‌طور که در آزمایش‌های ویسکوزیته نشان داده شد، ویسکوزیته‌ی اولیه کوپلیمر محلول در آب مقداری کمتر از پلی آکریل آمید محلول بود، که پیش بینی می‌شود در تزریق این کوپلیمر در هنگام استفاده از پمپ سرچاهی از همان تاسیسات استفاده شده در مرحله سیلابزنی آب استفاده شود و نیاز به توان بیشتری نباشد و نهایتاً، باعث کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان پروژه می‌شود.

به دلیل خواص مثبت این کوپلیمر، استفاده از مواد رایج و مرسوم مورد استفاده در صنعت و هزینه‌ی پائین خریداری این مواد، به نظر می‌رسد که ساخت این کوپلیمر متشکل از مونومرهای در دسترس و ارزان قیمت در مقایسه با دیگر کوپلیمرهای ساخته شده متشکل از مونومرهای بعضاً گران و پیچیده مقرون به صرفه‌تر بوده و برای تولید و استفاده در مقیاس بالا مناسب خواهد بود. ■

و شوری بالا برخلاف پلیمرهای مرسوم مانند پلی آکریل آمید رفتاری هوشمند از خود نشان داده و مقدار ویسکوزیته‌ی آن بیشتر شده است.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که انتظار می‌رفت کوپلیمر سازگار با دما که ساختار شیمیایی آن متشکل از پلی آکریل آمید به عنوان زنجیره‌ی اصلی کوپلیمر و پلی استایرن به عنوان ماده‌ی آب‌گریز بودند توسط روش پلیمریزاسیون یک مرحله‌ای امولسیون معکوس طراحی و سنتز شد. در این روش سنتز ابتدا محلول آبی حاوی مونومر آکریل-آمید در تولوئن به عنوان فاز آلی پیوسته و اسپین ۸۰ به عنوان سورفکتانت اضافه گردید و پس از آن مونومر استایرن اضافه شد. هدف از سنتز این کوپلیمر بهبود خواص محلول پلیمری مورد استفاده در فرایند ازدیاد برداشت در میدان‌های نفتی بود. در راستای سنجش و تأیید کوپلیمر حاصل از سنتز، تعدادی تست مشخصه-یابی انجام گرفت که نتایج این تست‌ها نشان داد که در حضور دما و شوری بالا ویسکوزیته‌ی کوپلیمر نسبت به پلی آکریل آمید افزایش شدیدتری یافت که این امر به دلیل در هم رفتن زنجیره‌های آب‌گریز و همچنین جلوگیری کردن از جمع شدن زنجیره‌ی اصلی به واسطه حضور گروه عاملی بنزنی است.

با اندازه‌گیری ویسکوزیته محلول کوپلیمر و آب دیونیزه ویسکوزیته

پانویس‌ها

1. Hydrophobically Associative copolymer
2. Hydrophobically thermoassociative copolymer
3. Azobisisobutyronitrile
4. Hydrophobic/Hydrophilic Balance
5. Oven
6. ¹H-NMR spectrum
7. Benzene
8. Transmission Electron Microscope
9. Part per million
10. Ubbelohde viscometer
11. Square millimeter/second

منابع

- [1] V. Alvarado and E. Manrique, "Enhanced Oil Recovery: An Update Review." *energies*, 2010.
- [2] D. A. Z. Wever, F. Picchioni, and A. A. Broekhuis, "Polymers for enhanced oil recovery: A paradigm for structure-property relationship in aqueous solution," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 36, no. 11, pp. 1558–1628, 2011.
- [3] M. S. Kamal, A. S. Sultan, U. A. Al-Mubaiyedh, and I. A. Hussein, "Review on polymer flooding: Rheology, adsorption, stability, and field applications of various polymer systems," *Polym. Rev.*, vol. 55, no. 3, pp. 491–530, 2015.
- [4] A. Moradi-Araghi and P. H. Doe, "Hydrolysis and Precipitation of Polyacrylamides in Hard Brines at Elevated Temperatures," *SPE Reservoir Engineering*, vol. 2, no. 02. pp. 189–198, 1987.
- [5] L. Petit, C. Karakasyan, N. Pantoustier, and D. Hourdet, "Synthesis of graft polyacrylamide with responsive self-assembling properties in aqueous media," *Polymer (Guildf)*, vol. 48, no. 24, pp. 7098–7112, 2007.
- [6] X. Huang, Q. Li, H. Liu, S. Shang, M. Shen, and J. Song, "Oil-in-Water Emulsions Stabilized by Saponified Epoxidized Soybean Oil-Grafted Hydroxyethyl Cellulose," 2017.
- [7] Y. Tamsilian, A. Ramazani, M. Shaban, S. Ayatollahi, and R. Tomovska, "High molecular weight polyacrylamide nanoparticles prepared by inverse emulsion polymerization: reaction conditions-properties relationships," *Colloid Polym. Sci.*, vol. 294, no. 3, pp. 513–525, 2016.
- [8] M. H. Sedaghat, M. H. Ghazanfari, M. Masihi, and D. Rashtchian, "Experimental and numerical investigation of polymer flooding in fractured heavy oil five-spot systems," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 108, pp. 370–382, 2013.