

# تزریق پلیمر HPAM به مخزن نفتی آزادگان و بررسی میزان ازدیاد برداشت نفت و بهبود ضریب برداشت از مخزن

محمد ربیعی<sup>۱</sup>، سید سجاد روان سالار<sup>۲\*</sup>، هادی رمضانپور<sup>۳</sup>، سید ساعد روان سالار<sup>۴</sup>، سید محمود محمدی چشمه گل<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> رئیس تامین و توزیع، شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی ایران، منطقه هرمزگان

<sup>۲</sup> مهندسی نفت، گرایش حفاری و بهره برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، شاغل در شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی ایران، منطقه هرمزگان  
Ravansalar.sajad36@gmail.com

<sup>۳</sup> کارشناسی مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شاغل در پالایشگاه نفت بندرعباس

<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد برق الکترونیک- ابزارهای میکرو نانو الکترونیک، دانشگاه غیرانتفاعی پاسارگاد شیراز

<sup>۵</sup> مهندسی کنترل- ابزار دقیق، دانشگاه جامع علمی کاربردی اراک، شاغل در شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی ایران، منطقه هرمزگان

## اطلاعات مقاله

## چکیده

ناریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

کلمات کلیدی:

ازدیاد برداشت نفت

پلیمر

پلی آکریل آمید

HPAM

مکانیسم ازدیاد برداشت نفت به کمک تزریق پلیمر HPAM به این صورت است که از تزریق توده میسلی شامل مخلوطی از سورفاکتانت ها، شبه سورفاکتانت ها، الکل، آب شور و نفت که درون سازند حاوی نفت حرکت می کند بهره می برد و نفت به دام افتاده بیشتری را از سنگ مخزن رها می کند. فاکتورهای اولیه در تعیین کارایی پلیمر، ناهمگنی مخزن و نسبت تحرک سیالیت مخزن می باشند که می خواهیم این فاکتورها را در مخزن نفتی آزادگان بحث و بررسی کنیم. نتایج حاکی از ازدیاد برداشت نفت به میزان ۵٪ دارد.

## ۱. مقدمه

در آب های مناطق نفتی وجود دارند رسوب می کنند که منجر به کاهش قابل توجه ویسکوزیته می شوند. محلول پلی آکریل آمید در سختی های بیش از ۲۰ قسمت در میلیون همراه با افزایش دما از نقطه ابری شدن به تندی عبور می کند. دمای ابری شدن که به سختی آب نمک و درجه هیدرولیز پلیمر بستگی دارد، چندان به وزن ملکولی و غلظت پلیمر بستگی ندارد. ابری شدن باعث مسدود شدن محیط متخلخل می شود لذا محصول پلیمری تا زیر دمای نقطه ابری شدن قابل استفاده است. چنانچه پلی آکریل آمید در شرایط مخزن که غالباً درجه حرارت و سختی آن ثابت است هیدرولیز شود تا حدی که نقطه ابری شدن در آب میدان زیر درجه حرارت مخزن قرار گیرد، سیلاب زنی با پلیمر در آن مخزن مناسب نخواهد بود. در مخازنی که سختی و درجه حرارت بالا دارند این عوامل محدودکننده جدی در استفاده از این پلیمر به عنوان عامل کنترل تحرک می باشد. بنابراین در سال های اخیر تحقیقات در زمینه پلیمرهای پایه آبی که بتواند در بازیافت نفت مورد استفاده قرار گیرند، به سمت تهیه پلیمرهای پایه آبی آکریل آمیدی بوده است که در برابر هیدرولیز حرارتی مقاوم بوده و ویسکوزیته مشابه را در آب نمک های مناطق نفتی داشته باشد. این تحقیقات منجر به تولید محصولات تجاری بر پایه آکریل آمید شده است که قادر به تحمل شرایط محیطی سخت بدون رسوب کردن و یا کاهش ویسکوزیته هستند.

## ۳. پلی ساکاریدها

پلی ساکاریدها یا بیوپلیمر مورد استفاده در فرآیندهای ازدیاد برداشت، صمغ زانتان می باشد. این بیوپلیمرها ساختمان های زنجیره ای چند رشته ای دارند که باعث مقاومت مکانیکی بالا در برابر شکست مکانیکی این پلیمر می شود. ساختمان مارپیچی غلظت این پلیمر را در آب نمک افزایش می دهد و حساسیت آن به یون های چند ظرفیتی را کمتر می کند. این پلیمر نسبت به عملکرد باکتری ها بسیار حساس می باشد. باکتری های هوازی که به زانتان حمله می کنند از نوع Pseudomand هستند. این میکروب ها علاوه بر شکست پلیمر، تولید سلول هایی به قطر یک میکرون و طول چهار میکرون می کنند. این سلول ها بسیار بزرگتر از پلیمر هستند و می توانند باعث بسته شدن سازند مخزن در چاه تزریقی شوند.

## پلی آکریل آمید هیدرولیز شده

الزاماتی در استفاده از پلیمرهای محلول در آب برای بازیافت نفت وجود دارد، مانند: حلالیت، ویسکوزیته، سازگاری با آب های تزریقی و سازند، پایداری طولانی مدت در برابر هیدرولیز شدن. تنها تعداد معدودی از پلیمرها و یا سیستم های پلیمری دارای این ویژگی ها هستند. استفاده از پلیمرها در بازیافت نفت عموماً به نمک مخزن، نمک آب تزریقی و همچنین درجه حرارت بستگی دارد. در روش ازدیاد برداشت نفت به کمک تزریق پلیمر، اغلب از پلیمرهای سنتزی در رده بندی پلی آکریل آمید و پلیمر بیولوژیکی زانتاگام استفاده می شود. اگرچه پلیمرهای بیولوژیکی در مقابل تغییرات دما حساس ترند، اما به دلیل ارزانی، زانتاگام جایگاه مناسبی در این روش دارد. این روش در اواسط دهه ۵۰ میلادی توسعه یافت. در سال ۱۹۶۰ از پلیمرهای جدیدی با وزن مولکولی بالا بین ۳ تا ۹ میلیون استفاده شد که موفقیت آمیز بوده است.

پلیمرهای محلول در آب که برای استفاده در حوزه های نفتی به کار رفته یا مورد مطالعه قرار گرفته اند را می توان به سه دسته مهم تقسیم کرد:

- پلیمرهای طبیعی
- پلیمرهای طبیعی اصلاح شده به روش شیمیایی
- پلیمرهای مصنوعی

## ۲. پلی آکریل آمید HPAM

با جایگذاری چندین گروه آمیدی با یک گروه کربوکسیل به وجود می آید. مشخصات مطلوب پلی آکریل آمید HPAM عبارتند از:

۱. وزن ملکولی بسیار بالا (معمولاً بیش از یک میلیون).
۲. ویسکوزیته بالا.
۳. پایداری طولانی مدت در برابر حرارت به خصوص در آب نمک های شامل کاتیون های چند ظرفیتی مثل کلسیم و منیزیم و آهن.
۴. مقاومت در برابر باکتری ها (باکتری ها تنها مقدار کمی از آن را مورد حمله قرار می دهند).

از خصوصیات نامطلوب آن می توان به تخریب بالای حاصل از اثرات برشی، آلوده شدن به اکسیژن، نمک و سختی زیاد همراه با درجه حرارت بالا و آلودگی جزئی به مونومر سمی آکریل آمید اشاره کرد. در دمای بالا پلی آکریل آمید به مقدار زیادی هیدرولیز می شود. پلیمرهای هیدرولیز شده توسط کاتیون های دو ظرفیتی که عموماً

این پلیمر از نظر شیمیایی تغییر می کند. این فرآیند که هیدرولیز نام دارد از طریق واکنش محلول پلی آکریل آمید با یک باز قوی مانند هیدروکسید سدیم انجام می شود. هر دو پلی آکریل آمید هیدرولیز شده و هیدرولیز نشده به خاطر وجود گروه های کربوکسیل و آمید بسیار قطبی هستند.

#### ژل های پلیمری

در سال اخیر در فرآیندهای ازدیاد برداشت ژل های حاصل از واکنش ژلی شدن پلیمرهای محلول در آب در محل سازندهای دارای نفت معمول شده است تا بر مشکلاتی مانند: مخروطی شدن و کاهش نفوذپذیری مناطق با نفوذپذیری بالا فائق آید. ژل یک شبکه پلیمری سه بعدی است که از مخلوط کردن دو ترکیب پلیمر با وزن بالا و یک ماده شیمیایی دیگر به نام Cross linker تشکیل شده است. Cross linker ترکیبی است که ملکول های پلیمر را به هم متصل کرده و یک ژل یک پارچه را ایجاد می کند. هنگام افزودن Cross linker به پلیمر، هر ملکول Cross linker در مقایسه با ملکول پلیمر کوچک می باشد و آن را به دو ملکول پلیمر جذب می کند و آنها را به صورت شیمیایی به یکدیگر متصل می کند و در نتیجه به صورت یک شکل پیچ خورده ۳ بعدی از ملکول های به هم پیوسته که از رفتار سیال گونه خود تغییر کرده و در نتیجه سفت شده و تشکیل یک ژل بی تحرک را می دهند که با تغییرات بسیار و افزودنی های شیمیایی می توان آن را برای شرایط زیر سطحی زمین از قبیل دما، ترکیب یونی آب همراه، میزان PH آب همزاد، وجود کربن دی اکسید و میزان جذب شدن آن به دانه های سنگ مخزن قابل استفاده نمود.

Cross linker یون های فلزی و یا کمپلکس های فلزی می باشند که به صورت یونی پلیمر را احاطه می کنند و یا ملکول های آلی می باشند. در سال ۱۹۷۰ تا کنون سیستم های پلیمر بسیاری معرفی شده اند که یکی از آن ها PA می باشد که به راحتی از اتصال گروه های آمید به اتصال کربن تشکیل شده و امکان تشکیل ده ها هزار از این گروه ها به یکدیگر و تشکیل یک ترکیب با وزن ملکولی بسیار بالا می باشد.

پلیمر در حالت خاص از نظر الکتریکی خنثی می باشد. بدین ترتیب وقتی که به مقدار کمی با محلول بازی مخلوط می شود و یا با افزایش حرارت، بعضی از گروه های آمید، به گروه های کربوکسیلات تبدیل می شوند که هرکدام از آنها یک بار منفی ایجاد می کنند. میزان گروه های آمید که به کربوکسیلات تبدیل می شوند درجه هیدرولیز یا DH نامیده می شود و به طور نمونه از صفر تا ۶۰ درصد متغیر می باشد که در این حالت پلیمر، پلی آکریل آمید هیدرولیز شده جزئی یا PHPA نامیده می شوند و با بار منفی ناشی از گروه های کربوکسیلات، برای Cross linker های یونی بسیار متعدد می باشند. Cross linker های مناسب شامل فلزات

سه ظرفیتی از قبیل آلومینیوم و کروم می باشند این عناصر می توانند به صورت محلول حاوی یون های معدنی و یا به صورت کمپلکس قابل حل که دارای یون های سه ظرفیتی که با گروه های معدنی و یا آلی احاطه شده اند، تهیه شوند. سیستم های هیدروژلی مختلف را می توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد:

۱. سیستم پلیمر و شبکه ای کننده فلزی

۲. سیستم پلیمر و شبکه ای کننده آلی.

#### ۴. ناهمگنی مخزن

در این مقاله اگرچه مخازن به عنوان محیط های متخلخل با نفوذپذیری و تخلخل بالا در نظر گرفته می شوند، تقریباً هیچ گاه بسترهای هموژن با خواص ثابت نمی باشند. معمولاً بسترهای فراوان با خواص گوناگون موجود می باشد. در ازدیاد برداشت نفت، اختلاف نفوذپذیری مخزن فاکتور مهمی می باشد. وجود شکاف و تغییر نفوذپذیری می تواند تاثیر زیادی روی جریان سیال در یک مخزن داشته باشد و در نتیجه بر بازیافت نفت تاثیر گذارد. آب و دیگر سیالات تزریقی، مسیری با کمترین مقاومت را در طول مخزن طی می کنند. از آنجا که مناطق با نفوذپذیری بالا و همچنین شکاف ها کمترین مقاومت را در مقابل جریان دارند، اغلب سیال تزریقی این مسیر را پیش می گیرد. در این حالت، بیشتر نفت باقی مانده در مناطق با نفوذپذیری پایین، پس داده می شود. نفتی که از مناطق با نفوذپذیری بالا جابجا و تولید می شود، با سیال تزریقی جایگزین شده و اشباع نفت باقیمانده در این مناطق را کاهش می دهد. با کاهش اشباع نفت، نفوذپذیری آب افزایش می یابد. در نتیجه نسبت آب به نفت در چاه تولیدی افزایش و در نتیجه بازیافت نهایی نفت درجا کاهش می یابد.

#### ۵. نسبت تحرک

نسبت تحرک یک سیال به صورت نفوذپذیری محیط به آن سیال تقسیم بر ویسکوزیته آن سیال تعریف می شود در صورتی که نسبت تحرک، یک یا کمتر از آن باشد، جابجایی نفت توسط آب کارآمد خواهد بود. در واقع جابجایی به صورت پیستونی خواهد بود. از طرف دیگر، اگر نسبت تحرک بزرگتر از یک باشد، آب با تحرک بالاتر نفت را انگشتی کرده و آن را در مخزن به جا می گذارد. پلیمرها می توانند نسبت تحرک را بهبود بخشند و بنابراین راندمان جابجایی را در مخزن افزایش دهند.

#### ۶. مکانیزم های جابجایی

های جذب و در نتیجه افزایش حجم منافذ غیرقابل دسترس را در پی دارد. تا اینجا ماهیت خواص پلیمرها را به طور کلی مورد مطالعه قرار دادیم. تاثیر نرخ برشی، غلظت، وزن ملکولی حلال را می توان در ویسکوزیته های چرخشی و موئینه مشاهده کرد. اما رفتار پلیمرها در محیط متخلخل از جریان موئینه در نظر گرفته شده تا اینجا پیچیده تر می باشد خصوصا اگر اندازه حفره در محیط به اندازه ملکول پلیمر باشد.

## ۷. کاهش نفوذپذیری

در این مقاله معادله داری برای بررسی جریان سیال در یک محیط متخلخل به کار می رود. از آنجا که برای محلول پلیمری و دیگر سیالات غیر نیوتنی، ویسکوزیته مقدار ثابتی ندارد و تابعی از پارامتر جریان (یعنی  $q$ ) می باشد. معادله داری باید اصلاح شود. با این وجود برای یک سری شرایط جریانی، می توان با استفاده از مدل کاهش قدرت، ویسکوزیته ظاهری را محاسبه و آن را در معادله داری به کار برد. ویسکوزیته بدست آمده از جریان پلیمر در محیط متخلخل حاکی از ویسکوزیته ظاهری بیشتر از نتایج بدست آمده از اندازه گیری های جریان موئینه می باشد. به عبارت دیگر، تحرک پلیمر از آنچه انتظار می رود کمتر خواهد بود. بررسی معادله داری نشان می دهد که این کاهش غیر منتظره در تحرک به خاطر کاهش چشمگیر نفوذپذیری ارائه شده است. معیار کاهش تحرک، فاکتور مقاومت نام دارد. مقادیر بزرگ فاکتور مقاومت که حتی با غلظت های کم پلیمر را در مقایسه با دیگر روش های کاهش می توان به آن دست یافت پتانسیل اقتصادی پروژه های تزریق پلیمر را در مقایسه با دیگر روش های کاهش تحرک افزایش می دهد.

### حفاظت پلیمر

واضح ترین دلیل ارائه شده برای کاهش تحرک پذیری در محیط متخلخل، حفاظت پلیمر می باشد. آزمایش های متعدد نشان داده اند که محلول های پلیمری تزریق شده به نمونه های مغزه یا محیط متخلخل شبیه سازی شده کاهش چشمگیر غلظت پلیمر را در پی دارند.

### جذب

در این مقاله تست های جذب تعادلی استاتیک با پلیمرهای متعدد خصوصا پلی آکریل امید انجام شده اند نشان داده شده که پلیمرها روی اغلب کانی های مخزن جذب می شوند. با افزایش غلظت پلیمر حداقل تا 500 ppm جذب افزایش می یابد. شوری حلال نقش

در این مقاله در برخی فرآیندهای بازیافت ثانویه، مانند روش گرمایی کاهش نسبت تحرک از طریق کاهش ویسکوزیته موثر نفت انجام می گیرد. از طرفی، محلول های پلیمری، نسبت تحرک را از طریق افزایش ویسکوزیته موثر آب در فرآیند سیلاب زنی آب کاهش می دهند. اگرچه واضح ترین روش کاهش نسبت تحرک توسط محلول های پلیمری، افزایش ویسکوزیته موثر آب می باشد اما این روش مهم ترین روش نمی باشد.

ملکول پلیمر را می توان به صورت مجموعه فیبری مشاهده کرد. در یک حلال مناسب پلیمر کاملا گسترش می یابد و تماس خود را با حلال افزایش می دهد که باعث انعطاف پذیر شدن ملکول می شود با گسترش ملکول پلیمر، گیرهای پلیمر- پلیمر افزایش می یابد. بنابراین ویسکوزیته ظاهری پلیمر افزایش می یابد. اما با افزودن نمک، الکترولیت بار ملکول پلیمر را خنثی می کند. با از بین رفتن بار خالص نیرویی که موجب گسترش پلیمر می شود و از بین می رود و با افزایش غلظت نمک، ملکول پلیمر کوچک شده و همان گونه که می دانیم ویسکوزیته محلول کاهش می یابد. تقابل یونی بین حلال و پلیمر، افزایش حساسیت ویسکوزیته محلول به غلظت نمک برای پلیمرهای یونی را در پی دارد. ماهیت فیبری پلیمر و توانایی آن در گسترش باعث می شود که وزن ملکولی عاملی مهم بر تغییر ویسکوزیته سیال باشد. در شرایط مشابه، پلیمری با وزن ملکولی بالا دارای ویسکوزیته ظاهری بالاتری از پلیمر با وزن ملکولی پایین می باشد.

درجه هیدرولیز بر رئولوژی پلیمر و بنابراین عملکرد پلیمر در مخزن تاثیر می گذارد. آزمایشات ما نشان داد که ویسکوزیته ظاهری پلی آکریل امید هیدرولیز نشده مربوط می باشد با افزایش درجه هیدرولیز ویسکوزیته ظاهری افزایش می یابد اگرچه این اختلاف در مقایسه با اثر هیدرولیز اولیه بسیار کوچک می باشد. افزودن نمک، کاهش اثر هیدرولیز را در پی دارد. نمک های دو ظرفیتی (مانند کلسیم کلرید) اثر بیشتری از نمک های تک ظرفیتی (چون سدیم کلرید) دارند. این مشاهدات با اثر یونی حلال ها که در قسمت قبلی توضیح داده شد، کاملا تطابق دارد. در آب مقطر، بارهای روی ملکول هیدرولیز شده، Uncoiled زنجیره ملکولی را افزایش می دهد. با افزایش غلظت نمک حلال، Uncoiled ایجاد شده توسط نیروهای دافعه از بین می رود. مطالعات Martin (2017) بیانگر آن است که با افزایش درجه هیدرولیز حفاظت پلیمر کاهش می یابد، برخلاف کاهش حفاظت پلیمر هیدرولیز شده تحرک پلیمر هیدرولیز شده کمتر از تحرک پلیمر نشده است این رفتار را به اندازه نسبی ملکولی نسبت می دهند. پلیمر هیدرولیز شده دارای قطر موثر بزرگتر می باشد که افزایش فاکتور مقاومت و در نتیجه کاهش تحرک را در پی دارد. همچنین قطر بزرگتر پلیمر هیدرولیز شده کاهش تعداد مکان

مهم را در میزان جذب بازی می کند اگرچه اختلاف نظرهای زیادی در آزمایش های مشاهده وجود دارد اتفاق نظر بر این است که با افزایش غلظت نمک، جذب افزایش می یابد. مطالعات دینامیک جذب نیز توسط مشاهده حفاظت پلیمر در جریان پیوسته از محیط متخلخل مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش Martin (۲۰۱۷) نشان داد که ملکول پلیمر به صورت تک لایه روی سطح سنگ جذب می شود. بارهای یونی پلیمر یکی از فاکتورهای محدودکننده دانسیته جذب هستند. اگرچه مطالعات نشان می دهد که ملکول پلیمر در حالت جذب فضای کمتری از حالت حضور در یک محلول رقیق اشغال می کند. اندازه ملکول پلیمر نیز دانسیته نهایی جذب را محدود می کند. یکی دیگر از دلایل مهم کاهش نفوذپذیری با محلول های پلیمری به تله افتادن است. این پدیده را نوعی تغییر در IPV می توان دانست. به جای دهانه های کوچک حفره که جریان پلیمر به داخل حفره را محدود می کنند یک فضای منفذ را در نظر بگیرید که در یک طرف دهانه کوچک و در طرف دیگر، دهانه نسبتا بزرگی دارد. در صورتی که دهانه بزرگ با جریان سیال مواجه شود پلیمر می تواند وارد دهانه حفره شود اما نمی تواند از آن خارج شود و بنابراین در آنجا به تله می افتد احتمال این مکانیزم زمانی افزایش می یابد که با ملکول های پلی آکریل آمید سر و کار داریم. با جریان این پلیمر ملکول کشیده می شود و به راحتی وارد حفره هایی با دهانه نسبتا کوچک می شوند. در دهانه حفره که جریان محدود شده است این ملکول سیم پیچ می شود. این ملکول در محیط هایی با نرخ برش پایین سیم پیچ می شود. بنابراین قطر موثر افزایش و درصد خروج ملکول از فضای منافذ کاهش می یابد. توجه به این نکته حائز اهمیت است که به تله افتادن و مسدود شدن حفره ها با هم تفاوت اساسی دارند. پلیمر به تله افتاده آزادی لازم برای عبور نفت و دیگر سیالات غیر آبی را دارد در حالی که مسدود شدن فیزیکی حفره ها مانع غیر قابل بازگشت جریان به تمامی جریان ها می باشد.

### شکست برشی

نتایج آزمایشات ما نشان داد تمامی مباحث مطرح شده تا اینجا، در مورد فاکتورهای موثر بر کاهش تحرک محلولهای پلیمری در محیط متخلخل بوده است. این مکانیزم ها جهت دستیابی به کنترل تحرک با استفاده از پلیمرها مطلوب هستند. اما فاکتور منفی مهمی را نیز در اینجا باید در نظر بگیریم. پلیمرهای بلند زنجیره انعطاف پذیر خصوصا پلی آکریل آمید، به شکست برشی حساس هستند. این شکست شامل شکست زنجیره پلیمر به چندین زنجیره ملکولی کوچکتر می باشد. با افزایش نرخ برش این شکست افزایش می یابد. اما نوع برش تاثیر زیادی روی میزان شکست دارد. چنین شکستی باعث تغییرات در وزن ملکولی متوسط، فاکتور غربال و ویسکوزیته محلول دارد. فاکتور غربال نسبت به شکست برشی حساس تر است

تا به ویسکوزیته محلول. بنابراین فاکتور غربال به طور گسترده ای برای دستیابی به کیفیت رئولوژیکی یک محلول پلی آکریل آمید مورد استفاده قرار می گیرد. در کارهای میدانی، خواص ویسکوالاستیک محلول پلی آکریل آمید توسط دستگاه ساده به نام ویسکومتر غربال بررسی و محاسبه می شود.

### معیار انتخاب مخازن مناسب

نتایج آزمایشات مان نشان داد در صورتی که نسبت تحرک موجود، پایین (۲ به ۲۰) باشد، با توزیع نفوذپذیری در مخزن موجود، تزریق پلیمر پتانسیل مناسبی را به پروسه تزریق آب خواهد داد. اگر نسبت تحرک موجود بیش از ۲۰ باشد انجام عملیات تزریق پلیمر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود و از طرف دیگر در صورتی که نسبت تحرک موجود نزدیک به یک باشد برداشت قابل ملاحظه ای از عملیات تزریق پلیمر به دست نمی آید. اگر پروسه تزریق آب موجود به دلایلی غیر از نسبت تحرک پایین یا تغییر نفوذپذیری ضعیف عمل می کند پروسه تزریق پلیمر نیز نمی تواند مشکل را حل کند. به عبارت دیگر اگر نسبت آب به نفت بالا به خاطر مخروطی شدن آب لایه ای با نفوذپذیری بالا یا ویسکوزیته بالای نفت (تقریبا تا ۳۰۰ سانتی پواز) باشد استفاده از پلیمر از نظر اقتصادی، مطلوب می باشد. تزریق سیال با تولید سیال باید تقریبا مساوی باشد در صورت مشاهده عدم تعادل، پلیمر، کلاهک گازی یا مناطق خالی را پر کرده، هدر می رود و وجود آبه گسترده نیز منجر به هدرروی چشمگیر پلیمر می شود. دیگر استفاده نامناسب از پلیمرها، استفاده آنها در مناطق با شکستگی فراوان می باشد. پلیمرها از این مناطق به راحتی عبور می کنند، بدون این که کاهش تحرک در محیط متخلخل را در پی داشته باشند. دمای مخزن باید کمتر از ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه فارنهایت باشد. مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که اغلب محلول های پلیمری در این دماها شدیداً شکسته شده، کارایی خود را از دست می دهند. مخازن با رانش آب با تولید آب بسیار کم یا بدون تولید آب کاندیدای مناسبی جهت پروسه تزریق پلیمر به حساب می آیند. روش آب رویی در برخی مخازن خاص کارایی ندارد. شکستگی های طبیعی یا زون های تراوایی بالا در سنگ های مخزن گاهی باعث می شود که آب تزریقی در مسیرهایی که کمترین مقاومت را در مقابل جریان آب نشان می دهند حرکت کرده و از نفت درجا عبور نماید بدون آن که موجب حرکت آن شود. نفت های سنگین یا خیلی ویسکوز اغلب مشکلاتی برای عملیات آب رویی ایجاد می کنند زیرا در مقابل حرکت آزادانه آب مقاومت می کنند. برای ممانعت از رد شدن آب تزریقی از نفت، می توان آب را با افزایش پلیمرهای محلول در آن تغلیظ کرده و گرانیوی آن را بیشتر نمود در نتیجه نفوذپذیری فاز آب کاهش می یابد که این امر سبب کاهش نسبی تحرک خواهد شد. مهم ترین

به منظور مشخص کردن شرایط بهینه برای کاربرد آکریل- آمیدها و تری پلیمرها برای کنترل آب درون چاه های گازی انجام دادیم. نویسندگان مقاله ابتدا بر اساس نتایج آزمایشگاهی سه نوع پلیمر را جهت کاهش تولید آب در چاه های گازی انتخاب نمودند. دو نوع از این پلیمرها بنیان تری پلیمری و نوع دیگر پلیمر مورد استفاده آنها بنیان پلی آکریل آمیدی داشت. آنها پایداری حرارتی تری پلیمر و پراتسل را بررسی کردند و مشاهده نمودند که تا دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد تری پلیمرها در شرایط بدون هوا تقریباً پایدار هستند (در یک دوره ۹ ماهه تا بیش از ۸۰ درصد خاصیت ویسکوزیته اولیه شان را حفظ نمودند) و محلول پراتسل در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد در یک دوره ۶ ماهه تا بیش از ۸۰ درصد خاصیت ویسکوزیته اولیه شان را حفظ نمودند. دومین پارامتر مهمی که آنها بررسی نمودند قابلیت تزریق پذیری این پلیمرها بود.

بعد از انجام آزمایشات به نتایج زیر دست پیدا کردیم:

۱. آکریل آمید تری پلیمرها حلالیت و سازگاری خیلی خوبی با انواع آب شور مخزن دارند و تا دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد پایداری حرارتی خوبی دارند. به دلیل تزریق پذیری خوب آکریل آمید تری پلیمرها از آنها در مخازن با تراوایی کم، شوری بالا و دمای بالا استفاده می شود.

۲. کاتیونیک آکریل آمید کوپلیمر حلالیت و سازگاری خوبی با آب مخزن با شوری بالا دارند و استفاده از این نوع پلیمرها در مخازن با دمای کم و تراوایی بین ۰/۰۴ تا ۳ میکرومتر توصیه می شود. در جدول ۱ شرایط لازم برای تزریق پلیمر آورده شده است.

مسئله در رابطه با سیلاب زنی پلیمر، مسئله اقتصادی می باشد. سیلاب زنی پلیمر معمولاً زمانی اقتصادی خواهد بود که اولاً تحرک نسبی هنگام سیلاب زنی با آب زیاد باشد و ثانیاً ناهمگونی در مخزن زیاد باشد یا هر دوی این حالت ها باشد. کاربرد پلیمر در ازدیاد برداشت از مخازن معمولاً با افزودن مواد پلیمری به عنوان عاملی که کاهش دهنده تحرک آب یا کاهش دهنده نسبت تحرک آب نفت است، می باشد. به چند دلیل از پلیمرها برای تولید و ازدیاد برداشت نفت استفاده می شود که عبارتند از :

۱. به عنوان عامل کناری چاه، این مواد پلیمری به وسیله مسدود کردن منافذ، کارایی تزریق آب یا پساب تولیدکننده ها را افزایش می دهد (یعنی از ورود آب به چاه های تولیدی ممانعت می کند).  
۲. به عنوان عاملی که در شبکه ای شدن، باعث گرفتگی ناحیه با هدایت بالا در عمق مخزن می گردد.

۳. کنترل کننده تحرک در فرآیندهای تزریق مواد کاهنده کشش سطحی و قلیایی.

۴. آماده سازی قبلی مخازن نفت جهت جابجایی نفت در مواردی که سیال تزریقی با آب نمک مخزن سازگار نمی باشد.

پروژه تزریق پلیمر معمولاً شامل مراحل زیر می باشد:

- ریختن آب با فشار روی منافذ، شامل آب شور با شوری پایین
- جبهه نفت
- محلول پلیمر
- بافر آب شیرین جهت محافظت از محلول پلیمری
- 

## ۸. مطالعات میدانی موفق آمیز تزریق پلیمر

جدول ۱: شرایط لازم برای تزریق پلیمر

گراویتی (API)	< 25	عمق (ft)	9000 >
ویسکوزیته (CP)	150 >	دما (F)	225 >
ترکیب نفت	N.C	تخلخل (%)	< 10
اشباع نفت	< 10% PV	فشار	-
نوع سازند	ماسه سنگ و هموزن	محتوی رس (%)	5 >
ضخامت (ft)	N.C	شوری (ppm)	20000 >
نفوذپذیری میانگین (md)	< 10	سختی (ppm)	500 >

۲. پلیمرروبی اغلب وقتی نتایج خوبی به همراه خواهد داشت، که تزریق پلیمر قبل از بیشتر شدن افراطی نسبت آب به نفت در مخزن آغاز شود.

۳. رس جذب سطحی پلیمر را افزایش می دهد.

## محدودیت های روش تزریق پلیمر

۱. برای نفت های بسیار ویسکوز، پلیمرهای بسیار غلیظ باید به کار روند.

۴. بعضی ناهمگونی های مخزن قابل قبول است ولی شکاف های وسیع عملیات را با مشکل مواجه می نماید. اگر چنین شکاف هایی در مخزن مورد مطالعه وجود داشت می بایست از تکنیک های ضربات پیوسته یا تزریق ژل پلیمر استفاده نمود. در این روش چالش هایی وجود دارد که قبل از استفاده از این روش باید این موارد را در نظر گرفت:

۱. تزریق کم نسبت به آب، می تواند در گام های نخست پلیمرروبی، به طور معکوس عمل نموده و ضریب بازیافت نفت را کاهش دهد.  
۲. پلیمرهای آکریل آمید باعث کاهش بیش از حد ویسکوزیته و تخریب مواد شده و میزان شوری و درصد یون های دو ظرفیتی را بالا می برند.

۳. قیمت پلیمرهای زانتان زیاد بوده، توسط باکتری ها تخریب گشته و دارای پتانسیل زیادی برای توده ای نمودن و تخریب سازند می باشند.

#### ۹. نتیجه گیری

با توجه به مطالب گفته، روش تزریق پلیمر HPAM روش بسیار مناسب برای ازدیاد برداشت نفت در مخازن نفتی می باشد. البته باید محدودیت ها و چالش های این روش را نیز در نظر گرفت تا بتوان بیشترین برداشت نفت را حاصل کرد.

#### منابع

- [1] Akin, S., Bagci, S., "A Laboratory Study of Single-Well Steam – Assisted Gravity Drainage Process", journal of Petroleum Science Engineering, 2016.
- [2] H. Karimaie, G. R. Darvish, E. Lindeberg, O. Torsaeter Secondary and Tertiary Gas Injection In Fractured Carbonate Rock : Experimental Study, Journal Of Petroleum Science and Engineering 62 (2015) 45-51.
- [3] Kharrat, R., Azin, R. Ghotbi, S. and Vossoughi, R. "Applicability Of The Vapex Process To Iranian Heavy Oil Reservoirs, "SPE 92720, Presented at the MEOS , Bahrain, March 2015.
- [4] Christie Lee, Paul Berger "Surfactant injection projects-field cases" ppt, 20.
- [5] Latil, M., "Enhanced Oil Recovery" Institute ۲۰ Francis Du Petrole Publication", 13.