

بررسی آزمایشگاهی اثر پارامترهای موثر بر زمان بندش / پایداری / گرانی / هیدروژل‌های بر پایه زانتان در عملیات کنترل تولید آب

راضیه دستجانی فراهانی، محسن وفائی سفتی^{*}، آرزو جعفری، دانشگاه تربیت مدرس تهران ■ مهسا باغبان صالحی، پژوهشگاه شیمی و مهندسی

چکیده

تولید آب یکی از مشکلات عمده فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی در ارتباط با تولید نفت و گاز در بهره‌برداری و توسعه میادین هیدروکربنی است که می‌تواند عمر تولید چاه‌های نفت و گاز را محدود کرده و موجب مشکلات زیادی از جمله خوردگی لوله‌ها و تجهیزات، مهاجرت ذرات و بارگذاری هیدرواستاتیکی گردد. عملیات تزریق ژل پلیمر یکی از مؤثرترین روش‌های کنترل تولید آب مخزن می‌باشد. در این پژوهش به علت وجود مشکلات زیست‌محیطی پلیمرهای سنتزی و از طرفی زیست‌تخریب‌پذیر و زیست‌سازگار بودن پلیمرهای طبیعی، از بیوپلیمر زانتان برای تشکیل ژل پلیمر مناسب جهت کنترل تولید آب استفاده شده است. همچنین عملکرد هیدروژل‌های پایه زانتان در شرایط مخازن نفتی از جمله دما، pH و شوری، بررسی و تأثیر این عوامل بر پایداری، زمان بندش و گرانی هیدروژل‌های پلیمری مطالعه شده است. با استفاده از تست‌های بطری، زمان بندش و مدت‌زمان پایداری هیدروژل‌ها بررسی و با استفاده از آزمون‌های رئولوژی، استحکام ساختاری هیدروژل‌های بر پایه زانتان در برابر شوری، دما و pH اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن نمک کلرید سدیم^۱ سبب افزایش زمان بندش و همچنین افزایش پایداری هیدروژل‌ها تا ۶۴ روز شده و همچنین تغییر pH سبب کاهش پایداری هیدروژل‌ها می‌گردد. افزون بر این، افزایش دمای هیدروژل‌ها تا دمای ۹۰°C سبب کاهش زمان بندش و همچنین کاهش پایداری هیدروژل‌های بر پایه زانتان تا حدود ۲ روز می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۲/۱۰

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۴/۲۱

واژگان کلیدی:

کنترل تولید آب، ژل پلیمر، شوری، pH، دما، زانتان، پلیمرهای طبیعی، رئولوژی

مقدمه

مشکل تولید آب در میادین نفت و گاز یکی از معضلات بزرگ بوده که کنترل و مقابله با آن هزینه‌های بالایی را به همراه دارد. هزینه‌های ناشی از خوردگی، کاهش تولید، هزینه‌های عملیات پالایش، انجام آزمایشات و ... همگی به‌واسطه مشکل تولید آب در میادین نفتی می‌باشد که باید با مدیریت صحیح توسعه مخزن در راستای حل این مشکل گام اساسی برداشت. آب تولید شده نشان‌دهنده بزرگ‌ترین جریان اتلافی در ارتباط با تولید نفت و گاز می‌باشد. غالباً می‌توان از تولید آب با استفاده از شیوه‌های جدید حفاری مانند حفاری چاه‌های افقی، انحرافی و یا مکمل اجتناب کرد. طرح‌های مختلف تکمیل چاه در راستای مدیریت تولید آب از طریق تکمیل انتخابی نواحی خشک، قرار دادن یک لوله‌ی آستری^۲ و یا نصب تجهیزات جداسازی جریان ته‌چاهی، پیشنهاد می‌گردد. علاوه بر این، تزریق مواد شیمیایی پلیمری به‌عنوان یکی از تکنیک‌های کنترل تولید آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین عملیات کنترل تولید آب از طریق اصل تغییر تراوایی صورت می‌گیرد[۱].

بسیاری از مخازن تغییرات زیادی در نفوذپذیری با عمق دارند که برخی از این تغییرات ناشی از محیط رسوب‌گذاری می‌باشد که در هنگام به‌وجود آمدن ساختار ایجاد شده است. در موارد دیگر ممکن است تغییرات رسوبی مانند شکاف و یا دیاژنز عامل این تغییرات باشد. هنگامی که در چنین سیستم‌های ناهمگنی فرآیند بازیافت ثانویه مانند سیلاب‌زنی آب^۳ اجرا شود، سیالات تزریقی در جهت کمترین مقاومت، برخی از لایه‌های حاوی نفت را کنار می‌گذارند. این نواحی هرزرونده رانده‌مان جابه‌جایی حجمی در فرآیند جانشین‌سازی نفت را کاهش می‌دهند[۲].

چندین روش برای تغییر نفوذپذیری در مجاورت چاه تزریقی پیشنهاد شده است که از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان تزریق مخلوط سیمان، جامدات ریز، سیلیکاژل، مونومرهای که پلیمریزاسیون درجا دارند، پلیمرهای محلول در آب و ژل‌ها یا ساختارهای کلونیدی که به‌وسیله‌ی یون‌های فلزی و پلیمرها ساخته شده‌اند را نام برد[۳]. روش‌های ویژه شیمیایی زمانی به کار می‌روند که علت اصلی تولید آب، ناهمگنی مخزن باشد. عملیات تزریق ژل معمولاً برای بهبود عملکرد و کنترل کانالیزه شدن آب و گاز در مخازن کاربرد دارد. هدف اصلی از تزریق ژل پلیمر به مخزن کاهش قابل توجه جریان آب از میان کانال‌هایی با تراوایی بالا بدون آسیب‌زدن به نواحی تولید نفت می‌باشد. توانایی ژل‌ها برای کاهش تراوایی آب نسبت به تراوایی نفت، یک جنبه اساسی فرآیند کنترل آب، هم در چاه‌های تولیدی و هم در کنترل سیال منحرف شده در عمق می‌باشد[۴].

تزریق ژل پلیمر یکی از روش‌های مؤثر کنترل تولید آب در مخزن است. ژل پلیمر می‌تواند از میان شکاف‌ها جریان یافته و برای پایداری در برابر فشار بالا به اندازه کافی مقاومت داشته باشد. همچنین می‌تواند در لایه‌هایی با تراوایی بالا و اشباع بالای آب، برای کاهش تراوایی و مسدود کردن کانال‌های آب، مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا ژل‌های پلیمری شبکه‌شده قابل استفاده در چاه‌های تولیدی با جریان آب یا گاز اضافی بوده و همچنین می‌تواند در چاه‌های تزریقی با تزریق‌پذیری پایین کاربردی باشد[۵]. پلیمر ابتدا شبکه‌ای شده و سپس با گذشت زمان و دما ژلی جامد را تشکیل می‌دهد. برای شبکه‌ای کردن پلیمر دو دسته عامل شبکه‌ای‌کننده وجود دارد: شبکه‌کننده‌های فلزی و آلی. معمول‌ترین عامل شبکه‌کننده فلزی، عامل

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (vafaiasm@modares.ac.ir)

طبیعی به دما، pH و شوری، در این پژوهش مد نظر است که تأثیر این عوامل بر روی مدت زمان پایداری، استحکام، زمان بندش و گرانروی هیدروژل‌های بر پایه زانتان مورد بررسی قرار گیرد. ارزیابی اثر شوری دما و pH بر روی مدت زمان پایداری و زمان بندش هیدروژل‌های بر پایه زانتان با استفاده از تست بطری در این پژوهش برای اولین بار انجام شده است.

۱- مواد و روش تحقیق

۱-۱- مواد استفاده شده در تحقیق

در این پژوهش از بیوپلیمر زانتان شرکت تیتراکم ایران، استات کروم III $Cr(CH_3COO)_3$ شرکت Carlo Erba (ایتالیا) به عنوان عامل شبکه‌کننده، سدیم کلرید (NaCl) و سدیم هیدروکسید (NaOH) و هیدروکلریک اسید ۳۷٪ مرک (آلمان) استفاده شد. استات کروم (III) به عنوان عامل شبکه‌کننده و نمک سدیم کلرید برای تهیه آب نمک برای ارزیابی اثر شوری مورد استفاده قرار گرفته و همچنین برای تغییر pH محلول‌ها با استفاده از هیدروکلریک اسید و سدیم هیدروکسید، pH حلال مورد استفاده در هیدروژل‌ها تنظیم گردید.

۱-۲- روش آزمایش

برای تهیه هیدروژل‌ها و افزایش دقت آزمایش‌ها و با توجه به اهمیت تشکیل محلول یکنواخت ژلانت، ابتدا محلول پلیمری با غلظت ۱ درصد زانتان با استفاده از پودر زانتان و آب مقطر تهیه و این محلول به مدت ۴۸ ساعت توسط همزن مکانیکی هم‌زده شد. سپس برای یکنواخت شدن محلول پلیمری به مدت ۲۴ ساعت به صورت کاملاً ساکن قرار گرفت.

در مرحله‌ی بعد استات کروم با آب مقطر توسط همزن مغناطیسی مخلوط شده و سپس با توجه به تست‌های طراحی شده محلول‌های ژلانت در غلظت‌های مختلف بیوپلیمر زانتان و نسبت وزنی عامل شبکه‌کننده استات کروم (III) به پلیمر و دیگر افزودنی‌ها در دمای محیط توسط همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه تهیه شد. سپس محلول ژلانت تهیه شده برای بررسی زمان بندش و مدت پایداری توسط تست بطری تحت دمای $60^\circ C$ مورد ارزیابی قرار گرفتند. در تست‌های بطری نرخ ژل شدن و استحکام ژل بر اساس کدبندی Sydansک تعیین می‌گردد که در آن زمان تشکیل شبکه سه بعدی ژل بر اساس میزان استحکام ژل، به صورت کدهای الفبایی برای ژل روان (A, B, C, D, E)، ژل غیر روان (F, G, H) و ژل سفت (I) بیان می‌شود [۱۲].

برای انجام آزمایش‌ها از بطری‌های درب آبی شرکت زیماکس با حجم حدود ۱۰۰ میلی‌لیتر استفاده شد. با توجه به حساسیت دمایی صمغ زانتان دمای $60^\circ C$ به عنوان دمای مبنای آزمایش‌ها قرار گرفت. همچنین پایداری ژل‌ها به صورت کیفی و چشمی اندازه‌گیری می‌شود که با توجه به کدبندی Sydansک کد H به عنوان زمان بندش ژل تعیین گردید. برای اندازه‌گیری گرانروی از ویسکومتر QC ساخت شرکت Anton Paar و اسپیندل CC27

شبکه‌کننده بر مبنای کروم می‌باشد. شایان ذکر است که عوامل شبکه‌کننده فلزی شامل Al^{3+} ، Cr^{3+} و Cr^{6+} می‌باشند [۶].

ژل‌های پلیمری شامل یک پلیمر و یک عامل شبکه‌ساز محلول در آب هستند. محلول به دست آمده از ترکیب پلیمر و عامل شبکه‌ساز اصطلاحاً ژلانت نامیده می‌شود. عامل شبکه‌ای‌کننده، زنجیره‌های پلیمری را به یکدیگر متصل کرده و بعد از مدت زمان معینی شبکه سه‌بعدی از ژل تشکیل می‌شود [۷].

پلیمرهای مختلفی برای استفاده در فرآیند کنترل تولید آب وجود دارد. برای محلول‌های مختلف پلیمری خواص تحت تأثیر پارامترهایی مانند ویسکوزیته محلول، اثر تنش برشی، دما، پایداری pH، میزان O_2 و از همه مهم‌تر شوری می‌باشد. معیارهای غربالگری برای انتخاب پلیمر که عمدتاً بر مبنای خواص پلیمر و مخزن است، شامل قیمت، خواص تصفیه، دمای مخزن، جنس سنگ، تراوایی مخزن، سازگاری با شوری و کلسیم، پایداری حرارتی، پایداری مکانیکی، تزریق‌پذیری خوب، مقاومت در برابر تخریب میکروبی، حساسیت به اکسیژن، هیدروژن سولفید و pH می‌باشد [۸]. تاکنون اکثر پلیمرهای استفاده شده جهت کنترل تولید آب از نوع سنتزی بوده‌اند و در رابطه با پلیمرهای طبیعی، پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است.

در میان بسیاری از ماکرومولکول‌ها و یا پلیمرهایی که در ساخت هیدروژل‌ها به کار می‌روند، پلی‌ساکاریدها در مقایسه با پلیمرهای سنتزی به علت پایین بودن قیمت، تزریق‌پذیری خوب، خواص رئولوژی مناسب و عدم حساسیت به شوری، بسیار سودمند هستند. پلی‌ساکاریدها به صورت وسیع در یاخته‌های زنده وجود دارند و از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آیند. این مواد نیز در مقایسه با پلیمرهای سنتزی، از نظر اقتصادی بسیار باصرفه‌تر هستند. اگرچه هیدروژل‌های بر پایه پلیمرهای سنتزی جاذب آب بسیار خوبی هستند، اما سمی بودن و سرطان‌زایی آنها، کاربرد آنها را در زمینه‌هایی که اکولوژی و یا زیست‌سازگار بودن مطرح است، محدود می‌کند [۹]. بنابراین با توجه به سمی بودن پلیمرهای سنتزی و زیست‌سازگار و زیست‌تخریب‌پذیر بودن پلیمرهای طبیعی، استفاده از بیوپلیمر زانتان به دلیل انحلال‌پذیری خوب در محلول‌های آبی، خواص رئولوژیکی مطلوب و تشکیل ژل با استحکام کافی در غلظت‌های پایین، برای تشکیل ژل‌های پلیمری بسیار مورد توجه است [۱۰]. صمغ زانتان در داشتن عملکرد مناسب در شوری بالا به خوبی شناخته شده است [۱۱]. این پلیمر نسبت به سایر مواد شیمیایی که در کنترل تولید آب مورد استفاده قرار می‌گیرند، انطباق‌پذیری خوبی دارد. نکته‌ی مهمی که در مورد این پلیمر وجود دارد آن است که رفتار کاملاً شبه‌پلاستیک داشته و به آسانی قابل تزریق می‌باشد. همچنین از آنجایی که این پلیمر از واکنش‌های میکروبی به دست می‌آید، در هنگام تزریق همراه با آن از میکروب‌کش‌های مؤثر استفاده می‌شود تا از هم‌پاشیدگی میکروبی^۴ پلیمر را کاهش دهد [۱۱].

افزایش پایداری هیدروژل‌های بر پایه زانتان سبب افزایش مدت زمان تولید بهینه در مخزن شده و همچنین افزایش زمان بندش هیدروژل‌ها امکان قرارگیری آنها را در مخازن بیشتر می‌سازد. در واقع بندش سریع هیدروژل‌ها امکان تزریق آنها را محدود می‌کند. در این میان، به دلیل حساسیت پلیمرهای

استفاده شده و گرانروی محلول ژلانت در نرخ برشی ثابت 5 l/s اندازه گیری شد.

۲- نتایج و بحث

جهت ارزیابی اثر عوامل محیطی مختلف، بر اساس تست‌های اولیه انجام شده، غلظت ثابت پلیمر 5000 ppm و نسبت وزنی عامل شبکه کننده به پلیمر 0/15 به عنوان ترکیب مبنا انتخاب شده و شرایط مختلف دمایی، شوری و pH بر زمان ژل شدن، مدت زمان پایداری و گرانروی محلول ژل مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱- اثر شوری بر خواص هیدروژل‌های بر پایه زانتان

برای بررسی اثر غلظت نمک NaCl بر زمان ژل شدن و مدت زمان پایداری هیدروژل 25 گرم از محلول ژلانت تهیه شده در بطری ریخته شده و تحت دمای 60°C قرار گرفت. همچنین برای بررسی تأثیر شوری بر گرانروی، محلول ژلانت با استفاده از Rheolab QC تحت برش ثابت 5 l/s قرار گرفت. این نرخ نشان دهنده نرخ برش وارد شده بر محلول هیدروژل برای شرایطی است که نرخ جبهه پیشروی جریان در مخزن چند فوت در روز است [13]. سپس گرانروی محلول‌های ژلانت تا مدت زمان 10000 ثانیه در دمای ثابت 60°C اندازه گیری شد. جدول 1- ترکیب درصد هر سه نوع محلول ژلانت،

جدول 1 | ترکیب درصد محلول‌های ژلانت جهت بررسی اثر شوری بر زمان بندش و پایداری

متغیرها	هیدروژل 1	هیدروژل 2	هیدروژل 3
غلظت پلیمر (ppm)	5000	5000	5000
نسبت وزنی استات کروم به پلیمر	0/15	0/15	0/15
غلظت نمک NaCl (ppm)	0	10000	20000
زمان بندش هیدروژل (hr)	20	24	30
مدت زمان پایداری (روز)	10	64	47
کد استحکامی هیدروژل	I	I	I



شکل 1 | بررسی استحکام هیدروژل‌ها در تست بطری

مدت زمان بندش و پایداری هیدروژل‌های بررسی شده توسط تست بطری را نشان می‌دهد.

همچنین نتایج حاصل از تست بطری در شکل 1- و اندازه گیری گرانروی محلول‌های ژلانت در غلظت‌های مختلف نمک در شکل 2- ارائه شده است. با توجه به شکل 1- هر سه ترکیب دارای کد استحکامی I بوده و هیدروژل محکمی تشکیل می‌دهند. همان‌طور که از بررسی پایداری هیدروژل‌ها در تست بطری مشخص است، افزودن نمک سبب افزایش مدت زمان پایداری در غلظت 10000 ppm NaCl شده و سپس با افزایش بیشتر آن به علت رسوب نمک، مدت زمان پایداری آن کاهش می‌یابد. همچنین افزودن نمک مدت زمان بندش ژل را افزایش می‌دهد که به علت کاهش گرانروی ناشی از افزودن نمک به ژلانت است (شکل 2-).

همان‌طور که در شکل 2- مشاهده می‌شود، افزایش غلظت NaCl سبب کاهش گرانروی محلول ژلانت در سرعت برشی 5 l/s می‌گردد که این کاهش گرانروی می‌تواند این‌گونه توضیح داده شود؛ در آب فاقد یون، زنجیره‌های زانتان به علت دافعه بین بارهای منفی در زنجیره‌های جانبی کشیده می‌شوند. این به معنی بزرگ بودن شعاع هیدرودینامیکی زانتان و در نتیجه بالا بودن گرانروی محلول‌های بر پایه زانتان می‌باشد. به نسبتی که غلظت یون‌های سدیم در محلول افزایش می‌یابد، نیروهای دافعه درون زنجیره‌های پلیمر کاهش یافته و سپس به علت اثر غربالگری بارها، زنجیره‌های کوئل افزایش می‌یابد. در نتیجه این تغییرات، شعاع هیدرودینامیکی زنجیره‌های پلیمری کوچک‌تر شده و گرانروی محلول پلیمری کاهش می‌یابد. شایان ذکر است که افزایش شوری از 1000 ppm تا 2000 ppm تأثیر چشمگیری بر میزان گرانروی ندارد. این نتیجه، هم‌خوانی خوبی با نتایج پژوهش Ghoumrassi-Barr و همکاران در سال 2015 دارد [14].

۲-۲- اثر دمای بندش بر خواص هیدروژل‌های بر پایه زانتان

برای بررسی اثر دما بر گرانروی محلول‌های ژلانت، سه نوع نمونه با ترکیب مشخص در سه دمای 30 و 60 و 90°C ساخته شد (جدول 2-). و زمان بندش، مدت زمان پایداری گرانروی آنها در نرخ برشی 5 l/s اندازه گیری شد. همچنین نمودار گرانروی در طول مدت زمان 10000s رسم گردید. (شکل 3-)

نتایج آزمایش‌های بطری نشان می‌دهد که افزایش دما سبب کاهش زمان بندش و همچنین کاهش مدت زمان پایداری هیدروژل‌های بر پایه زانتان می‌گردد [15]. همچنین با افزایش دما هیدروژل‌های قوی‌تری تشکیل و استحکام آنها افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل 3- مشاهده می‌شود با افزایش دما گرانروی محلول ژلانت افزایش پیدا کرده و همچنین زمان ژل شدن محلول کاهش می‌یابد.

در دمای 30°C گرانروی تقریباً با زمان ثابت بوده و بعد از 10000s نیز تغییری در آن مشاهده نشد. اما در دمای 60°C پس از گذشت مدت زمان

۳-۳- اثر pH بر خواص هیدروژل‌های بر پایه زانتان

برای بررسی اثر pH بر گرانروی و زمان ژل شدن هیدروژل‌های بر پایه زانتان، سه ترکیب مختلف با غلظت پلیمر و نسبت وزنی استات کروم (III) به پلیمر مشخص در سه pH مختلف ۳/۵ و ۶/۵ و ۹/۵ انتخاب شد (جدول ۳-۳). pH محلول‌های ژلانت با استفاده از حل کردن سدیم هیدروکسید و هیدروکلریک اسید در حلال تنظیم می‌شود.

نتایج تست بطری نشان می‌دهد که افزایش pH سبب افزایش نرخ ژل شدن سیستم هیدروژل‌های بر پایه زانتان می‌گردد. همچنین محلول با pH اسیدی و بازی، هر دو، مدت زمان پایداری کمتری نسبت به محلول خنثی داشتند. نرخ ژل شدن سیستم هیدروژل‌های زانتان/ کروم (III) به صورت معکوس با غلظت یون هیدروژن متناسب بوده و بنابراین تحت تأثیر pH فضای متخلخل می‌باشد. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که نرخ ژل شدن سیستم هیدروژل زانتان/ کروم (III) با افزایش pH افزایش می‌یابد. Dolan و همکاران نیز به نتایج مشابهی رسیده بودند [۱۳]. همان‌طور که در شکل ۴-۴ مشاهده می‌شود با افزایش pH گرانروی محلول در دمای ثابت ۶۰°C و نرخ برش ثابت ۵/۱، افزایش می‌یابد. مقادیر گرانروی در pH برابر ۳/۵ و ۶/۵ تا حدودی نزدیک به هم بوده ولی در pH برابر ۹/۵ مقادیر گرانروی افزایش می‌یابد. اما پس از گذشت چند ساعت با قرار گرفتن بیشتر محلول تحت دما گرانروی ژل حاوی NaOH به شدت کاهش یافته و ژل خراب می‌شود که با توجه به طولانی بودن زمان تخریب در تست رئولوژی نشان داده نشده است. همچنین در pH نزدیک به خنثی استحکام هیدروژل‌ها بالاتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که گفته شد افزایش پایداری هیدروژل‌های بر پایه زانتان سبب افزایش مدت زمان کنترل تولید آب از مخزن شده و همچنین افزایش زمان بندش هیدروژل‌ها با در نظر گرفتن مدت زمان اجرای عملیات جهت تزریق ژل در چاه، امکان قرارگیری آنها را در لایه مورد نظر از مخزن بیشتر می‌کند. در واقع بندش سریع هیدروژل‌ها امکان تزریق آنها را محدود می‌کند. نتایج نهایی حاصل از بررسی شرایط محیطی مختلف مانند شوری، دما و pH در ذیل ارائه شده است:

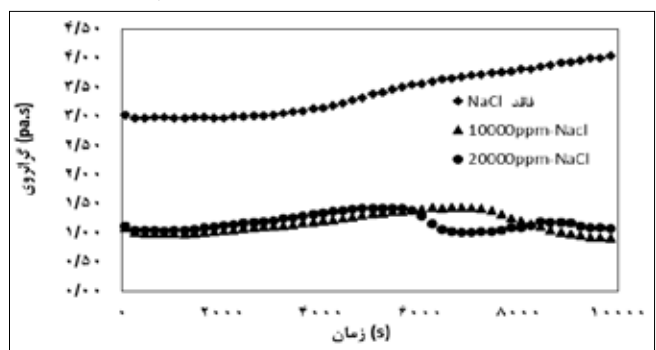
۱- افزودن نمک NaCl به هیدروژل‌های بر پایه زانتان سبب افزایش مدت زمان پایداری محلول‌های حاوی نمک و همچنین کاهش گرانروی هیدروژل‌ها با افزایش غلظت نمک می‌باشد.

۲- افزایش دمای محلول سبب کاهش زمان بندش و مدت زمان پایداری هیدروژل‌های بر پایه زانتان شده و با افزایش دمای محلول از ۶۰°C به ۹۰°C به علت تغییر آرایش ساختاری زانتان از حالت هیلکال به کویل، گرانروی محلول به شدت افت پیدا می‌کند.

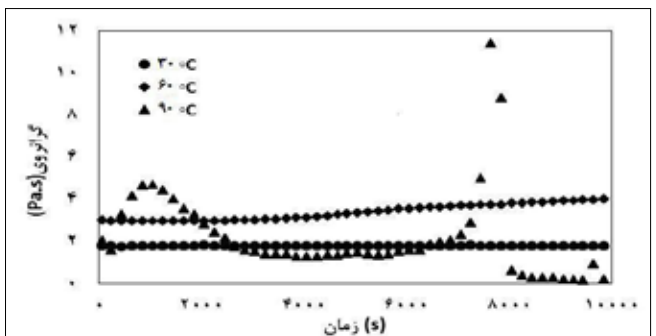
۳- بررسی اثر pH نشان می‌دهد که تغییر pH محلول از حالت خنثی سبب کاهش مدت زمان پایداری شده و افزایش pH سبب کاهش مدت زمان بندش و افزایش گرانروی محلول‌های ژلانت می‌گردد. ■

حدود ۳۰۰۰s، گرانروی ژل افزایش یافته و ژل شدن آغاز می‌شود. در دمای ۹۰°C ژل شدن بسیار سریع رخ داده و بعد از گذشت حدود ۲۰۰ ثانیه آغاز می‌گردد. اما پس از اندکی افزایش، گرانروی اندازه‌گیری شده کاهش یافته و سپس ثابت می‌شود. علت این رفتار هیدروژل بر پایه زانتان تغییر آرایش ساختاری زانتان می‌باشد.

در دمای ۷۵°C آرایش ساختاری زانتان از هیلکال به کویل تغییر کرده و این امر سبب کاهش گرانروی هیدروژل می‌شود. زیرا در حالت هیلکال پیوندهای هیدروژنی موجود در ساختار زانتان سبب پایداری ساختار آن می‌گردد [۱۶، ۱۷]. به همین دلیل دمای ۶۰°C به عنوان دمای مخزن برای آزمایش‌ها انتخاب شده و تست‌های بعدی در این دما انجام شد.



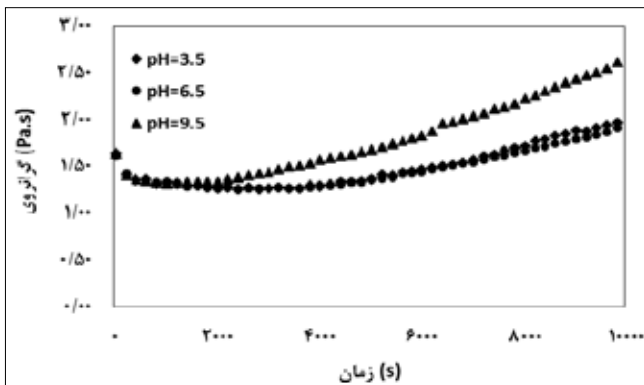
شکل ۲ | بررسی اثر شوری بر گرانروی محلول‌های ژلانت



شکل ۳ | بررسی اثر دما بر گرانروی محلول‌های یکسان ژلانت

جدول ۲ | ترکیب درصد محلول‌های ژلانت جهت بررسی اثر دما بر زمان بندش و پایداری

متغیرها	هیدروژل ۱	هیدروژل ۲	هیدروژل ۳
دمای هیدروژل (°C)	۳۰	۶۰	۹۰
غلظت پلیمر (ppm)	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰
نسبت وزنی استات کروم به پلیمر	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
زمان بندش هیدروژل (hr)	۴۸	۲۰	۸
مدت زمان پایداری (روز)	۱۰۰	۱۰	۲
کد استحکامی هیدروژل	H	I	I



شکل ۴ | بررسی اثر pH بر گرانروی محلول‌های مختلف ژلانت

شکل ۳ | ترکیب درصد محلول‌های ژلانت جهت بررسی اثر pH بر زمان بندش و پایداری

متغیرها	هیدروژل ۱	هیدروژل ۲	هیدروژل ۳
pH هیدروژل‌ها	۳/۵	۶/۵	۹/۵
غلظت پلیمر (ppm)	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰
نسبت وزنی استات کروم به پلیمر	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
زمان بندش هیدروژل (hr)	۳۶	۲۰	۲
مدت زمان پایداری (روز)	۶	۱۰	۱
کد استحکامی هیدروژل	F	I	H

پانویس‌ها

1. NaCl
2. Liner

3. Water Flooding
4. Microbial Degradation

منابع

- [1]. Bedaiwi, E., Al-Anazi, B. and Al-Anazi, A., "Polymer injection for water production control through permeability alteration in fractured reservoir". *Nafta*, 2009. 60(4): p. 221231-.
- [2]. Seright, R., "Placement of gels to modify injection profiles. in SPE Enhanced Oil Recovery Symposium". 1988. Society of Petroleum Engineers.
- [3]. Huang, C., Green, D. and Willhite, P., "An experimental study of the in-situ gelation of chromium (+ 3)/polyacrylamide polymer in porous media". *SPE Reservoir Engineering*, 1986. 1(06): p. 583592-.
- [4]. Imqam, A., et al. "Characterisations of Disproportionate Permeability Reduction of Particle Gels Through Fractures". in *SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition*. 2014. Society of Petroleum Engineers.
- [5]. Miller, M. and Chen. K.. "Water and gas control gel placement. in SPE Western Regional Meeting". 1997. Society of Petroleum Engineers.
- [6]. Sydanski, R. and Romero-Zern, L., "Reservoir conformance improvement". 2011: Society of Petroleum Engineers Richardson, TX.
- [7]. Simjoo, M., Vafaie Sefti, M., Davvand Koohi, A., Hasheminasab, R., Sajadian, V., "Polyacrylamide gel polymer as water shut-off system: preparation and investigation of physical and chemical properties in one of the Iranian oil reservoirs conditions". *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCCE)*, 2007. 26(4): p. 99108-.
- [8]. Rellegadla, S., Prajapat, G. and Agrawal, A., "Polymers for enhanced oil recovery: fundamentals and selection criteria". *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2017: p. 116-.
- [9]. Coviello, T., et al., "Polysaccharide hydrogels for modified release formulations". *Journal of controlled release*, 2007. 119(1): p. 524-.
- [10]. Southwick, J.G., Jamieson, A.M., and Blackwell, J. "Conformation of xanthan dissolved in aqueous urea and sodium chloride solutions". *Carbohydrate Research*, 1982. 99(2): p. 117-127.
- [11]. Abidin, A., Puspasari, T., and Nugroho, W., "Polymers for enhanced oil recovery technology". *Procedia Chemistry*, 2012. 4: p. 1116-.
- [12]. Sydanski, R.D., "Acrylamide-polymer/chromium (III)-carboxylate gels for near wellbore matrix treatments". *SPE Advanced Technology Series*, 1993. 1(01): p. 146152-.
- [13]. Dolan, D., Thiele, J., and Willhite, G., "Effects of pH and Shear on the Gelation of a Cr (III)-Xanthan System". *SPE production & facilities*, 1998. 13(02): p. 97103-.
- [14]. Ghomrassi-Barr, S. and Aliouche. D., "Characterisation and Rheological Study of Xanthan Polymer for Enhanced Oil Recovery (EOR) Application. in Offshore Mediterranean Conference and Exhibition". 2015. Offshore Mediterranean Conference.
- [15]. John, A., Joel, O., and Chukwuma. F. "Evaluating the Effect of Temperature and Polymer Concentration on Properties of Xanthan Gravel Pack Fluid". in *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition*. 2016. Society of Petroleum Engineers.
- [16]. Bejenariu, A., et al., "Stiffness xanthan hydrogels: synthesis, swelling characteristics and controlled release properties". *Polymer bulletin*, 2008. 61(5): p. 631641-.
- [17]. Lecourtier, J., Chauveteau, G., and Muller, G., "Salt-induced extension and dissociation of a native double-stranded xanthan". *International Journal of Biological Macromolecules*, 1986. 8(5): p. 306310-.