

## Abstract

**Research Subject:** Application of hydrogel for well plugging can be considered as a new technology. The required time for formation and strength of the hydrogel in the well conditions (temperature, salinity and pressure) are the main challenges in the application of polymeric hydrogels in the temporary plugging of the well for repairing. The polymer and crosslinker concentration were two effective parameters at the hydrogel gelation time. Increasing of these two parameters leads to increase the viscosity and formation rate of hydrogel.

**Research Approach:** In this work, hydrogel sample containing 23000 ppm of polyacrylamide and 3795 ppm of Chromium acetate (III) as a crosslinker with a gelation time of two hours and structural strength and thermal stability at 90 °C for further studies was synthesized. After selecting the appropriate sample, silica nanoparticles were used to improve the strength of hydrogel. The energy and crystallinity were evaluated by DSC and XRD, respectively. SEM images showed that a homogeneous network of filler was formed in hydrogel. Laboratory wells over a period of one week were used to evaluation of hydrogel ability to tolerate a constant pressure of 20.7 MPa in the desired period. Using the compression test at low strain, the structural characteristics of the hydrogel, such as the molecular weight of the polymer chain between the joints were determined. Swelling behavior and temperature effect on kinetics of hydrogel swelling in different solutions of distilled water, tap water, formation water and oil and its strength in laboratory well conditions were investigated.

**Main Results:** The adhesion test of hydrogel to the metal wall showed that the hydrogel adhesion force of hydrogel including the silica nanoparticles was much higher (more than 3.5 times) than pure one. Based on the swelling test results, the sample retained its strength in different environments. In addition, by increasing the strength of the hydrogel, its swelling in distilled water and tap water decreased by 200%. Based on the results obtained in this study, a hydrogel sample with 0.24 wt% of silica nanoparticles with structural strength and thermal stability at 90 °C with a degradation time of three hours is proposed as a preliminary proposal for field studies.

**Keyword:** Workover operation, Polymer hydrogel, Silica nanoparticles, Hydrogel strength, Rheological properties, Network parameters, Adhesion force, Swelling, Hydrogel degradation

## Conclusions

The hydrogel was prepared by the hydrolyzed polyacrylamide (HPAM), chromium acetate crosslinker and silica nanoparticles. It was observed that increasing the silica nanoparticles reduced the viscosity of gelant at B-time, which results pumping easily into oil well. The swelling characteristics and network parameters such as  $\bar{M}_c$ ,  $v_s$ ,  $\xi$  determined the optimum crosslinker and filler concentration. The results showed that using 9 wt.% of silica nanoparticles in hydrogel was caused the number of tie points between each entanglement increased more than 20 tie points and the elastic modulus increased more than 5,000%. The lifetime and strength of hydrogel increased significantly with these results. The swelling characteristics were obtained. The results showed that the adequate amount of nanoparticles that improved the hydrogel structure was 9 wt.%. According to the results, this system is recommended for a further review of hydrogel using in workover operation of oil well.

## چکیده

**موضوع تحقیق:** انسداد موقت در عملیات تعمیر چاه‌های نفت و گاز لازم و ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از مجرابندهای هیدروژلی از روش‌های نوین در این زمینه است. زمان تشکیل و استحکام هیدروژل در شرایط چاه مورد نظر (دما، شوری و فشار) از مهمترین چالش‌ها در استفاده از هیدروژل‌های پلیمری در انسداد موقت چاه است.

**روش تحقیق:** دو پارامتر موثر در زمان بندش هیدروژل، غلظت پلیمر و عامل شبکه‌ساز بوده که افزایش این دو پارامتر منجر به افزایش گرانروی و نرخ تشکیل هیدروژل می‌شود. پس از انتخاب نمونه مناسب، برای بهبود استحکام آن از نانوذرات سیلیکا استفاده شد. ارزیابی شبکه نمونه‌های هیدروژل تهیه شده از نظر انرژی، بلورینگی و ریخت‌شناسی بررسی شده و شبکه همگنی از پرکننده در هیدروژل حاوی نانوذرات سیلیکا مشاهده و ارزیابی شد. در محدوده تغییر شکل الاستیک، مشخصات ساختاری هیدروژل مانند جرم مولکولی متوسط زنجیره پلیمر بین اتصالات و تعداد گره تعیین شد. رفتار تورمی و اثر دما بر روی سینتیک تورمی هیدروژل در محلول‌های مختلف آب مقطر، آب سازند، آب شیر و نفت و استحکام آن در شرایط چاه آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

**نتایج اصلی:** نمونه هیدروژل حاوی  $23000 \text{ ppm}$  از پلیمر اکریل آمید و  $3800 \text{ ppm}$  از عامل شبکه‌ساز استات کروم (III) با زمان بندش ۲ ساعت و استحکام ساختاری و پایداری حرارتی در دمای  $90^\circ\text{C}$  برای انجام مطالعات بیشتر معرفی شد. نتایج حاصل از چاه آزمایشگاهی در مدت ۱ هفته نشان داد که ژل توانایی پایداری در فشار  $20/7 \text{ MPa}$  را در این مدت دارد. غلظت  $0/24\%$  وزنی از نانو ذرات سیلیکا در هیدروژل باعث افزایش چگالی اتصالات در هیدروژل و نیز افزایش استحکام هیدروژل از  $521 \text{ Pa}$  به حدود  $2620 \text{ Pa}$  شده است. همچنین نتایج آزمون چسبندگی هیدروژل به دیواره فلزی نشان از افزایش بیش از  $3/5$  برابری نیروی چسبندگی هیدروژل حاوی نانوذرات سیلیکا نسبت به نمونه خالص دارد. علاوه بر آن با افزایش استحکام هیدروژل، تورم آن در محیط آب مقطر و آب شیر تا  $20\%$  کاهش یافت. بر اساس نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر، نمونه هیدروژل حاوی بیش از  $0/24\%$  وزنی از نانوذرات سیلیکا با استحکام ساختاری و پایداری حرارتی در دمای  $90^\circ\text{C}$  و با زمان تخریب ۳ ساعت به عنوان پیشنهاد اولیه برای انجام مطالعات میدانی معرفی می‌شود.

**کلید واژه:** تعمیر چاه، هیدروژل پلیمری، نانو ذره سیلیکا، استحکام هیدروژل، رئولوژی، پارامتر شبکه، نیروی چسبندگی، تورم، ژل

زدایی

## نتیجه‌گیری

مطالعات ریخت شناسی و ساختاری نمونه‌های هیدروژل نانوکامپوزیتی (تقویت شده با نانوذرات سیلیکا) نشان از تشکیل شبکه هیبریدی شیمیایی و فیزیکی در نمونه دارد. شبکه فیزیکی نانوذرات با اثر هم‌افزایی قابل توجه، خواص هیدروژل را افزایش می‌دهد. بیشترین خواص مطلوب در غلظت ۰/۲۴ درصد وزنی نانوذرات (آستانه هم‌پوشانی) مشاهده شد. با ایجاد شبکه‌ی ثانویه پرکننده در نمونه‌های هیدروژل، پارامترهای ساختاری جدیدی برای شبکه دوگانه ایجاد می‌شود. در این شرایط، شبکه‌ی کلی فشرده و مستحکم با چگالی اتصال عرضی (شیمیایی و فیزیکی) ایجاد می‌شود. ایجاد شبکه دوگانه در نمونه با ۰/۲۴ درصد وزنی نانوذرات سیلیکا، مدول الاستیک و چسبندگی هیدروژل به فولاد را به ترتیب ۵۰۰۰ و ۳۵۰ درصد افزایش می‌دهد.

تأثیر محلول‌های مختلف آب مقطر، آب سازند، آب شیر و نفت بر روی پایداری و زمان ژل شدن هیدروژل‌ها نشان داد که ژلانت توانایی ژل شدن در محیط‌های مختلف را در دمای ۹۰ °C (طبق کدبندی سیدانسک) دارد و استحکام خود را به خوبی در محیط در مدت ۱ ماه حفظ کرده است. افزودن نانو ذرات سیلیکا باعث بهبود قابل توجه پایداری هیدروژل پلیمر و کاهش حدود ۲۰٪ تورم آن در آب مقطر و آب شیر به دلیل افزایش شبکه شدن و استحکام هیدروژل شده است.