



# Improvement in the Performance of Potato Starch Used in the Water-Based Drilling Fluid via Its Chemical Modification by Grafting Copolymerization

M. Abdollahi<sup>1\*</sup>, A. Varamesh<sup>1</sup>, and A. Nasiri<sup>2</sup>

(1) Research Center of Polymer Synthesis, Division of Polymer Science and Technology,

(2) Research Center of Drilling and Well Completion, Division of Exploration and Production;  
Research Institute of Petroleum Industry, P.O. Box: 14665-1998, Tehran, Iran

Received 20 May 2009, accepted 5 September 2009

## ABSTRACT

**I**ncreasing the thermal stability and resistance to bacterial attack (bioresistance) of the potato starch used in the water-based drilling fluid is the aim of this work. Four types of potato starch grafted with acrylamide and a mixture of each one with acrylic acid, 2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfuric acid and itaconic acid were synthesized by manganese (IV)-induced redox system at the suitable concentrations of initiator and monomer(s). FTIR spectroscopy was used to verify the grafting of monomers onto the starch. The effect of grafted starches on the rheological and fluid loss properties before and after aging of the water-based drilling fluid prepared with fresh water, 4% saline and the South applied method were investigated. The results showed that temperature and aging of fluid enhance the rheological and fluid loss control properties of water-based drilling fluids prepared in the presence of grafted starches. In other words, grafted starches are stable against thermal degradation and can be used in the formulation of water-based drilling fluids for drilling of deep wells.

### Key Words:

water-based drilling fluid,  
potato starch,  
grafted copolymer,  
rheological properties,  
fluid loss

(\*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: [abdollahim@ripi.ir](mailto:abdollahim@ripi.ir)



# بهبود کارایی نشاسته سیب زمینی در سیال حفاری پایه آبی از راه اصلاح شیمیایی آن با روش کوپلیمر شدن پیوندی

مهدی عبداللهی<sup>۱\*</sup>، اکبر ورامش<sup>۱</sup>، علیرضا نصیری<sup>۲</sup>

تهران، پژوهشگاه صنعت نفت،<sup>۱</sup>- پژوهشکده علوم و تکنولوژی پلیمر، واحد پژوهش سنتز پلیمر،<sup>۲</sup>- پژوهشکده اکتشاف و تولید، واحد پژوهش حفاری و تکمیل چاه، صندوق پستی ۱۴۶۶۵-۱۹۹۸

دریافت: ۸۸/۲/۳۰، پذیرش: ۸۸/۶/۱۲

## چکیده

در این طرح، با هدف افزایش پایداری گرمایی و پایداری در برابر تخریب باکتریایی، چهار نوع کوپلیمر پیوندی نشاسته سیب زمینی با مونومر آکریل آمید و مخلوط آن با مونومرهای آکرلیک اسید، ۲-آکریل آمیدو-۲-متیل-۱-پروپان سولفونیک اسید و ایتاکونیک اسید سنتز شده‌اند. این کار با به کارگیری سامانه آغازگر اکسایش - کاهش منگنز (IV) و با انتخاب شرایط بهینه و غلظت‌های مناسب از آغازگر و مونومرها (ها) انجام شده است. پیوندزنی مونومرها روی نشاسته با طیف‌سنجی FTIR تأیید شده است. اثر کوپلیمرهای پیوندی نشاسته بر خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال پیش و پس از پیرشدگی در سیال حفاری پایه آبی ساخته شده با آب تازه، آب نمک ۴ درصد و روش کاربردی جنوب بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد، گرما و پیرشدگی باعث بهبود خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال سیال‌های حفاری پایه آبی ساخته شده با کوپلیمر پیوندی نشاسته شده است. به عبارت دیگر، نشاسته‌های اصلاح شده در برابر دما پایداری دارند و می‌توان از آنها در فرمول بندی سیال حفاری پایه آبی به منظور حفاری چاه‌های عمیق استفاده کرد.

## واژه‌های کلیدی

سیال حفاری پایه آبی،

نشاسته سیب زمینی،

کوپلیمر پیوندی،

خواص رئولوژیکی، اتلاف سیال

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

## مقدمه

حفاری در چاه‌های عمیق به آن دسته از سیال‌های حفاری نیاز دارد که حداقل شرایط لازم را برای کار در دماهای بالا داشته باشند. خواص زیادی برای سیال حفاری انتظار می‌رود، اما بعضی از آنها از جمله رفتار رئولوژیکی، اتلاف سیال و پایداری از اهمیت بیشتری برخوردارند. در سیال‌های حفاری پایه آبی که اغلب در چاه‌های عمیق استفاده می‌شوند، این خواص به طور کلی با افزودن خاک رس و پلیمرهای محلول در آب کنترل می‌شوند [۱]. بنابراین، پایداری گرمایی این افزودنی‌ها مهم است، زیرا سیال‌های حفاری باید در اغلب موارد در دمای بالا برای مدت زمان طولانی کارایی خود را حفظ کنند. بسیاری از فرمول‌بندی‌های سیال حفاری در چنین شرایطی تا دمای حدود  $100^{\circ}\text{C}$  پایدار هستند، اما دماهای بالاتر روی خواص و کنترل صافی سیال‌ها اثر زیادی دارند. این اثر به طور عمده به دلیل آب کافت، واپلیمر شدن یا سایر تخریب‌های شیمیایی پلیمر و نیز به سبب تجمع یا تبدیل‌های برگشت‌ناپذیر خاک رس است. از اهدافی که برای رفع این مشکل دنبال می‌شود، ساخت پلیمرهای مقاوم در برابر گرماست، به نحوی که بتواند خواص سیال حفاری را تا دمای بالا (حدود  $150^{\circ}\text{C}$ ) بدون افزودن خاک رس پایدار کند.

خواص لازم برای ترکیب یاد شده در دمای کاربردی مشخص عبارتند از:

- ۱- پایداری شیمیایی خوب برای زمان‌های نسبتاً طولانی،
  - ۲- گرانروی زیاد با قابلیت کنترل اتلاف سیال و
  - ۳- سازگاری با سایر ترکیبات موجود در سیال حفاری (به ویژه در محیط قلیایی) از جمله یون‌های دو ظرفیتی و ذرات خاک رس با بار منفی که حین حفاری از سازنده‌ها به سیال اضافه می‌شوند.
- پلیمرهای طبیعی نظیر نشاسته و کربوکسی متیل سلولوز و نیز پلیمرهای سنتزی نظیر پلی‌آکریل آمید و کوپلیمرهای آن از جمله افزودنی‌های پلیمری هستند که به منظور کنترل خواص مختلف سیال به سیال‌های حفاری پایه آبی اضافه می‌شوند. هر چند که پلیمرهای طبیعی و سنتزی کارایی خوبی نشان داده‌اند، اما هر کدام معایبی دارند. برای مثال، پلی‌آکریل آمید و مشتق آب کافت شده آن پایداری مکانیکی و شیمیایی ضعیفی دارند. این ضعف در پایداری مکانیکی و شیمیایی با افزایش وزن مولکولی پلیمر بیشتر می‌شود [۲]. نشاسته طبیعی هم انحلال‌پذیری ضعیف، عاملیت محدود و مقاومت کمتری نسبت به حمله‌های باکتریایی و تخریب گرمایی دارد [۳]. یکی از مزایای اصلی پیوندزنی پیوندی در نتیجه تغییر زیاد در ساختار اولیه پلیمر طبیعی و محصولات پیوندی در نتیجه تغییر زیاد در ساختار اولیه پلیمر طبیعی و

نیز وجود پلیمر سنتزی است که به وسیله باکتری‌ها نمی‌تواند هضم شود. افزون بر این، پیوندزنی پلی‌آکریل آمید تخریب‌پذیر در برابر برش به زنجیر نشاسته سخت، سامانه‌های نسبتاً پایدار در برابر برش ایجاد می‌کند [۴]. هم‌چنین مشاهده شده است، با تغییر تعداد و طول زنجیرهای پلی‌آکریل آمید پیوندزده شده به نشاسته، نشاسته‌های پیوندی با زنجیرهای پلی‌آکریل آمید کمتر اما بلندتر به عنوان افزودنی‌های سیال حفاری یا اصلاح‌کننده‌های گرانروی در ازدیاد برداشت نفت مؤثرتر هستند. برای افزایش مقاومت گرمایی نشاسته طبیعی نیز می‌توان از مونومرهای نظیر ۲-آکریل آمیدو-۲-متیل-۱-پروپان سولفونیک اسید (AMPS) به عنوان مونومر پیوندی استفاده کرد [۵،۶].

از میان انواع نشاسته‌های موجود، فقط نشاسته‌های سیب زمینی و گندم به دلیل خواص مطلوبی که در سیال حفاری پایه آبی ایجاد می‌کنند، در عملیات حفاری استفاده می‌شوند. نشاسته ذرت در این مورد کاربرد چندانی ندارد. افزون بر این، از میان دو نوع نشاسته سیب زمینی و گندم که در شرکت ملی حفاری ایران برای تهیه سیال حفاری استفاده می‌شوند، نشاسته سیب زمینی به علت امکان کنترل بهتر اتلاف سیال کاربرد بیشتری دارد. از سوی دیگر، نشاسته گندم هم نقطه تسلیم زیادی برای سیال فراهم می‌آورد که در موقع لزوم از آن استفاده می‌شود. در جایی که کنترل اتلاف سیال چندان مشکلی نداشته باشد (مثل حفاری‌های سطحی و در عمق کم) می‌توان از نشاسته گندم استفاده کرد. اما، در مواردی مانند استفاده از گل سنگین در عمق‌های زیاد چاه که کنترل اتلاف سیال مهم است و از طرف دیگر نقطه تسلیم خیلی زیاد هم ضرورت ندارد، باید از نشاسته سیب زمینی استفاده کرد. در چنین شرایطی که عمق چاه زیاد و دمای آن نسبتاً بالاست، پایداری گرمایی پلیمرهای به کار رفته در سیال حفاری خیلی مهم است، چرا که سیال در طول مدت حفاری باید نقش خود را به خوبی ایفا کند.

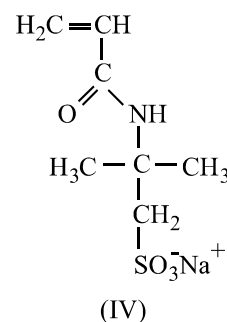
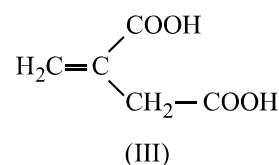
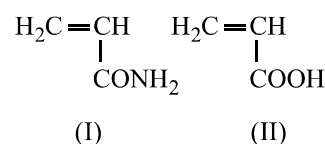
تا آن جا که اطلاعات موجود نشان می‌دهد، بررسی جامعی در زمینه سنتز انواع کوپلیمرهای پیوندی نشاسته و به کارگیری آنها در سیال حفاری پایه آبی وجود ندارد. در این طرح، نشاسته سیب زمینی به عنوان پایه پلیمر طبیعی انتخاب شده و پیوندزنی انواع مونومرهای مناسب روی آن انجام شده است. مونومرهای مختلف و مناسبی نظیر ۲-آکریل آمیدو-۲-متیل-۱-پروپان سولفونیک اسید (AMPS) با هدف افزایش پایداری گرمایی و پایداری در برابر تخریب باکتریایی به نشاسته سیب زمینی پیوند زده شدند تا دامنه کاربرد این پلیمر طبیعی در انواع سیال‌های حفاری پایه آبی گسترش یابد. تهیه کوپلیمر پیوندی نشاسته به منظور کنترل رئولوژی سیال حفاری پایه آبی از اهداف دیگر اصلاح شیمیایی نشاسته است.

## تجربی

### مواد و دستگاه‌ها

نشاسته سیب زمینی (محصول Merck)، مونومرهای آکریل آمید (AM) (ساختار I در طرح ۱)، آکرلیک اسید (AA) (ساختار II) و ایتاکونیک اسید (IA) (ساختار III) با خلوص بیش از ۹۹ درصد (محصول Merck) و مونومر ۲-آکریل آمیدو-۲-متیل-۱-پروپان سولفونیک اسید (AMPS) (ساختار IV) با خلوص بیش از ۹۹ درصد (محصول Aldrich) تهیه شدند. پتاسیم پرمنگنات با خلوص ۹۸ درصد و سولفوریک اسید با خلوص ۹۶ درصد از شرکت Acros Organics و هیدروکینون به عنوان بازدارنده از شرکت Fluka خریداری شدند. حلال استون نوع آزمایشگاهی از شرکت Merck تهیه شد. گاز N<sub>2</sub> مصرفی نیز با خلوص ۹۹/۹۹ درصد از شرکت‌های داخلی تهیه شد. در آزمایش‌های مربوط به تهیه سیال حفاری پایه آبی نیز بنتونیت اصلاح شده خارجی، سدیم کلرید، سدیم بی‌کربنات، سدیم کربنات (سودا آش)، آهک، باریت، هماتیت (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، کلسیم کلرید، منیزیم کلرید و آب مقطر استفاده شدند.

واکنش‌های پلیمر شدن در راکتور بوچی ۷۵ لیتری زیر فشار مجهز به هم‌زن مکانیکی و حمام روغن با کنترل دما انجام شده است.



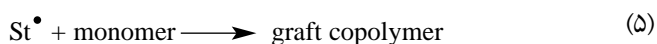
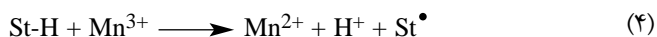
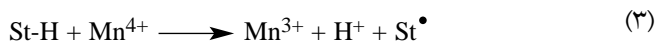
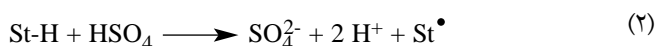
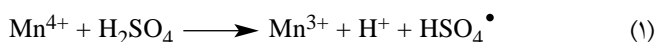
طرح ۱ - ساختار مونومرهای استفاده شده.

کوپلیمرهای پیوندی سنتز شده به روش طیف سنجی FTIR (مدل Bruker IFS-88) شناسایی شدند. دستگاه‌های گراندرونی سنج دوار مدل Fann 35SA، چرخش در گرما (Hot Rolling) و فیلترپرس برای ارزیابی خواص سیال حفاری پایه آبی ساخته شده با کوپلیمر پیوندی نشاسته استفاده شد. هر یک از آزمون‌های مربوط به سیال حفاری حداقل دو مرتبه تکرار شدند.

### روش‌ها

#### سنتز کوپلیمرهای پیوندی نشاسته

چهار نوع کوپلیمر پیوندی نشاسته سیب زمینی با مونومر آکریل آمید و مخلوط آکریل آمید با سه مونومر دیگر یعنی آکرلیک اسید، ۲-آکریل آمیدو-۲-متیل-۱-پروپان سولفونیک اسید (AMPS) و ایتاکونیک اسید (IA) طی چهار واکنش پلیمر شدن مجزا سنتز شدند که جزئیات بیشتر شرایط واکنش‌های پلیمر شدن انجام شده در جدول ۱ نشان داده شده است. هر کدام از آزمایش‌ها حداقل دو مرتبه تکرار شدند. لازم به ذکر است، واکنشی با شرایط مشابه در نبود نشاسته سیب زمینی نیز انجام شده است. مشاهده شد که در غیاب نشاسته، مونومرهای یاد شده پلیمر نمی‌شوند. به عبارت دیگر، رادیکال شروع کننده پلیمر شدن از راه برهم کنش بین پرمنگنات - سولفوریک اسید و گروه‌های -CH<sub>2</sub>-OH موجود در سطح نشاسته تشکیل می‌شود. پلیمر شدن مونومرها از راه این مراکز فعال که در زیر نشان داده شده است، انجام می‌شود [۷]:



در نتیجه، کارایی پیوندزنی در این واکنش‌ها زیاد و مقدار هموپلیمر تشکیل شده ناچیز است. در مقالات هم به این موضوع اشاره شده است [۷]. افزون بر این، زنجیرهای هموپلیمر در صورت تشکیل همراه با مونومر واکنش نداده در مرحله خالص سازی از کوپلیمرهای پیوندی جدا می‌شوند و امکان محاسبه دقیق مقدار هموپلیمر تشکیل شده وجود ندارد.

جدول ۱ - جزئیات شرایط پلیمر شدن پیوندی برای سنتز کوپلیمرهای پیوندی نشاسته\*.

آزمایش	کوپلیمر پیوندی سنتزی	مونومر (ها) (g)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mol/L)	KMnO <sub>4</sub> (mol/L)	درصد پیوندزنی
۱	St-g-AM	AM (۱۲)	۲/۵ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۳۲۴
۲	St-g-(AM-co-AA)	AM (۸)، AA (۴)	۲/۵ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۲۸۵
۱-۳	St-g-(AM-co-AMPS)	AM (۸)، AMPS (۴)	۵ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۳۱۲
۲-۳	St-g-(AM-co-AMPS)	AM (۶)، AMPS (۸)	۵ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۱۱۸
۴	St-g-(AM-co-IA)	AM (۸)، IA (۴)	۲/۵ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۲۶۵

\* حجم کل محلول ۹۰۰ mL و مقدار نشاسته مصرفی ۰/۱۱۰۷ مول واحد انیدروگلوکوز است.

شد. برای جداسازی مونومرهای واکنش نداده و هموپلیمر احتمالی تشکیل شده، محصول واکنش در مخلوط استون و آب با نسبت های ۸ به ۲ استخراج و در گرم خانه خلاء تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. پس از توزین، درصد پیوندزنی (GP) مونومرها روی نشاسته از معادله (۶) محاسبه شد:

$$GP (\%) = [(W_p - W_0) / W_0] \times 100 \quad (6)$$

که در آن  $W_0$  وزن نشاسته استفاده شده و  $W_p$  وزن کوپلیمر پیوندی به دست آمده است.

#### شناسایی کوپلیمرهای پیوندی

کوپلیمرهای پیوندی سنتز شده به روش طیف سنجی FTIR شناسایی شدند. با طیف های FTIR به دست آمده برای نشاسته خالص و کوپلیمرهای پیوندی سنتزی، سنتز کوپلیمرها و پیوندزنی مونومرها روی نشاسته تأیید شد. به عنوان نمونه، شکل ۱ طیف FTIR نشاسته و کوپلیمرهای پیوندی مربوط را نشان می دهد. در طیف کوپلیمرهای پیوندی، نه تنها نوارهای جذبی ویژه نشاسته در نواحی ۸۵۸، ۷۶۵، ۵۷۳ و ۳۴۳۳  $cm^{-1}$  مشاهده می شود، بلکه این طیف ها نوارهای جذبی مشخصه مونومرهای پیوند زده شده را نیز به خوبی نشان می دهد. طیف FTIR کوپلیمر پیوندی نشاسته با آکریل آمید (St-g-AM) نوار جذبی گروه را در ناحیه ۱۶۶۷  $cm^{-1}$  نشان می دهد (شکل ۱) که مؤید وجود مونومر آکریل آمید در ساختار زنجیر پلیمر است.

در طیف کوپلیمر پیوندی نشاسته با آکریل آمید و آکرلیک اسید (St-g-(AM-co-AA)) نیز نوار جذبی مشاهده شده در ناحیه ۱۶۶۱  $cm^{-1}$  به وضوح وجود گروه C=O مربوط به مونومرهای AM و AA را تأیید می کند. هم چنین، نوار جذبی مشاهده شده در ناحیه ۱۲۳۲  $cm^{-1}$  نیز

کلیه واکنش های کوپلیمر شدن پیوندی روی نشاسته سیب زمینی با استفاده از سامانه آغازگر اکسایش - کاهش پتاسیم پرمنگنات - سولفوریک اسید (KMnO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) در دمای ثابت و زیر گاز بی اثر نیتروژن با استفاده از راکتور بوچی (Buchi glassuster) ۷/۵ لیتری مجهز به سامانه هم زن مکانیکی U شکل و حمام روغن با قابلیت کنترل دما انجام شدند.

شرایط مختلف و آغازگرهای متفاوتی برای پیوندزنی مونومرهای نظیر آکریل آمید به نشاسته در مقالات گزارش شده است. در این کار پژوهشی، سامانه پتاسیم پرمنگنات - سولفوریک اسید انتخاب شد و آزمایش هایی در شرایط مختلف (غلظت پتاسیم پرمنگنات در محدوده ۷/۰ × ۱۰<sup>-۳</sup> mol/L تا ۴/۰ × ۱۰<sup>-۳</sup> mol/L، غلظت سولفوریک اسید در محدوده ۲/۰ × ۱۰<sup>-۲</sup> تا ۱۰/۰ × ۱۰<sup>-۲</sup> mol/L و دما در محدوده ۳۰-۶۰ °C) انجام شدند. در نهایت، شرایط مناسب برای واکنش پیوندزنی بر اساس حداکثر درصد پیوندزنی در آزمایش های مربوط به دست آمد که نتایج این واکنش ها در جدول ۱ ارائه شده است.

روش کار بدین ترتیب بود که ابتدا مقدار مشخصی از نشاسته خشک شده در مقدار معینی از آب مقطر حل شد و دوغاب به دست آمده در جریان گاز نیتروژن با سرعت هم زدن ۲۵۰ rpm به مدت ۳۰ min در دمای ۸۰ °C گرم داده شد. پس از رساندن دمای محیط واکنش به ۴۰ °C، مقدار مورد نظر از محلول پتاسیم پرمنگنات به سامانه واکنش اضافه شد و به مدت ۱۰ min اکسیژن زدایی محیط واکنش با جریان گاز نیتروژن انجام گرفت تا در این زمان نشاسته نیز پیش اکسیده شود. سپس، مقدار مشخصی از مونومر (ها) و سولفوریک اسید به راکتور پلیمر شدن اضافه شد. پس از افزودن مونومر (ها) فرصت داده شد تا واکنش به مدت ۵ h در دمای ۴۰ °C انجام شود. در پایان، واکنش با استفاده از محلول هیدروکینون ۲ درصد در آب متوقف و پلیمر به دست آمده پس از رسوب دادن با استون مازاد و چند مرتبه شست و شو با آن جداسازی

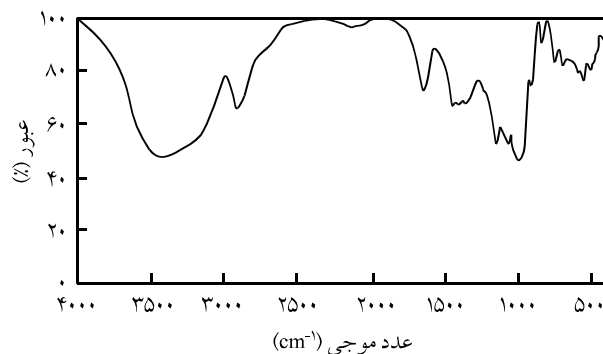
اندازه گیری وزن مولکولی امکان پذیر نبود. با این حال، از آن جا که واکنش های پیوند زنی باعث افزایش وزن مولکولی پلیمر پایه (در این پژوهش نشاسته) می شوند، انتظار می رود که وزن مولکولی کوپلیمرهای پیوندی سنتزی زیاد باشد.

## نتایج و بحث

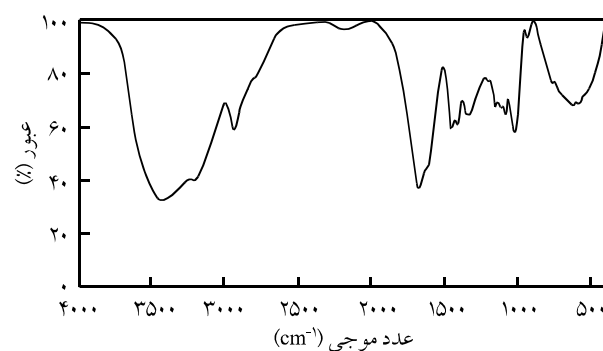
### اثر نوع مونومرها بر درصد پیوندزنی روی نشاسته سیب زمینی

پیوندزنی مونومرهای وینیلی مختلف به نشاسته به منظور تقویت کاربرد نشاسته در حوزه های نفتی از موضوعات پژوهشی مورد توجه در دانشگاه ها و صنعت نفت است. از کوپلیمرهای پیوندی نشاسته بسته به نوع مونومر یا مونومرهای پیوند زده شده می توان به عنوان کنترل کننده هرزروی سیال، غلظت دهنده و بازدارنده شیل در سیال های حفاری پایه آبی استفاده کرد. بر همین اساس، مونومرهای مختلفی به نشاسته پیوند زده شده اند. از آن جا که اهداف اصلی این پژوهش، افزایش پایداری گرمایی، مقاومت در برابر تخریب باکتریایی و نیز توسعه گستره کاربرد نشاسته در سیال های حفاری پایه آبی هستند، مونومرهای متناسب با این اهداف انتخاب شدند. این مونومرها روی نشاسته پیوندزده شدند که در ادامه جزییات واکنش های پیوند زنی و اثر نوع مونومر بر بازده پیوندزنی بررسی می شود.

مطابق نتایج جدول ۱ چهار نوع کوپلیمر پیوندی نشاسته سیب زمینی با مونومر آکریل آمید و مخلوط آن با مونومرهای آکرلیک اسید، ۲- آکریل آمید و ۲- متیل-۱- پروپان سولفونیک اسید و ایتاکونیک اسید با به کارگیری سامانه آغازگر اکسایش - کاهش منگنز (IV) و با انتخاب شرایط بهینه و غلظت های مناسب از آغازگر و مونومر (ها) سنتز شدند. با توجه به واکنش پذیری بیشتر مونومر آکریل آمید، بیشترین مقدار پیوندزنی با این مونومر به دست آمده است (جدول ۱). هنگامی که از مخلوط AM با سایر مونومرها در واکنش پیوندزنی استفاده شده است، درصد پیوندزنی کاهش می یابد، به طوری که در مخلوط مونومرهای AM و IA به دلیل واکنش پذیری کم مونومر ایتاکونیک اسید در پیوندزنی، کمترین مقدار پیوند زنی حاصل شده است. تفاوت در درصد پیوندزنی، در واقع به اثر نوع کومونومر بر پیش رفت و تبدیل واکنش یعنی بر میانگین ثابت سرعت انتشار پلیمر شدن بازمی گردد. این در حالی است که نسبت های واکنش پذیری به طور عمده بر ریز ساختار کوپلیمرهای تشکیل شده اثر می گذارند و اثر این پارامتر بر سرعت پلیمر شدن در مقایسه با ثابت سرعت انتشار هموپلیمر شدن مونومرها کمتر است. بنابراین، دلیل اصلی تفاوت در درصد پیوندزنی به تفاوت در



(الف)



(ب)

شکل ۱ - طیف های FTIR: (الف) نشاسته سیب زمینی و (ب) کوپلیمر پیوندی St-g-AM.

نشان دهنده ارتعاش کششی پیوند C-O- گروه اسیدی مونومر آکرلیک اسید است که دلیلی بر وجود هر دو مونومر آکریل آمید و آکرلیک اسید در ساختار کوپلیمر پیوندی است.

در طیف FTIR کوپلیمر پیوندی آکریل آمید و ۲- آکریل آمید و ۲- متیل-۱- پروپان سولفونیک اسید St-g-(AM-co-AMPS) نوارهای جذبی نواحی ۱۰۸۱ و  $1215 \text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده وجود گروه  $\text{SO}_3^-$  و قرار گرفتن مونومر AMPS در ساختار زنجیر پلیمر هستند. از طرفی، نوار جذبی ناحیه  $1667 \text{ cm}^{-1}$  نیز به وضوح وجود گروه کربونیل AM و AMPS را تأیید می کند.

در طیف کوپلیمر پیوندی نشاسته با آکریل آمید و ایتاکونیک اسید St-g-(AM-co-IA) نوار جذبی پهن در ناحیه  $1667 \text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده وجود گروه کربونیل در کوپلیمر پیوندی است و پهن شدن آن نیز بر وجود چند نوع گروه کربونیل در ساختار پلیمر دلالت دارد. هم چنین، نوار جذبی در ناحیه  $1203 \text{ cm}^{-1}$  مشاهده می شود که مشخصه ارتعاش کششی پیوند C-O- گروه اسیدی در ساختار ایتاکونیک اسید است.

با توجه به این که کوپلیمرهای پیوندی، به طور جزیی شبکه ای شده اند، انحلال کامل پلیمرها در آب و تهیه محلول شفاف برای

محصولات آب کافت شده مربوط را سنتز کردند و خواص گرانیوی این مشتقات را در غلظت‌های مختلف پلیمر و نمک و در سرعت‌های برش و دماهای مختلف بررسی کرده‌اند [۱۱].

برای افزایش مقاومت نشاسته پیوندی به دما و مقدار نمک بیشتر، مونومرهای حاوی گروه سولفونات نظیر ۲-آکریل آمیدو-۲-متیل-۱-پروپان سولفونیک اسید (AMPS) به نشاسته پیوند زده شده‌اند. معمولاً این مونومرها همراه با آکریل آمید یا مشتقات آن در پیوندزنی استفاده می‌شوند. نتایج گزارش شده در مقالات نشان می‌دهد، کopolymerهای پیوندی نشاسته در سیال‌های حفاری تهیه شده با آب تازه، آب نمک، آب نمک سیر شده و نیز سیال حفاری دارای ترکیبات معدنی زیاد کارایی خوبی دارند، به ویژه ترپلیمرهای پیوندی نشاسته - آکریل آمید - AMPS که در برابر نمک و دمای بالا مقاوم هستند.

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، تمام کopolymerهای پیوندی نشاسته، پایداری خوبی در برابر تخریب باکتریایی دارند. این پایداری، امکان استفاده از کopolymerهای پیوندی نشاسته را در محدوده وسیعی از سیال‌های حفاری از آب تازه گرفته تا آب نمک و در نهایت آب نمک سیر شده فراهم می‌آورد. این در حالی است که نشاسته به دلیل تخریب باکتریایی سریع، فقط در شرایط آب نمک سیر شده برای کنترل اتلاف سیال استفاده می‌شود. از این رو، به طور عملی گستره کاربرد نشاسته با پیوندزنی مونومرهای وینیلی روی آن توسعه پیدا می‌کند. در این طرح نیز هدف مزبور دنبال شده است. اعتقاد بر این است، تمام کopolymerهای پیوندی سنتز شده (جدول ۱) قابلیت استفاده در شرایط نمکی مختلف سیال حفاری را داشته باشند. خواص اتلاف سیال و رئولوژیکی سیال

ثابت سرعت انتشار هموپلیمر شدن مونومرها مربوط است. بر اساس نسبت‌های واکنش پذیری گزارش شده برای کopolymer شدن آکریل آمید با کومونومرهای مطالعه شده که به یک نزدیک است [۸]، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب کopolymer تشکیل شده به ترکیب خوراک اولیه نزدیک خواهد بود. بنابراین می‌توان به طور تقریبی نسبت مونومرهای ریخته شده در راکتور را به عنوان نسبت آنها در کopolymerهای پیوندی در نظر گرفت.

### ارزیابی کارایی کopolymerهای پیوندی در سیال حفاری پایه آبی (خواص رئولوژیکی و کنترل اتلاف سیال)

کارایی مؤثر سیال‌های حفاری حاوی گونه‌های پلیمری شبکه‌ای شده در دمای بالا گزارش شده است [۹]. پلیمرهای آب دوست دارای اتصالات عرضی کم (یعنی ژل‌های پلیمری) پایداری گرمایی خوبی نشان می‌دهند. اثر دمای بالا بر ساختار و خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال، زمانی که این پلیمرها در محیط آبی متورم می‌شوند، بررسی و مشاهده شده است، فقط ژل‌هایی که در آنها درصد شبکه‌ای شدن حدود یک درصد است، برای کاربردهای یاد شده یعنی کنترل خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال در دمای بالا مناسب‌اند [۱۰].

از میان مونومرهای موجود برای پیوندزنی، آکریل آمید به طور گسترده استفاده شده است. سنتز نشاسته سیب زمینی پیوند زده شده با پلی آکریل آمید و ارزیابی خواص آن در سیال‌های حفاری گزارش شده است [۱۱]. پژوهش‌گران سه مجموعه از کopolymerهای پیوندی نشاسته اکسید شده، نشاسته محلول و نشاسته سیب زمینی با آکریل آمید و

جدول ۲- اثر کopolymerهای پیوندی نشاسته بر خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال سیال پایه آبی ساخته شده با آب تازه پیش و پس از گرمادهی و چرخش\*.

FL (mL)		Hs (lb <sub>f</sub> /100ft <sup>2</sup> )		YP (lb <sub>f</sub> /100ft <sup>2</sup> )		PV (cP)		AV (cP)		کopolymer پیوندی
پس	پیش	پس (۱۰"-۱۰')	پیش (۱۰"-۱۰')	پس	پیش	پس	پیش	پس	پیش	
-	۶۵	-	۱-۱	-	۴	-	۴	-	۶	سیال بدون کopolymer
۲۴	۱۵	۰/۵-۱	۱-۱	۱	۳	۳	۴/۵	۳/۵	۶	نشاسته
۷/۵	۱۵	۷/۵-۲/۵	۰/۵-۱	۸	۴	۷	۷	۱۱	۹	۱
۴	۴/۵	۱-۱	۰/۵-۱	۴	۳	۸	۱۲	۱۰	۱۳/۵	۲
۶/۵	۸	۲-۳	۱-۲	۵	۵	۸	۴	۱۰/۵	۶/۵	۱-۳**
۲۲	۱۵/۵	۲-۳	۲-۳	۵	۵	۴	۵	۶/۵	۷/۵	۲-۳**
۱۴/۵	۳۶	۵-۶	۰/۵-۱	۹	۲	۳	۳	۷/۵	۴	۴

\* ترکیب گل بر اساس استاندارد OCMA: ۳۵۰ mL آب، ۳۵ g بنتونیت اصلاح شده، ۳/۱۵ g پلیمر و ۱ g سدیم بی کربنات.

\*\* نسبت مونومرهای AM و AMPS در این کopolymerها متفاوت است (جدول ۱).

جدول ۳- اثر کویلرهای پیوندی نشاسته بر خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال در سیال پایه آبی ساخته شده با آب نمک ۴ درصد پیش و پس از گرمادهی و چرخش\*.

pH		FL (mL)		Gel (lb <sub>f</sub> /100ft <sup>2</sup> )		YP (lb <sub>f</sub> /100ft <sup>2</sup> )		PV (cP)		AV (cP)		کویلر پیوندی
پس	پیش	پیش	پیش	پس	پیش	پس	پیش	پس	پیش	پس	پیش	
۸/۲۴	۸/۵۵	۳۷	۵۱	۱-۷/۵	۱-۱	۵	۱	۳	۲	۱۰/۵	۲/۵	نشاسته
۷/۹۴	۸/۳۶	۵/۵	۷۱	۱-۲	۱-۲	۱۱	۱	۱۲	۴	۱۷/۵	۴/۵	۱
۷/۸۵	۸/۱۶	۹/۲	۵۳	۱-۱	۱-۲	۰	۳	۱۲	۳	۱۲	۴/۵	۲
۷/۹۲	۸/۴	۵/۵	۷	۱-۲	۱-۱	۷	۰	۱۱	۱۰	۱۴/۵	۱۰	۱-۳
۷/۳۶	۸/۴	۴۶	۵۵	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۲	۰	۲	۳	۳	۳	۴

\*آزمون‌ها با همان شرایط و استاندارد جدول ۲ انجام شده است. ترکیب گل بر اساس استاندارد OCMA: ۳۵۰ mL آب، ۱۵g بنتونیت اصلاح شده، ۳/۱۵g پلیمر، ۴ درصد NaCl و ۱g سدیم بی کربنات.

حاوی نمک کاسته می‌شود. با این حال، نتایج ارائه شده در جدول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد، کارایی کویلر پیوندی ساخته شده با مونومر سولفون دار شده یعنی ۲-آکریل آمیدو-۲-متیل-۱-پروپان سولفونیک اسید (کویلر پیوندی ۱-۳) در سیال حفاری ساخته شده با ۴ درصد آب نمک (سدیم کلرید) چندان تحت تاثیر وجود آب نمک قرار نمی‌گیرد. در مقالات نیز گزارش شده است، گروه‌های آنیونی سولفون دار شده از مقاومت زیادی در برابر نمک برخوردارند [۵، ۶].

نتایج ارائه شده در جدول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد، گرما و پیرشدگی باعث بهبود خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال در سیال‌های حفاری ساخته شده با کویلر پیوندی نشاسته شده است. به عبارت دیگر، نشاسته‌های اصلاح شده در برابر دما پایدارند و می‌توان از آنها در فرمول بندی‌های سیال حفاری پایه آبی به منظور حفاری چاه‌های عمیق استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد، هر چند اتلاف سیال پیش از گرمادهی خوب کنترل نشده است، اما پس از آن و پیرشدگی نمونه‌ها یعنی در شرایط واقعی حفاری، اتلاف سیال در حد مطلوبی کنترل شده است. این امر به شبکه‌ای شدن جزئی کویلرهای پیوندی نشاسته‌ها حین پلیمر شدن مربوط است. البته مقدار شبکه‌ای شدن را می‌توان به راحتی کنترل کرد. با شبکه‌ای شدن جزئی کویلرهای پیوندی نشاسته، زنجیرهای پلیمر حداکثر کارایی خود را زمانی نشان می‌دهند که در دمای بالا قرار گیرند. در اثر گرما، بخشی از این اتصالات عرضی باز شده و زنجیرها کاملاً باز می‌شوند. در چنین شرایطی، زنجیرهای پلیمری حداکثر کارایی را به لحاظ خواص رئولوژیکی و کنترل اتلاف سیال نشان می‌دهند.

شبکه‌ای شدن جزئی حین پلیمر شدن که از راه اتصالات شیمیایی اتفاق می‌افتد، روی خواص پیش از گرمادهی نیز اثر می‌گذارد، به طوری

پیش و پس از پیرشدگی در سیال حفاری پایه آبی ساخته شده با آب تازه و آب نمک ۴ درصد به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

آزمون‌ها بر اساس استاندارد OCMA انجام شده‌اند و خواص سیال پیش و پس از گرمادهی گل (چرخش در دمای ۱۲۱°C (۲۵۰°F) به مدت ۵h) اندازه‌گیری شده است. آزمون‌های خواص رئولوژیکی در دمای ثابت محیط انجام شده‌اند.

هر چند مقادیر مناسب خواص رئولوژیکی به شدت به نوع سیال نیز بستگی دارد، اما مطابق با استاندارد صنعت نفت آمریکا (API)، هر اندازه مقادیر عددی گرانیوی ظاهری (AV)، گرانیوی پلاستیک (PV) و نقطه تسلیم (YP) به ترتیب به ۲۰، ۱۵ cP و ۳۵ lb<sub>f</sub>/۱۰۰ft<sup>۲</sup> نزدیک باشند، مناسب و مطلوب خواهد بود. بر اساس این استاندارد، خواص اتلاف سیال زمانی که کمتر از ۱۵ mL باشد، خوب و زمانی که کمتر از ۱۰ mL باشد، عالی تعریف شده است [۱].

با مقایسه نتایج مربوط به سیال ساخته شده با نشاسته و نتایج مربوط به سیال ساخته شده با کویلرهای پیوندی (به عنوان مثال نمونه ۱-۳) در جدول‌های ۲ و ۳ می‌توان مشاهده کرد که در اثر اصلاح شیمیایی نشاسته، خواص رئولوژیکی سیال به مقدار قابل ملاحظه‌ای تقویت شده و اتلاف سیال نیز کاهش چشم‌گیری یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، اصلاح شیمیایی نشاسته از راه کویلر شدن پیوندی، کارایی آن را در سیال حفاری پایه آبی بهبود می‌بخشد.

به طور کلی، اتلاف سیال (FL) نمونه‌ها در آب نمک بیشتر از آب تازه است (جدول‌های ۲ و ۳). این تفاوت را می‌توان به وجود نمک در سیال حفاری ساخته شده با آب نمک نسبت داد. وجود نمک باعث می‌شود، بار موثر گروه آنیونی موجود در کویلرهای پیوندی آنیونی کاهش یابد که در نتیجه آن از کارایی کویلرهای پیوندی در سیال حفاری پایه آبی



پیوندی نشاسته انتظار داشت. در این حالت می توان از احتمال آسیب های جدی وارد شده به سازندها به راحتی جلوگیری کرد. یکی دیگر از مزایای کوپلیمرهای پیوندی نشاسته در مقایسه با نشاسته این است که در حالت استفاده از این پلیمرهای اصلاح شده می توان مقدار مصرف پلیمر در فرمول بندی حفاری را تا حد قابل ملاحظه ای کاهش داد و از طرف دیگر هم چنان خواص مطلوب سیال حفاری را حفظ کرد.

نتایج اتلاف سیال بر اساس روش کاربردی جنوب (آلودگی با آب گچساران) برای سیال های حفاری سنگین ساخته شده با وجود کوپلیمرهای پیوندی نشاسته در جدول ۴ ارائه شده است. ترکیب سیال اولیه در مرحله اول (پیش از آلودگی) شامل ۳۵۰ mL آب، NaCl (۳۶ درصد و سیر شده)، ۱۴ g پلیمر و  $BaSO_4/Fe_2O_3$  با نسبت های ۳/۱ برای افزایش وزن سیال تا ۱۵۰ pcf بود. اتلاف سیال در سیال مزبور پس از چرخش در دمای  $200^{\circ}F$  به مدت ۴h اندازه گیری شد. در مرحله دوم (پس از آلودگی با آب گچساران)، آب گچساران شامل NaCl (۳۵۰۰ ppm)،  $CaCl_2$  (۳۰۰۰۰ ppm) و  $MgCl_2$  (۸۰۰۰ ppm) بود. از آب گچساران به مقدار ۱۵ درصد (نسبت به سیال اولیه) به سیال گفته شده اضافه شد و پس از رساندن مجدد وزن سیال به ۱۵۰ pcf (با استفاده از  $BaSO_4/Fe_2O_3$ )، اتلاف سیال آن پس از چرخش در دمای  $200^{\circ}F$  به مدت ۴h اندازه گیری شده است.

نتایج نشان می دهد، اتلاف سیال در مجاورت نمک های دوظرفیتی کلسیم و منیزیم هم به خوبی کنترل شده است. نمک های دوظرفیتی نظیر کلسیم و منیزیم از جمله آلودگی هایی هستند که در حین حفاری وارد سیال حفاری می شوند و در اغلب موارد باعث افت کارایی سیال حفاری می شوند. نتایج این پژوهش نشان می دهد، پیوندزنی برخی از کومونومرها نظیر AMPS و ایتاکونیک اسید (IA) بر پایه نشاسته، ضمن این که پایداری گرمایی را افزایش می دهد، مقاومت کوپلیمرهای پیوندی نشاسته در برابر انواع نمک ها به ویژه نمک های دوظرفیتی را هم افزایش می دهد.

به طور خلاصه، با پیوندزنی انواع مونومرهای وینیلی نظیر آکریل آمید

جدول ۴ - اثر کوپلیمر پیوندی نشاسته بر اتلاف سیال (FL) در سیال ساخته شده طبق روش کاربردی جنوب.

FL (mL)		کوپلیمرهای پیوندی نشاسته
پس از آلودگی	پیش از آلودگی	
۱	۰/۷۵	۱-۳
۷۷۵	۳/۵	۴

که اگر اتلاف سیال برای کوپلیمرهای پیوندی (بجز نمونه ۳-۱) با نشاسته در جدول ۳ مقایسه شود می توان مشاهده کرد، کارایی کوپلیمرهای پیوندی در کنترل اتلاف سیال پیش از گرمادهی تا حدی کاسته شده است. این رفتار را می توان به شبکه ای شدن جزیی کوپلیمرهای پیوندی نسبت داد که تا حدی مانع از باز شدن زنجیرهای پلیمری می شود و به موجب آن کارایی کوپلیمرهای پیوندی پیش از گرمادهی سیال تا حدی کاهش می یابد. در شرایط عملیاتی واقعی جایی که دمای چاه بالاست، زنجیرها از برخی نقاط شکسته می شوند و این امکان به وجود می آید که زنجیرها باز شده و حداکثر کارایی را به لحاظ خواص رئولوژیکی و کنترل اتلاف سیال نشان دهند [۹،۱۰].

نتایج ارائه شده در جدول های ۲ و ۳ نشان می دهد، گراندروی سیال حفاری با وجود کوپلیمرهای پیوندی نشاسته به ویژه پس از گرمادهی به مقدار قابل ملاحظه ای زیاد است. به عبارت دیگر، نشاسته اصلاح شده خاصیت غلظت دهندگی نشان می دهد. این در حالی است که نشاسته به دلیل این که به حالت کلوییدی در سیال پخش می شود، قابلیت چندان در غلظت دهندگی به سیال حفاری ندارد. در مواردی که پلیمر استفاده شده در سیال حفاری علاوه بر کنترل خوب اتلاف سیال، خواص غلظت دهندگی خوبی هم نشان می دهد (مثل کوپلیمرهای پیوندی نشاسته در این طرح) می توان از خاک رس (بنتونیت) به مقدار کم استفاده کرد یا این که بنتونیت را به طور کلی از فرمول بندی سیال حفاری حذف کرد. در چنین شرایطی، خواص رئولوژیکی سیال به وسیله پلیمر استفاده شده در فرمول بندی سیال حفاری قابل کنترل است. از آن جا که برخی از پلیمرها در دمای بالا تخریب می شوند، حذف یا کاهش مقدار بنتونیت از فرمول بندی سیال حفاری مستلزم به کارگیری پلیمرهایی با پایداری گرمایی زیاد نظیر پلیمرهای سنتز شده در این پژوهش در فرمول بندی سیال حفاری است.

خواص رئولوژیکی ارائه شده در جدول های ۲ و ۳ نشان می دهند که کوپلیمرهای پیوندی نشاسته پایداری گرمایی خوبی دارند. بنابراین، می توان با استفاده از این پلیمرهای پایدار گرمایی، سیال حفاری پایه آبی مناسبی را برای حفر چاه های نفت از عمق کم گرفته تا عمق زیاد، جایی که دمای عملیاتی بالاست، فرمول بندی کرد. به علاوه زمانی که از کوپلیمرهای پیوندی نشاسته در فرمول بندی سیال حفاری استفاده می شود، امکان درمان سیال در مواقع ضروری در مراحل پس از تهیه فرمول بندی اولیه وجود دارد. این در حالی است که امکان درمان سیال حفاری ساخته شده با نشاسته وجود ندارد یا به طور کلی سخت است. این قابلیت کوپلیمرهای پیوندی به ساختار ویژه آنها برمی گردد، به نحوی که می توان کارکردی مشابه و حتی بهتر از کربوکسی متیل سلولوز (CMC) و پلی آنیونیک سلولوز (PAC) از این کوپلیمرهای

نشاسته تأیید شد. نتایج نشان می دهد، درصد پیوند زنی به شدت تحت تاثیر نوع مونومر استفاده شده در واکنش پلیمر شدن پیوندزنی قرار می گیرد.

اثر کوپلیمرهای پیوندی نشاسته بر خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال پیش و پس از پیرشدگی در سیال حفاری تهیه شده با آب تازه، آب نمک ۴ درصد و روش کاربردی جنوب بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که گرما و پیرشدگی باعث بهبود خواص رئولوژیکی و اتلاف سیال سیال های حفاری ساخته شده با کوپلیمر پیوندی نشاسته شده است. به عبارت دیگر، نشاسته های اصلاح شده در برابر دما پایدارند و می توان از آنها در فرمول بندی سیال حفاری پایه آبی به منظور حفاری چاه های عمیق استفاده کرد. نتایج نشان می دهد، هر چند اتلاف سیال پیش از گرمادهی خوب کنترل نشده است، اما پس از آن و پیرشدگی نمونه ها یعنی در شرایط واقعی حفاری، اتلاف سیال در حد مطلوبی کنترل شده است. این امر به شبکه ای شدن جزئی کوپلیمرهای پیوندی نشاسته حین پلیمر شدن مربوط می شود. بنابراین، می توان با استفاده از این پلیمرهای پایدار گرمایی، سیال حفاری پایه آبی مناسبی را برای حفر چاه های نفت از عمق کم گرفته تا عمق زیاد، جایی که دمای عملیاتی بالاست، فرمول بندی کرد.

#### قدردانی

از مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران به دلیل حمایت مالی از این طرح (قرارداد شماره ۸۱-۸۶۰۴۱) تشکر و قدردانی می شود.

#### مراجع

- Adler S.F. and Siegele F.H., *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, Mark H.F., Gaylord N.G., and Bikales N.M. (Eds.), Interscience, New York, **5**, 140, 1996.
- Zhang L.M. and Cao Y., Development of Polyacrylamide-based Oilfield Chemicals, *Funct. Polym.*, **1**, 51-53, 1999.
- Zhang L.M., The Study of Starch-Based Chemicals for Oilfield in China, *Chemicals*, **14**, 27-30, 1997.
- Xu T.T., Wang K.C., and Men L.K., Developments and Trends in Additives for Petroleum Production, *Oilfield Chem.*, **12**, 74-83, 1995.
- Guo D.R., Gao J.P., Lu K.H., and Xia J.Y., Biodegradable Filtration Loss Controller Based on Starch Graft Copolymer: Synthesis and Properties, *Oilfield Chem.*, **12**, 165-166, 1995.
- Wang Z.H., AMPS/AM/Starch Graft Terpolymers as Fluid Loss

و مشتقات آن می توان پایداری پایه نشاسته در برابر تخریب باکتریایی و گرما را افزایش داد. از طرف دیگر، خاصیت غلظت دهندگی را نیز در کوپلیمرهای پیوندی نشاسته ایجاد کرد. بنابراین، می توان این کوپلیمرهای پیوندی نشاسته را در گستره وسیعی از سیال های حفاری پایه آبی برای اهداف مختلف استفاده کرد. افزون بر این، با پیوندزنی کوپلیمرهای وینیلی خاص نظیر AMPS و IA روی پایه نشاسته افزون بر افزایش پایداری پایه نشاسته می توان تحمل آن را نسبت به آلاینده ها (یون های دو ظرفیتی نظیر کلسیم و منیزیم) در مقایسه با سایر کوپلیمرهای پیوندی نشاسته افزایش داد. در این حالت می توان کارایی سیال حفاری را در شرایط واقعی چاه حفظ کرد.

#### نتیجه گیری

در این طرح، با هدف افزایش پایداری گرمایی و پایداری در برابر تخریب باکتریایی نشاسته سیب زمینی، مونومرهای مختلفی به آن پیوندزده شدند. نشاسته سیب زمینی به عنوان نشاسته پایه برای پیوندزنی انتخاب شد. چهار نوع کوپلیمر پیوندی نشاسته سیب زمینی با مونومر آکریل آمید و مخلوط آن با مونومرهای آکرلیک اسید، ۲-آکریل آمید و ۲-متیل-۱-پروپان سولفونیک اسید و ایتاکونیک اسید با به کارگیری سامانه آغازگر اکسایش - کاهش منگنز (IV) و با انتخاب بهینه و غلظت های مناسب از آغازگر و مونومر (ها) سنتز شدند. کوپلیمرهای پیوندی سنتز شده با FTIR شناسایی شدند و پیوندزنی مونومرها روی

Controller for Drilling Muds, *Oilfield Chem.*, **14**, 77-78, 1997.

- Zhang L.M. and Chen D.Q., Grafting of 2-(dimethylamino) Ethyl Methacrylate onto Potato Starch Using Potassium Permanganate/Sulfuric Acid Initiation System, *Starch*, **53**, 311-316, 2001.
- Greenly R.Z., *Polymer Handbook*, Brandrup J., Immergut E.H., and Grulke A.E. (Eds.), 4th ed., New York, Wiley, II/181, 1999.
- Green P.C. and Block J., High Temperature Stable Fluid Loss Control System, *US Pat. 4473480*, 1984.
- Vio L., Drilling and Completion Muds Useful at Elevated Temperatures, *US Pat. 4536296*, 1985.
- Yao K.J. and Wang M., Synthesis of Starch-g-Polyacrylamide for Oilfield Drilling Treatments, *Oilfield Chem.*, **4**, 175-179, 1987.