

مقایسه و بررسی نقش پلیمرهای طبیعی، اصلاح شده و مصنوعی در گل حفاری

اشکان ورمه‌زیاری^{*}، مهدی شریفی^{*}، شرکت ملی حفاری ایران
چکیده

گل حفاری ترکیبی است از مواد شیمیائی معدنی و آلی که به شکل مایع ساخته شده و در حفاری چاه‌های نفت و گاز به کار می‌رود. این ترکیب از دو فاز جامد و مایع تشکیل می‌شود و طی عملیات حفاری به طور پیوسته در حال حرکت در سیستم است. گل حفاری به دلیل نقش‌های متعدد، در مقاطع مختلف حفاری خواص متفاوتی دارد و باید از نظر خواص رئولوژی، رفتار مناسبی از خود نشان دهد. برای حصول رفتار مورد نظر، مواد متنوعی از جمله پلیمرها به گل اضافه می‌شود. امروزه در حفاری چاه‌های نفت و گاز، به گستردگی از مواد پلیمری به عنوان مواد افزودنی در ساختار گل حفاری استفاده می‌شود. افزودنی‌های پلیمری به خوبی می‌توانند خواص رئولوژی گل‌های حفاری را بر حسب شرایط مورد نیاز، بهبود بخشند و هرزروی گل در خلل و فرج سازندها در حین حفاری را کاهش دهند. به دلیل اینکه امروزه پلیمرها شالوده کنترل ویژگی‌های گل حفاری هستند، در این مقاله تلاش شده تا ویژگی‌های کلی مورد نیاز یک پلیمر برای انجام وظیفه خاص در گل حفاری مورد بررسی قرار گیرد و به خصوصیات ساختاری برخی پلیمرهای طبیعی، اصلاح شده و مصنوعی به کار رفته در گل حفاری پرداخته شود. ضمن اینکه سعی شده این ساختارها به طوری به وظایفی ارتباط داده شوند که نقش و کاربرد این پلیمرها بهتر درک گردد. در آخر نیز سعی شده با ارائه نتایج آزمایش‌های انجام شده، تأثیر این پلیمرها بر رئولوژی گل حفاری مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: گل حفاری، پلیمر، خواص رئولوژی، گرانیوی^۲

مقدمه

طی ادوار گذشته که انسان برای دست‌یابی به نفت و گاز نیاز به تحقیق بیشتر در اعماق زمین پیدا کرد، اهمیت گل حفاری (سیال حفاری) روز به روز افزون‌تر گردید. با پیشرفت صنعت حفاری، اعتبار گل حفاری به جایی رسید که امروزه جهت بهبود خواص رئولوژی آن، علاوه بر پلیمرهای طبیعی و اصلاح شده، کاربرد نوع صنعتی آنها نیز مورد توجه قرار گرفته است. تجارب حفاری‌های گذشته نشان می‌دهد که گل حفاری بتونایتی با وجود کنترل و ایجاد خواص رئولوژی، در شرایط خاصی قادر به حفظ خواص مطلوب نبوده و بعضاً موجب ایجاد اشکالاتی در حفاری و کاهش بازده آن می‌شود. هم‌چنین

جهت افزایش سرعت حفاری نیاز به گلی است که در سرعت‌های برشی و حرارت زیاد (در انتهای ستون حفاری و نازل‌های سرمه حفاری) از کمترین گرانیوی و در فضای حلقوی از گرانیوی بهینه برخوردار باشد تا بتواند کنده‌های حفاری را به بیرون چاه هدایت کرده و هنگام توقف عملیات، با حفظ گرانیوی از ریزش و بازگشت کنده‌ها به پشت سرمه جلوگیری نماید. گل حفاری ایده‌ال هم‌چنین باید در برابر آلودگی‌های مختلف به خصوص کلسیم و منیزیم پایدار باشد. بنابراین محدودیت‌های فراوان و عدم کارایی مناسب گل‌های حفاری بتونایتی موجب شده سیالات دیگری به عنوان جایگزین مدنظر قرار گیرند. از این رو امروزه استفاده از گل‌های پلیمری مورد مطالعه

و آزمایش قرار گرفته که علاوه بر ایجاد گرانیوی در سیستم، در برابر آلودگی‌های مختلف پایدار بوده و به خوبی افت صافی را کنترل می‌کنند. گل‌های پلیمری ممکن است فقط از پلیمرها و مواد وزن‌افزاساخته شده باشند یا برای رسیدن گرانیوی گل به مقداری مناسب و قدرت ژله‌ای^۳ مطلوب، به دلیل کاهش هزینه و بهبود وضعیت افت صافی از مقداری بتونایت پیش‌هیدراته استفاده شود. قدرت ژله‌ای خاصیت بندش مولکولی و الکترو-شیمیائی موقتی است که هنگام سکون در گل ایجاد شده و با معلق نگه‌داشتن مواد کنده‌شده یا وزن‌افزا، از ته‌نشین شدن آنها جلوگیری می‌کند. استفاده از پلیمرها در سیال حفاری اولین بار در سال ۱۹۳۷ آغاز شد؛ وقتی جهت کنترل ویژگی‌های نفوذ

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات (ashkan_vm.ziari@yahoo.com)



نشاسته ذرت به گل بنتونایت اضافه گردید. این توسعه به سرعت با معرفی کربو کسی متیل گلوکز (CMC)، تان ها، کوراجو و لیگنو سولفات ها که در سال ۱۹۴۵ به صورت عادی مورد استفاده قرار گرفتند ادامه یافت. در سال های اخیر دامنه و تنوع پلیمرها در گل حفاری به طور مدام افزایش یافته و توانایی استفاده از پلیمرهایی با ویژگی های خاص برای متناسب بودن با هدفی ویژه اطمینان می دهد که پلیمرهای جدید مشکلات آینده حفاری را مرتفع کنند.

۱- ساختار پلیمرها

اصولاً یک پلیمر از یک واحد اساسی (مونومر) یا چند واحد اساسی تشکیل شده که به طور شیمیایی برای تشکیل یک زنجیره (پلیمری شدن) به یکدیگر وصل شده اند. این واحدها ممکن است مساوی یا متفاوت باشند و ممکن است پس از پلیمری شدن به طور شیمیایی تغییر یابند. عوامل تعیین کننده رفتار یک پلیمر بسیار پیچیده هستند و فقط تغییرات نسبتاً کوچکی در ساختار مولکول می تواند به طور دائم ویژگی های آنرا تغییر دهد که همین مسئله سبب تنوع زیاد پلیمرها می شود. گروه هایی که می توانند به پلیمرها متصل شوند به سه دسته غیر یونی، آنیونی (با بار منفی) و کاتیونی (با بار مثبت) تقسیم می شوند. در یک مولکول ممکن است بیش از یک نوع گروه وجود داشته باشد. پلیمرهای مورد استفاده در تهیه گل حفاری که عمدتاً ترکیبات آلی هستند، بر حسب منشاء و ساختار به انواع پلیمرهای طبیعی و سنتزی تقسیم می شوند. نقش ویژه ای که یک پلیمر در سیال حفاری به عهده دارد رابطه تنگاتنگی با ساختار فیزیکی و شیمیایی آن دارد. در جدول ۱- رابطه کلی بین آثار پلیمر و مشخصات اصلی ساختار آن که علت اصلی بروز یک رفتار خاص در پلیمر می باشد، ارائه شده است.

تعدادی از پلیمرها مثل نشاسته منشاء طبیعی دارند. تعدادی دیگر هم که کاربردهای تخصصی تر دارند پلیمرهای طبیعی اصلاح شده هستند. پلیمرهای پیچیده تر دیگری هم وجود دارند که به طور مصنوعی و طی فرآیندهای شیمیایی خاص تولید می شوند. پتانسیل نامحدود پلیمرها برای رشد و توسعه، آنها را برای استفاده در تمام زمینه های صنعت حفاری قابل کاربرد می سازد. در تهیه گل حفاری، پلیمرها برای تنظیم یا تغییر الگوی جریان گل (شبه پلاستیک^۴ یا بینگهام پلاستیک^۵)، گرانیروی، گرانیروی پلاستیک^۶، نقطه تسلیم^۷، خاصیت تعلیق^۸، استحکام ژلاتینی و هرزروی آب به کار می روند [۱] بینگهام پلاستیک سیالاتی هستند که در اثر تنش های

کمتر از تنش تسلیم، رفتاری شبیه جامد را از خود نشان می دهند (مانند لجن، قیر، ماسه و سوپ گوجه فرنگی). تنش تسلیم در کاربردهای مهندسی به مقدار تنش گفته می شود که باعث ایجاد تغییر فرم یا کرنش در سیال گردد.

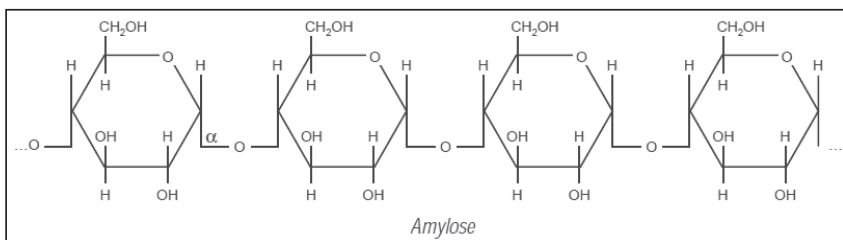
۲- کاربرد پلیمرهای طبیعی در صنعت حفاری

پلیمرهای طبیعی، پلیمرهایی هستند که به طور طبیعی و بدون دخالت انسان در طبیعت تولید

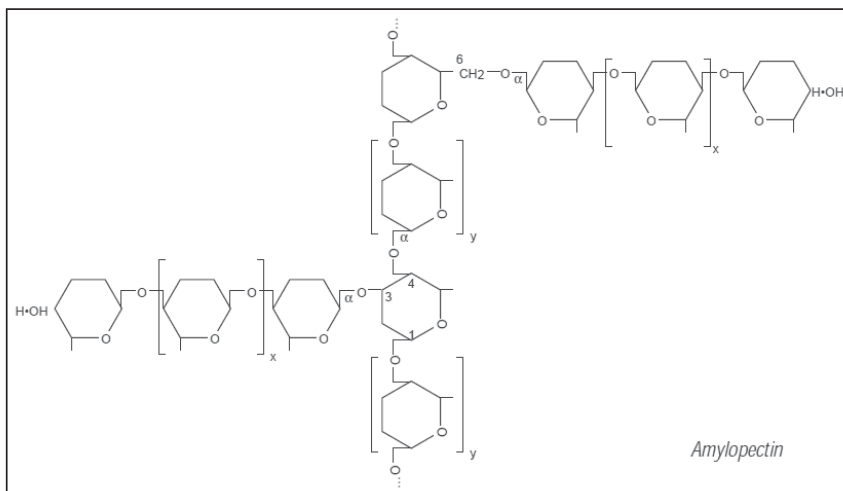
می شوند. این مواد از منابع طبیعی مثل گیاهان، حیوانات و تخمیرهای باکتریایی به وجود می آیند و با گذشتن از یک سری فرآیندها به محصول نهایی مورد استفاده تبدیل می شوند. این مراحل عبارتند از برداشت، جداسازی، آسیاب کردن و خشک کردن و در نهایت بسته بندی پلیمرهای طبیعی نسبت به پلیمرهای مصنوعی ساختار پیچیده تری دارند، پلیمرهای طبیعی در مقایسه با پلیمرهای مصنوعی پایداری حرارتی کمتری داشته و مقاومت آنها در

۱ | رابطه کلی بین آثار پلیمر و مشخصات اصلی ساختار آن

تأثیر گذار روی	مشخصات اصلی
گرانروی	وزن مولکولی
استحکام ژل	وزن مولکولی و ساختار شاخه ای زیاد
گرانروی در محلول نمکی	وزن مولکولی زیاد و نوع غیر یونی یا به شدت آنیونی جانشین شده
گسستگی ذرات گل	وزن مولکولی کم دارای بار منفی در محیط قلیایی
به هم پیوستگی ذرات گل	وزن مولکولی با گروه های باردار برای جذب روی سطح ذرات رسی
فعال کننده سطحی	وجود گروه های آبدوست و غیر آبدوست روی یک مولکول
کاهش هرزروی آب	تشکیل ذرات کلوئیدی از طریق پل بستن با ذرات جامد



۱ | ساختار آمیلوز



۲ | ساختار آمیلوپکتین

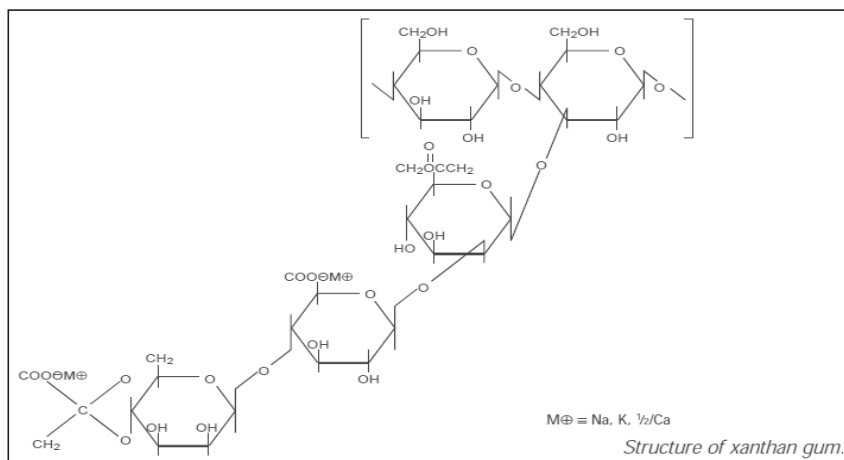
برابر تجزیه باکتریایی نیز کمتر است.

۱-۲- نشاسته^۸

نشاسته پلیمری آلی و ترکیبی پیچیده از کربوهیدرات‌های نامحلول در آب است. از لحاظ زیست‌شیمی نشاسته از دو نوع پلیمر کربوهیدرات به نام آمیلوز (شکل-۱) و آمیلوپکتین یا چندقندی‌ها (شکل-۲) تشکیل شده که آمیلوز بخش خطی و آمیلوپکتین بخش زنجیره‌ای آنست. مونومرهای این چندقندی‌ها واحدهای گلوکز هستند. نشاسته در مولکول به شکل انرژی و در گیاهان در اندام سلولی ویژه‌ای به نام آمیلوپلاست ذخیره می‌شود. نشاسته در اغلب میوه‌ها، دانه‌ها، غلات و غده‌های گیاهی (مثل سیب‌زمینی) یافت می‌شود. چهار منبع عمده نشاسته عبارتند از: ذرت، سیب‌زمینی، گندم و برنج. در صنعت حفاری چاه‌های نفت از استارچ به عنوان ماده کنترل کننده صاف‌آب گل حفاری و نیز جهت افزایش گرانیروی استفاده می‌شود. استارچ همان نشاسته با فرمول شیمیایی $C_{12}H_{22}O_{11}$ است. نشاسته نخستین بار در سال ۱۹۳۹ در گل‌های آب‌نمکی مورد استفاده قرار گرفت و امروزه در تمامی سیستم‌های

گل حفاری به‌ویژه در گل‌های آب‌نمکی استفاده می‌شود. نشاسته در آب‌های شیرینی که PH آنها از ۹/۵ بیشتر باشد عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد و از آنجایی که در معرض تخمیر بسیاری از میکروارگانیسم‌ها (تخمیر شدن، قارچ‌ها، باکتری‌ها) قرار دارد، در گل‌های آب‌نمکی با گل‌های با PH حدود ۱۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای کنترل این میکروارگانیسم‌ها جهت استفاده مکرر از گل حاوی نشاسته، از یک باکتری کش (مثلاً پارافرمالدهید) استفاده می‌شود. نشاسته در دماهای زیاد کیفیت خود را از دست می‌دهد؛ بنابراین نمی‌توان از آن در گل‌های بادمای بالا استفاده کرد. نشاسته می‌تواند تا حرارت ۲۲۵ درجه فارنهایت را درون چاه تحمل کند و در دمای بیشتر از این تخمیر شده و خواص خود را از دست می‌دهد. در دماهای بیش از ۲۰۰ درجه فارنهایت به جای نشاسته از پلیمر دیگری بنام کربوکسی متیل سلولوز که به اختصار CMC نامیده می‌شود استفاده می‌گردد که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نشاسته در غلظت‌های lb/bbl ۱۰-۲ استفاده می‌شود. این ماده در آب‌نمک اشباع ۲۸۰۰۰۰-۳۲۰۰۰۰ ppm به‌خوبی عمل می‌کند.

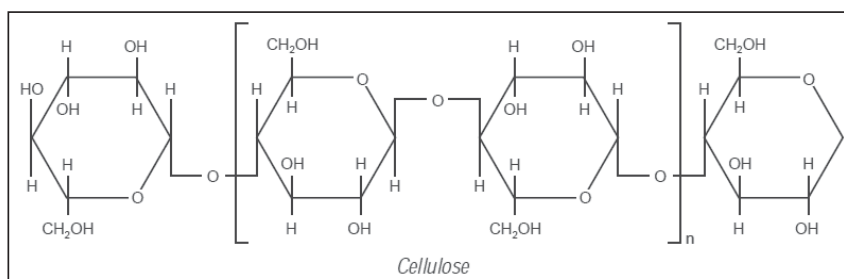
الف) نشاسته غلات (ذرت و گندم) که در اعماق کم به کار می‌رود و به دلیل اینکه پس از پخته شدن سرد شده و سریع می‌بندد، برای اعماق زیاد چاه مناسب نیست.
ب) نشاسته غده‌ای (سیب‌زمینی) که در اعماق زیاد به کار می‌رود. از آنجایی که باریت و مواد وزن‌افزا به گل اضافه می‌شوند نشاسته باید روان باشد و نیندد؛ بنابراین از نشاسته سیب‌زمینی که روی سطح آن فسفات وجود دارد استفاده می‌شود.
در هر نوع نشاسته درصد آمیلوز و آمیلوپکتین یکسان بوده و این دو نوع فقط به دلیل وجود باندهای فسفری تفاوت دارند. لازم به ذکر است روی پلیمر نشاسته بافت‌های فسفری وجود دارند که سبب می‌شود خاصیت آنیونی جذب آب بیشتر گردد. در سال‌های اخیر شیمی‌دانان موفق شده‌اند با روش‌های شیمیایی، فسفات‌ها را روی سطح ذرات نشانده و به آن خاصیت آنیونیک دهند تا بتوان آنرا در اعماق کم به کار برد. [۳ و ۴ و ۵].



شکل ۳ | ساختار صمغ زانتان

۲-۲- صمغ زانتان^{۱۱}

صمغ زانتان نیز یک پلیمر آلی استخراج شده از سلولوز و بیوپلیمری طبیعی است که برای کنترل گرانیروی استفاده می‌شود. این ماده یک پلی‌ساکارید محلول در آب و نوعی صمغ است که از تخمیر میکروبی توسط *xanthomonascampestris* ایجاد می‌شود. صمغ زانتان که یک زیست پلیمر است به دلیل خواص رئولوژیکی خاص در صنایع مختلفی استفاده شده و به لحاظ تجاری اهمیت فراوانی دارد. این ماده اگرچه



شکل ۴ | ساختار سلولوز



۳- کاربرد پلیمرهای طبیعی اصلاح شده در صنعت

حفاری

در گل حفاری، پلیمرهای طبیعی اصلاح شده بسیار پر کاربردند. سلولوز و نشاسته دو پلیمر طبیعی هستند که برای تولید پلیمرهای طبیعی اصلاح شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. موادی که در نتیجه این اصلاحات به دست می‌آیند در مقایسه با پلیمرهای طبیعی اولیه دارای خواص متفاوتی هستند. در حقیقت به منظور اینکه محصولات مورد اشاره در گل حفاری کاربرد داشته باشند باید از مواد اولیه غیر یونی مانند سلولوز و نشاسته، محصولات پلی الکترولیت به دست آورد. در واقع تعداد زیادی از پلیمرها در آب محلول نیستند و بنابراین در گل حفاری پایه آبی کاربرد ندارند؛ مگر اینکه اصلاحاتی روی آنها انجام شود. جهت ایجاد خاصیت انحلال در آب، گاهی باید پلیمرها اصلاح شوند تا از آنها پلی الکترولیت به دست آید که این فرآیند شامل تغییر در واحدهای تکرار شونده پلیمر است. یک پلی الکترولیت، پلیمری است که در آب حل می‌شود و یون‌های متعددی با بارهای مشابه و مخالف به وجود می‌آورد. کارایی یک پلی الکترولیت بستگی به سایت‌های فعال روی پلیمر دارد که آن نیز به نوبه خود بستگی به عواملی مثل غلظت پلیمر، غلظت و توزیع یون‌هایی با قابلیت یونیزه شدن، شوری، سختی و PH سیال دارد.

۳-۱- کربوکسی متیل سلولوز (CMC)

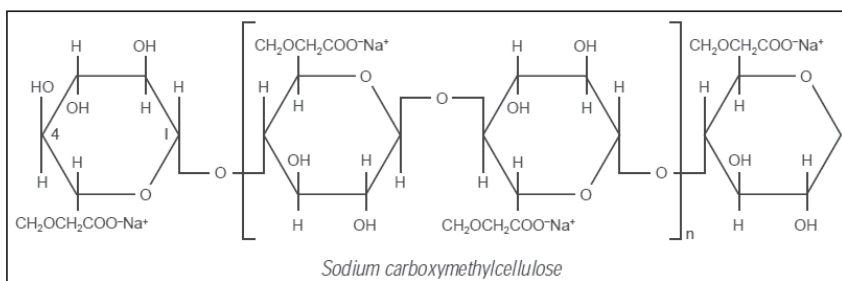
کربوکسی متیل سلولوز از مشتقات سلولوز و یک پلی الکترولیت است که از جانشینی گروه‌های کربوکسی متیل (-CH₂COOH-) به جای برخی از گروه‌های هیدروکسیل (-OH) حاصل می‌شود. شکل‌های ۴-۵ و ۴-۵ چونگی اصلاح ساختار حلقوی تکرار شونده سلولوز با وارد کردن یک گروه کربوکسی متیل آنیونی را نشان می‌دهد. در واقع این ماده از واکنش سلولوز طبیعی با مونو کلرواستیک اسید (CLCH₂COONA) و هیدروکسید سدیم تهیه و پلیمر آنیونی حاصل به شدت بر ذرات بنتونایت جذب می‌شود. بر اثر این واکنش برای تشکیل یک پلی الکترولیت، یک جانشینی در گروه (-CH₂OH) صورت می‌گیرد. محصول به دست آمده از این طریق میل ترکیبی زیادی با آب داشته و در آب محلول است.

کربوکسی متیل سلولوز که ابتدا در آلمان کشف شد و سپس در آمریکا و پس از آن در سایر کشورهای غربی گسترش یافت، به صورت فراگیر در دو نوع صنعتی و غذایی استفاده می‌شود.

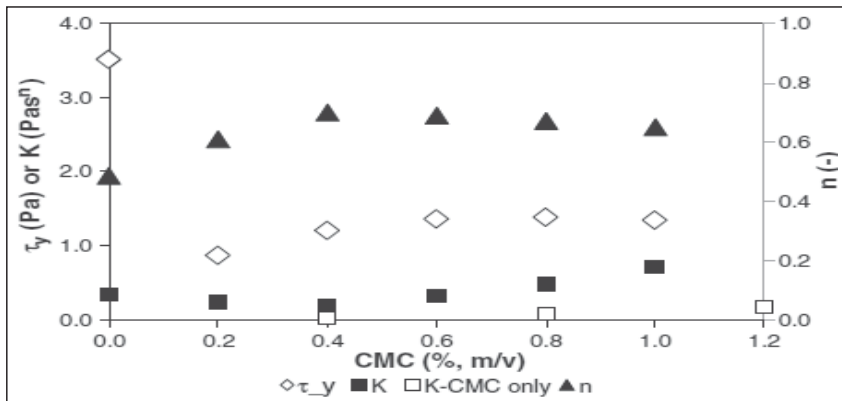
آب می‌شود. در شرایطی مانند شرایط داخل فضای حلقوی چاه که میزان برش اعمال شده کمتر است، دوباره پیوندهای هیدروژنی سیال تشکیل شده و گرانیروی آن افزایش می‌یابد. هم چنین این محلول دارای خاصیت ژلاتینی نیز هست؛ یعنی سیال به دلیل خاصیت بندش مولکولی^{۱۲}، در حالتی که هیچ حرکتی ندارد حالت ژلاتینی به خود می‌گیرد. صمغ زانتان در مواردی خاص به گل حفاری اضافه می‌شود و اغلب به عنوان جایگزینی برای رس‌ها جهت افزایش گرانیروی و حالت معلق سازی ذرات جامد در محلول به کار می‌رود. اضافه کردن این ماده از چند جهت مفید است که مهم ترین فایده آن افزایش ظرفیت حمل و معلق سازی ذرات جامد است که این امر در معلق نگه داشتن و بالا آوردن کنده‌های حفاری از درون چاه و تمیز کردن چاه^{۱۳} بسیار حائز اهمیت می‌باشد. خاصیت زانتان در افزایش گرانیروی باعث می‌شود که در حفاری‌های افقی و با عمق زیاد (به ویژه در مواردی که سرعت جریان سیال در فضای حلقوی کم است)، از آن استفاده شود. زانتان دارای خواص متعددی است که آنرا برای استفاده در گل حفاری داخل مخزن و عملیات تکمیلی/تعمیراتی چاه به یک انتخاب ایده آل تبدیل می‌کند [۲].

یک پلیمر طبیعی است، اما بیشتر در کارخانجات تولید می‌شود و در صنعت حفاری و در ترکیب گل‌های حفاری آنرا با نام XC-پلیمر می‌شناسند. مهم ترین کاربرد صمغ زانتان به عنوان عامل تعلیق ساز در گل حفاری است؛ اما برای کنترل گرانیروی گل حفاری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. از نظر ترکیب شیمیایی، صمغ زانتان آنیونی بوده و دارای پنج حلقه تکراری شامل دو حلقه به عنوان شاخه اصلی و سه حلقه به عنوان شاخه جانبی است که شاخه اصلی شامل سه حلقه از جنس حلقه‌های شکر است (شکل-۳). گروه‌های عاملی متعددی از قبیل کربوکسیل، کرنیل و هیدروکسیل که به شاخه‌های جانبی متصلند باعث ایجاد خواص گرانیروی زانتان و استفاده از آن به عنوان یک گرانیروی زادر ساختار گل حفاری می‌شوند [۶].

زانتان یک شبه پلاستیک است؛ یعنی با افزایش تنش برشی روی محلول، گرانیروی آن کاهش می‌یابد (Shear thinning). در شرایطی که میزان برش اعمال شده روی محلول زیاد باشد (مثلاً در داخل لوله حفاری) گرانیروی سیال کاهش می‌یابد و در شرایطی که میزان برش اعمال شده خیلی زیاد باشد (مثلاً در نازل‌های مته حفاری) گرانیروی سیال آنقدر کاهش می‌یابد که از لحاظ گرانیروی شبیه به



شکل ۵ | ساختار سدیم کربوکسی متیل سلولوز (CMC)



شکل ۶ | تاثیر افزایش غلظت CMC اضافه شده به سیال حفاری بر تنش تسلیم

شکاف در سازند و نیز خواص سازند رخ می‌دهد. این ماده به‌عنوان عامل مهمی در بهبود کیفیت گل حفاری عمل کرده و کنترل‌کننده اتلاف مایع، جاذب و نگهدارنده آب، عامل درزگیری دیواره چاه، تعلیق‌ساز خاک و نیز غلظت‌دهنده روانی می‌باشد. CMC در انواعی با گرانروی زیاد^{۱۴} برای ایجاد غلظت و با گرانروی کم^{۱۵} به‌عنوان عاملی جهت کاهش ضایعات فیلتراسیون محلول حاصل حفاری نفت به کار می‌رود. CMC با گرانروی کم اغلب برای کاهش فیلتراسیون (بدون تأثیر در گرانروی) و با گرانروی زیاد (وزن مولکولی زیاد) برای افزایش گرانروی گل مورد استفاده قرار می‌گیرد. با افزایش غلظت نمک سیستم، تأثیر CMC در کاهش و افزایش غلظت گرانروی، کاهش می‌یابد. اگرچه CMC یک گرانروی‌زای مؤثر است، اما در دماهای زیاد تأثیر آن کمتر خواهد بود. محدوده غلظت مورد استفاده CMC در گل حفاری ۵٪-۲٪ است [۸و۷].

۳-۱-۳- اثر CMC بر رئولوژی گل حفاری

در شکل ۶- تأثیر افزایش غلظت CMC اضافه شده به گل حفاری بر تنش تسلیم نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود در اثر افزایش غلظت CMC، مقدار تنش تسلیم نیز افزایش یافته که بر اساس قانون گرانروی نیوتن، در اثر افزایش گرانروی، تنش افزایش می‌یابد. این امر نشان‌دهنده افزایش گرانروی سیال در اثر افزایش غلظت CMC است [۹].

در شکل ۷- نیز تأثیر افزایش غلظت CMC بر گرانروی گل حفاری نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود هرچه غلظت CMC در سیال افزایش یابد، گرانروی نیز افزایش یافته و به همان نسبت، سرعت برشی^{۱۶} (میزان حرکت لایه‌های سیال روی هم) کاهش می‌یابد [۹].

۴- کاربرد پلیمرهای مصنوعی در صنعت حفاری

پلیمرهای مصنوعی طی فرآیندهای شیمیایی از مشتقات نفتی تولید می‌شوند. برخلاف پلیمرهای طبیعی و اصلاح شده، پلیمرهای مصنوعی از مولکول‌های کوچکتری ساخته شده‌اند. امکان انعطاف‌پذیری نامحدودی در طراحی در پلیمرهای مصنوعی وجود دارد. این پلیمرها که می‌توانند دقیقاً مطابق با نیازهای خواسته‌شده ساخته شوند، غالباً طبق فرآیند

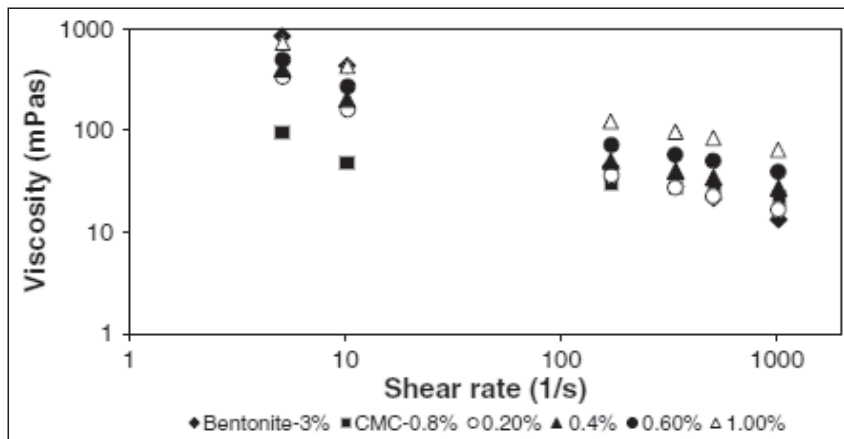
۳-۱-۱- ویژگی‌های کاربردی CMC

این ماده علاوه بر غلظت‌زایی، چسبندگی و ایجاد استحکام، عامل انتشار، عامل نگهدارنده آب، حفظ حالت کلوییدی، تثبیت‌کننده، عامل تعلیق‌ساز، امولسیون‌ساز و عامل تشکیل لایه نیز هست. به‌دلیل ویژگی‌های متنوع، CMC در طیف گسترده‌ای استفاده می‌شود. این ماده به‌سرعت در آب سرد و گرم حل شده و اساساً در مواردی که کنترل گرانروی مدنظر باشد از آن استفاده می‌گردد؛ چراکه CMC حتی در حضور یون کلسیم نیز ژل تشکیل نمی‌دهد.

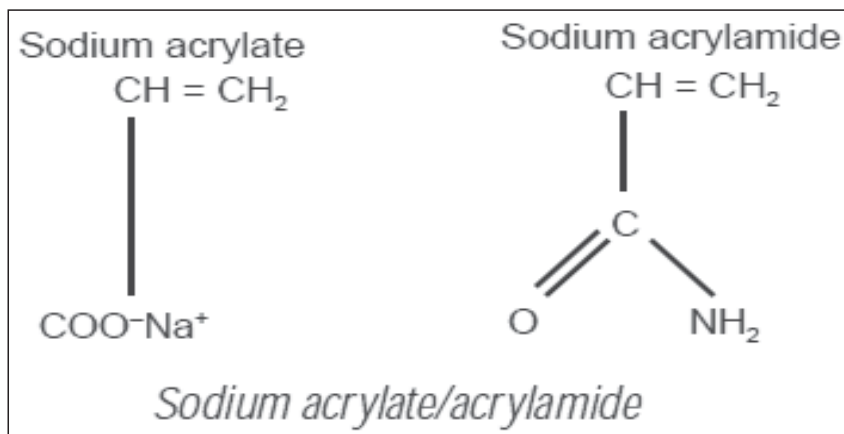
۳-۱-۲- مصارف CMC در حفاری چاه‌های نفت

در عملیات حفاری از CMC به‌عنوان کاهنده هرزروی گل استفاده می‌شود. هرزروی گل که سبب از دست رفتن زمان و افزایش هزینه‌ها می‌شود، یکی از موضوعات مهم صنعت حفاری است که به‌علت اختلاف فشار سیال حفاری و سازند، وجود

CMC گردی سفیدرنگ، بی‌بو، بی‌رنگ، قابل تعلیق در آب است و در شرایط عادی غیرقابل تخمیر می‌باشد. از نظر خواص شیمیایی و فیزیکی لازم در محیط مورد استفاده معمولاً از CMC به‌جای نشاسته و مواد طبیعی محلول در آب که نسبتاً گران‌قیمت هستند (مثل آلژینات سدیم، حنزه ایرلندی، صمغ تراگاکانت و ژلاتین) استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر این ماده از لحاظ اقتصادی مورد توجه خاص قرار گرفته و در فن‌آوری و کیفیت و آن پیشرفت‌های زیادی انجام شده است. این پیشرفت‌ها امکان استفاده از CMC در کاربردهای مختلفی نظیر مصارف خوراکی، دارویی، صنایع شوینده، رنگ، رزین، رونمای ساختمان، چسب‌ها، نساجی، چاپ و تکمیل پارچه، کاشی، سرامیک، سفال، چینی، کاغذ، الکتروود جوشکاری، فرش، موکت، گل حفاری چاه‌های نفت، تخته‌های چند لایه، چرم مصنوعی، مواد آرایشی، سموم، آفت‌کش‌ها و ... را فراهم آورده است [۸و۷].



شکل ۷ | تأثیر افزایش غلظت CMC بر گرانروی سیال حفاری



شکل ۸ | ساختار سدیم‌آکریلات



جاننشینی و از اتیلن حاصل می‌شوند. فرآیند پلیمریزاسیون در پلیمرهای مصنوعی طبق واکنش افزایش^{۱۷} صورت می‌گیرد که در آن اتیلن‌های جانشین شده به انتهای یک زنجیره پلیمری اضافه می‌شوند. در ساختار $\text{CH}_2=\text{CH}$ زیر گروه جانشین شده A می‌تواند هر گروه عاملی باشد.

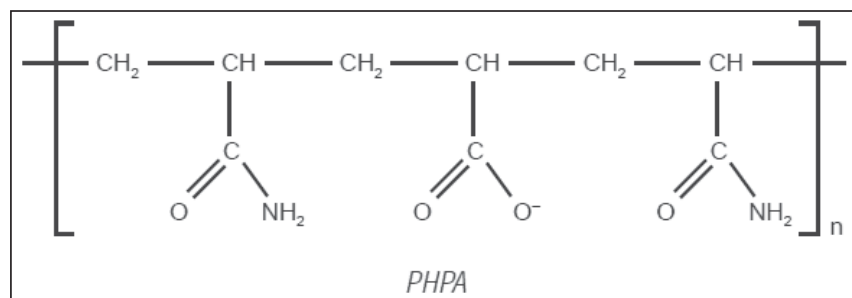
۴-۱- کوپلیمرها و کوپلیمریزاسیون^{۱۸}

کوپلیمرها شامل دو یا بیش از دو نوع مونومر هستند. از طریق کوپلیمریزاسیون می‌توان پلیمرهایی تولید کرد که خواص آن متفاوت از پلیمرهای مربوط به هر یک از مونومرهای تشکیل دهنده آنست. اضافه کردن هر مونومر در نتیجه تازه‌ای برای طراحی پلیمرهای جدیدتر به روی ما باز می‌کند. برای مثال یک مونومر می‌تواند جهت افزایش توانایی تحمل حرارتی در پلیمر به کار رود؛ در حالی که مونومر دیگر می‌تواند در سازندهای شیلی جهت کنترل شیل^{۱۹} مورد استفاده قرار گیرد.

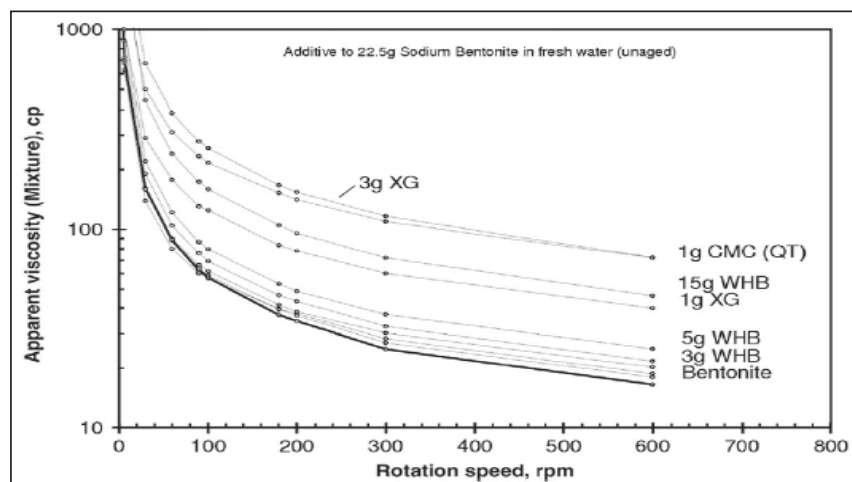
۴-۲- PHPA کوپلیمر پلی آکریل آمید/ پلی آکريلات

اصطلاح پلی آکريل آمید هیدرولیز شده جزئی با PHPA^{۲۰} گاهی اوقات برای معرفی کوپلیمر پلی آکريل آمید/پلی آکريلات به کار می‌رود. در حقیقت PHPA محصول نهایی کوپلیمریزاسیون پلی آکريل آمید/پلی آکريلات است؛ اگرچه این محصول با نام PHPA شناخته می‌شود اما در حقیقت از طریق کوپلیمریزاسیون آکريل آمید و سدیم آکريلات به دست آمده و به منظور سادگی در کاربرد به آن PHPA می‌گویند. خواص PHPA در اثر وزن مولکولی و نسبت گروه‌های کربوکسیل به گروه‌های آمید است. پلی آکريل آمید به تنهایی در آب محلول نیست و باید با سدیم آکريلات کوپلیمریزه شود تا قابلیت انحلال در آب را به دست آورد. مونومرهایی که این کوپلیمر را می‌سازند در شکل ۸- نشان داده شده‌اند.

در طول کوپلیمریزاسیون، دو مونومر به صورت تصادفی جهت تشکیل یک پیوند کربن-کربن به یکدیگر متصل می‌شوند. کوپلیمری که در نتیجه این فرآیند ایجاد می‌شود دارای گروه‌های کربوکسیل و



شکل ۹ | پلی آکريل آمید هیدرولیز شده جزئی (PHPA)



شکل ۱۰ | تاثیر پلیمرهای مختلف روی گرانروی سیال در سرعت‌های مختلف (RPM) دستگاه VG meterfan

گروه‌های آمیدی است که به شکل تصادفی روی اسکلت اصلی کوپلیمر قرار گرفته‌اند. کوپلیمر نهایی در شکل ۹- نشان داده شده است [۲].

خصوصیات پلی الکترولیت‌ها در دهه‌های اخیر در حلال‌های آبی مورد توجه قرار گرفته است. PHPA که یک ترکیب خطی آنیونی است، در گل حفاری به عنوان گرانروی زاوی و ثابت کننده شیل و نیز در افزایش بازیافت نفت از مخازن استفاده می‌شود. این ماده هم چنین با حداکثر خاصیت گرانروی زاوی و با حفظ پایداری حرارتی گل، کمترین مقدار جامدات را در گل به جا می‌گذارد. اصولاً از طریق ایجاد غشاهای محافظ کاملاً شناخته شده و مکانیزم‌های متعدد، نقش پلیمرها در حفاظت از لایه‌های شیلی جهت جلوگیری از نفوذ یون‌ها و آب به ساختمان شیل طراحی شده است. بی شک در فرمولاسیون گل پایه آبی، حضور پلیمرهای مناسب نقش اساسی و تعیین کننده داشته و ایجاد قابلیت‌های بسیار و رفتارهای فیزیکی و شیمیایی برتر برای کنترل و بهینه‌سازی خواص گل در مصاف با مشکلات حفاری ثابت شده و الزامی است. استفاده از پلیمر PHPA در تحقیقات بسیاری از دانشمندان مطرح بوده و در توسعه حفاری نیز مؤثر است. البته این پلیمر به ویژه در شرایط دما و فشار زیاد و وجود آلاینده‌های نمکی حساسیت‌هایی نیز دارد که برای رفع آن از کوپلیمرهای PHPA بهره جسته و نواقص آن تا حدودی برطرف شده است. گل حفاری حاوی این نوع پلیمر شوری زیادی دارد و به همین دلیل دفع این سیالات برای اکوسیستم دریایی و خاک‌های کشاورزی مضر است. چنین موادی می‌توانند اثر شدیدی روی محیط‌های دریافت کننده داشته باشند. این مطلب استفاده از این سیالات و تخلیه آنها را محدود می‌کند. گاهی قبل از تخلیه این سیالات ضروری است عملیات تصفیه پرهزینه‌ای روی آنها انجام شود [۱۰ و ۱۱].

۵- مقایسه اثر پلیمرهای گوناگون بر خواص رئولوژی گل حفاری

آزمایش اندازه گیری خواص رئولوژی گل حفاری توسط یک رئومتر به نام VG meterfan که نوعی گرانروی سنج دوار با دو استوانه هم محور است انجام می‌شود. در این دستگاه استوانه بیرونی ثابت است و استوانه درونی با سرعت‌های زاویه‌ای ۳، ۶، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ rpm دوران می‌کند. گشتاور یا تنش برشی مورد نیاز برای ایجاد این مقدار سرعت زاویه‌ای (یا

گرانروی پلاستیک و نقطه تسلیم گل می شود. ■ آزمایش های مختلف نشان داده که با افزایش عمق حفاری، در گل های بنتونیتی افزایش دما (بدون افزودنی های پلیمری) سبب افزایش تنش برشی می شود ولی در گل های پلیمری افزایش دما سبب کاهش تنش برشی می گردد.

■ نتایج آزمایش ها نشان می دهد که پلیمرهای مصنوعی و اصلاح شده در مقایسه با پلیمرهای طبیعی، گرانروی بیشتری در گل حفاری ایجاد کرده و در برابر انواع آلودگی ها مقاوم ترند. این پلیمرها هم چنین در سرعت های برشی زیاد، مشخصات اولیه گرانروی را حفظ می کند.

■ پلیمرهای طبیعی در مقایسه با پلیمرهای مصنوعی پایداری حرارتی کمتری داشته و نسبت به تجزیه باکتریایی نیز مقاومت کمتری دارند. ■

است و از دانه جو به دست می آید، در غلظت های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ ppm مورد مطالعه قرار گرفته و مقادیر انحراف عقربه با دستگاه VG meter-fan در سرعت های ۳، ۶، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ rpm پس از رسیدن به تعادل، اندازه گیری شده است. هر آزمایش چندین بار تکرار شده و پس از انجام تحلیل آماری نتایج گزارش شده است (شکل-۱۰). همان طور که مشاهده می شود با توجه به میزان مصرف CMC (یک گرم)، میزان تأثیر آن بر گرانروی، بیشتر از سایر پلیمرهاست [۱۲].

نتیجه گیری

■ امروزه بهترین روش جهت بهبود خواص رئولوژی گل حفاری، استفاده از پلیمرها در ساختار آنست. استفاده از مواد پلیمری متناسب با غلظت گل حفاری، موجب افزایش خطی

سرعت برش) متناسب با گرانروی سیال است. اگر N مقادیر معین شده سرعت های زاویه ای انتخابی و Nθ میزان انحراف عقربه که متناسب با تنش برشی حاصل در سرعت های زاویه ای مورد نظر است، با استفاده از روابط ۱- و ۲ می توان بعضی از خواص سیال حفاری را محاسبه کرد:

$$Pv = N\theta_{600} - N\theta_{300} \quad (1)$$

$$Yp = N\theta_{300} - Pv \quad (2)$$

که در آن Pv گرانروی پلاستیک بر حسب lbf/ft² و Cp نیز نقطه تسلیم گل بر حسب lbf/ft² است.

در این آزمایش نمونه هایی از سیال بنتونیتی با غلظت ۲۰ lb/bbl (۵۷ kg/m³) تهیه شده و با افزودن مقادیر مختلف پلیمر از جمله CMC، صمغ زانتان و WHB^۱ که یک نوع پلیمر طبیعی

پانویس ها

1. mahdi_13612@yahoo.com
2. viscosity
3. Gelatin or Thixotropy
4. pseudo plastic
5. Bingham plastic
6. plastic viscosity
7. yield point

8. starch
9. amylopectin
10. amylase
11. xanthan gum
12. tixotropic
13. hole cleaning
14. CMC hi-viscose

15. CMC low-viscose
16. shear rate
17. addition reaction
18. copolymerization
19. shale control
20. Partially Hydrolyzed Poly Acrylamid
21. Waxy bull-less Balery

منابع

- geneity by sedimentation transport: 2. Carboxymethyl cellulose in a water/cadoxene mixture", Polymer, Volume 35, Issue 10, May 1994, Pages 2137-2140
- [8] Hasan Toğrul, Nurhan Arslan, "Production of carboxymethyl cellulose from sugar beet pulp cellulose and rheological behaviour of carboxymethyl cellulose", Carbohydrate Polymers, Volume 54, Issue 1, 1 October 2003, Pages 73-82
- [9] V.C. Kelessidis, E. Poulakakis, V. Chatzistamou, "Use of Carbopol 980 and carboxymethyl cellulose polymers as rheology modifiers of sodium-bentonite water dispersions", Applied Clay Science, Volume 54, Issue 1, November 2011, Pages 63-69
- [10] M. Ebrahim Zeynali, Ahmad Rabii*, and Habibollah Baharvand, "Synthesis of Partially Hydrolyzed Polyacrylamide and Investigation of Solution"
- [11] Dong-Sun Yang, Hyeon-Ho Jeong, Hun-Soo Byun, "Cloud-point behavior of binary and ternary mixtures of PHPMA and PHPA in supercritical fluid solvents", Fluid Phase Equilibria, Volume 332, 25 October 2012, Pages 77-84
- [12] T. Hamida, E. Kuru, M. Pickard, "Rheological characteristics of aqueous waxy hull-less barley (WHB) solutions", Article history: Received 9 June 2008 Accepted 2 August 2009
- [۱] مجید سالاریه، ریاض خراط، "Effect of DRISPAc polymer on the Rheo-logical Behavior of Drilling Mud", مجله علوم و تکنولوژی پلیمر- سال سیزدهم- شماره دوم
- [۲] دستورالعمل اجرایی مدیریت خدمات سیالات حفاری شرکت ملی حفاری ایران Mi Drilling Fluids Company-02.28.2001, "Mi Drilling Fluids Engineering Manual
- [3] Gabriela N. Barrera, Mariela C. Bustos, Laura Iturriaga, Silvia K. Flores, Alberto E. León, Pablo D. Ribotta, "Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions", Journal of Food Engineering, Volume 116, Issue 1, May 2013, Pages 233-239
- [4] Rabiha Sulaiman, Kirk D. Dolan, "Effect of amylose content on estimated kinetic parameters for a starch viscosity model", Journal of Food Engineering, Volume 114, Issue 1, January 2013, Pages 75-82
- [5] S. Lagarrigue, G. Alvarez, "The rheology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: a review", Journal of Food Engineering, Volume 50, Issue 4, December 2001, Pages 189-202
- [6] F Garcia-Ochoa, V.E Santos, J.A Casas, E Gómez, "Xanthan gum: production, recovery, and properties", Biotechnology Advances, Volume 18, Issue 7, 1 November 2000, Pages 549-579
- [7] Peter N. Lavrenko, Olga V. Okatova, "Analysis of polymer hetero-