

سنتز و بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی پلی (آکریل آمید - کو - آکرلیک اسید) مورد استفاده به عنوان تثبیت کننده خاک

محمد رضا منافی^{۱*}، پدram منافی^۲ و هبه دقه^۳

۱- استادیار تکنولوژی پلیمر، دانشکده علوم پایه، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکترای مهندسی پلیمر، دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ماهشهر، ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی پلیمر، گروه پلاستیک، پژوهشکده فرایند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران

دریافت: تیر ۱۳۹۵، بازنگری: شهریور ۱۳۹۵، پذیرش: مهر ۱۳۹۵

چکیده: امروزه استفاده از مالچ‌های بسیاری از جمله بسپارهای بر پایه آکریل آمید به دلیل دوست دار محیط زیست بودن، ایمنی و قیمت ارزان آن‌ها در حال گسترش است. پلی آکریل آمید ها، بی بو، بی رنگ و بدون خاصیت آلایندگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی، بافت‌های گیاهی و خاک هستند. در این پژوهش برای نخستین بار از هم‌بسپار بر پایه آکریل آمید و آکرلیک اسید در مقیاس کرت کوچک و در شرایط آزمایشگاهی برای استفاده در خاک به منظور پیوستگی و جلوگیری از هدر رفت آن استفاده شد. ابتدا این بسپارش با روش بسپارش رادیکالی و محلول در آب، سنتز و با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه و تجزیه گرموزن سنجی شناسایی شد. همچنین برای محاسبه چگالی بار منفی نمونه‌های سنتزی از روش تیتراسیون استفاده شد. با افزایش چگالی بار منفی زنجیر بسپاری، گرانروی ظاهری با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. بنابراین، در حضور آکرلیک اسید، یون‌های منقبض و کروی شده، پیکربندی کلافی شکل به خود می‌گیرند. با پیش رفتن واکنش بسپارش در مقادیر وزنی ۵۰ تا ۹۰ درصد از آکرلیک اسید، سرعت واکنش به علت تجمع بارهای منفی کاهش یافته و جرم مولکولی هم‌بسپار با افزایش درجه آنیونی هم‌بسپارها کاهش می‌یابد. در نهایت، هدررفت خاک به وسیله هم‌بسپار سنتز شده در تیمارهای پژوهش که شامل هم‌بسپار با مقادیر متفاوت مصرف $0.4, 1, 2, 3, 4, 6$ g/m² و ۶ به روش محلول در آب و افشاندن روی سطح خاک پیش از اجرای بارش مصنوعی تعیین شد و همچنین پیوستگی آن در ۳۰ min بارندگی مورد مطالعه قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: هم‌بسپار، هدررفت خاک، آکریل آمید، آکرلیک اسید، ویژگی رئولوژیکی

مقدمه

جمعیت جهان، ۷۰٪ اراضی خشک که بیش از ۶ میلیارد هکتار می‌شود و همچنین یک‌چهارم مساحت جهان را تحت تأثیر اثرات منفی خود قرار می‌دهد. متأسفانه بیابان‌ها هر سال گسترش می‌یابند و یکی از علل آن قطع بی‌رویه درختان و تخریب مراتع است. فرسایش خاک و بیابانی شدن از جمله فرایندهایی هستند که منابع آب و خاک کشور ما را به شدت تهدید می‌کنند.

بر اساس تعریف کنوانسیون بیابان‌زایی، بیابان‌زایی یا بیابانی شدن پدیده‌ای است که در اثر عملکرد نادرست طبیعت و انسان پدید می‌آید. به عبارت بهتر، تخریب سرزمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک و خشک نیم مرطوب در اثر عواملی مانند عوامل انسانی و عوامل طبیعی. شایان ذکر است، این پدیده، یک‌ششم

دو عامل اصلی را می‌توان علت وقوع فرسایش خاک دانست: از بین رفتن پوشش گیاهی طبیعی خاک و کشت گیاهانی که پوشش گیاهی کافی فراهم نکرده و قسمتی از خاک را برهنه می‌گذارند. کشت نباتات کرتی مانند ذرت و سیب‌زمینی، بخصوص اگر کرت‌ها در جهت شیب زمین باشد، پوشش کافی به خاک نداده، فرسایش و از بین رفتن خاک را تشدید می‌کنند. هرچند این پدیده طبیعی بوده و جلوگیری از آن اجتناب‌ناپذیر است، اما کاهش سرعت فرسایش خاک امکان‌پذیر است [۱].

امروزه استفاده از مالچ‌های بسیاری از جمله بسپارهای بر پایه آکریل‌آمید به دلیل دوست دار محیط‌زیست بودن، ایمنی و قیمت ارزان آن‌ها در حال گسترش است. پلی آکریل‌آمیدها، بی‌بو، بی‌رنگ و بدون خاصیت آلاینده‌گی در آب‌های سطحی و زیرزمینی، بافت‌های گیاهی و خاک هستند. بار فعال متصل به پیکره شیمیایی پلی آکریل‌آمید تعیین‌کننده نوع آن است که بر این اساس با توجه به ویژگی‌های آن به چهار نوع آنیونی، کاتیونی، دوخصلتی (آمفوتری) و غیریونی دسته‌بندی می‌شوند که نوع آنیونی آن در کشاورزی دارای اهمیت است. پلی آکریل‌آمید آنیونی دارای بار منفی است و چگالی بار و قدرت اسیدی گروه‌های عاملی به کار رفته در ساختار آن نقش مهمی را ایفا می‌کنند و به نوع قوی و ضعیف با چگالی بار زیاد یا کم دسته‌بندی می‌شوند [۲ تا ۵].

انجام پژوهش در ارتباط با استفاده از افزودنی‌های هم‌بسپاری به‌منظور اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک به‌عنوان یکی از تیمارهای مهم مدیریت منابع خاک و آب از اوایل سال ۱۹۵۰ شروع شد. اما کاربرد پیشرفته پلی آکریل‌آمید به اواخر دهه ۱۹۹۰ برمی‌گردد [۶]. هرچند پژوهش‌های متفاوتی در رابطه با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر کاربرد پلی آکریل‌آمید در نقاط متفاوت جهان گزارش شده است [۷ تا ۱۵] ولی کاربردهای محدودتری برای مهار فرسایش خاک و تولید رسوب گزارش شده است. در همین خصوص، پژوهشگران با هدف کنترل غلظت رسوب و فسفر خروجی از افزودنی پلی آکریل‌آمید در سه سطح ۱، ۵ و ۱۰ mg/l از آب آبیاری استفاده کردند. نتیجه‌های

به‌دست آمده از پژوهش آن‌ها، نشان‌دهنده تأثیر پلی آکریل‌آمید در کاهش رسوب و عدم تأثیر آن در کاهش فسفر محلول در آب بوده است [۱۶].

ربیعی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ پلی الکترولیت آنیونی بر پایه آکریل‌آمید با وزن مولکولی بیش از $10^6 \times 10^6$ g/mol به‌عنوان تثبیت‌کننده خاک تولید و اثر آن بر ویژگی خاک را بررسی کردند. بر اساس نتیجه‌ها در بسپارهای به‌دست آمده، گرانروی با افزایش سرعت برش کاهش یافت. نتیجه‌های بررسی‌ها نشان داد، پلی الکترولیت آنیونی بر پایه آکریل‌آمید می‌تواند ضمن چسبندگی بهتر ذرات خاک موجب تقویت ویژگی آن نیز شود و سازوکار چگونگی برهم‌کنش این بسپارهای باردار با ذرات خاک با سه سازوکار جذب، پل‌زدن و خنثی‌سازی بار انجام می‌شود [۱۷].

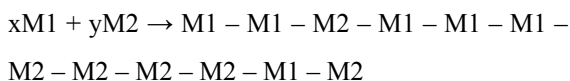
Awad و همکارانش (۲۰۱۴) اثر چند نوع بسپار از جمله پلی آکریل‌آمید به‌منظور بهبود ساختمان خاک دانه‌ها و کاهش فرسایش خاک را بررسی کردند و اظهار داشتند این ترکیب پلیمری ضمن بهبود ویژگی فیزیکی خاک می‌تواند در تجزیه بقایای گیاهی نیز تأثیر مثبت داشته باشد [۱۸].

Shin و همکارانش (۲۰۱۳) اثر افزودن پلی آکریل‌آمید به همراه چند افزودنی دیگر شامل خاک اره، کاه و کلش و ژئیس، و اثر آن‌ها بر کاهش روان آب و آلاینده‌های غیرنقطه‌ای را بررسی کردند که در صورت افزودن پلی آکریل‌آمید، مقدار روان آب ۶۳٫۳٪ کاهش پیدا کرده و به‌تقریب هیچ‌گونه رسوبی از پلات‌ها تولید نشد [۱۹]. در این پژوهش، برای نخستین بار از هم‌بسپار بر پایه آکریل‌آمید و آکرلیک اسید در مقیاس کرت کوچک و در شرایط آزمایشگاهی جهت استفاده در خاک برای پیوستگی و جلوگیری از هدررفت آن استفاده شد. نخست این هم‌بسپار با روش بسپارش زنجیره‌ای رادیکالی^۱ و محلول در آب سنتز و با استفاده از طیف‌سنجی فرسوخ تبدیل فوریه، $^{13}\text{CNMR}$ و تجزیه گرماوزن‌سنجی شناسایی شد. همچنین برای محاسبه چگالی بار منفی نمونه‌های سنتزی از روش تیتراسیون و پتانسیل‌زتا و برای تعیین جرم مولکولی از گرانروی سنج و معادله‌های مربوط به آن استفاده شد.

شد. پتانسیل زتا نمونه‌ها با دستگاه (Nano ZS, Malvern, UK) انجام شد. بیست نمونه برای هر قطعه ساخته شد و میانگین آن‌ها برای پتانسیل زتا گزارش شد. جرم مولکولی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراکندگی نور لیزری مدل SEMATEch633 در طول موج 633 nm و ساخت کشور فرانسه اندازه‌گیری شد.

روش‌ها

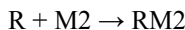
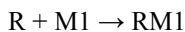
سازوکار واکنش هم‌بسیارش تکپار آکریلیک اسید و تکپار آکریل‌آمید در این پژوهش، از روش بسیارش زنجیره‌ای و محلول در آب استفاده می‌شود. به‌طور کلی هم‌بسیارش تکپار آکریلیک اسید و تکپار آکریل‌آمید به‌صورت زیر بیان می‌شود:



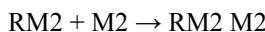
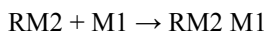
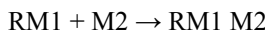
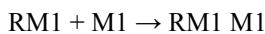
که در این جا M1 تکپار آکریلیک اسید و M2 تکپار آکریل‌آمید است.

همچنین، سازوکار واکنش به‌صورت زیر است:

مرحله آغازین



مرحله انتشار



مرحله پایانی



سنتز نمونه‌های پلی‌الکترولیت

برای سنتز نمونه‌های پلی‌الکترولیت آنیونی، نخست محلول 1.25 M از تکپارهای آکریل‌آمید و اکریلیک اسید به‌طور جداگانه در آب تهیه، سپس محلول‌های آکریل‌آمید و آکریلیک اسید را

درنهایت، هدررفت خاک همراه و بدون بسیارش سنتزی برآورد شد و پیوستگی آن نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

بخش تجربی

مواد

تکپار آکریل‌آمید و تکپار آکریلیک اسید از شرکت سیگما آلدریج تهیه شدند و مواد شیمیایی استفاده‌شده شامل سدیم هیدروکسید، پتاسیم پرسولفات، کلریدریک اسید و اتانول با درجه آزمایشگاهی بودند که از شرکت مرک تهیه شدند.

دستگاه‌ها و شناسایی نمونه‌ها

از دستگاه طیف‌سنجی فروسخ تبدیل فوریه FTIR-Bruker مدل EQUINOX 55 ساخت کشور آمریکا برای شناسایی گروه‌های عاملی موجود در ساختار شیمیایی بسیار سنتز شده استفاده شد. پس از مخلوط شدن بسیار خشک‌شده و همچنین تکپار آکریل‌آمید که جامد است با KBr و تهیه قرص، طیف‌سنجی نمونه‌ها در گستره 600 تا 4000 cm⁻¹ انجام شد. همچنین برای تکپار آکریلیک اسید، یک قطره از تکپار بین یک زوج از صفحات سیقل یافته سدیم کلرید (NaCl) قرار داده شدند تا لایه‌نازکی از تکپار بین دو صفحه تشکیل شد. طیف‌های NMR به کمک دستگاه با قدرت مغناطیسی، 400 MHz مدل AVANCE ساخت شرکت Bruker انجام شد. مشخصات آزمون برای طیف‌های ¹³CNMR با زاویه فلیپ 90°، زمان تأخیر، 5 s زمان کسب‌شده، 1.59 s تعداد 10000 پویش بوده و از برنامه پالس دروازه‌ای معکوس¹ استفاده شده است. تجزیه وزن سنجی گرمایی برای اندازه‌گیری تغییرات جرم نمونه به‌عنوان تابعی از دما به کار می‌رود و دستگاه TGA تغییرات وزن ماده را به‌صورت کمی اندازه‌گیری می‌کند. نمونه‌ها از دمای اتاق تا 600 °C با سرعت 10 °C/min در دستگاه با مدل STA 1640 ساخت کشور انگلستان تحت اتمسفر نیتروژن بررسی شدند. از pH سنج رقمی مدل Corning 240 ساخت کشور آمریکا برای اندازه‌گیری قدرت اسیدی استفاده

1. Inverse gate

به محلول، روی ۳/۴ تنظیم شد. سپس، این محلول با محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱ N تیترا شد تا pH آن تا خنثی شدن پیش رفت. تعداد گروه‌های اکریلات موجود در نمونه بسیار برابر با تعداد اکی‌والان گرم سدیم هیدروکسید مصرف شده برای افزایش pH محلول از ۳/۴ به ۷ است. چگالی بار منفی در ساختار بسیار برابر تعداد گروه‌های اکریلات موجود در بسیار است که با توجه به حجم محلول سدیم هیدروکسید مصرف شده محاسبه می‌شود.

اندازه‌گیری گرانیروی

از حل بسپارهای خشک در محلول آبی NaCl، محلول‌های بسپاری ساخته شدند. گرانیروی ذاتی نمونه‌ها با گرانیروی سنج آبلود در دمای ۲۵ °C انجام شد. برون‌یابی از پنج غلظت (۰/۰۳، ۰/۰۶، ۰/۰۹، ۰/۱۲ و ۰/۱۵ g/ml) محلول‌ها برای دستیابی به گرانیروی ذاتی استفاده شد.

برای به‌دست آوردن گرانیروی ظاهری، از بسپارهای تهیه‌شده محلول‌های ۵ g/l تهیه شد و آن‌ها در دمای ۲۵ °C و سرعت‌های برش متفاوت (۲۰، ۳۰، ۵۰، ۶۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ rpm)، به‌وسیله گرانیروی سنج چرخشی بروکفیلد به‌دست آمد. سپس، تغییرات گرانیروی نمونه‌ها برحسب سرعت برش رسم شد تا منحنی گرانیروی ظاهری نمونه‌ها به‌دست آید [۲۰].

جرم مولکولی با استفاده از معادله مارک-هاوینک محاسبه شد:

$$Mw = (10000 \times [\eta] / 3.73)^{1/0.66} \quad (1)$$

تیمارها و کرت‌های مورد استفاده در پژوهش

تیمارهای پژوهش که شامل هم‌بسپار با مقادیر متفاوت مصرف ۰/۴، ۰/۶، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ g/m² به روش محلول در آب و افشاندن روی سطح خاک قبل از اجرای بارش مصنوعی به سبب مؤثر بودن آن در مهار فرسایش انجام شد. تعداد کل تیمارهای آزمایشی در مجموع ۲۴ عدد بوده است. هرکدام از مقادیر مورد استفاده در ۲۰۰ ml از آب شهری حل و پس از حل شدن کامل هم‌بسپار، محلول با آبپاش به‌صورت یکنواخت روی خاک افشاندن شد. مقادیر رسانایی الکتریکی و pH، مورد پژوهش بر اساس نتیجه‌های

طبق نسبت‌های موجود در جدول ۱ داخل بالون دو دهانه که یک دهانه ورودی گاز خنثی نیتروژن و دهانه دیگر برای باز روانی بود، افزوده شد به‌طوری که حجم محلول ۱۰۰ ml شود. همچنین مجموع غلظت تکپار آکریل آمید و تکپار اکریلیک اسید ۱/۲۵ M بود. گاز نیتروژن به مدت ۱۰ min از مخلوط واکنش عبور داده شد تا مخلوط به‌طور کامل عاری از اکسیژن شود. سپس ۱ ml آغازگر پتاسیم پرسولفات ۱۰ mmol به آن افزوده شد و دمای واکنش تا ۶۵ °C افزایش یافت. واکنش به مدت ۴ ساعت در این دما ادامه یافت تا پس از تکمیل واکنش، این مخلوط درون اتانول هم زده و رسوب داده شد. فرآورده در دمای ۶۰ °C در خلأ خشک شد و در نهایت به همین ترتیب، نمونه‌های پلی الکترولیت آنیونی با نسبت‌های مولی متفاوت تهیه شدند که در جدول ۱ ترکیب شیمیایی نمونه هم‌بسپار تهیه‌شده در محلول آبی است. همچنین لازم به ذکر است که ظاهر نمونه‌ها یک مایع گرانیرو و شفاف بود که پس از افزایش الکل به‌طور کامل رسوب کرد و دارای رنگ سفید شد. مقدار آغازگر و زمان واکنش در همه نمونه‌ها ثابت بودند و بر ظاهر نمونه‌ها اثر نداشتند.

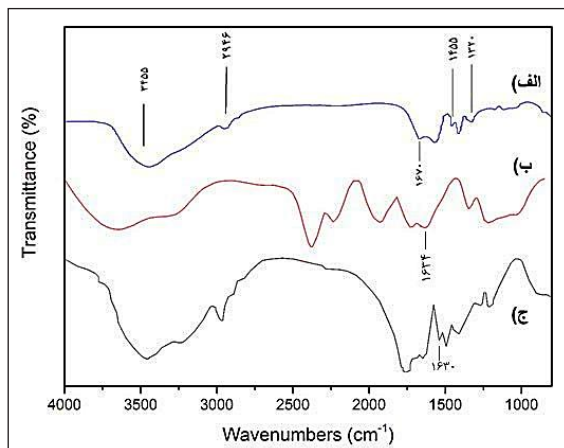
جدول ۱ ترکیب شیمیایی نمونه هم‌بسپار تهیه شده در محلول آبی

نمونه	محلول آکریل آمید (ml) ۱/۲۵ M	محلول آکرلیک اسید (ml) ۱/۲۵ M
PA10	۱۰	۹۰
PA20	۲۰	۸۰
PA30	۳۰	۷۰
PA40	۴۰	۶۰
PA50	۵۰	۵۰

محاسبه چگالی بار منفی نمونه‌های سنتزی

مقدار چگالی بار منفی نمونه‌های سنتزی تهیه‌شده به روش تیترا کردن به دست آمد. ۱ g از هم‌بسپار در ۲ l آب مقطر حل شد. pH سنج رقمی بعد از افزودن کلریدریک اسید ۰/۱ N

وجود ندارد. بررسی این نتیجه‌ها، اثباتی برای سنتز هم‌بسیار پلی آکریل‌آمید و پلی آکرلیک اسید است.



شکل ۱ طیف فروسرخ (الف) هم‌بسیار آکریل‌آمید و آکرلیک اسید، (ب) تکپار آکرلیک اسید و (ج) تکپار آکریل‌آمید

طیف‌سنجی رزونانس مغناطیس کربن

روش تکمیلی برای شناسایی سنتز هم‌بسیار با طیف‌سنجی $^{13}\text{C-NMR}$ بررسی شد. طیف $^{13}\text{C-NMR}$ نمونه‌های PA و PA50 در شکل ۲ نمایش داده شدند. پیک‌های نمونه PAM در توافق کامل با پژوهش‌های دیگر است [۲۲ و ۲۳]. کربن متینی $(-\text{CHCONH}_2)$ زنجیر اصلی در گستره ۳۶٫۵ تا ۴۰٫۷ ppm رزونانس می‌کند. کربن کربونیلی در ۱۸۲٫۴ ppm تک پیک تیز ظاهر می‌شود (شکل ۲-الف). در شکل ۲-ب، همان‌طور که مشخص است در ۶۵٫۲ ppm $\delta =$ پیک کربن متینی $(-\text{CHCOOH})$ پدیدار گشته است [۲۴]. کربن کربونیلی گروه $-\text{COOH}$ در ۱۷۸٫۷ - ۱۷۷٫۶ ppm $\delta =$ پیک جذب نشان می‌دهد. به عبارت بهتر با افزودن آکرلیک‌اسید، هم‌بسیار بر پایه‌ی آکریل‌آمید- آکرلیک‌اسید سنتز شد. یعنی وجود پیک در ناحیه‌ی وجود گروه‌های کربوکسیلی است، چراکه آکریل‌آمید فاقد این گروه عاملی است. این نتیجه‌ها، اثباتی دیگر برای سنتز هم‌بسیار پلی آکریل‌آمید و پلی آکرلیک‌اسید است.

آزمایشگاهی، به ترتیب ۱۳۷٫۳ میکروموس بر سانتی‌متر و ۸٫۲ بوده است. نمونه‌های خاک با شیب ۵ درصد به فاصله ۴۰ cm زیر بارش آب با شدت ۲۳ mm/h به مدت ۱۵ min با توجه به سایر پژوهش‌ها تعیین شدند [۲۱].

اندازه‌گیری هدررفت خاک

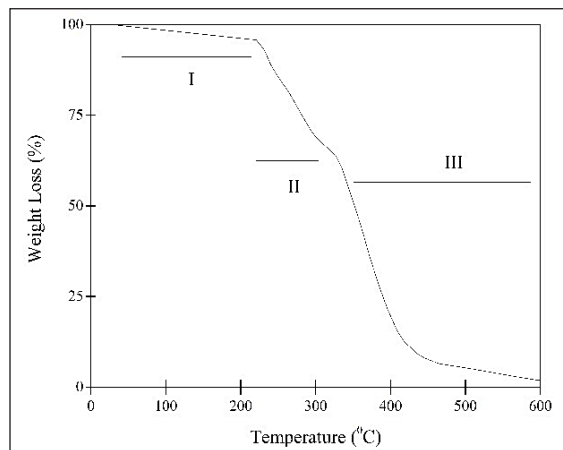
به منظور تعیین روند تغییرات هدررفت خاک و رسوب خروجی از سطح مطالعاتی با افزایش مقدار هم‌بسیار در مدت ۳۰ min بارش، در تمام تیمارها، اقدام به نمونه‌برداری روان آب و رسوب در گام‌های زمانی مشخص شامل سه نمونه در هر ۲ min پس از شروع روان آب، سه نمونه در هر سه دقیقه و هر ۵ min تا انتهای بارش شد. سپس تا انتهای مدت‌زمان بارش طبق گام‌های زمانی ذکرشده، نمونه‌ها رأس زمان در نظر گرفته‌شده از خروجی سطح مطالعاتی به درون ظروف پلاستیکی جمع‌آوری شدند. سپس با استفاده از استوانه مدرج مقدار روان آب محتوی رسوب قرائت شد. از تمام نمونه‌ها یک نمونه یکنواخت از روان آب و رسوب خروجی به مقدار ۱۰۰ ml جدا شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت درون تاون در دمای ۱۰۵ °C قرار داده شد. با توجه به تیمارها، تکرارها و گام‌های زمانی مطالعاتی در مجموع، ۲۱۶ نمونه روان آب و تجزیه‌های مربوط برای آن‌ها اجرا و برداشت شد.

نتیجه‌ها و بحث

طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه

ساختار شیمیایی نمونه‌های تهیه شده به کمک طیف‌سنجی FT-IR در شکل ۱ نشان داده شده است. ارتعاش کششی گروه‌های C-N و C-O به ترتیب در نواحی ۱۳۲۰ و ۱۴۵۵ cm^{-1} به دست آمده است. وجود پیک مشخصه در ۱۶۷۰ cm^{-1} نشان‌دهنده گروه CONH_2 و همچنین پیک در محدوده ۳۴۵۵ cm^{-1} بیانگر ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیلی است. پیک در گستره ۲۹۴۶ cm^{-1} وجود گروه‌های CH در زنجیره اصلی را ثابت می‌کند. عدم ظهور پیک در ناحیه ۱۶۳۰ تا ۱۶۳۵ cm^{-1} نمایانگر پیشرفت کامل واکنش است چرا که تمام تکپارها مصرف‌شده و پیوند C=C

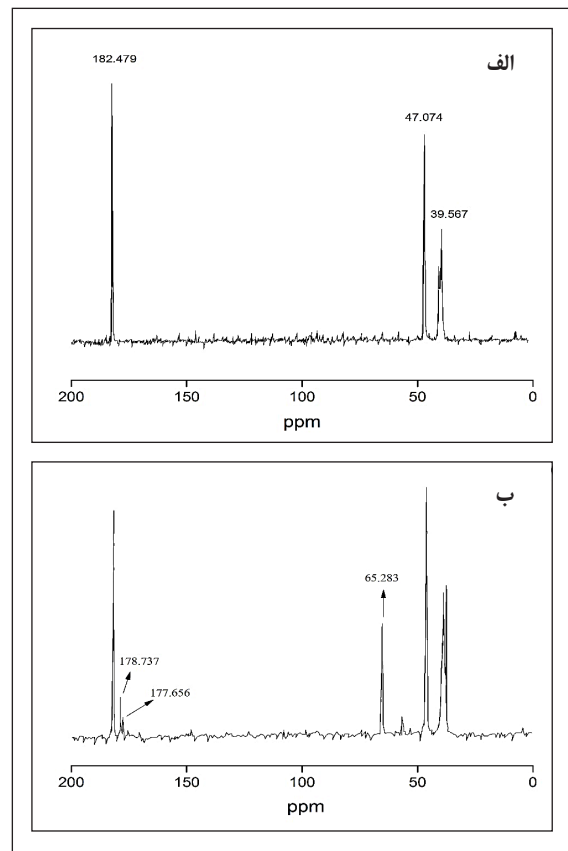
احتمال گروه‌های انیدریدی پلی آکرلیک اسید حذف می‌شوند. مرحله سوم هم‌بسیار بیشترین وزن خود که حدود ۶۰٪ است در دماهای بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ °C از دست می‌دهد. دلیل وقوع این پدیده سوختن زنجیره اصلی و تخریب هم‌بسیار است. همچنین در این گستره دمایی (بالای ۴۵۰ °C)، کربونیزاسیون نیز اتفاق می‌افتد [۲۵ و ۲۶].



شکل ۳ دمانگاشت هم‌بسیار پلی آکریل آمید و پلی آکرلیک اسید

بررسی چگالی بار هم‌بسیار آکریل آمید و آکرلیک اسید سنتر شده منظور از چگالی بار تعداد گروه‌های COOH در ساختار بسیار است که در اثر بسپارش به دست آمده است. تثبیت و چسبندگی ذرات خاک با افزایش چگالی بار منفی بهبود پیدا می‌کند یعنی وجود گروه‌های عاملی کربوکسیلیک در بسیار باعث اتصال اجزای خاک با بسیار می‌شود [۲۷]. با استفاده از روش تیتراسیون درصد بار منفی محاسبه شد که با افزایش مقدار تکپار اولیه، بار منفی در هم‌بسیار به دست آمده افزایش یافت، به عبارت بهتر با افزایش گروه‌های کربوکسیلیک در ساختار بسیار، سازگاری خاک با آن افزایش یافته است (جدول ۲).

پتانسیل زتا یک ویژگی فیزیکی ذرات خنثی است که در فصل مشترک (با جدایش فازی) فاز جامد با محلول‌های الکترولیتی بروز می‌کند. همان‌گونه که می‌دانیم وجود این پدیده موجب ایجاد یک لایه دابل در اطراف ذره می‌شود. همان‌طور که مشاهده



شکل ۲ طیف ^{13}C NMR نمونه‌های PA (الف) و PA50 (ب)

تجزیه گرموزن‌سنجی

از دیگر روش‌های ارزیابی برای بررسی و حصول اطمینان از سنتر هم‌بسیار، روش تجزیه گرموزن‌سنجی آن است. دمانگاشت کاهش وزن نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است و همان‌طور که نمودار تجزیه وزن‌سنجی گرمایی هم‌بسیار نشان می‌دهد کاهش وزن در سه مرحله صورت می‌گیرد. مرحله اول ۱۰٪ وزن هم‌بسیار در گستره دمایی ۲۰ تا ۲۰۰ °C کم می‌شود که وزن کم شده در این مرحله به دلیل وجود مولکول‌های آب به دلیل آب‌دوستی زیاد این هم‌بسیار است و همچنین، تشکیل انیدرید به وسیله پلی آکرلیک اسید باقی‌مانده و از دست دادن گروه‌های آمونیاکی این کاهش جرم اتفاق می‌افتد. مرحله دوم از دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ °C شروع و حدود ۳۰٪ از وزن هم‌بسیار کم می‌شود که به‌طور

تهیه تمام نمونه‌ها، جرم مولکولی نمونه‌های تهیه‌شده در گستره g/mol ($10^6 \times 9,42 - 6,25$) به‌دست آمد. کلین و همکارانش گزارش کردند که گروه‌های عاملی OH^- و COO^- موجود در اکریلیک‌اسید بسیار قدرتمند هستند و اجازه پیشرفت واکنش را در هم‌بسپارش نمی‌دهند. بنابراین، گروه‌های آمیدی آکریل‌آمید بسیار تحت تأثیر این گروه‌ها قرار گرفته و واکنش پیشرفت نکرده و در نتیجه با افزایش مقادیر آکریل‌آمید جرم مولکولی زیاد می‌شود [۳۰].

بررسی گرانروی هم‌بسپارها

به‌دلیل وجود برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک بین گروه‌های بار منفی در زنجیره‌های بسپاری، محلول‌های پلی‌الکترولیت رفتار به‌طور کامل متفاوتی با بسپار خالص دارند. برای محاسبه گرانروی ذاتی، نمودار η_{sp}/C برحسب C رسم می‌شود. اما از آن جایی که این منحنی دارای بیشینه است، نمی‌توان از آن برون‌یابی کرد. برای رفع این مشکل از راه‌حل‌های متفاوتی از جمله معادله فدور یا افزودن برخی نمک‌هایی که ویژگی بار ظاهری دارند، استفاده می‌شود [۳۱] و [۳۲]. در این پژوهش از شیوه دوم استفاده شد تا از برهم‌کنش بارهای بین سگمنت‌های هم‌بسپار صرف‌نظر شد. پس، گرانروی ذاتی با روش برون‌یابی در هم‌بسپارهای محلول در نمک $NaCl$ ، $0.5 M$ بررسی شد. تغییرات گرانروی کاهشی (η_{sp}/C) برحسب C هم‌بسپارها در محلول نمکی آبی در شکل ۴ نمایش داده شد. مشاهده می‌شود که گرانروی کاهشی با افزایش غلظت بسپار، افزایش می‌یابد.

می‌شود با افزایش مقدار آکرلیک‌اسید، پتانسیل زتا افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار خود را در نمونه PA10 نشان می‌دهد (جدول ۲). زتا پتانسیل بیشترین مقدار خود را در نمونه PA10 نشان می‌دهد، زیرا مقادیر آکرلیک‌اسید در این جا ۹۰ درصد است و بار منفی بیشترین مقدار را دارا خواهد بود. به‌عبارت بهتر، با افزایش بار منفی همبستگی نمونه‌های الکترولیتی همبستگی بیشتری را با خاک نشان می‌دهند.

بررسی جرم مولکولی نمونه‌ها

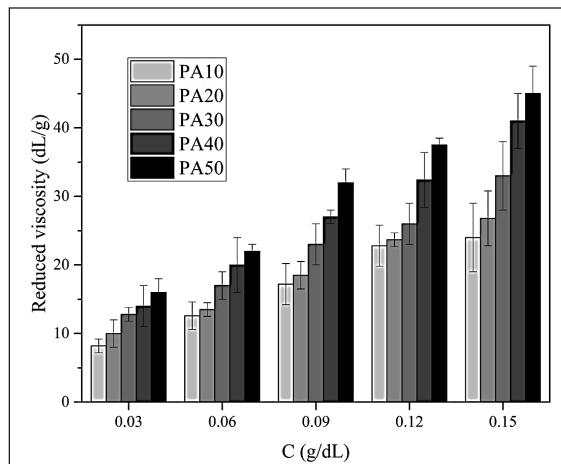
شاخص بسیار مهم در افزایش کاربری پلی‌الکترولیت‌ها در صنعت کشاورزی، جرم مولکولی آن‌ها است. g/mol ۱۰۷ و بیشتر، جرم مولکولی مناسب پلیمر برای افزایش خواص خاک کشاورزی است و باعث پیوستگی بیشتر ذرات خاک با یکدیگر می‌شود که دلیل این امر می‌تواند افزایش سطح مشترک بین پلیمر و خاک باشد. به‌عبارت بهتر، وزن مولکولی بیشتر به‌دلیل داشتن طول زنجیر بلندتر امکان برقراری اتصال را با تعداد بیشتری از ذرات خاک فراهم می‌کند [۲۸ و ۲۹].

همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است با افزایش مقدار تکپار آکریل‌آمید جرم مولکولی هم‌بسپار افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد تکپار آکریل‌آمید در واکنش هم‌بسپارش نقش اساسی برای افزایش جرم مولکولی ایفا می‌نماید [۳۰]. جرم مولکولی نمونه‌ها همان‌طور که در قسمت‌های قبل گفته شد با کمک دستگاه پراکندگی نور لیزری محاسبه شد و با توجه به شرایط یکسان واکنش برای

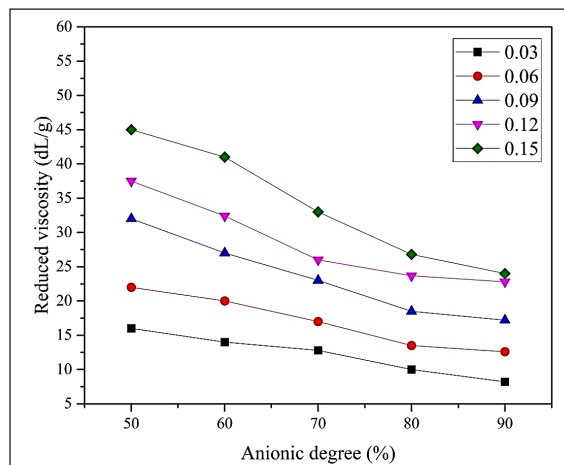
جدول ۲ چگالی بار و جرم مولکولی نمونه‌ها

جرم مولکولی (g/mol) $\times 10^6$	پتانسیل زتا (mV)	چگالی بار منفی (%)	حجم سدیم هیدروکسید مصرفی نمونه شاهد (ml)	حجم سدیم هیدروکسید مصرفی نمونه تهیه‌شده (ml)	مقدار آکریل‌آمید (%)	نمونه
۹,۴۲	-۵,۵۶	۴۸,۲	۰,۱	۱,۲۷	۵۰	PA50
۸,۶۳	-۷,۸۵	۵۷,۶	۰,۱	۲,۱۲	۴۰	PA40
۷,۱۹	-۱۰,۶۶	۶۸,۳	۰,۱	۳,۴۵	۳۰	PA30
۶,۶۱	-۱۲,۹۳	۷۸,۹	۰,۱	۴,۷۴	۲۰	PA20
۶,۲۵	-۱۵,۵۹	۸۸,۵	۰,۱	۵,۹۵	۱۰	PA10

می‌یابد. گرانیوی کاهشی با جرم مولکولی نسبت مستقیم دارد، بنابراین، می‌توان انتظار روند کاهشی از M_w ، η_{sp}/C و چگالی بار منفی را داشت که به دلیل تأثیر دافعه تکیار آکرلیک اسید بر بسپارهای آنیونی است. در ادامه، با پیش رفتن واکنش بسپارش در مقادیر وزنی ۵۰٪ تا ۹۰٪ از آکرلیک اسید، سرعت واکنش به علت تجمع بارهای منفی کاهش یافته و جرم مولکولی هم‌بسپار با افزایش درجه آنیونی هم‌بسپارها کاهش می‌یابد. دلیل این پدیده می‌تواند این باشد که، نیروهای دافعه بین ماکرورادیکال‌ها و تکیارها مسؤول کاهش ثابت سرعت رشد زنجیرها است که در نهایت هم‌بسپار با کاهش جرم مولکولی روبه‌روست [۳۶].



شکل ۴ تغییرات گرانیوی کاهشی هم‌بسپارها برحسب غلظت آن‌ها در محلول آبی نمکی در دمای ۲۵ °C



شکل ۵ تغییرات گرانیوی کاهشی برحسب مقادیرهای متفاوت آکرلیک اسید در هم‌بسپار

اثر سرعت برش بر گرانیوی ظاهری

رفتار رئولوژیکی محلول رقیق بسپارها با گرانیوی سنج چرخشی بروکفیلد بررسی شد. حجم هیدرودینامیکی زنجیر پلیمر رابطه مستقیمی با گرانیوی ذاتی دارد که فقط در محلول‌های رقیق می‌توان آن را به‌دست آورد. با توجه به مقادیر به‌دست آمده می‌توان دریافت که با افزایش سرعت برش، گرانیوی ظاهری نمونه‌ها کم شد، یعنی محلول رفتار غیرنیوتنی رقیق شدن از خود نشان داد [۳۷]. شکل ۶ مشخص کرد که گرانیوی ظاهری (η_{app})، با افزایش سرعت برش، کاهش می‌یابد. این کاهش نشان‌دهنده این مطلب است که

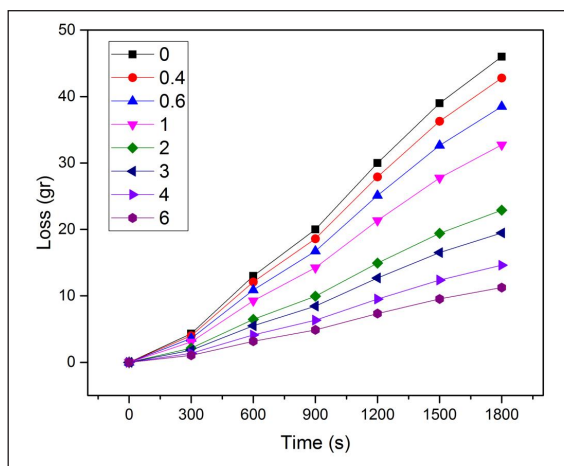
وزن مولکولی بسپارها متأثر از متغیرهای عملیاتی فرایند بسپارش مانند دما، فشار، ترکیب و غلظت تکیارها و دیگر افزودنی‌ها است. در بسپارش زنجیری به‌محض شروع واکنش، بسپارهایی با وزن مولکولی بالا تولید می‌شود. تغییرات وزن مولکولی با درجه تبدیل به نسبت کم است. از این رو افزایش گرانیوی به‌واسطه افزایش مقدار بسپار در مخلوط واکنش صورت می‌گیرد. از آنجایی که هدف، به‌دست آوردن هم‌بسپار با جرم مولکولی بالاست، باید غلظت آغازگر در کمترین مقدار خود و در دمای بهینه، استفاده شود [۳۳].

غلظت تکیار نیز از عواملی است که بر جرم مولکولی تأثیر می‌گذارد. اثر درجه آنیونی شدن بر گرانیوی کاهشی و جرم مولکولی بررسی شد. کاهش گرانیوی برحسب مقادیر درجه آنیونی هم‌بسپار در شکل ۵ نمایش داده شد. گرانیوی کاهشی با افزایش مقادیر بار منفی در زنجیره‌های هم‌بسپار در مقادیر متفاوت آن دیده شد. در حضور آکرلیک اسید، یون‌های منقبض و کروی شده، صورت‌بندی کلافی شکل به خود می‌گیرند. به عبارت بهتر، حجم هیدرودینامیکی زنجیرها کاهش یافته و در نتیجه گرانیوی بیشتر کاهش می‌یابد [۳۴]. همان‌طور که از جدول ۱ مشاهده می‌شود مقادیر جرم مولکولی بالاست. طبق این مقادیر مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار آکرلیک اسید، جرم مولکولی کاهش

خاک مؤثر است. با استفاده از نتیجه‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری هدررفت خاک مجموع هدررفت خاک در مدت 30 min بارندگی و مقدار هدررفت خاک در هر گام زمانی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتیجه‌ها مؤید کاهش مقدار این متغیرها در اثر استفاده از هم‌بسپار نسبت به تیمار شاهد بوده است. بیشترین مقدار مجموع هدررفت خاک در تیمار شاهد با مقدار 46 g و کمترین مقدار آن در تیمار 6 g/m² با مقدار 11,24 g به‌دست آمد.

PAM از دو سازوکار باعث کاهش هدررفت خاک می‌شود: سازوکار اول PAM در پیوستگی خاک این‌گونه است که از پیوند خاک‌های ریزتر، خاک‌های با اندازه درشت‌تر ایجاد می‌کند که باعث افزایش مقاومت توده خاک در برابر نیروهای خارجی وارد بر آن می‌شود و در نهایت استحکام توده خاک را افزایش می‌دهد. به‌عبارت بهتر، PAM از راه افزایش انبوهش ذرات ریز و نیز جلوگیری از تفکیک ذرات موجب اصلاح و بهبود پایداری خاک می‌شود و هدررفت خاک را کاهش می‌دهد.

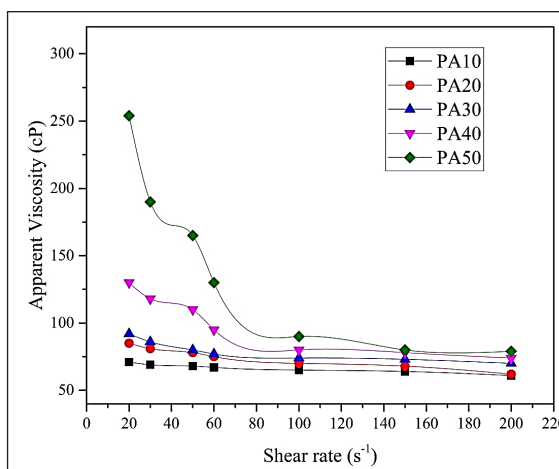
در سازوکار دوم، PAM با افزایش حجم خلل و فرج و نفوذپذیری خاک موجب افزایش نفوذ و کاهش فرسایش خاک می‌شود [39]. به همین منظور، در سطح 0 g/m² از PAM که بدون هم‌بسپار است شاهد بیشترین هدررفت هستیم. از طرف دیگر، در بیشترین مقدار مصرف از PAM یعنی 6 g/m² کمترین هدررفت خاک به‌دست آمد.



شکل ۷ الگوی تغییرات هدررفت تجمعی خاک به‌دست آمده از تیمارهای متفاوت هم‌بسپار در زمان

نیروهای گرانی وارد بر محلول، برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک ممکن بین ذرات را ضعیف می‌کند. بنابراین، با افزایش سرعت برش، زنجیرهای بسیاری در جهت جریان آرایش می‌یابند که سبب کاهش گرانی یا وقوع رفتار رقیق شدن می‌شود.

با افزایش چگالی بار منفی زنجیر بسیاری، گرانی ظاهری با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. بنابراین، در حضور آکرلیک اسید، یون‌های منقبض و کروی شده، صورت‌بندی کلافی شکل به خود می‌گیرند [33]. این پدیده باعث مقاومت در برابر تغییر شکل ساختار در اثر برش می‌شود که در نهایت موجب کاهش در گرانی می‌شود. به‌عبارت بهتر، با کاهش حجم هیدرودینامیکی زنجیرها، گرانی ظاهری کاهش می‌یابد. افزون بر این، وجود گروه‌های آب‌گریز مانند CH₃، در کنار گروه‌های آب‌دوست، ممکن است به مقاومت برشی کمک کند [38].



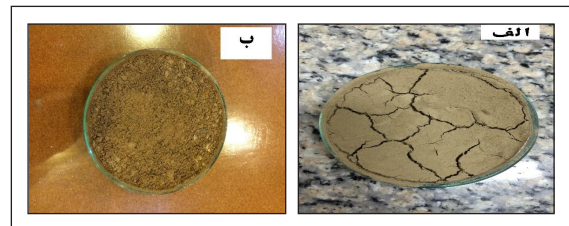
شکل ۶ اثر سرعت برش بر گرانی ظاهری هم‌بسپار در دمای ۲۵ °C

نتیجه‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری هدررفت خاک

تغییرات هدررفت خاک به‌دست آمده از تیمارهای متفاوت در فاصله زمانی‌های متفاوت و تغییرات هدررفت تجمعی خاک به‌دست آمده از تیمارهای متفاوت نسبت به زمان به ترتیب در شکل ۷ نشان داده شده است. این نتیجه‌ها نشان می‌دهند که بیشترین هدررفت خاک در تیمار شاهد و کمترین مقدار آن در تیمار 6 g/m² اتفاق افتاده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این بخش اثر هم‌بسپار با افزایش مقدار آن در کاهش هدررفت

اثر هم‌بسیار بر تثبیت‌کنندگی خاک رس

اثر تثبیت‌کنندگی هم‌بسیار تهیه‌شده روی خاک‌رس و نمونه شاهد در شکل ۸ نشان داده‌شده است. در مقایسه با نمونه شاهد، نمونه‌های حاوی هم‌بسیار پیوسته بوده و در زیر بارش آب نیز این پیوستگی را حفظ نموده است. در این تصاویر یکنواختی سطح خاک‌رس در نمونه‌های حاوی پلیمر در مقایسه با نمونه شاهد به‌وضوح قابل مشاهده است. نمونه شاهد ۲۴ ساعت پس از افزودن آب بسیار از هم‌گسسته شد و درز و شکاف بین آن به وجود آمد (شکل ۸-الف)، اما نمونه‌های دارای هم‌بسیار پس از این مدت‌زمان پیوستگی خود را نگه داشتند (شکل ۸-ب).



شکل ۸ نمونه‌های خاک‌رس یک روز پس از افزودن آب: (الف) نمونه شاهد و (ب) نمونه حاوی هم‌بسیار سنتزی

پیشنهادی برای برهم‌کنش این ترکیبات با خاک است [۴۰]. بین گروه آمید بسیار و گروه‌های هیدروکسیل آزاد سطح خاک به‌طور معمول پیوند هیدروژنی اتفاق می‌افتد، اما در تبادل لیگاند، گروه‌های کربوکسیلیک در ساختار بسیار برای تشکیل کمپلکس کوئوردیناسیونی وارد لایه کوئوردینانس داخلی آلومینیم قرار گرفته در خارجی‌ترین لایه سطح خاک می‌شود. به‌عبارت ساده‌تر می‌توان گفت که با افزایش جرم مولکولی، این پدیده‌ها بیشتر اتفاق می‌افتند. از طرفی، چون بسیار آنیونی و سطح خاک هر دو بار منفی دارند، نیروی دافعه الکتروستاتیک بین آن‌ها از جذب بسیار روی خاک به روش هیدروژنی و تبادل لیگاند ممانعت می‌کند. بنابراین، فرایند جذب، بر اساس رقابت بین برهم‌کنش جاذبه بسیار با ذرات خاک و نیروهای دافعه الکتروستاتیک بین آن‌ها کنترل می‌شود.

نتیجه‌گیری

هم‌بسیار بر پایه آکریل‌آمید و آکرلیک اسید با روش اسپارش زنجیره‌ای و محلول در آب سنتز شد و نتیجه‌های زیر را می‌توان از این مطالعه برداشت کرد:

- با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR مشخص شد که سنتز با موفقیت انجام‌شده و پلی‌الکترولیت دارای گروه‌های کربوکسیلیک و آمین است. همچنین به‌دلیل عدم وجود تکپار، واکنش به‌طور کامل انجام شده است.

- با کمک آزمون TGA مقادیر گروه‌های عاملی کربوکسیلیک و آمین در هم‌بسیار مشخص شد.

- با استفاده از روش تیتراسیون درصد بار منفی محاسبه شد که با افزایش مقدار تکپار اولیه، بار منفی در هم‌بسیار به‌دست آمده، افزایش یافت و این باعث بهبود سازگاری با خاک می‌شود.

- مشخص شد که با افزایش تکپار آکریل‌آمید جرم مولکولی هم‌بسیار افزایش می‌یابد.

- با پیش رفتن واکنش اسپارش در مقادیر وزنی ۵۰٪ تا ۹۰٪ از آکرلیک اسید، سرعت واکنش به علت تجمع بارهای منفی

همان‌طور که بحث شد، جذب هم‌بسیار به اجزای خاک به ویژگی‌های آن از جمله وزن مولکولی، نوع و چگالی بار بسیار و ویژگی‌های خاک مثل نوع و بافت خاک، مقدار مواد آلی و نوع یون‌های موجود در آن بستگی دارد. خاک‌های رس متداول به‌طور معمول از نوع سیلیکات لایه‌ای هستند و ساختار شبکه بلوری آن لایه‌های دوبعدی است که در هر لایه زنجیری از چهاروجهی‌های سیلیکا، اکسیژن به‌طور متوالی متصل شده است. بین این لایه‌ها کاتیون‌های فلزی قابل تعویض مثل سدیم، منیزیم، آلومینیم و لیتیم وجود دارد.

در مجموع، خاک دارای ماهیت بار منفی روی سطح خود است و پلی‌الکترولیت آنیونی به علت دافعه بار روی زنجیر خود و ذرات خاک، به داخل فضای لایه‌های سیلیکاتی خاک وارد نمی‌شود. به‌عبارت بهتر، پلی‌الکترولیت با سطح بیرونی و دسترس خاک ارتباط برقرار می‌کند. پیوند هیدروژنی و تبادل لیگاند، دو سازوکار

نیز کاهش می‌یابد. این ناشی از سازگاری خوب هم‌بسیار با خاک است. اثر تثبیت‌کنندگی نمونه‌ها در خاک‌رس نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، نمونه‌های حاوی هم‌بسیار پیوسته بوده و در زیر بارش آب نیز این پیوستگی را حفظ کرده است. فرایند جذب، بر اساس رقابت بین برهم‌کنش جاذبه بسیار با ذرات خاک و نیروهای دافعه الکتروستاتیک بین آن‌ها کنترل می‌شود.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، برای حمایت مالی از این طرح پژوهشی تشکر و قدردانی می‌شود.

کاهش یافته و جرم مولکولی هم‌بسیار با افزایش درجه آنیونی هم‌بسیارها کاهش می‌یابد. با افزایش چگالی بار منفی زنجیر بسیاری، گرانروی ظاهری با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. بنابراین، در حضور آکرلیک اسید، یون‌های منقبض و کروی شده، صورت‌بندی کلافی شکل به خود می‌گیرند. تغییرات هدررفت خاک به‌دست آمده از تیمارهای متفاوت در فاصله زمان‌های متفاوت و تغییرات هدررفت تجمعی خاک حاصل از تیمارهای متفاوت نسبت به زمان بررسی شد. بیشترین مقدار مجموع هدررفت خاک در تیمار شاهد با مقدار ۴۶ g و کمترین مقدار آن در تیمار ۶ g/m² با مقدار ۱۱,۲۴ g به‌دست آمد. مشخص شد که با افزایش مقدار هم‌بسیار در خاک، هدررفت

مراجع

- [1] Berendse, F., van Ruijven, J., Jongejans, E., and Keesstra, S., *Ecosystems*. 18. 881-888, 2015.
- [2] Lee, B.J. and Schlautman, M.A., *Water*. 7. 5896-5909, 2015.
- [3] Srivastava, A., *Chemical Communications*. 51. 11072-11075, 2015.
- [4] Riahinezhad, M., McManus, N., and Penlidis, A., *Macromolecular Reaction Engineering*. 9. 100-113, 2015.
- [5] Ye, T., Song, Y., and Zheng, Q., *Colloid and Polymer Science*. 293. 797-807, 2015.
- [6] Green, V.S. and Stott, D. Polyacrylamide: a review of the use, effectiveness, and cost of a soil erosion control amendment. in *The 10th International Soil Conservation Organization Meeting*. 1999. Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- [7] Ajwa, H.A. and Trout, T.J., *Soil Science Society of America Journal*. 70. 643-650, 2006.
- [8] Lado, M., Inbar, A., Sternberg, M., and Ben-Hur, M., *Land Degradation & Development*. 2015.
- [9] Chen, Z., Chen, W., Li, C., Pu, Y., and Sun, H., *Science of The Total Environment*. 554. 26-33, 2016.
- [10] Wiśniewska, M., Chibowski, S., and Urban, T., *Journal of hazardous materials*. 283. 815-823, 2015.
- [11] Lee, S.S., Shah, H.S., Awad, Y.M., Kumar, S., and Ok, Y.S., *Environmental Earth Sciences*. 74. 2463-2473, 2015.
- [12] HARTATI, W. and SUDARMADJI, T.
- [13] An, S.-S., Darboux, F., and Cheng, M., *Geo-*

- derma. 209. 75-85, 2013.
- [14] ALFONSO, L., CHACÓN, J.C., and PEÑA, G. Allowing citizens to effortlessly become rainfall sensors. in E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. 2015.
- [15] Kotzé, E., Response of soil properties to rangeland use in grassland and savanna biomes of South Africa. 2015, University of the Free State.
- [16] Goodson, C.C., Schwartz, G., and Amrhein, C., Journal of environmental quality. 35. 1072-1077, 2006.
- [17] Rabiee, A., Gilani, M., Jamshidi, H., and Baharvand, H., Journal of Vinyl and Additive Technology. 19. 140-146, 2013.
- [18] Mahmoud Awad, Y., Ok, Y.S., and Kuzyakov, Y. Effects of polyacrylamide, biopolymer, and biochar on decomposition of soil organic matter and ¹⁴C-labeled plant residues as determined by enzyme activities. in EGU General Assembly Conference Abstracts. 2014.
- [19] Shin, M.H., Won, C.H., Jang, J.R., Choi, Y.H., Shin, Y.C., Lim, K.J., and Choi, J.D., Paddy and Water Environment. 11. 493-501, 2013.
- [20] Russel, W.B., Saville, D.A., and Schowalter, W.R., Colloidal dispersions. 1992: Cambridge university press.
- [21] Vahabi, J. and Nikkami, D., International Journal of Sediment Research. 23. 376-386, 2008.
- [22] McCormick, C. and Blackmon, K., Polymer. 27. 1971-1975, 1986.
- [23] Bajaj, P., Goyal, M., and Chavan, R., Journal of applied polymer science. 53. 1771-1783, 1994.
- [24] Moharram, M.A. and Allam, M.A., Journal of Applied Polymer Science. 105. 3220-3227, 2007.
- [25] Krušić, M.K., Džunuzović, E., Trifunović, S., and Filipović, J., European polymer journal. 40. 793-798, 2004.
- [26] Entry, J.A., Sojka, R., Watwood, M., and Ross, C., Environmental Pollution. 120. 191-200, 2002.
- [27] Green, V.S., Stott, D., Norton, L., and Graveel, J., Soil Science Society of America Journal. 64. 1786-1791, 2000.
- [28] Barvenik, F.W., Soil Science. 158. 235-243, 1994.
- [29] Klein, J. and Heitzmann, R., Die Makromolekulare Chemie. 179. 1895-1904, 1978.
- [30] Ghimici, L. and Popescu, F., European polymer journal. 34. 13-16, 1998.
- [31] Dragan, S., Mihai, M., and Ghimici, L., European Polymer Journal. 39. 1847-1854, 2003.
- [32] Rabiee, A., Zeynali, M.E., and Baharvand, H., Iranian Polymer Journal. 14. 603, 2005.
- [33] Klein, J. and Heitzmann, R., Die Makromolekulare Chemie. 179. 1895-1904, 1978.
- [34] Wu, Y., Wang, Y., Yu, Y., Xu, J., and Chen, Q., Journal of Applied Polymer Science. 102. 2379-2385, 2006.
- [35] Paredes, N., Rodríguez Galán, A., and Puiggali, J., Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. 36. 1271-1282, 1998.
- [36] Zeynali, M.E., Rabii, A., and Baharvand, H., Iranian Polymer Journal. 13. 479-484, 2004.
- [37] Sabhapondit, A., Sarmah, A., Borthakur, A., and Haque, I., Journal of applied polymer science. 85. 1521-1529, 2002.
- [38] Arjunan, J., Yeri, S., Stevens, E., Barfield, B., and Gasem, K., Bharathiar University, Erode. 7. 2001.
- [39] Lu, J., Wu, L., and Letey, J., Soil Science Society of America Journal. 66. 578-584, 2002.

Synthesis of poly (acrylamide-co-acrylic acid) as soil stabilizers and investigating its rheological properties

M.R. Manafi^{1,*}, P. Manafi² and H. Degheh³

1. Assistant Prof. of Polymer Technology, Department of Applied Chemistry, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran
2. PhD Student in Polymer Engineering, Department of Polymer Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Mahshahr Campus, Mahshahr, Iran
3. MSc in Polymer Engineering, Department of Plastics, Faculty of Processing, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran

Received: July 2016, Revised: September 2016, Accepted: October 2016

Abstract: Nowadays, use of polymeric mulch such as the polymer based on acrylamides is developing due to being eco-friendly, safety, and low cost. Polyacrylamide is odorless, colorless, non-polluting the ground water and surface water, soil and plant tissues. In this study, for the first time, copolymer based on acrylamide and acrylic acid was used in small-scale plots in experimental conditions for use in soil for the purpose of its stabilization and preventing its loss. Copolymer based on acrylamide and acrylic acid was synthesized by free radical polymerization. The water-soluble polymer synthesized by free radical polymerization and characterized using Fourier-transform infrared spectroscopy and thermogravimetric analysis. To calculate the negative charge density of samples, titration method was performed. By increasing density of negative charge of polymer chains, the apparent viscosity decreases with higher rate. It can be concluded that in the presence of acrylic acid, the ions shrank and became more like spheres which ultimately results in coil-like configuration. As the copolymerization reaction proceeds from 50% to 90% weight percent of acrylic acid, the rate slows down due to accumulation of negative charges and the molecular weight of copolymers decreases with increasing the anionic degrees of copolymers. Finally, soil loss was determined using 0.4, 0.6, 1, 2, 3, 4 and 6 gr/m² of copolymers in water and solutions sprayed on the soil surface before implementation of artificial rainfall, also its continuity in 30min rainfall was studied.

Keywords: Copolymer, Soil loss, Acrylamide, Acrylic acid, Rheological properties