جلوگیری از هدررفت خاک به‌وسیله کوپلیمر برپایه پلی‌آکریل آمید

یادداشت فنی

محمدرضا منافی*[۱]، پدرام منافی[۲]، ساسان کهتری کرم[۳]

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، دانشکده علوم پایه، گروه شیمی کاربردی، تهران، ایران.
[۲] دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد ماهشهر، گروه مهندسی پلیمر، ماهشهر، ایران.
[۳] پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه پلاستیک، تهران، ایران.

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷، **تاریخ دریافت نسخهٔ اصلاح‌شده**: ۱۳۹۴/۱۱/۰۳، **تاریخ پذیرش قطعی**: ۱۳۹۴/۱۱/۰۶

چکیده استفاده از افزودنی‌های خاک در مدیریت و حفاظت از منابع آن اهمیت روزافزونی پیداکرده است. کوپلیمر بر پایه آکریل آمید و آکریلیک اسید به جهت سنتز آسان و در دسترس بودن مواد اولیه، نمونه‌ای از این افزودنی‌ها می‌باشند. در این مطالعه، کوپلیمر بر پایه آکریل آمید و آکریلیک اسید با روش پلیمریزاسیون زنجیره‌ای در سیستم آبی سنتز گردید. با استفاده از طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه مشخص شد که گروه‌های عاملی کربوکسیلیک اسید و آمیدی با موفقیت در ماده وجود دارد. در آزمون تجزیه گرما وزن‌سنجی، مقدار هریک از اجزا اندازه‌گیری شد. همچنین برای محاسبه چگالی بار منفی نمونه‌های سنتز شده از روش تیتراسیون و برای تعیین جرم مولکولی از دستگاه پراکندگی نور لیزری استفاده گردید که مشخص شد با افزایش چگالی بار منفی، تثبیت شوندگی خاک افزایش یافته است. همچنین استفاده از مونومر آکریل آمید در واکنش کوپلیمریزاسیون نقش اساسی برای افزایش جرم مولکولی ایفا نمود. درنهایت، هدر رفت خاک به‌وسیله کوپلیمر سنتز شده در تیمارهای پژوهش که شامل کوپلیمر با مقادیر مختلف مصرف gr/m^2 ۰/۴، ۰/۶، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ به روش محلول در آب و اسپری روی سطح خاک قبل از اجرای بارش مصنوعی تعیین شد و پیوستگی آن در ۳۰min بارندگی مورد مطالعه قرار گرفت.

کلمات کلیدی: کوپلیمر، هدررفت خاک، آکریل آمید، آکریلیک اسید، فرسایش خاک.

Prevent Soil loss by Copolymer Based on Polyacrylamide

Mohammadreza Manafi*[1], Pedram Manafi[2], Sasan Kehtari Karam[3]

[1] Islamic Azad University, South Tehran Branch, Department of Applied Chemistry, Tehran, Iran.
[2] Amirkabir University of Technology, Mahshahr Campus, Department of Polymer Engineering, Mahshahr, Iran.
[3] Iran Polymer and Petrochemical Institute, Plastic Department, Tehran, Iran.

Abstract The use of soil additives in the management and conservation of soil resources is becoming increasingly important. Examples of these additives, polymer materials which are in the category of copolymers based on acrylamide and acrylic acid due to ease of synthesis and availability of raw materials has attracted much attention. In this study, copolymer based on acrylamide and acrylic acid was synthesized by chain polymerization in the water system. Fourier transform infrared spectroscopy revealed that the carboxylic acid and amide functional groups were successfully polymerized in the material. The amount of each component was measured by thermogravimetric analysis. To calculate the negative charge density and molecular weight of samples, titration method and laser light scattering analyzer were used which showed soil stabilization with increment in negative charge density. The use of acrylamide monomer plays a major role in the copolymerization to increase the molecular weight. Finally, soil loss was determined using 0.4, 0.6, 1, 2, 3, 4 and 6 gr/m^2 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, Arylamide, Acrylic acid, Sil erosion.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، **تلفن:** ۰۹۱۲۱۵۹۷۴۹۶، **پست الکترونیکی:**mr_manafi@azad.ac.ir

۱– مقدمه

قسمت عمده‌ای از پهنه کشور ما ایران ازلحاظ اقلیمی و آب و هوایی، جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این موضوع در کنار بهره‌برداری بی‌رویه از زمین‌ها، وقوع خشک‌سالی‌های پیاپی و نیز کاهش آب‌های زیرزمینی به‌علاوه پاره‌ای رفتارهای نادرست زیست‌محیطی، منجر به گسترش روزافزون بیابان‌ها گردیده است. در کشور ما به‌صورت جسته و گریخته اقداماتی برای تثبیت شن‌های روان و گردوخاک انجام گردیده که در میان آن‌ها استفاده از مالچ‌های نفتی نظیر قیر به چشم می‌خورد. ولی به دلیل مشکلات خاصی که در خصوص استفاده از مالچ‌های نفتی وجود دارد لزوم استفاده از مواد دیگری در این زمینه احساس می‌شود. کاه، کودهای حیوانی، پشم‌شیشه و برگ گیاهان، از مالچ‌های غیرنفتی هستند که از فرسایش خاک جلوگیری می‌کنند.

امروزه استفاده از مالچ‌های پلیمری ازجمله پلیمرهای بر پایه آکریل آمید به دلیل دوست‌دار محیط‌زیست بودن، ایمنی و قیمت ارزان آن‌ها در حال گسترش است. پلی آکریل آمیدها، بی‌بو، بی‌رنگ و بدون خاصیت آلایندگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی، بافت‌های گیاهی و خاک می‌باشند. بار فعال متصل به پیکره شیمیایی پلی آکریل آمید تعیین‌کننده نوع آن بوده که بر این اساس با توجه به خصوصیات آن به چهار نوع آنیونی، کاتیونی، دوخصلتی (آمفوتری) و غیریونی دسته‌بندی می‌شوند که نوع آنیونی آن در کشاورزی دارای اهمیت است. پلی آکریل آمید آنیونی دارای بار منفی می‌باشد و چگالی بار و قدرت اسیدی گروه‌های عاملی به‌کاررفته در ساختار آن نقش مهمی را ایفا می‌کنند و به نوع قوی و ضعیف با چگالی بار زیاد یا کم دسته‌بندی می‌گردند. تغییر هرکدام از این شاخصه‌ها باعث می‌شود تا کاربردهای متفاوتی در معادن، ازدیاد برداشت از چاه‌های نفت، تصفیه آب و پساب، بیابان‌زدایی و صنایع کشاورزی داشته باشند [۱–۳]. هیدروژل‌ها (پلیمرهای ابرجاذب) نیز دسته دیگری از این مواد هستند که با استفاده از یک اتصال‌دهنده عرضی در کوپلیمرهای برپایه پلی آکریل آمید تبدیل به هیدروژل می‌شوند. این مواد حدود ۱۲–۵ سال در خاک باقی‌مانده و به علت تورم و انقباض (به دلیل جذب و دفع آب) دائماً در حال تغییر حجم می‌باشند و درنتیجه هوای بیشتری وارد خاک شده که باعث زنده ماندن خاک و رسیدن مواد مغذی به گیاه می‌گردد [۴–۶].

ربیعی و همکاران پلی الکترولیت آنیونی بر پایه آکریل آمید با وزن مولکولی بیش از 10×10^{6} gr/mol به‌عنوان تثبیت‌کننده خاک تولید و اثر آن بر خواص خاک را بررسی کردند. طبق نتایج در پلیمرهای حاصل، گرانروی با افزایش سرعت برش کاهش یافت. نتایج بررسی‌ها نشان داد، پلی الکترولیت آنیونی بر پایه آکریل آمید می‌تواند ضمن چسبندگی بهتر ذرات خاک موجب تقویت خواص آن نیز شود [۷]. سپاس‌خواه و همکاران باهدف بررسی اثر پلی آکریل آمید بر عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌عنوان یکی از متغیرهای مهم مدل جهانی هدررفت خاک از چهار سطح kg ۱، ۲، ۴ و ۶ در هکتار پلی آکریل آمید و در دفعات آبیاری متفاوت استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که حداقل مقدار عامل فرسایش‌پذیری به هنگام استفاده از تیمار kg ۶ در هکتار از پلی آکریل آمید و در آبیاری نوبت اول به دست آمد [۸]. خلیل پور از اثر ابرجاذب برپایه پلی آکریل آمید (BT۵۳) بر رشد گیاه نتیجه گرفت که پلیمر یادشده با افزایش قدرت نگهداری آب در خاک و ایجاد چسبندگی و کاهش فرسایش سطحی آن، به حفظ خاک و درصد گیرایی گیاهان در خاک‌های حساس به فرسایش کمک زیادی می‌کند [۹]. همچنین سپاس‌خواه و همکاران به بررسی اثرات سطوح مختلف پلی آکریل آمید (۰، ۱، ۲، ۴ و ۶ kg در هکتار) بر میزان هدررفت خاک در شیب‌های مختلف (۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد) با استفاده از شبیه‌ساز باران و در پلات‌هایی مربع شکل به ابعاد ۱/۴ متر و عمق ۰/۹ متر پرداختند. این محققان دریافتند که کاربرد مقادیر بالاتری از پلی آکریل آمید برای کاهش فرسایش در شیب‌های تند موردنیاز است [۱۰].

در این پژوهش برای اولین بار از کوپلیمر بر پایه آکریل آمید و آکریلیک اسید در مقیاس کرت کوچک و در شرایط آزمایشگاهی جهت استفاده در خاک برای پیوستگی و جلوگیری از هدررفت آن و افزایش کارایی نسبت به سایر پلیمرها استفاده گردید. ابتدا این کوپلیمر با روش پلیمریزاسیون زنجیره‌ای در سیستم آبی سنتز و با استفاده از طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه و تجزیه گرما وزن‌سنجی شناسایی شد. همچنین برای محاسبه چگالی بار منفی نمونه‌های سنتز شده از روش تیتراسیون و برای تعیین جرم مولکولی از دستگاه

پراکندگی نور لیزری استفاده شد. درنهایت، هدررفت خاک همراه و بدون کوپلیمر سنتز شده برآورد گردید و پیوستگی آن مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مواد

مونومرهای آکریل آمید و آکریلیک اسید از شرکت سیگما آلدریچ تهیه شدند. سایر ترکیبات شیمیایی استفاده شده شامل سدیم هیدروکسید، پتاسیم پرسولفات، اسیدکلریدریک و اتانول از شرکت مرک تهیه گردیدند.

۲-۲- دستگاه‌ها و شناسایی نمونه‌ها

از دستگاه طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه FTIR-Bruker مدل EQUINOX ۵۵ ساخت کشور آمریکا برای شناسایی گروه‌های عاملی موجود در ساختار شیمیایی پلیمر سنتز شده استفاده شد. تجزیه وزن‌سنجی گرمایی برای اندازه‌گیری تغییرات جرم نمونه به‌عنوان تابعی از دما به کار می‌رود و دستگاه TGA تغییرات وزن ماده را به‌صورت کمّی اندازه‌گیری می‌کند. نمونه‌ها از دمای اتاق تا ۶۰۰ ^{o}C با نرخ حرارتی ۱۰ $^{o}C/min$ در دستگاه با مدل ۱۶۴۰STA ساخت کشور انگلستان تحت اتمسفر نیتروژن بررسی شدند. از pH سنج رقمی مدل ۲۴۰ Corning ساخت کشور آمریکا برای اندازه‌گیری قدرت اسیدی استفاده شد. جرم مولکولی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراکندگی نور لیزری مدل ۶۳۳ SEMATech در طول موج ۶۳۳nm و ساخت کشور فرانسه اندازه‌گیری گردید.

۲-۳- سنتز نمونه‌های پلی‌الکترولیت

برای سنتز نمونه‌های پلی الکترولیت آنیونی، ابتدا محلول ۱/۲۵ M از مونومرهای آکریل آمید و آکریلیک اسید به‌طور جداگانه در آب تهیه، سپس محلول‌های آکریل آمید و آکریلیک اسید را طبق نسبت‌های موجود در جدول (۱) داخل بالون دو دهانه که یک دهانه ورودی گاز خنثی نیتروژن و دهانه دیگر جهت رفلاکس بوده، افزوده گردید به‌طوری‌که حجم محلول ۱۰۰ml شود. همچنین مجموع غلظت مونومر آکریل آمید و مونومر آکریلیک اسید ۱/۲۵ M می‌باشد. گاز نیتروژن به مدت ۱۰min از مخلوط واکنش عبور داده شد تا مخلوط کاملاً عاری از اکسیژن شود. سپس ۱ml آغازگر پتاسیم پرسولفات ۱۰mmol به آن اضافه شده و دمای واکنش تا ۶۵ ^{o}C افزایش یافت. واکنش به مدت ۴hr در این دما ادامه یافت تا پس از تکمیل واکنش، این مخلوط درون اتانول هم زده و رسوب داده شد. محصول در دمای ۶۰ ^{o}C در خلأ خشک و درنهایت به همین ترتیب، نمونه‌های پلی الکترولیت آنیونی با نسبت‌های مولی متفاوت تهیه گردیدند که در جدول (۱) ترکیب شیمیایی نمونه کوپلیمر تهیه‌شده در محلول آبی بیان شده است. همچنین لازم به ذکر است که ظاهر نمونه‌ها یک مایع گرانرو و شفاف بود که پس از افزایش الکل کاملاً رسوب کرد و سفید رنگ شد. مقدار آغازگر و زمان واکنش در همه نمونه‌ها ثابت و بر ظاهر نمونه‌ها اثر نداشتند.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی نمونه کوپلیمر تهیه شده در محلول آبی.

نمونه	محلول ۱/۲۵ M آکریل آمید (ml)	محلول ۱/۲۵ M آکریلیک اسید (ml)
PA۱۰	۱۰	۹۰
PA۲۰	۲۰	۸۰
PA۳۰	۳۰	۷۰
PA۴۰	۴۰	۶۰
PA۵۰	۵۰	۵۰

۲-۴- محاسبه چگالی بار منفی نمونه‌های سنتزی

مقدار چگالی بار منفی نمونه‌های سنتز شده به روش تیتر کردن به دست آمد. ۱gr از کوپلیمر در ۲lit آب مقطر حل شد. pH سنج رقمی بعد از افزودن کلریدریک اسید ۰/۱ M به محلول، روی ۳/۴ تنظیم گردید. سپس، این محلول با محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱ M با تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شد. تعداد گروه‌های آکریلات موجود در نمونه پلیمر برابر با تعداد اکی‌والان گرم سدیم هیدروکسید مصرف شده برای افزایش pH محلول از ۳/۴ به ۷ می‌باشد. چگالی بار منفی در ساختار پلیمر برابر تعداد گروه‌های آکریلات موجود در پلیمر است که با توجه به حجم محلول سدیم هیدروکسید مصرف شده محاسبه می‌گردد.

۲-۵- تیمارها و کرت‌های مورداستفاده در پژوهش

تیمارهای پژوهش که شامل کوپلیمر با مقادیر مختلف مصرف gr/m^2 ۰/۴، ۰/۶، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ به روش محلول در آب و اسپری روی سطح خاک قبل از اجرای بارش مصنوعی به‌سبب مؤثر بودن آن در مهار فرسایش انجام شد. تعداد کل تیمارهای آزمایشی درمجموع ۲۴ عدد بود. هرکدام از مقادیر مورد استفاده در ml ۲۰۰ از آب شهری حل و پس از حل شدن کامل کوپلیمر، محلول توسط آبپاش به‌صورت یکنواخت روی خاک اسپری شد.

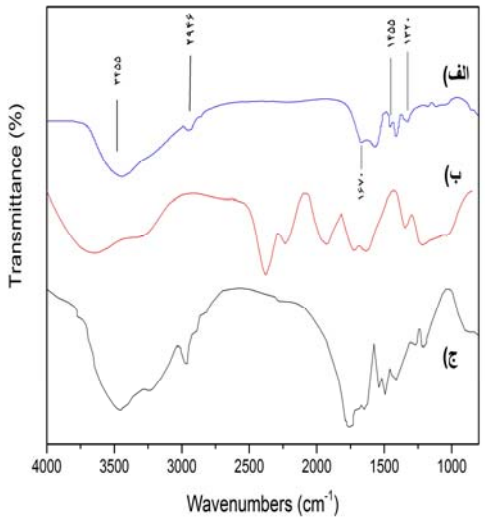
۲-۶- اندازه‌گیری هدررفت خاک

به‌منظور تعیین روند تغییرات هدررفت خاک و رسوب خروجی از سطح مطالعاتی با افزایش مقدار کوپلیمر در مدت min۳۰ بارش، در تمام تیمارها، اقدام به نمونه‌برداری روان آب و رسوب در گام‌های زمانی مشخص شامل سه نمونه در هر دو دقیقه پس از شروع روان آب، سه نمونه در هر سه دقیقه و هر پنج دقیقه تا انتهای بارش شد. سپس تا انتهای مدت زمان بارش طبق گام‌های زمانی ذکرشده، نمونه‌ها رأس زمان درنظر گرفته شده از خروجی سطح مطالعاتی به درون ظروف پلاستیکی جمع‌آوری شدند. با استفاده از استوانه مدرج مقدار روان آب محتوی رسوب قرائت شد. از کلیه نمونه‌ها یک نمونه یکنواخت از روان آب و رسوب خروجی به میزان ml۱۰۰ جدا گردید و به مدت hr۲۴ درون آون در دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵ قرار داده شد. با توجه به تیمارها، تکرارها و گام‌های زمانی مطالعاتی درمجموع، ۲۱۶ نمونه روان آب و آنالیزهای مربوطه (تغییرات هدررفت تجمعی خاک) برای آن‌ها اجرا و برداشت گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه کوپلیمر آکریل آمید و آکریلیک اسید سنتز شده

ساختار شیمیایی نمونه‌های تهیه شده به کمک طیف‌سنجی FTIR در شکل (۱) نشان داده شده است. ارتعاش کششی گروه‌های C-O و C-N به ترتیب در نواحی ۱۳۲۰ و cm^{-1} ۱۴۵۵ به‌دست آمده است. وجود پیک مشخصه در cm^{-1} ۱۶۷۰ نشان‌دهنده گروه $CONH_2$ و همچنین پیک در محدوده cm^{-1} ۳۴۵۵ بیانگر ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیلی می‌باشد. پیک در محدوده cm^{-1} ۲۹۴۶ وجود گروه‌های CH در زنجیره اصلی را ثابت می‌کند. عدم ظهور پیک در ناحیه cm^{-1} ۱۶۳۰- ۱۶۳۵ نمایانگر پیشرفت کامل واکنش می‌باشد چراکه تمام مونومرها مصرف‌شده و پیوند C=C وجود ندارد. بررسی این نتایج، اثباتی برای سنتز کوپلیمر پلی آکریل آمید و پلی آکریلیک اسید می‌باشد.

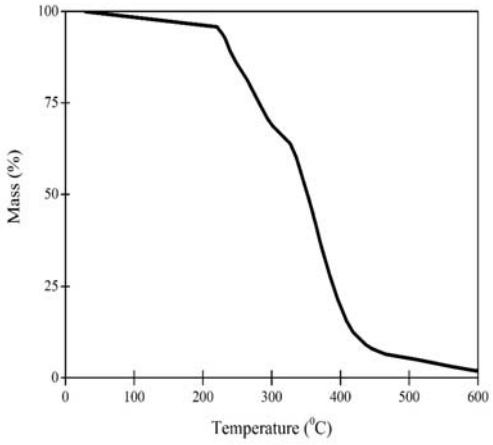


شکل ۱. طیف زیر قرمز الف) کوپلیمر آکریل آمید و آکریلیک اسید، ب) مونومر آکریلیک اسید، ج) مونومر آکریل آمید.

۳-۲- تجزیه گرما وزن‌سنجی

از دیگر روش‌های ارزیابی برای بررسی و حصول اطمینان از سنتز کوپلیمر، روش تجزیه گرماوزن‌سنجی آن می‌باشد. دماگاشت کاهش وزن نمونه در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که نمودار آنالیز وزن‌سنجی گرمایی کوپلیمر نشان می‌دهد کاهش وزن در سه مرحله صورت می‌گیرد. مرحله اول ٪۱۰ وزن کوپلیمر در محدوده دمایی $^{\circ}C$ ۲۰۰-۲۰ کم می‌شود که وزن کم شده در این مرحله به دلیل وجود مولکول‌های آب با توجه به آب‌دوستی زیاد این کوپلیمر می‌باشد و همچنین، تشکیل انیدرید به‌وسیله پلی آکریلیک اسید باقیمانده و از دست دادن گروه‌های آمونیاکی این کاهش جرم اتفاق می‌افتد. مرحله دوم از دمای $^{\circ}C$ ۳۰۰ -۲۰۰ شروع و حدود ٪ ۳۰ از وزن کوپلیمر کم می‌شود که احتمالاً گروه‌های انیدریدی پلی آکریلیک اسید

حذف می‌شوند. مرحله سوم کوپلیمر بیشترین وزن خود که حدود ٪۶۰ است در دماهای بین °C ۶۰۰– ۳۰۰ از دست می‌دهد. دلیل وقوع این پدیده سوختن زنجیره اصلی و تخریب کوپلیمر می‌باشد. همچنین در این محدوده دمایی (بالای °C۴۵۰)، کربونیزاسیون نیز اتفاق می‌افتد [۱۱, ۱۲].



شکل ۲ . دمانگاشت کوپلیمر پلی آکریل آمید و پلی آکریلیک اسید.

۳-۳- بررسی چگالی بار کوپلیمر آکریل آمید و آکریلیک اسید سنتز شده

منظور از چگالی بار تعداد گروه‌های COOH در ساختار پلیمر می‌باشد که در اثر کوپلیمریزاسیون به‌دست‌آمده است. تثبیت و چسبندگی ذرات خاک با افزایش چگالی بار منفی بهبود پیدا می‌کند یعنی وجود گروه‌های عاملی کربوکسیلیک در پلیمر باعث اتصال اجزای خاک با پلیمر می‌گردد [۱۳]. با استفاده از روش تیتراسیون درصد بار منفی محاسبه شد که با افزایش میزان مونومر اولیه، بار منفی در کوپلیمر حاصل افزایش یافت، به عبارت بهتر با افزایش گروه‌های کربوکسیلیک در ساختار پلیمر، سازگاری خاک با آن افزایش‌یافته است (جدول ۲).

جدول ۲. چگالی بار و جرم مولکولی نمونه‌ها.

نمونه	مقدار آکریل آمید (درصد)	چگالی بار منفی (٪)	جرم مولکولی (gr /mol) × ۱۰^{۷}
PA۵۰	۵۰	۸/۱	۱/۰۱
PA۴۰	۴۰	۱۶/۶	۱/۱۳
PA۳۰	۳۰	۳۲/۲	۱/۱۶
PA۲۰	۲۰	۴۵	۱/۱۷
PA۱۰	۱۰	۵۱/۱	۱/۲۱

۳-۴- بررسی جرم مولکولی نمونه‌ها

شاخص بسیار مهم در افزایش کاربری پلی الکترولیت‌ها در صنعت کشاورزی، جرم مولکولی آن‌ها می‌باشد ۱۰^{۷}gr/mol و بیشتر، جرم مولکولی مناسب پلیمر برای افزایش خواص خاک کشاورزی است و باعث پیوستگی بیشتر ذرات خاک کار یکدیگر می‌شود که دلیل این امر می‌تواند افزایش سطح مشترک بین پلیمر و خاک باشد [۱۴, ۱۵].

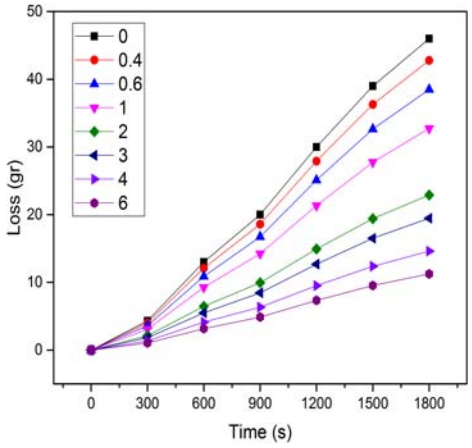
همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است با کاهش میزان مونومر آکریل آمید جرم مولکولی کوپلیمر افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد مونومر آکریل آمید در واکنش کوپلیمریزاسیون نقش اساسی برای افزایش جرم مولکولی ایفا می‌نماید [۱۶].

۳-۵- نتایج حاصل از اندازه‌گیری هدررفت خاک

همان‌طور که در بحث چگالی بار گفته شد، وجود گروه‌های عاملی کربوکسیلیک در پلیمر باعث اتصال اجزای خاک با پلیمر می‌گردد که با افزایش میزان آکریلیک اسید، بار منفی در کوپلیمر حاصل افزایش یافت. به نظر می‌رسد کوپلیمر PA۱۰ در کاهش هدررفت خاک مناسب‌تر می‌باشد و هرچه میزان آکریلیک اسید افزایش یابد، هدررفت کاهش می‌یابد.

تغییرات هدررفت خاک حاصل از تیمارهای مختلف در فاصله زمانی‌های مختلف در شکل(۳) نشان داده‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این بخش اثر کوپلیمر با افزایش میزان آن در کاهش هدررفت خاک مؤثر است. با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری هدررفت خاک مجموع هدررفت خاک در مدت ۳۰min بارندگی و میزان هدررفت خاک در هر گام زمانی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج مؤید کاهش میزان این متغیرها در اثر استفاده از کوپلیمر نسبت به تیمار شاهد بوده است. بیشترین میزان مجموع هدررفت خاک در تیمار شاهد با مقدار ۴۶gr و کمترین میزان آن در تیمار gr/m^{2} ۶ با مقدار ۱۱/۲۴gr به دست آمد. صادقی و همکاران استفاده از پلیمر پلی آکریل آمید بر هدررفت خاک در مقیاس کرت کوچک و در شرایط آزمایشگاهی در سطوح مختلف مصرف پلی آکریل آمید شامل ۰gr/m^{2} – ۶ را مد نظر قرار دادند. آن‌ها متوجه شدند کمترین مقدار هدررفت خاک در تیمار gr/m^{2} ۶ با مقدار ۱۸/۰۳ gr صورت گرفته است [۱۷]. به‌این‌ترتیب، کوپلیمر برپایه آکریل

آمید و آکریلیک اسید کارایی بالاتری نسبت به پلی آکریل آمید داشت که میزان آن حدود ۷gr بود.



شکل۳. الگوی تغییرات هدررفت تجمعی خاک حاصل از تیمارهای مختلف کوپلیمر با مقادیر مختلف مصرف gr/m^2 ۰/۴، ۰/۶، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ نسبت به زمان.

۳-۶- اثر کوپلیمر بر تثبیت‌کنندگی خاک رس

اثر تثبیت کنندگی کوپلیمر تهیه شده روی خاک رس و نمونه شاهد در شکل (۴) نشان داده شده است. در مقایسه با نمونه شاهد، نمونه‌های حاوی کوپلیمر پیوسته بوده و در زیر بارش آب نیز این پیوستگی را حفظ نموده است. در این تصاویر یکنواختی سطح خاک رس در نمونه‌های حاوی پلیمر در مقایسه با نمونه شاهد به‌وضوح قابل‌مشاهده می‌باشد. نمونه شاهد ۲۴hr بعد از افزودن آب بسیار ازهم گسسته گردیده و درز و شکاف بین آن به وجود آمد، اما نمونه‌های دارای کوپلیمر بعد از این مدت زمان پیوستگی خود را نگه داشتند.

همان‌طور که بیان شد، جذب کوپلیمر به اجزای خاک و خواص آن از جمله وزن مولکولی، نوع و چگالی بار پلیمر و خواص خاک مثل نوع و بافت خاک، مقدار مواد آلی و نوع یون‌های موجود در آن بستگی دارد. خاک‌های رس متداول معمولاً از نوع سیلیکات لایه‌ای هستند و ساختار شبکه بلوری آن لایه‌های دوبعدی می‌باشد که در هر لایه زنجیری از چهار وجهی‌های سیلیس، اکسیژن به‌طور متوالی متصل شده است. بین این لایه‌ها کاتیون‌های فلزی قابل تعویض مثل سدیم، منیزیم، آلومینیم و لیتیم وجود دارد.

درمجموع، خاک دارای ماهیت بار منفی روی سطح خود می‌باشد و پلی الکترولیت آنیونی به علت دافعه بار روی زنجیر خود و ذرات خاک، به داخل فضای لایه‌های سیلیکاتی خاک وارد نمی‌گردد. به عبارت بهتر، پلی الکترولیت با سطح بیرونی و دسترس خاک ارتباط برقرار می‌کند. پیوند هیدروژنی و تبادل لیگاند، دو ساز و کار پیشنهادی برای برهمکنش این ترکیبات با خاک است [۱۸].

شکل ۴. نمونه‌های خاک رس یک روز بعد از افزودن آب: (الف) نمونه شاهد و (ب) نمونه حاوی کوپلیمر سنتزی.

۴- نتیجه‌گیری

پلی‌الکترولیت بر پایه آکریل آمید و آکریلیک اسید با روش پلیمریزاسیون زنجیره‌ای در سیستم آبی سنتز گردید که با استفاده از طیف‌سنجی FTIR مشخص شد سنتز با موفقیت انجام و پلی‌الکترولیت دارای گروه‌های کربوکسیلیکی و آمیدی می‌باشد و واکنش به‌طور کامل انجام شده است. با کمک آزمون TGA، ترتیب سوختن اجزای کوپلیمر ارزیابی گردید. با استفاده از روش تیتراسیون، درصد بار منفی محاسبه شد که با افزایش میزان مونومر اولیه، بار منفی در کوپلیمر حاصل افزایش یافت و این باعث بهبود سازگاری با خاک می‌شود. جرم

مولکولی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراکندگی نور لیزری اندازه‌گیری و مشخص گردید که با افزایش مونومر آکریل آمید، جرم مولکولی کوپلیمر افزایش می‌یابد. تغییرات هدررفت تجمعی خاک حاصل از تیمارهای مختلف نسبت به زمان بررسی شد. بیشترین میزان هدررفت نمونه‌ها در تیمار شاهد با مقدار ۴۶gr و کمترین میزان آن در تیمار ۶ gr/m^2 با مقدار ۱۱/۲۴gr به دست آمد که ناشی از سازگاری خوب کوپلیمر با خاک می‌باشد. اثر تثبیت‌کنندگی نمونه‌ها در خاک رس نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، نمونه‌های حاوی کوپلیمر پیوسته بوده و در زیر بارش آب نیز این پیوستگی را حفظ نموده است.

سپاسگزاری

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

مراجع

1. V. Myagchenkov, V. Kurenkov, Applications of acrylamide polymers and copolymers: a review, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 1991,30, 109-135.
2. V.F., Kurenkov, Engineering Polymeric Materials, 1997, 61-72.
3. V. Kurenkov, V. L., Abramova, Homogeneous polymerization of acrylamide in solutions, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 1992, 31, 659-704.
4. A. Allahdadi, Study the effect of superabsorbent hydrogels application in reducing the moisture stress of plants, Proceedings of the 2nd Educational Course for Agricultural and Industrial Application of Superabsorbent Hydrogels, 2002, 33-55.
5. Y. Bao, j. Ma, N. Li, Synthesis and swelling behaviors of sodium carboxymethyl cellulose-g-poly (AA-co-AM-co-AMPS)/MMT superabsorbent hydrogel, Carbohydrate Polymers, 2011, 84, 76-82.
6. j. Koupai, F. Sohrab, Evaluating the application of superabsorbent polymers on soil water capacity and potential on three soil textures, 2004.
7. A. Rabiee, Acrylamide-based anionic polyelectrolytes and their applications: A survey, Journal of Vinyl and Additive Technology, 2010, 16, 111-119.
8. A. Sepaskhah, Z. Mahdi-Hosseinabadi, Effect of polyacrylamide on the erodibility factor of a loam soil, Biosystems engineering, 2008, 99, 598-603.
9. A. Khalilpour, Study the application of superabsorbent polymer (BT773) on controlling soil erosion and conservation, Report of Research Project. Tehran Research Center of Natural Resources. Ministry of Jihad Agriculture. Tehran .Iran, 2001.
10. A. Sepaskhah, A. Bazrafshan-Jahromi, Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator, Biosystems Engineering, 2006,93, 469-474.
11. M.A. Moharram, M.A. Allam, Study of the interaction of poly(acrylic acid) and poly(acrylic acid-poly acrylamide) complex with bone powders and hydroxyapatite by using TGA and DSC, Journal of Applied Polymer Science, 2007,105, 3220-3227.
12. M.K. Krušić, E. Džunuzović, S. Trifunović, J, Filipović, Polyacrylamide and poly (itaconic acid) complexes, European polymer journal, 2004, 40, 793-798.
13. J.A. Entry, R. Sojka, M. Watwood, C. Ross, Polyacrylamide preparations for protection of water quality threatened by agricultural runoff contaminants, Environmental Pollution, 2002, 120, 191-200.
14. V.S. Green, D. Stott, L. Norton, J. Graveel, Polyacrylamide molecular weight and charge effects on infiltration under simulated rainfall, Soil Science Society of America Journal, 2000, 64, 1786-1791.
15. F.W. Barvenik, Polyacrylamide characteristics related to soil applications, Soil Science, 1994,158, 235-243.
16. J. Klein, R. Heitzmann, Preparation and characterization of poly(acrylamide-co-acrylic acid), Die Makromolekulare Chemie, 1978,179, 1895-1904.
۱۷. صادقی, س.ح., حمیدرضا, س., حزباوی, یونسی, حبیب‌اله, بهزادفر, روند تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب بر اثر کاربرد پلی‌آکریل‌آمید, نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی-پژوهشی), ۲۰۱۳,۲, ۵۳-۶۷.
18. Lu, J. Wu, L. Letey, J. Effects of soil and water properties on anionic polyacrylamide sorption, Soil Science Society of America Journal, 2002, 66, 578-584.