نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۴، ص. ۱۶۱۱-۱۶۰۱

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1601-1611

اثر کاربرد پلی‌آکریل‌آمید در مهار فرسایش پاشمانی از خاک تحت تأثیر پدیده انجماد- ذوب

سیّد حمیدرضا صادقی[۱*]- محمّدباقر رئیسی[۲]- زینب حزباوی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۵

چکیده

بررسی اثرات پدیده انجماد و انجماد- ذوب در مباحث فرسایش و تولید رسوب حائز اهمیت است. با این‌حال، حفاظت خاک‌های تحت تاثیر این پدیده‌ها با شیوه‌های مختلف و از جمله استفاده از افزودنی‌ها هنوز مورد توجه قرار نگرفته است. از این‌رو پژوهش حاضر برای ارزیابی عملکرد پلی‌آکریل‌آمید (PAM) در مهار تأثیر چرخه انجماد- ذوب روی فرسایش پاشمانی از یک خاک لوم سیلتی انجام پذیرفت. در این راستا، فرسایش پاشمانی با استفاده از فنجان‌های پاشمان در دو تیمار شاهد بدون استفاده از PAM روی خاک با شرایط انجماد و دیگری با انجماد- ذوب و دو تیمار با شرایط انجماد و دیگری با انجماد- ذوب بعد از کاربرد PAM به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. میانگین میزان فرسایش پاشمانی خالص، در بالادست و پایین‌دست فنجان‌های پاشمان در کلیه تیمارهای آزمایش با آزمون t جفتی مقایسه شد. مقایسه میانگین‌های مقادیر رسوب مشاهداتی و برآوردی نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۱۸$) میزان فرسایش پاشمانی خالص به‌دست آمده در قبل و بعد از کاربرد PAM در تیمارهای مطالعاتی بود. هم‌چنین، نتایج مؤید وجود اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۰۳$) بین میزان فرسایش پاشمانی بالادست در تیمار انجماد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار ($P>۰/۳۶۵$) در تیمار انجماد- ذوب در قبل و بعد از کاربرد PAM بود. وجود اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۴۱$) بین میزان فرسایش پاشمانی در پایین‌دست فنجان‌های پاشمان در کلیه تیمارهای مطالعاتی نیز مشاهده شد. در مجموع، کاربرد PAM باعث کاهش میزان فرسایش پاشمانی خالص، فرسایش پاشمانی بالادست و پایین‌دست فنجان‌های پاشمان در تیمارهای مطالعاتی شد.

واژه‌های کلیدی: افزودنی‌های خاک، بجنورد، حفاظت خاک، فرسایش بارانی

مقدمه

مدیریت منابع خاک از طریق کاهش یا جلوگیری از فرسایش خاک به‌منظور تولید پایدار ضروری است (۲۸). انرژی قطرات باران، در اکثر مواقع عامل اصلی از هم پاشیدگی خاک‌دانه‌ها است. قطرات باران پس از برخورد با زمین، ذرات خاک را متلاشی کرده و به روند آغاز فرسایش آبی سرعت می‌بخشد. سست کردن و پراکنده کردن ذرات ریز خاک بر اثر برخورد قطرات باران روی سطح خاک، فرسایش پاشمانی[۴] نامیده می‌شود و معمولاً فرسایش آبی[۵] با آن آغاز می‌شود (۱۸ و ۲۸) و از جمله پیامدهای سوء ناشی از آن می‌توان به کاهش نفوذپذیری و افزایش روان‌آب اشاره کرد (۱۵). در واقع نقش اصلی عمل پاشمان در جدایش ذرات خاک قبل از حذف آن‌ها توسط جریانسطحی است (۱۸). از این‌رو، مهار فرسایش پاشمانی اهمیت زیادی در مدیریت و حفاظت از منابع آب و خاک دارد. بر همین اساس روش‌ها و شیوه‌های مختلفی برای مهار فرسایش خاک معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از فن‌آوری‌های نوین در زمینه مدیریت منابع خاک در سال‌های اخیر استفاده از افزودنی‌های خاک[۶] است (۲۵). به‌نحوی‌که استفاده از افزودنی‌های خاک به‌منظور بهبود و تقویت دانه‌بندی خاک و هم‌چنین به‌عنوان یک مانع حفاظتی در برابر اثر قطرات باران، روشی مؤثر برای کاهش پاشمان خاک معرفی شده است (۱۲). مطالعات بسیاری در خصوص مهار فرسایش پاشمانی با استفاده از افزودنی‌های خاک انجام شده است (۱، ۵، ۶ و ۱۷). در همین راستا، امروزه استفاده از پلیمرها در بحث حفاظت و مهار فرسایش خاک کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است و کاربرد آن‌ها به‌عنوان یک ضرورت در امر مدیریت منابع خاک تلقی می‌شود (۵)؛ به‌طوری‌که در جدیدترین مطالعات صورت گرفته، کاهش فرسایش

۱- استادگروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
(* - نویسندهٔ مسئول: Email: sadeghi@modares.ac.ir)
۲و ۳ - دانشجویان دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و عضو انجمن آبخیزداری ایران

4- Splash Erosion
5- Water Erosion
6- Soil Amendments

خاک به‌هنگام استفاده از پلی‌آکریل‌آمید[1] (PAM) در ترکیب با آب و خاک گزارش شده است (۸ و ۲۰).

از سوی دیگر نتایج بررسی‌ها نشان داده است که یخ‌بندان‌های شدید و فراگیر در ایران به سبب تأثیر تیپ‌های پرفشار اروپای شمالی، سیبری و اروپای شرقی، خاک‌های کشور را به‌شدت در معرض پدیده انجماد و ذوب[2] قرار داده است (۹). با لحاظ این مقوله، توجه به اثرات این پدیده در پژوهش‌های مرتبط با فرسایش و تولید رسوب از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (۳ و ۲۷). این پدیده هر چند هم اگر دارای مدت زمان کم باشد نقش قابل مؤثری در چرخه هیدرولوژی و تولید رسوب بسیاری از حوزه‌های آبخیز می‌تواند داشته باشد. به‌عنوان مثال در اثر فرآیند انجماد خاک و بسته شدن حفرات خاک به‌وسیله یخ، نفوذ عمقی[3] خاک کاهش یافته و منجر به ایجاد مقدار زیادی روان‌آب ناشی از بارندگی متوسط یا ذوب برف می‌شود؛ به‌طوری‌که زمان حداکثر فرسایش شدید ناشی از این شرایط موقعی اتفاق خواهد افتاد که این روان‌آب بر سطح خاک عاری از پوشش سطح خاک ذوب شده و اعماق خاک منجمد جاری شود (۱۰).

مطالعات متعددی به اهمیت فرآیند انجماد یا انجماد- ذوب بر خصوصیات مختلف خاک پرداخته است. برای نمونه وانگ و همکاران (۳۰) در مطالعه‌ای به بررسی اثر چرخه انجماد و ذوب بر خصوصیات مکانیکی خاک‌های رسی Qinghai-Tibet واقع در چین پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها حاکی از تغییر خصوصیات فیزیکی- مکانیکی خاک مورد مطالعه بعد از القاء چرخه انجماد- ذوب بوده است. در مطالعه‌ای دیگر غزوی و روستایی (۱۱) در ایران به بررسی عملکرد چرخه انجماد- ذوب بر خاک‌های رسی محافظت شده به‌وسیله منسوجات زمینی[4] پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری خاک با افزایش تعداد چرخه‌های انجماد- ذوب کاهش یافت. اما این میزان کاهش در خاک‌های محافظت شده با منسوجات زمینی (۱۴ درصد) کم‌تر از خاک‌های محافظت نشده (۴۳ درصد) بوده است.

هم‌چنین مطالعات متعددی (۵، ۷، ۱۵، ۱۶ و ۲۳) بر لزوم توجه به بحث فرسایش پاشمانی در طرح‌های حفاظت خاک و آب، فرسایش و رسوب اشاره داشته‌اند. لکن مطالعه فرسایش پاشمانی ناشی از برخورد قطرات باران و مهار آن در خاک‌های تحت تأثیر این فرآیند بسیار کم مدّ نظر قرار گرفته است. به‌نحوی که تنها بهزادفر و همکاران (۲، ۳، ۴) به تحلیل رفتار هیدرولوژیک خاک تحت چرخه انجماد و ذوب و نیز ارزیابی مهار تولید روان‌آب و هدررفت خاک در شرایط آزمایشگاهی و بعد از القاء چرخه انجماد- ذوب با استفاده از سطوح مختلف مصرف PAM پرداخته‌اند. تغییر رفتار خاک در ایجاد روان‌آب و هدررفت خاک به‌سبب ایجاد لنزهای یخی، جبهه یخ‌بندان و تغییرات رفتار رطوبتی خاک و هم‌چنین اثر PAM در افزایش زمان شروع روان‌آب و کاهش تولید روان‌آب و هدررفت خاک گزارش شده است.

بنابراین آگاهی از میزان فرسایش پاشمانی در اثر وقوع پدیده انجماد و چرخه انجماد- ذوب و بررسی امکان مهار فرسایش پاشمانی در مناطق دارای این پدیده‌ها در انجام اقدامات مدیریتی و حفاظتی مؤثر امری ضروری است. با وجود این پژوهش‌های مدوّن و کاملی در رابطه با مقوله میزان فرسایش پاشمانی خاک‌های تحت تأثیر پدیده انجماد و چرخه انجماد- ذوب و مهارپذیری آن‌ها در اثر استفاده از PAM گزارش نشده است. به همین دلیل، به‌منظور دستیابی به ابعاد متفاوت فرآیند پیچیده انجماد و چرخه انجماد- ذوب در خاک، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مهار فرسایش پاشمانی ناشی از انجماد و ذوب خاک در اثر کاربرد PAM به‌عنوان یکی از افزودنی‌های معمول حفظ و اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک در شرایط آزمایشگاهی برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده

خاک مورد استفاده از منطقه بدرانلو واقع در ۱۰ کیلومتریغرب شهرستان بجنورد، مرکز استان خراسان شمالی و در نزدیکی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بجنورد به‌سبب وجود پیشینه پژوهشی و وجود اطلاعات پایه و ایجاد شرایط مقایسه‌ای و نیز تعلق آن به منطقه‌ای برخوردار از چرخه‌های انجماد- ذوب تهیه شد (۲، ۳، ۴، ۱۴ و ۲۱). این منطقه دارای کاربری دیم رها شده و همراه با انواع فرسایش و شدت‌های مختلف است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بجنورد، منطقه مادری خاک از نهشته‌های لسی[5] دوره کواترنر تشکیل تشکیل شده است.

ارتفاع محل نمونه‌برداری از سطح دریا ۱۳۹۰ متر و در مختصات طول جغرافیایی ′۱۱ °۵۷ شرقی و ′۲۹ °۳۷ عرض شمالی واقع شده است. نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در منطقه مادری انجام و به‌منظور آگاهی از خصوصیات خاک، به آزمایشگاه منتقل و آزمایش‌های لازم برای ارزیابی آن انجام شد. جرم مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، اسیدیته، مواد آلی و بافت خاک به‌ترتیب ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ۱۳۷/۳ میکروموس بر سانتی‌متر، ۸/۲، ۰/۱۵۵ درصد و لوم سیلتی بود. پس از انتقال خاک‌ها به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشگاه تربیت مدرس، خاک‌ها هوا خشک، کوبیده و از الک۳ میلی‌متری عبور داده شد (۲، ۱۳ و ۱۴).

1- Polyacrylamide
2- Freezing and Thawing Process
3- Percolation
4- Geotextile
5- Loess Deposit

آماده‌سازی کرت‌های فرسایشی[1] و شرایط القاء انجماد و چرخه انجماد- ذوب

برای انجام پژوهش حاضر از کرت‌های کوچک آزمایشی به‌سبب امکان استقرار در سامانه سرمایشی طراحی و ساخته شده (۲)، استفاده شد. برای این منظور، حجم معینی از خاک آماده شده (۰/۰۲۵ متر مکعب) درکرت‌ها قرارداده شد به‌طوری‌که سطح نمونه خاک با سطح سرریز کرت‌ها یکسان بود. جرم مخصوص ظاهری مناسب خاک نیز از طریق کوبیدگی لازم با استفاده از غلطک بعد از ریختن لایه نازکی از خاک در چند مرحله تا پر شدن کامل کرت‌ها صورت گرفت. پس از این مرحله به‌منظور تامین شرایط رطوبت پیشین خاک به میزان ۳۵ درصد وزنی خاک به‌مدت ۲۴ ساعت تحت شرایط اشباع از کف قرار گرفت (۲، ۱۳، ۱۴ و ۲۶).

بعد از این مرحله، دو کرت فرسایشی در فریزر برای مدت سه روز به‌منظور دستیابی به دمای یکنواخت ۶ درجه سانتی‌گراد زیر صفر در کل نیم‌رخ خاک قرار داده شد. سپس یکی از این کرت‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت به‌منظور ایجاد شرایط ذوب در دمای محیط قرار داده شد. بنابراین، دو کرت تحت فرآیندهای انجماد و انجماد- ذوب و دو کرت دیگر با همین شرایط اما تیمار شده با PAM تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت ۱/۲ میلی‌متر در دقیقه و به‌مدت ۳۰ دقیقه در شیب ۲۰ درصد و منطبق با شرایط حاکم در منطقه مادری خاک قرار داده شد (۲ و ۴).

در پژوهش حاضر، چهار عدد فنجان پاشمان[2] با قطر بیرونی ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر، قطر داخلی ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع لبه داخلی ۲/۵ سانتی‌متر برای اندازه‌گیری میزان پاشمان خاک روی هر پلات قرار داده شد (۱۵، ۱۸ و ۱۹). شکل (۱) نمایی از فنجان‌های پاشمان و کرت‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. سپس، به‌طور جداگانه میزان خاک پاشمان شده از سطح دایره مرکزی فنجان فرسایش به مساحت ۷۸/۵ سانتی‌متر مربع در قسمت بالایی و پایینی فنجان‌های پاشمان جمع‌آوری شد و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و نهایتاً با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم توزین شد. میزان فرسایش پاشمان خالص نیز با کسر مقدار خاک پاشمان شده در قسمت بالا از مقدار خاک پاشمان شده در قسمت پایین فنجان‌های پاشمان محاسبه شد.

تیمارهای پژوهش

کرت‌های آزمایش شامل یک تیمار تحت انجماد و یک تیمار تحت فرآیند انجماد- و دو تیمار دیگر با همین خصوصیات اما تیمار شده با PAM به‌منظور بررسی اثر آن به‌عنوان افزودنی حفاظت کننده خاک در برابر فرسایش پاشمانی بوده است. در هر پلات چهار فنجان پاشمان (به‌عنوان تکرار) قرار داده شد.

در این پژوهش از PAM آنیونی با قابلیت انحلال در آب و در سطح بهینه مصرف ۲ گرم در متر مربع (۱۴) در حجم بهینه ۲۰۰ میلی‌لیتر از آب به‌روش اسپری روی سطح خاک (۲۴، ۲۶ و ۳۰) به‌سبب قابلیت تهیه و نیز توزیع یکنواخت آن در سطح کرت‌ها، پس از پایان فرآیندهای انجماد و انجماد- ذوب استفاده شد. شبیه‌سازی باران هم‌چنین بعد از گذشت ۲۴ ساعت از زمان اسپری کردن PAM، به‌منظور پخش همگن ماده در خاک و به لحاظ قابل اجرا بودن در عرصه اجرا شد (۱۴).

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری، ابتدا بانک اطلاعاتی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی کرت‌ها در محیط Excel 2007 تشکیل شد. سپس نمودارهای مورد نیاز رسم و روابط بین متغیرها نیز بررسی گردید. به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 19 استفاده شد. به‌همین منظور، قبل از انجام هر گونه آنالیز آماری، نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk، به‌دلیل کم‌تر بودن تعداد داده‌های هر گروه از تیمارها از حد ۵۰ داده (۲۲) آزمون شد. در ادامه تجزیه و تحلیل آماری هر کدام از تیمارها در قبل و بعد از کاربرد PAM بر اساس آزمون t جفتی[3] انجام شد.

نتایج و بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی کاربرد PAM در مهار اثرات پدیده انجماد و چرخه انجماد- ذوب بر میزان فرسایش پاشمانی در شرایط شبیه‌ساز باران برای خاک لومی سیلتی تهیه شده از منطقه بدرانلو در شهرستان بجنورد، مرکز استان خراسان شمالی در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس مجهز به سامانه سرمایشی منطبق با شرایط حاکم بر منطقه مادری خاک مورد مطالعه انجام شد. میزان فرسایش پاشمانی با استفاده از فنجان‌های مخصوص اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی در چهار تیمار شامل تیمارهای تحت انجماد و تحت چرخه انجماد- ذوب (به‌عنوان تیمارهای شاهد) و دو تیمار دیگر با همین خصوصیات اما تیمار شده با PAM به‌میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. آماره‌های توصیفی مهم میزان فرسایش پاشمانی به‌دست آمده در هر تیمار در جدول (۱) ارائه شده است.

نتایج آزمون نرمال بودن داده‌ها به‌روش Shapiro-Wilk نشان داد که کلیه مقادیر به‌دست آمده از توزین خاک پاشمان شده در کلیه

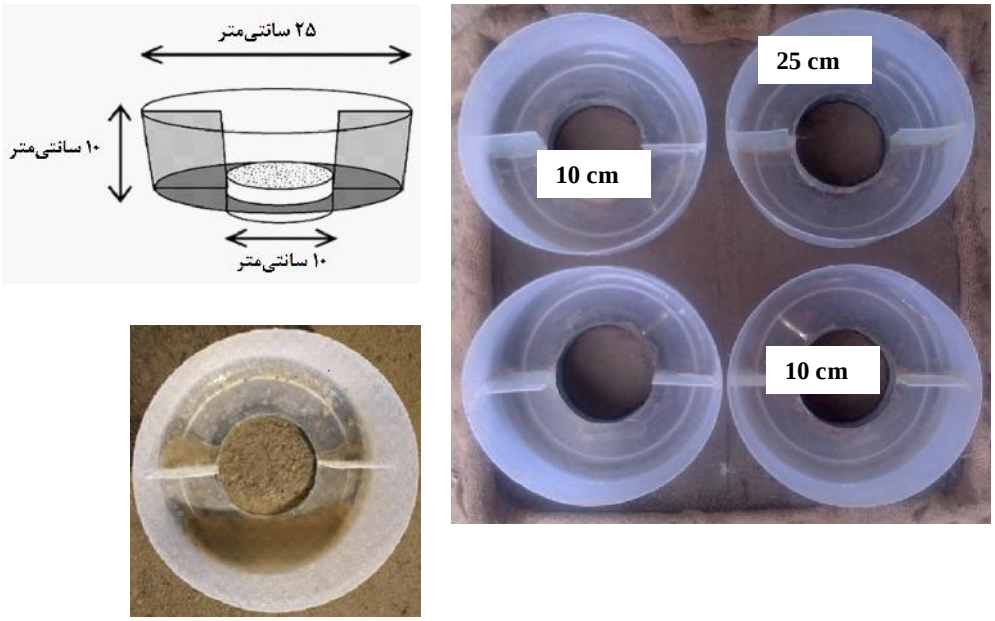
1- Erosion Plots
2- Splash Cups
3Paired Sampled T Test

تیمارهای مطالعاتی دارای توزیع نرمال با احتمال ۹۵ درصد بوده‌اند. مقایسه آماری میزان فرسایش پاشمانی در قبل و بعد از کاربرد PAM با استفاده از از آزمون t جفتی نیز در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری، میزان فرسایش پاشمانی خالص به‌دست آمده در قبل و بعد از کاربرد PAM در خاک و شرایط آزمایش بیان‌گر اختلاف معنی‌دار در هر دو تیمار تحت تأثیر انجماد و تیمار تحت فرآیند انجماد- ذوب بوده است (P<۰/۰۱۸). نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان فرسایش پاشمانی به‌دست آمده برای قسمت بالادست فنجان‌های پاشمانی حاکی از آن بوده است که کاربرد PAM در مهار فرسایش پاشمانی در تیمارهای تحت فرآیند انجماد و چرخه انجماد- ذوب مؤثر بوده و باعث کاهش فرسایش پاشمانی شده است. حال آن‌که از نظر تجزیه و تحلیل آماری اثر آن برای تیمار انجماد معنی‌دار (P<۰/۰۰۳) و برای تیمار انجماد- ذوب غیر معنی‌دار (P<۰/۲۳) به‌دست آمد (جدول ۲).

بر اساس نتایج مندرج در جدول (۲) و تجزیه و تحلیل آماری به‌عمل آمده، میزان فرسایش پاشمانی محاسبه شده در قسمت پایین‌دست فنجان‌های پاشمان در قبل و بعد از کاربرد PAM در شرایط آزمایشی مورد نظر دارای اختلاف معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد بوده است (P<۰/۰۳۳). هم‌چنین نتایج اندازه‌گیری فرسایش پاشمان خالص، فرسایش پاشمانی در قسمت بالادست و پایین‌دست فنجان‌های پاشمان به‌ترتیب در شکل‌های (۲) تا (۴) ارائه شده است.

با دقّت در شکل‌های (۲) تا (۴)، استنباط می‌شود که در پژوهش حاضر، نسبت کاهش میزان فرسایش پاشمانی اندازه‌گیری شده به‌صورت خالص، بالادست و پایین‌دست در فنجان‌های پاشمان در تیمار انجماد نسبت به فرآیند انجماد-ذوب بیش‌تر بوده است. دلیل این امر را می‌توان به اندازه خاک‌دانه‌های خاک و میزان چسبندگی آن طی پدیده‌های فوق و بالطبع تاثیر آن‌ها بر فرسایش پاشمان نسبت داد. در این خصوص تاسکین و فرهان (۲۷) در مطالعات خود گزارش کرده است که فرایند انجماد و ذوب باعث تشکیل خاک‌دانه‌ها و رشد حجمی آن‌ها شده است.

نتایج پژوهش در خصوص کاربرد PAM نشان می‌دهد که میزان فرسایش پاشمانی در سطح پلات‌های مطالعاتی و در خاک لوم سیلتی تحت تأثیر ماده افزودنی PAM قرار گرفته است. پس با اعمال روش‌های مدیریتی مناسب می‌توان تغییرات نامطلوب ویژگی‌های خاک را کاهش داد که با نتایج رضایی پاشا و همکاران (۲۳) مبنی بر وجود هم‌بستگی مثبت بین کاهش میزان فرسایش پاشمانی در کاربری مرتع و درصد ماده آلی ناشی از ایجاد پوشش گیاهی یا استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب از قبیل افزودنی‌های آلی مطابقت داشته است.



شکل ۱- نمایی از فنجان‌های پاشمان مورد استفاده روی کرت‌های آزمایشی (اقتباس از خالدی درویشان و همکاران، ۱۹)

Figure 1- General view of designed splash cups located at experimental plots (adapted from KhalediDarvishan et al., 2014)

جدول ۱- خلاصه آماره‌های توصیفی میزان فرسایش پاشمانی (گرم در سطح ۰/۲۵ مترمربع) در تیمارهای مختلف پژوهش

Table 1- Summary of attributed variables of splash erosion amount (g in 0.25 m^{-2} plots) of studied treatments

پاشمان خالص **Net splash erosion**				
آماره توصیفی Attributed Item	**بدون کاربرد PAM Before PAM application**		**بعد از کاربرد PAM After PAM application**	
	انجماد Freezing	**انجماد- ذوب Freezing-Thawing**	**انجماد Freezing**	**انجماد- ذوب Freezing-Thawing**
میانگین Average	4.162	2.525	0.840	0.661
انحراف معیار Standard Deviation	1.549	0.987	0.246	0.341
حداقل Min	2.785	1.182	0.566	0.400
حداکثر Max	6.141	3.389	1.121	1.109
پاشمان بالادست فنجان پاشمان Upward splash erosion				
آماره توصیفی Attributed Item	**بدون کاربرد PAM Before PAM application**		**بعد از کاربرد PAM After PAM application**	
	انجماد Freezing	**انجماد- ذوب Freezing-Thawing**	**انجماد Freezing**	**انجماد- ذوب Freezing-Thawing**
میانگین Average	0.825	0.707	0.286	0.348
انحراف معیار Standard Deviation	0.243	0.371	0.158	0.180
حداقل Min	0.541	0.356	0.145	0.192
حداکثر Max	1.135	1.095	0.499	0.578
پاشمان پایین‌دست فنجان پاشمان Downward splash erosion				
آماره توصیفی Attributed Item	**بدون کاربرد PAM Before PAM application**		**بعد از کاربرد PAM After PAM application**	
	انجماد Freezing	**انجماد- ذوب Freezing-Thawing**	**انجماد Freezing**	**انجماد- ذوب Freezing-Thawing**
میانگین Average	4.986	3.233	1.125	1.008
انحراف معیار Standard Deviation	1.776	1.320	0.400	0.373
حداقل Min	3.326	1.539	0.711	0.616
حداکثر Max	7.276	4.343	1.620	1.516

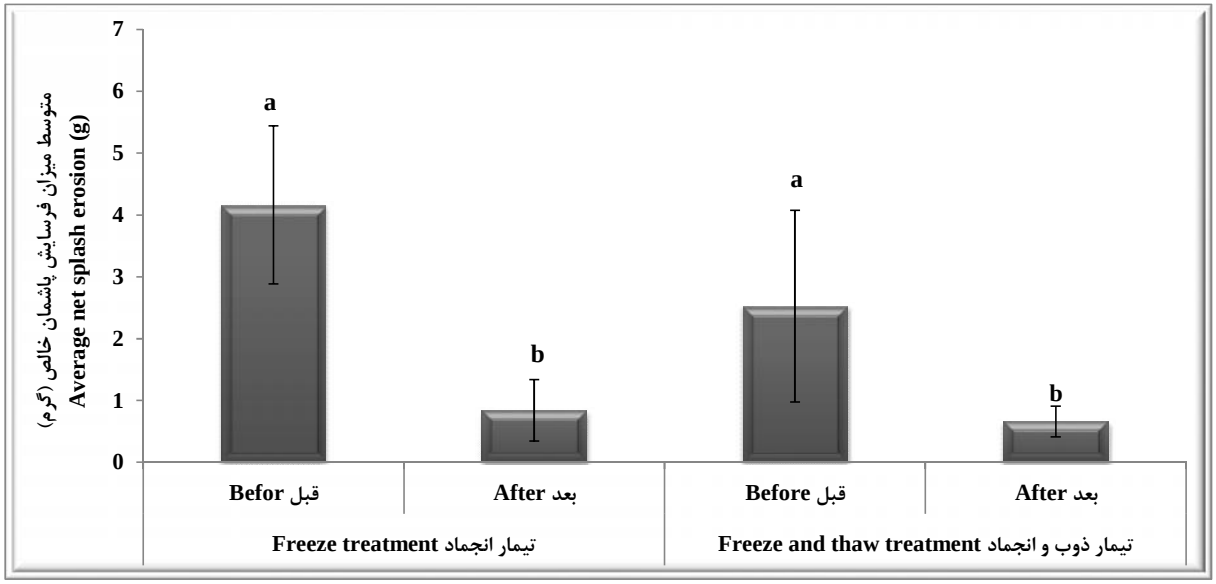
نوع خاک نیز می‌تواند نقش قابل توجهی در تأثیر PAM بر مهار فرسایش پاشمانی داشته باشد. به طوری که بر اساس مطالعه بروغنی و حیاوی (۶) پلی‌آکریل‌آمید تأثیر معنی‌داری بر کاهش فرسایش پاشمانی خاک مارنی نسبت به حالت شاهد داشته است.

در صورتی میزان فرسایش پاشمانی، کاهش می‌یابد که مقاومت خاک‌دانه‌ها در برابر عامل مؤثر فرساینده افزایش و نیز خصوصیات فیزیکی- مکانیکی خاک بهبود یابد. استفاده از افزودنی‌ها از قبیل پلی‌آکریل‌آمید، ژیپس و ژئوتکستایل در مطالعات انجام شده توسط بروغنی و حیاوی (۶)، حزباوی و همکاران (۱۴)، صادقی و همکاران (۲۵)، لی و همکاران (۱۷)، اکبرزاده و همکاران (۱) و غزوی و روستایی (۱۱) موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش ضریب مقاومت خاک‌دانه‌ها، بهبود ساختمان خاک، کاهش میزان روان‌آب، هدررفت و غلظت رسوب و نیز کاهش فرسایش پاشمانی شده است.

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون t جفتی برای مقادیر فرسایش پاشمان به‌دست آمده در قبل و بعد از کاربرد پلی‌آکریل‌آمید

Table 2- Results of Paired Samples T-test for obtained splash erosion before and after PAM application

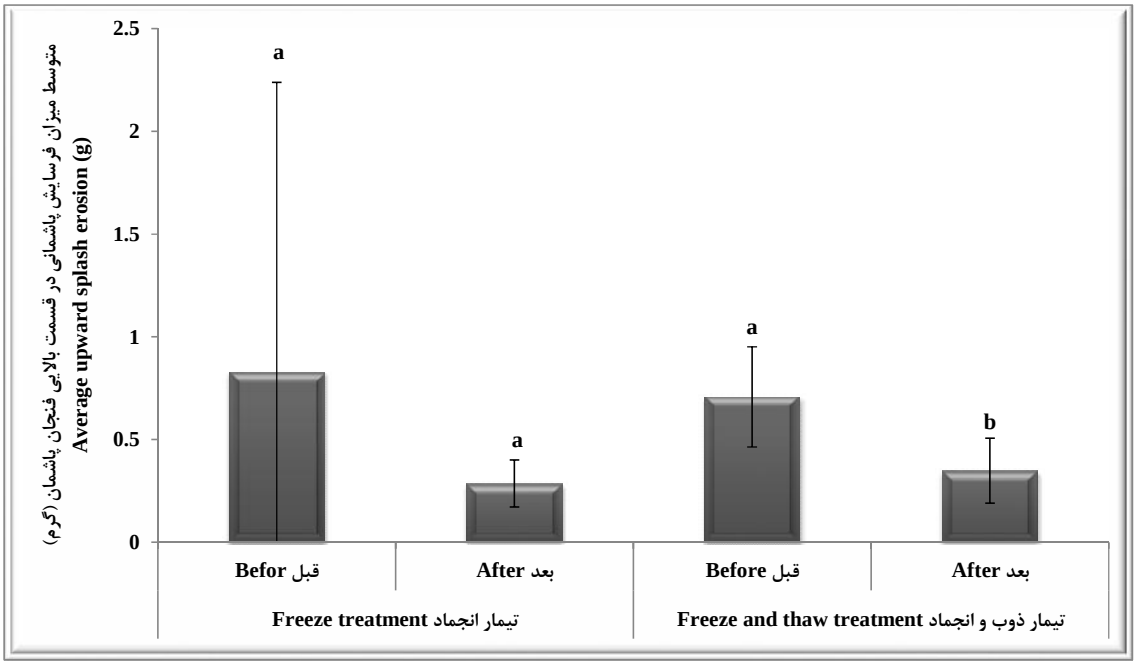
متغیر Variable	آماره توصیفی (Attributed Item)	آماره t t- value	سطح معنی‌داری Significant level
میزان فرسایش پاشمان خالص Net splash erosion	انجماد Freezing	4.750	0.018
	انجماد- ذوب Freezing-Thawing	5.096	0.015
میزان فرسایش پاشمان در بالادست فنجان پاشمان Upward splash erosion	انجماد Freezing	8.930	0.003
	انجماد- ذوب Freezing-Thawing	1.50	0.230
میزان فرسایش پاشمان در پایین‌دست فنجان پاشمان Downward splash erosion	انجماد Freezing	5.123	0.014
	انجماد- ذوب Freezing-Thawing	3.754	0.033



شکل ۲- مقایسه اثر کاربرد PAM بر میانگین فرسایش پاشمان خالص در سطح تیمارهای مطالعاتی (۰/۲۵ مترمربع)

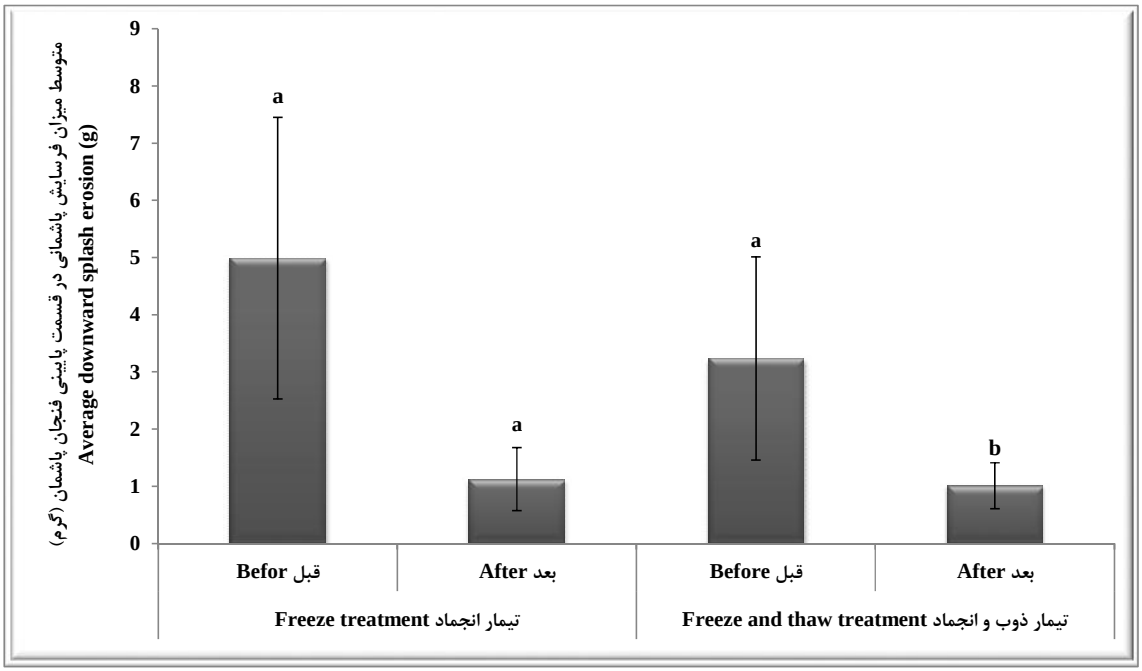
Figure 2- Comparison effects of PAM application on net splash erosion in study plots (0.25 m^{-2})

زیرا مولکول‌های PAM به داخل خاک‌دانه‌های خاک داخل نمی‌شود و در سطح خاک باقی می‌ماند که باعث جلوگیری از شکاف در سطح خاک و پایداری خاک‌دانه‌ها می‌شود. هم‌چنین در خاک‌هایی که در معرض باران قرار می‌گیرند، خرد شدن خاک‌دانه‌ها اولین فرآیندی است که منجر به تشکیل سله می‌شود. این ماده در روی سطح آن‌ها باقیمانده و مانع متلاشی شدن خاک در اثر ضربه قطرات باران و طبعاً مقاومت خاک در مقابل فرسایش و سرانجام کاهش فرسایش پاشمانی می‌شود. از سوی دیگر تخریب زیستی PAM آنیونی فرآیندی کند و زمان‌بر است و سالانه به‌طور متوسط ۱۰ درصد تخریب می‌شوند. بنابراین PAM به‌دلیل نقش بالای خود در هم‌آوری ذرات ریز خاک و تشکیل خاک‌دانه‌های درشت، می‌تواند جایگزین مناسبی برای ترکیبات آلی طبیعی (به‌خصوص در مناطق فاقد پوشش گیاهی یا ماده آلی در خاک) باشند. اگرچه بررسی همه‌جانبه مقوله‌های محیط زیستی آن برای ارائه جمع‌بندی نهایی در خصوص پیشنهادهای اجرائی و به‌خصوص کاربرد در سطوح وسیع تأکید می‌شود.



شکل ۳- مقایسه اثر کاربرد PAM بر میانگین فرسایش پاشمان در بالادست فنجان پاشمان در سطح تیمارهای مطالعاتی (۰/۲۵ مترمربع)

Figure 3- Comparison effects of PAM application on upward splash erosion in study plots (0.25 m^{-2})



شکل ٤- مقایسه اثر کاربرد PAM بر میانگین فرسایش پاشمان در پایین‌دست فنجان پاشمان در سطح تیمارهای مطالعاتی (۰/۲۵ مترمربع)

Figure 4- Comparison effects of PAM application on downward splash erosion in study plots (0.25 m^{-2})

نتیجه‌گیری

در مجموع و بر اساس نتایج حاصل از پژوهش فعلی، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که PAM تأثیر مناسبی در مهار فرسایش پاشمانی خاک لوم سیلتی در شرایط آزمایشگاهی تحت تأثیر تیمارهای انجماد و فرآیند انجماد- ذوب داشته است. این تأثیر در تیمار انجماد- ذوب به‌سبب شدت فرسایش پاشمانی بیش‌تر، مشهودتر بوده است. از سوی دیگر با توجه به وقوع پدیده انجماد- ذوب در بخش وسیعی از کشور، نتایج این پژوهش می‌تواند به‌صورت مؤثر و کاربردی مورد استفاده قرار گیرد. در عین حال، به‌منظور اتخاذ تصمیمات اجرایی در زمینه مدیریت منابع خاک مناطق کوهستانی و تحت تأثیر پدیده انجماد- ذوب با توجه به تأثیرپذیری متفاوت خاک‌های مختلف از افزودنی‌های خاک ضروری است که پژوهش‌های گسترده‌تر و جامع‌تری در زمینه نقش حفاظتی افزودنی‌های مختلف خاک، تحت شرایط متفاوت بارندگی، شیب و کاربری‌های مختلف در برابر فرسایش پاشمانی صورت گیرد.

منابع

1- AkbarzadehA.,Taghizadeh Mehrjardi R., Refahi H.G., Rouhipour H., and Gorji M. 2009. Using soil binders to control runoff and soil loss in steep slopesunder simulated rainfall. International Agrophysics, 23:99-109.
2- Behzadfar M. Sadeghi S.H.R., Khangani M.J., and Hazbavi Z. 2012. Effectability of runoff and sediment yield from soils induced by freezing and thawing cycle under simulated rainfall condition. Journal of Soil and Water Resources Conservation, 2(1): 13-25. (in Persian with English abstract)
3- Behzadfar M., Sadeghi, S.H.R., Hazbavi Z., and Khanjani M.J. 2013. Role of freezing and thawing cycle on runoff coefficient, In: Abstracts proceedings of 9th national seminar on watershed management engineering and science, October 30-31, 2013: 134 (Full paper published in CD, 4p), (in Persian)
4- Behzadfar M., Sadeghi S.H.R., and Khanjani, M.J. 2013. Application of polyacrylamide on controlling soil freeze-thaw cycle effect on runoff generation and soil loss. Journal of Water Research. Accepted for publication (in Persian with English abstract)
5- Bisal F. 1960. The effect of raindrop size and impact velocity on sand splash. Canadian Journal of Soil Science, 40:242-245.
6- Boroghani M., and Hayavi F. Application of polyacrylamide for splash erosion control on marl soil. 2011. Environmental Erosion Researches, 3:31-44. (in Persian with English abstract)
7- Ellison W.D. 1944. Studies of raindrop size erosion. Agriculture Engineering, 25:131-136.
8- Entry J.E., Mills D.E., Jayachandran K., and Sojka R.E. 2013. High polyacrylamide application rates do not affect eubacterial structural diversity. Water, Air, and Soil Pollution, 224:1382. 10 p.
9- Fatahei E., and Salehi Pak T. 2009. A synoptic patterns analysis of winter freezing in Iran. Geography and Development Iranian Journal, 7 (13): 127-136. (in Persian with English abstract)
10- Flerchinger G.N., and Saxton K.E. 1989. Simultaneous heat and water model of a freezing snow-residue-soil system I. theory and development. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 32(2):565-570.
11- Ghazavi M., and Roustaei M. 2013. Freeze–thaw performance of clayey soil reinforced with geotextile layer. Cold Regions Science and Technology, 89: 22-29
12- Gholami L., Sadeghi S.H.R., and Homaee M. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. Soil Science Society of America Journal, 77: 268-278.
13- Hawke R.M., Price A.G., and Bryan R.B., 2006. The effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity: a laboratory investigation. Catena, 65:237-246.
14- Hazbavi Z., Sadeghi S.H.R., and Younesi H. 2012. Analysis and assessing effectability of runoff components from different levels of polyacrylamide. Water and Soil Resources Conservation Journal, ISSN 2251-7480. 2(2): 1-13. (in Persian with English abstract)
15- KhalediDarvishan A.V., Sadeghi S.H.R., Homaee M., and Arabkhedri M. 2014. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. Hydrological Processes, 28, 4463–4471.
16- Khaledian H., and Shahooty S. 2010. Splash erosion measurement and its relationship to rainfall Intensity in Kordestan province. Iranian Water Resource Journal, 4(6): 19-24. (in Persian)
17- Li D., Li Y.K., Christians N.E., and Minner D.D. 2000. Inorganic soil amendment effects on sand-based sports turf media. Alliance of Crop, Soil, and Environmental Science Societies, 40(4):1121-1125.
18- Morgan R.P.C. 1978. Field studies of rainsplash erosion. Earth Surface Processes and Landforms, 3:295-299.
19- Nanko K., Mizugaki S., and Onda Y. 2008. Estimation of soil splash detachment rates on the forest floor of an unmanaged Japanese cypress plantation based on field measurements of through fall drop sizes and velocities. Catena, 72:348-361.
20- Orts W.J., Glenn G.M., Imam S.H., Sojka R.E., Sikes C.S., and Hochwalt M.A. 2013. Biopolymer additives.

Patent No: US 8,410,194B1. 9pp.
21- Rabbani F., and Karami F. 2009. Studing of the trend of the number of frost days in the Northern Khorasan. Journal of Physical Geograpgy. 1(4):85 -94. (in Persian)
22- Razali N.M., and Wah Y.B. 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogrov-Smirnov, Lillifores and Anderson-Darling tests. Journal of Statistical Modeling and Analytics, 2(1):21-33.
23- Rezaie Pasha, M., Kavian, A., and Vahabzade, GH. 2012. Experimental study of splash erosion and its relation with some soil properties in three adjacent land uses (A case study: Kasilian Watershed). JWSS- Isfahan University of Technology, 15(58): 257-269. URL http://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1114-2&slc_lang=fa&sid=1. (in Persian)
24- Peterson J.R., Flanagan D.C., and Tishmack J.K., 2002. PAM application method and electrolyte source effects on plot-scale runoff and erosion. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 45(6):1859-1867.
25- Sadeghi S.H.R., Hazbavi Z., Younesi H. and Behzadfar M. 2013. Trend of soil loss and sediment concentration changeability due to application of polyacrylamide. Journal of Soil and Water Resources Conservation, 2(4): 53-67. (in Persian with English abstract).
26- Shoemaker A.E. 2009. Evaluation of anionic polyacrylamide as an erosion control measure using intermediate-scale experimental procedures. Auburn University MSc. Thesis, USA, 220p.
27- Taskin O., and Ferhan F., 2003. Effect of freezing and thawing processes on soil aggregate stability. Catena, 52:1-8.
28- Unger P.W., Fryrear D.W., and Lindstrom M.J. 2006. Soil Conservation. American Society of Agronomy, Chapter 4:87-111.
29- Wang A.P., Li F.H., and Yang S.M. 2011. Effect of polyacrylamide application on runoff, erosion, and soil nutrient loss under simulated rainfall. Pedosphere, 21(5):628-638.
30- Wang D.Y., Ma W., Niu Y.H., Chang X.X., and Wen Z.2007. Effects of cyclic freezing and thawing on mechanical properties of Qinghai.X. andclay. Cold Regions Science and Technology, 48(1):34-43.

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1601-1611

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۶، بهمن –اسفند ۱۳۹۴، ص. ۱۶۱۱-۱۶۰۱

Effects of Polyacrylamide in Controlling of Splash Erosion from a Soil induced Freeze-Thaw Cycle

S. H. R. Sadeghi[1*] - M. B. Raisi[2] - Z. Hazbavi[3]

Received: 22-07-2014
Accepted: 16-03-2015

Introduction: The capability of a soil to resist erosion depends on soil-particle size and distribution, soil structure and structural stability, soil permeability, water content, organic matter content, and mineral and chemical constituents. Among many affecting factors on aforesaid characteristics, the freezing-thawing processes may considerably affects. Freeze–thaw fluctuation is a natural phenomenon that is frequently encountered by soils in the higher latitude and altitude regions in late autumn and early spring. Effects of freezing and freezing-thawing phenomena on soil erosion and sediment yield are important. Nevertheless, soil conservation under these phenomena by using different methods as well as soil amendments has not been yet considered. Surface application of anionic polyacrylamide (PAM) in solution has been found to be very effective in decreasing seal formation, runoff, and erosion.PAM stabilizes soil structure due to the ability of the polymer chains to adsorb onto clay particles and bridge them together forming stable domains. This adsorption can be a result of interactions between the negatively-charged functional groups of the PAM molecules and the positively-charged edges of clay minerals, orexchangeable polycations (mainly Ca^{2+}) acting as 'bridges' between the negative charges of the PAM's functional groups and the negatively- charged planar surfaces of the clay. The PAM is adsorbed on the external surfaces of the aggregates and binds soil particles far apart together, thereby were shorter and evidently less effective in enhancing increasing their resistance to splash by raindrop impact and detachment by runoff. A lot of research work focused on freezing effects in soils on aggregation or increase aggregate stability and emphasis corresponding effects. But the effects of application of soil amendments on soil induced freeze and thaw cycle have not been studied yet.

Materials and Methods: The present study evaluated the performance of PAM in controlling freeze-thaw cycle effects on splash erosion from a silty loam soil. A freeze-thaw cycle was simulated in Soil Erosion and Rainfall Simulation Laboratory of TarbiatModares University. The present study was conducted under controlled laboratory conditions with a simulated rainfall. The maximum efforts were made to mimic natural conditions to get access to results with high level of fidelity. Towards this attempt, air and different soil depth temperatures were analyzed in natural condition and 10 cm soil depth was targeted for the soil laboratory experiments. The rainfall storm with 72 mm h^{-1} and 30 min duration was simulated and conducted for the study treatments. The soil was poured in small erosion box with 0.25 m^2 surface area in three replicates. A thick filter, draining the lower 20 cm of the soil profile was generated using mineral pumices.The prepared soil sample was evenly packed into the soil plots at a bulk density of 1.3 Mg m^{-3} similar to that measured under natural conditions. The plots were then placed in saturated pool for 24 h and then left to be drained to achieve an average moisture content of 35% similar to that recorded for the realities in the study area. So, splash erosion rates were measured using splash cups in two control treatments without PAM subjected to freezing and freezing-thawing processes, and two other plots treated by freezing and freezing-thawing processesplus application of 20 kg ha^{-1} of PAM. After securing thenormality ofdata, the average net splash erosionand the average upward and downward rates of splash erosion in allexperimental treatmentswere comparedby paired sampled T-test.

Results and Discussion: According to the results of statistical analyses, the PAM application had a significant effect ($p<0.018$) on net splash erosion. The collected data on upward segments of cups treated with freeze phenomena showed that PAM played an effective and a significant role ($P<0.003$) in splash and no significant effect ($P>0.365$) on freezing-thawing processes. The significant difference ($P<0.041$) between downward segments of cups were also observed in all treated plots. In overall, PAM application reduced the amount of net splash erosion, upward and downward splash erosion in study treatments. The study revealed that the PAM can be successfully used in the silty loam soil to improve soil structure and control splash erosion.

1-Professor of Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*-Corresponding Author Email: sadeghi@modares.ac.ir)
2 and 3- Ph.D. Students of Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Though, further studies with deeper insights to different conditions and under various rainfall intensities and conservation measures are essentially needed to draw more reliable conclusion about affectability of splash erosion induced freeze-thaw cycle.

Keywords: Bojnourd, Soil Amendments, Soil Conservation, Splash Erosion