بررسی اثر غلظت پلی‌اکریل آمید و موقعیت شیب بر فرسایش خاک و آبشویی عناصر

فاطمه نیکجو وکیل‌آباد: *دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*
حسین شهاب‌آرخازلو*: *دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*
اسماعیل گلی کلانپا: *دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*
شکراله اصغری: *استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۳)

چکیده

یکی از اثرات مهم فرسایش خاک، هدر رفت عناصر غذایی خاک و کاهش حاصلخیزی آن است. استفاده از مواد اصلاحگری مانند پلی‌اکریل‌آمید **ضمن کاهش تولید رواناب و فرسایش خاک می‌تواند در کاهش هدررفت عناصر غذایی خاک به ویژه در اراضی شیب‌دار مفید باشد. در این پژوهش، اثر غلظت‌های مختلف پلی‌اکریل آمید بر تولید رواناب و رسوب و هدر رفت کربن آلی خاک و عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر خاک سطحی در سه موقعیت شیب و در اثر بارش ده دقیقه‌ای با شدت ۳۵ میلی‌متر بر ساعت بررسی و بارش مورد نظر نیز با دستگاه شبیه‌ساز باران نوسان‌دار شبیه‌سازی شد. برای این منظور، آزمایش با طرح کاملاً تصادفی فاکتوریل با دو فاکتور موقعیت شیب (در سه سطح پنجه، پا و شانه شیب) و غلظت پلی‌اکریل آمید آنیونی (در پنج سطح g/m^2 ۶ ، ۳، ۱، ۰/۴ و ۰) اجرا شد. اثر اصلی موقعیت شیب بر تمام عوامل مورد بررسی معنی‌دار بود؛ این در حالی است که اثر غلظت PAM فقط بر حجم رواناب تولید شده و هدر رفت فسفر معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت PAM بر پارامترهای تولید رسوب و هدررفت عناصر کلسیم و فسفر معنی‌دار بود. با تغییر موقعیت شیب از پنجه به پای شیب، میانگین حجم رواناب از ۳/۸۴ به ۱۴/۸ لیتر افزایش یافت و میانگین هدررفت فسفر از ۰/۰۳۵ کیلوگرم بر هکتار به ۰/۵۵ کیلوگرم بر هکتار افزایش یافت. تأثیر PAM در غلظت‌های بالاتر نسبت به غلظت‌های پایین‌تر در کاهش رواناب، رسوب و به دنبال آن هدررفت عناصرغذایی موجود در خاک بیشتر بود. استفاده از پلی اکریل آمید آنیونی بر کاهش فرسایش خاک و به تبع آن کاهش هدر رفت عناصری مانند فسفر و ماده آلی در اراضی شیب‌دار تأثیر مهمی داشت؛ چرا که خروج این عناصر از خاک بیشتر به صورت چسبیده به ذرات خاک صورت می‌گرفت.**

کلمات کلیدی: شبیه‌ساز باران، رواناب، رسوب، هدر رفت عناصر خاک.

* نویسندهٔ مسئول: Hose_Shohab@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

۱ـ مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که بر اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان اثرات مخربی دارد (Sheklabadi et al, 2003). یکی از عوامل مهم مؤثر بر فرسایش خاک، شیب زمین است که به صورت مستقیم یا با تأثیر بر سایر عوامل دخیل به افزایش تولید رواناب و رسوب منجر می‌شود (Abbasi et al, 2014). رواناب فرایند بسیار مهمی است که از طریق هدررفت و از بین بردن قشر سطحی خاک به کاهش حاصلخیزی و اتلاف عناصر غذایی آن منجر می‌شود (Perez-Latorre et al, 2010). ارتباط بین هدر رفت عناصر غذایی و حاصل‌خیزی نشان می‌دهد که فرسایش، یکی از عوامل اصلی کاهش حاصل‌خیزی خاک است (Correll et al, 1999). استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک می‌تواند یکی از مؤثرترین روش‌ها در کاهش میزان رواناب باشد. سوپرجاذب‌های آنیونی با داشتن قابلیت بالای ظرفیت تبادل کاتیونی می‌تواند علاوه بر جذب مقادیر زیاد آب، کاتیون‌های مؤثر و مفید رشد گیاه را در خود جذب کند و در مواقع لزوم در اختیار گیاه بگذارد (Xiahua, et al, 2008). سوپرجاذب‌ها هرگز به مواد اولیهٔ خود برنمی‌گردند؛ در شرایط یونی و میکروبی، خاک به آرامی تجزیه می‌شود و سرانجام به آب، دی‌اکسیدکربن و ترکیبات نیتروژن‌دار غیرسمی از جمله آمونیاک تبدیل و به ماده آلی خاک اضافه می‌شود (Eubeler et al, 2010). یکی از مهم‌ترین سوپر جاذب‌ها، پلی‌اکریل‌آمید است که از نظر بار الکتریکی دارای انواع آنیونی، کاتیونی و خنثی است. نوع آنیونی آن نیز در کشاورزی کاربرد زیادی دارد (Eubeler et al, 2010). پلی اکریل آمید (PAM[1])، یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین پلیمرهای مصنوعی محلول در آب است و مصرف آن، به دلیل سهولت تولید از سال ۱۹۹۰ افزایش یافته‌است (Shainberg et al, 1991).

از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری فرسایش، رسوب و رواناب، اندازه‌گیری مستقیم در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، اندازه‌گیری در کرت‌های آزمایشی با استفاده از باران‌های طبیعی و اندازه‌گیری در کرت یا سینی‌های خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران است. همچنین برای برآورد غیر مستقیم رواناب و رسوب، از مدل‌های مختلف فیزیکی و تجربی استفاده می‌شود. اندازه‌گیری مستقیم رواناب و رسوب، سرعت، کارایی و تکرارپذیری در شدت‌ها، مدت‌ها و مقادیر مختلف باران، از مزایای استفاده از شبیه‌ساز باران در بررسی رواناب سطحی، فرسایش و رسوب است (Jahanbakhshi et al, 2016). بنابراین، به منظور بررسی و مطالعهٔ فرسایش خاک و اندازه‌گیری مستقیم رواناب و رسوب می‌توان از شبیه‌سازهای باران استفاده کرد.

Sojka و همکاران (1998) با مطالعهٔ اثر PAM محلول با غلظت ده میلی‌گرم بر لیتر روی خاک‌های سیلتی لومی شمال شرق ایالت متحده بیان کردند که هفتاد درصد کاهش رواناب در سیستم آبیاری است. Peterson و همکاران (2002) با کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در کرت‌هایی با طول ۹ متر و عرض ۳ متر با شیب ۱۷ درصد، اثر دو شکل کاربرد پودری و محلول پلی‌آکریل‌آمید را بعد از بذرپاشی بررسی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید به شکل محلول، مقدار رواناب تولید شده را ۶۲ تا ۷۶ درصد کاهش داد؛ در حالی که پلی‌آکریل‌آمید پودری تقریباً هیچ تأثیر معنی‌داری بر کاهش رواناب نداشت. Aase و همکاران (1998) نشان دادند که در یک خاک لومی سیلتی با شیب ۲/۴

[1] Polyacrelamid

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

درصد، اضافه کردن دو کیلوگرم در هکتار پلی‌اکریل‌آمید به نخستین آبیاری، رواناب را نسبت به تیمار شاهد هفتاد درصد کاهش می‌دهد. McLaughlin و همکاران (2014) تأثیر سطوح مختلف (۱، ۲/۵، ۵ ، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) کاربرد PAM پودری و محلول را بر خاک‌های شمال غربی ایتالیا بررسی کردند. آنها در یک خاک معدنی با مواد آلی بالا از مزارع کشاورزی و سه نوع خاک از مناطق با شن بالا، تأثیر مقدار PAM و شکل مصرف آن را بر میزان مهار رواناب بررسی کردند. به طور کلی، نتایج این پژوهش عملکرد بهتر PAM محلول را در مهار رواناب نسبت به حالت پودری نشان می‌دهد. بررسی اثر اصلاحگرهای حاوی PAM در سه سطح (۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) و مخلوط PAM و ژیپس در سه نسبت متفاوت (۱۰+۲۵، ۲۰+۵۰ و ۳۰+۷۵ کیلوگرم در هکتار از PAM + کیلوگرم در هکتار از ژیپس)، بر مقدار روان‌آب و هدررفت در شرایط شبیه‌سازی باران انجام شد و نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف، بر مهار روان آب سطحی و کاهش رسوب تأثیر معنی‌داری داشته‌است (Rezaei, 2016). Abu-Zreig و همکاران (2007)، کاهش میزان رواناب و رسوب را بر اثر استفاده از دو مقدار ده و سی کیلوگرم در هکتار PAM در کرت‌هایی به ابعاد دو در ده متر بر روی زمینی با شیب دوازده درصد و تحت‌تأثیر باران طبیعی در اردن نشان دادند. Ai-Ping و همکاران (2011)، تأثیر دو نوع مختلف PAM را با وزن‌های مولکولی دوازده و هیجده بر روی زمینی با شیب پنج درصد در شرایط آزمایشگاهی با اعمال بارشی با شدت شصت میلی‌متر در ساعت بررسی کردند و نتایج، بیانگر کاهش رواناب در استفاده از هر دو نوع PAM بود. Goodson و همکاران (2006) در همین خصوص با هدف کنترل غلظت رسوب و فسفر خروجی در اثر آبیاری، از پلی‌اکریل‌آمید در سه سطح ۱ ، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از آب آبیاری استفاده کردند. نتایج حاصل از پژوهش آنها در خاک‌های سیلتی‌رسی و سیلتی‌لوم مناطق اطراف رودخانهٔ کولورادو، بیانگر تأثیر PAM در کاهش رسوب و فقدان تأثیر آن در کاهش فسفر محلول در آب بود. هاترمن و همکاران (1999) نیز مطالعه‌ای ده ساله در اراضی شیب‌دار دامنهٔ کوه‌های راکی در امریکا با بارندگی سالیانه ۵۵۰ – ۵۰۰ میلی‌متر انجام دادند. نتایج نشان داد که کاربرد سوپر جاذب به کنترل ۶۵ درصد فرسایش، افزایش ۳/۲ درصد ماده آلی خاک و پنجاه درصد صرفه‌جویی در میزان آبیاری گیاهان منطقه منجر شد. استفاده از شبیه‌ساز باران در این نوع مطالعات، امکان کنترل شرایط بارش و اعمال شدت و مدت مشخص را برای بررسی اثر ویژگی‌های PAM بر فرسایش خاک و هدررفت عناصرغذایی فراهم می‌سازد.

با توجه به اینکه فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین عوامل هدررفت عناصرغذایی است، در این پژوهش اثر استفاده از پلی‌اکریل‌آمید به عنوان یک مادهٔ اصلاحگر خاک بر میزان فرسایش و هدر رفت عناصر غذایی بررسی شد. برای این منظور، تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌اکریل‌آمید محلول بر تولید رسوب و هدررفت عناصرغذایی در اثر بارشی با مدت و شدت مشخص در سه موقعیت شیب ارزیابی شد. بارش با ویژگی‌های مشخص توسط دستگاه شبیه‌ساز باران بر روی کرت‌هایی در سه موقعیت شیب ایجاد شد. در این مطالعه، تأثیر شاخص‌های موقعیت شیب و مقدار گرم PAM مورد استفاده بر میزان تولید رواناب و رسوب و هدررفت کربن‌آلی و عناصر غذایی سدیم، کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم خاک سطحی بررسی شد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

۲ـ مواد و روش‌ها

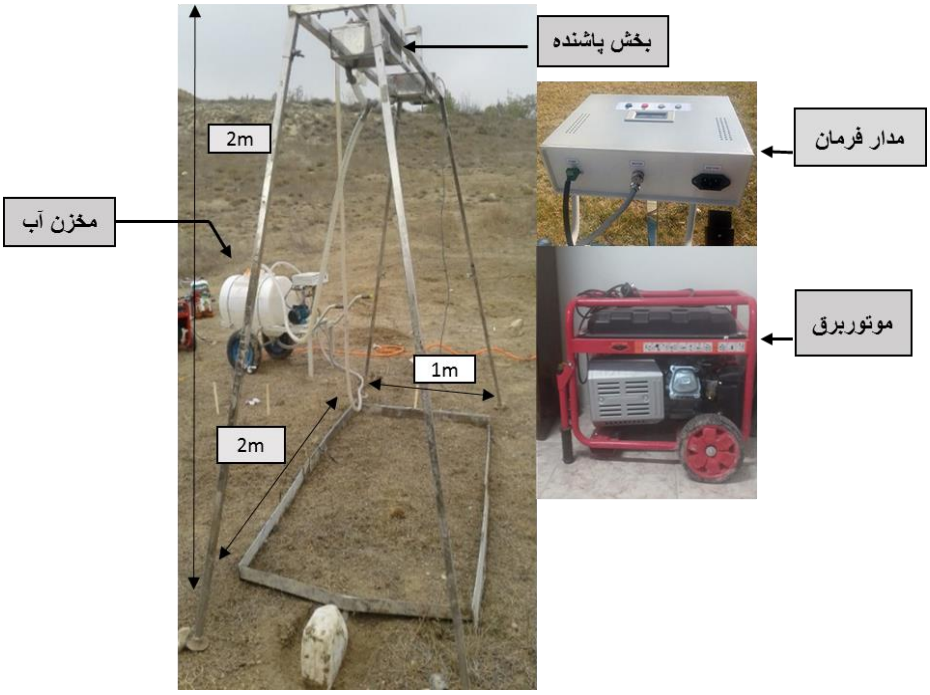
به منظور بررسی تأثیر استفاده از مقادیر مختلف سوپر جاذب پلی‌اکریل‌آمید آنیونی در کنترل فرسایش و هدر رفت عناصر غذایی خاک در اراضی شیب‌دار، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی فاکتوریل طراحی شد. در این پژوهش، شاخص‌های آزمایش شامل غلظت PAM در پنج سطح (۶ ،۳ ،۱ ،۰/۴ و ۰ g/m^2) و موقعیت شیب در سه سطح پنجهٔ شیب، پای شیب و شانهٔ شیب با سه تکرار بود که در مجموع، ۴۵ کرت با شبیه‌ساز باران اجرا شد. در شکل ۱، سه موقعیت شیب انتخاب شده برای اجرای آزمایش نشان داده می‌شود. محل اجرای آزمایش در محوطهٔ دانشگاه محقق اردبیلی واقع در استان اردبیل است که در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۱ دقیقه و ۳۳ ثانیهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه و ۴۵ ثانیهٔ شرقی قرار دارد.



شکل ۱: سه موقعیت شیب در منطقهٔ مورد آزمایش

کرت‌ها به ابعاد یک متر در دو متر (دو متر مربع) در سه موقعیت شیب پنجه (پانزده کرت)، پا (پانزده کرت) و شانهٔ شیب (پانزده کرت)، به صورت طولی از بالا به پایین شیب و در کنار یکدیگر ایجاد شد. در مرحلهٔ بعدی، محلول پلی‌اکریل‌آمید به کرت‌ها اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت دست نخورده باقی ماند. سپس بارش با شدت ۳۵ میلی‌متر بر ساعت و مدت ده دقیقه توسط شبیه‌ساز باران بر روی کرت‌ها اعمال شد. در شکل ۲، نمونه‌ای از کرت ایجاد شده برای اجرای آزمایش شبیه‌ساز باران و اجزای دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده نمایش داده شد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]



شکل ۲: اجزای دستگاه شبیه‌ساز باران و نمونه‌ای از کرت مورد آزمایش

برای آماده‌سازی کرت‌ها، ابتدا پوشش گیاهی موجود در سطح خاک آن به وسیلهٔ قیچی از قسمت ساقه بریده شد (قسمت ریشه در خاک باقی ماند تا ساختمان خاک دست نخورده باقی بماند)، سپس مرز کرت‌ها به وسیلهٔ ورقه‌های فلزی به شش عدد و طول یک متر (یک ورقهٔ فلزی در بالا و پایین هر کرت و چهار ورقه در دو طرف) محدود شد. برای اضافه کردن سوپر جاذب به خاک، مقدار مورد نیاز PAM وزن (۰/۸، ۲، ۶ و ۱۲ گرم برای هر کرت دو متر مربعی) و با آب مخلوط شد، سپس به مدت ۴۸ ساعت باقی ماند و هم زده شد تا به طور کامل در آب حل شود. در ادامه نیز محلول آماده شدهٔ PAM با استفاده از آبپاش به طور یک دست به کرت‌ها اضافه شد، سپس سطح کرت‌ها با پلاستیک پوشیده و به مدت ۲۴ ساعت دست نخورده باقی ماند و آزمایش اجرا شد. پس از هر بار آزمایش شبیه‌ساز باران در کرت‌های مورد نظر، رواناب و رسوبات ایجاد شده به وسیلهٔ قیف جمع‌آوری و هدایت‌کنندهٔ رواناب در مخزن مورد نظر جمع‌آوری شد و پس از ته‌نشینی رسوبات، حجم رواناب به وسیلهٔ استوانه مدرج اندازه‌گیری و بر حسب لیتر برای هر آزمایش یادداشت شد. سپس رسوبات ته‌نشین شده بعد از آون خشک شدن، به وسیلهٔ ترازو (دقت ۰/۰۱ گرم) بر حسب گرم اندازه‌گیری شد. در این آزمایش از دستگاه شبیه‌ساز باران نوسان‌دار[1] ــ که توسط شرکت آذر خاک آب ارومیه طراحی شده‌است و قابلیت لازم را برای ایجاد باران مصنوعی با شدت‌ها و مدت‌های مختلف دارد ــ استفاده شد (شکل ۲). قبل از آزمایش با اجرای پیش‌آزمایش‌های لازم، تنظیمات فشار آب و سرعت گردش نازل‌های دستگاه با شدت بارش مورد نظر کالیبره شد.

در رسوبات جمع‌آوری شده از هر آزمایش، غلظت‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر و کربن‌آلی اندازه‌گیری شد، سپس مقدار هدررفت این عناصر در سطح یک هکتار در هنگام فرسایش حاصل از باران شبیه‌سازی شده (شدت ۳۵ میلی‌متر بر ساعت و مدت ده دقیقه) محاسبه شد. برای این منظور از روی غلظت عناصر و وزن رسوب ایجاد شده در هر

[1] Oscillating Rainfall Simulator

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

آزمایش، وزن عناصر فرسایش‌یافته از سطح کرت دو متر مربعی محاسبه شد و با ضرب این مقدار در ۵۰۰۰ مقدار، هدررفت عنصر در سطح یک هکتار (در اثر بارش شبیه‌سازی شدهٔ مورد نظر) به دست آمد. در این پژوهش، سدیم و پتاسیم محلول نیز به روش استخراج با استات آمونیوم به روش فلیم فوتومتر در رسوبات اندازه‌گیری شد (Rowell, 1994). برای اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم قابل استفادهٔ گیاه، از روش تیتراسیون با EDTA استفاده شد و مقدار فسفر رسوبات نیز به روش اولسن توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۸۸۰ نانومتر قرائت شد (Olsen et al, 1954). همچنین کربن آلی موجود در رسوبات به روش والکلی بلک اندازه‌گیری شد. ذکر این امر لازم است که به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های اولیهٔ خاک منطقهٔ مورد نظر، قبل از شروع آزمایش‌های شبیه‌سازی باران از هر موقعیت شیب مورد نظر سه نمونهٔ تصادفی خاک (مجموع ۹ نمونه) از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. بعد از هواخشک شدن و آماده‌سازی نمونه‌ها، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH و EC (در عصارهٔ گل اشباع)، جرم مخصوص ظاهری (با روش سیلندر)، نسبت جذب سدیم (SAR)، بافت خاک (درصد ذرات شن، سیلت و رس با قرائت چهار زمانه)، درصد کربن آلی و عناصر مورد نظر (سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر) با روش‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد.

پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از آزمایش‌ها شامل حجم رواناب تولیدی در سطح کرت (بر حسب لیتر)، وزن رسوبات تولید شده در سطح کرت (بر حسب گرم) و مقدار هدر رفت کربن آلی و عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر (بر حسب معادل کیلوگرم در هکتار)، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو ویلک در نرم‌افزار SPSS16 بررسی و داده‌ها نرمال‌سازی شد. سپس آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 در قالب طرح کاملاً تصادفی فاکتوریل شامل شاخص غلظت پلی‌اکریل‌آمید در پنج سطح (۰، ۰/۴، ۱، ۳ و ۶ گرم در متر مربع) و موقعیت شیب در سه سطح (پنجه، پا و شانهٔ شیب) با سه تکرار تجزیه و تحلیل شد و مقایسه‌های میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. در نهایت، رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شد.

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

در جدول شمارهٔ ۱، میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی معمول خاک نمونه‌برداری شده از محل کرت‌های آزمایش ارائه شد. بر طبق این نتایج، خاک منطقه قلیایی و غیر شور است. بیشترین درصد ذرات خاک در هر سه موقعیت شیب نیز به ذرات سیلت اختصاص دارد و بافت خاک در پای شیب و شانهٔ شیب از نوع لوم سیلتی و در پنجهٔ شیب از نوع لوم است. در بین عناصر بررسی شده، میزان فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سه موقعیت شیب تقریباً نزدیک به هم است و میزان سدیم در پای شیب نیز به صورت قابل‌توجهی بیش از شانه و پنجهٔ شیب است که می‌تواند به علت ماندابی، تجمع نمک در اثر تبخیر آن و آبشویی از بالادست و تجمع در این قسمت باشد. همچنین مقدار کربن-آلی در موقعیت پای شیب نسبت به شانه و پنجهٔ شیب به صورت قابل توجهی کمتر است که علت آن می‌تواند رشد کمتر گیاه در این قسمت به علت رسوب‌گذاری‌های متناوب از بالادست باشد. در این جدول، مقدار عناصر غذایی مورد نظر در عمق خاک زراعی (سی سانتی‌متر) بر حسب وزن در هکتار محاسبه و ارائه می‌شود تا بتوان تأثیر شاخص‌های مورد بررسی بر هدر رفت آنها را به طور مستقیم بررسی و مقایسه کرد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

جدول ۱: میانگین ویژگی‌های اولیهٔ منطقه

ویژگی	پنجهٔ شیب	پای شیب	شانهٔ شیب
EC(dS m^{-1})	۱/۱۶	۱/۴۴	۰/۷۴
pH	۷/۹	۸/۱	۸/۰۹
رس (٪)	۲۰/۰۵	۲۶/۰۱	۲۲/۹۳
سیلت (٪)	۴۹/۷۷	۴۸/۹۳	۵۱/۸
شن (٪)	۳۰/۱۶	۲۵/۰۳	۲۵/۲۴
کلاس بافت	لوم	لوم سیلتی	لوم سیلتی
پتاسیم (kg/ha)	۱۸۴۷/۹۴	۱۲۸۷/۹۶	۱۲۰۳/۹۶
فسفر (kg/ha)	۱۲۸۵/۱۰۰۲	۱۱۵۰/۰۷۲	۱۸۳۴/۵۲
کربن آلی (kg/ha)	۴۵۶۳۰	۳۹۲۹۲/۵	۴۴۳۶۲/۵
کلسیم (kg/ha)	۱۹۸۶۴	۲۲۱۵۲	۲۱۵۲۸
منیزیم (kg/ha)	۴۵۵۵/۲	۳۹۹۳/۶	۵۱۱۶/۸
سدیم (kg/ha)	۴۷۷/۴۷	۸۰۹/۸۹	۴۷۷/۴۷
SAR (meq L^{-1})	۰/۹۲	۱/۵۲	۰/۸۸

* محاسبهٔ مقدار عناصر خاک و کربن آلی در عمق سی سانتی‌متری خاک انجام شده‌است.

نتایج تجزیه واریانس اثر موقعیت شیب و غلظت پلی اکریل آمید بر حجم رواناب ایجاد شده، تولید رسوب و هدر-رفت عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و کربن آلی در اثر بارش ده دقیقه‌ای با شدت ۳۵ میلی‌متر بر ساعت و در سه موقعیت شیب مختلف در جدول ۲ ارائه شد. همان طور که مشاهده می‌شود، اثر اصلی موقعیت شیب بر تمام عوامل مورد بررسی معنی‌دار است؛ این در حالی که اثر غلظت PAM فقط بر حجم رواناب تولید شده و هدر رفت فسفر معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت PAM بر پارامترهای تولید رسوب و هدررفت عناصر کلسیم و فسفر معنی‌دار است. این نتایج نشان می‌دهد که موقعیت شیب بر فرسایش خاک، تولید رواناب و هدر رفت عناصر غذایی در اراضی شیب‌دار تأثیر مهمی دارد. همچنین استفاده از پلی اکریل آمید می‌تواند بر میزان هدر رفت فسفر و کلسیم در شرایط شیب‌دار اثرگذار باشد. آواد و همکاران (2012)، تأثیر انواع مختلف پلیمرها به خصوص PAM را در بهبود ساختمان خاک و کاهش فرسایش آن بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که پلی‌اکریل‌امید علاوه بر تأثیر مثبت بر بهبود پایداری خاکدانه‌ها، بر سرعت تجزیهٔ بقایای گیاهی نیز اثر مطلوبی دارد. توضیح این امر لازم است که پراکندگی زیاد داده‌ها و برخی تیمارهای بدون تولید رسوب باعث می‌شود مقدار هدر رفت عناصر در آن تیمارها صفر شود و در نتیجه، دامنهٔ تغییرات داده‌ها افزایش یابد و ضریب تغییرات زیادی برای داده‌ها مشاهده شود.

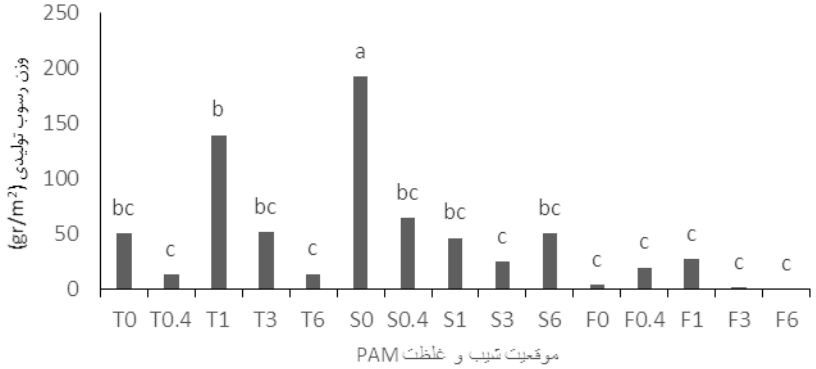
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس (آماره F) پارامترهای اندازه‌گیری شده

منبع تغییرات	درجه آزادی	رواناب	رسوب	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کربن آلی	فسفر
موقعیت شیب	۲	۹/۰۷۷**	۱۴/۱۰۵**	۸/۶۶۴**	۸/۸۸۰**	۸/۲۵۲**	۶/۱۳۹**	۴/۳۴۴*	۲۳/۵۴۱*
غلظت PAM	۴	۳/۸۹۶**	۲/۵۴۴ns	۲/۷۰۲ns	۲/۳۴۱ns	۲/۹۹۴ns	۱/۴۳۴ns	۱/۹۶۲ns	۶/۳۰۰**
شیب * PAM	۶	۰/۹۹۸ns	۳/۴۱۱*	۱/۵۶۴ns	۲/۰۱۹ns	۳/۰۹۴*	۲/۱۲۴ns	۲/۶۲۰ns	۱۰/۲۴۴*
تکرار	۲	۰/۱۷۶ns	۰/۰۳۷ns	۰/۱۶۱ns	۰/۲۲۹ns	۰/۴۱۴ns	۰/۳۵۳ns	۰/۰۲۲ns	۰/۳۶۱ns
خطا	۱۸	–	–	–	–	–	–	–	–
کل	۳۳	–	–	–	–	–	–	–	–
%CV		۱۸۶/۴۳	۹۰/۲۵	۱۳۶/۴۵	۱۵۶/۳۵	۱۷۰/۶۳	۱۹۳/۹۰	۱۵۸/۷۸	۱۷۵/۵۵

ns ، ** و * به ترتیب معنی‌دار نیست، معنی‌دار در سطح یک درصد و معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

به منظور تعیین تأثیر سطوح مختلف شاخص‌های مورد بررسی بر میانگین تولید رسوب و رواناب و هدر رفت کربن آلی و عناصر مورد بررسی در اثر بارش مورد نظر، مقایسهٔ میانگین سطوح مختلف شاخص‌های مورد بررسی با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. در شکل شمارهٔ ۳، نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت PAM مصرفی بر تولید رسوب ارائه شده‌است. با توجه به اینکه هم اثر اصلی شاخص‌های موقعیت شیب و غلظت PAM مصرفی و هم اثر متقابل این دو شاخص بر وزن رسوب تولید شده معنی‌دار است، مقایسهٔ میانگین اثر متقابل ارائه شد. در نمودارهای مربوط به مقایسهٔ میانگین، تیمارهای آزمایش به صورت ترکیب حروف F، T، S و یک عدد ــ که بیانگر مقدار پلی اکریل آمید مصرفی بر حسب گرم بر متر مربع است ــ نمایش داده شد. حروف استفاده شده نیز موقعیت پا، پنجه و شانهٔ شیب را نشان می‌دهد.



شکل ۳: مقایسهٔ میانگین اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت PAM بر وزن رسوب تولیدی در اثر بارش مورد شبیه‌سازی شده. حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار است و حروف متفاوت، اختلاف معنی‌دار دارد.

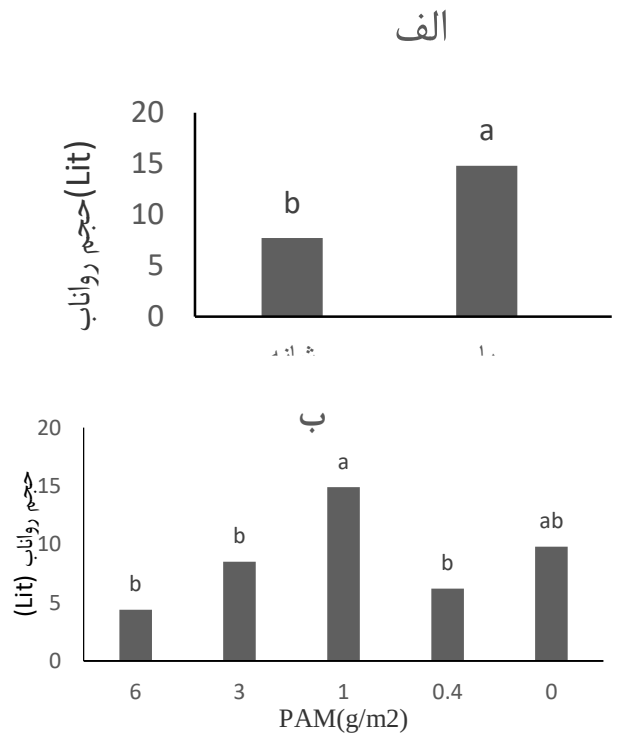
نتایج نشان می‌دهد که بیشترین رسوب تولید شده در اثر بارش شبیه‌سازی شده در سطح کرت با میانگین ۱۹۲/۳۶ گرم بر متر مربع، مربوط به تیمار شاهد (بدون پلی‌اکریل‌آمید) در موقعیت پای شیب (S0) است که با تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری دارد. کمترین میزان رسوب نیز مربوط به تیمار ۶ گرم برمترمربع PAM در موقعیت پنجهٔ شیب (F6) با میانگین رسوب تولیدی صفر و تیمار شش گرم بر متر مربع PAM در موقعیت پنجهٔ شیب (F3) با میانگین

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

رسوب تولیدی ۱/۶۹ گرم بر متر مربع است. این دو تیمار تنها با تیمارهای صفر پای شیب و یک گرم بر متر مربع شانهٔ شیب (S0 و T1)، اختلاف معنی‌داری دارد و با بقیه‌ی تیمارها فاقد اختلاف معنی‌دار است. به نظر می‌رسد علت بیشتر بودن فرسایش در موقعیت پای شیب نسبت به شانهٔ شیب، بیشتر بودن سدیم و SAR در این موقعیت شیب است که به تخریب خاکدانه‌ها و حساسیت به فرسایش منجر می‌شود (جدول ۱). Dordipour و همکاران (2007)، Rezaei (2016) و Bechet و همکاران (2016) نیز بیان کردند که غلظت بالای سدیم به تضعیف و پراکندگی خاکدانه‌ها در برابر بارش باران و در نهایت، افزایش فرسایش‌پذیری منجر می‌شود. هرچه مقدار سدیم موجود در خاک بیشتر باشد، میزان انرژی مورد نیاز برای تخریب ساختمان خاک کمتر می‌شود و استفاده از غلظت‌های مختلف PAM در کاهش رسوبات و هدررفت خاک تأثیر معنی‌داری دارد (Sadeghi et al, 2013). غلظت‌های مختلف PAM (۰، ۶، ۳ و ۹ گرم در کیلوگرم) در کاهش فرسایش و رواناب در شیب‌های مختلف تأثیر مثبتی دارد و بیشترین میزان کاهش فرسایش در غلظت ۶ و ۹ گرم در کیلوگرم PAM صورت می‌گیرد (Rezaei, 2016).

طبق نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود که اثر اصلی موقعیت شیب و غلظت PAM بر رواناب تولید شده در اثر بارش شبیه‌سازی شده معنی‌دار است؛ درحالی که اثر متقابل آنها معنی‌دار نیست. در شکل ۴، نتایج مقایسهٔ میانگین اثر موقعیت شیب و PAM مصرفی بر تولید رواناب در اثر بارش شبیه‌سازی شده ذکر شده‌است. در مورد اثر PAM مشاهده می‌شود که بیشترین حجم رواناب تولید شده با میانگین حجم ۱۴/۹۴ لیتر در سطح کرت، مربوط به تیمار یک گرم بر متر مربع است که با تیمارهای دیگر PAM اختلاف معنی‌داری دارد. کمترین حجم رواناب تولید شده با میانگین حجم ۴/۶۲ لیتر، مربوط به تیمار شش گرم PAM بر مترمربع است که با تیمار یک گرم بر مترمربع PAM اختلاف معنی‌داری دارد. مقایسهٔ میانگین اثر موقعیت شیب نیز نشان می‌دهد که بیشترین حجم رواناب تولید شده با میانگین حجم ۱۴/۸ لیتر، به موقعیت پای شیب (S) بازمی‌گردد که با موقعیت شیب‌های دیگر اختلاف معنی‌داری دارد. کمترین حجم رواناب تولید شده نیز با میانگین حجم ۳/۸۴ لیتر، مربوط به موقعیت پنجهٔ شیب (F) است که با موقعیت پای شیب اختلاف معنی‌داری دارد، ولی با شانهٔ شیب (۷/۶ لیتر) فاقد اختلاف معنی‌دار است.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

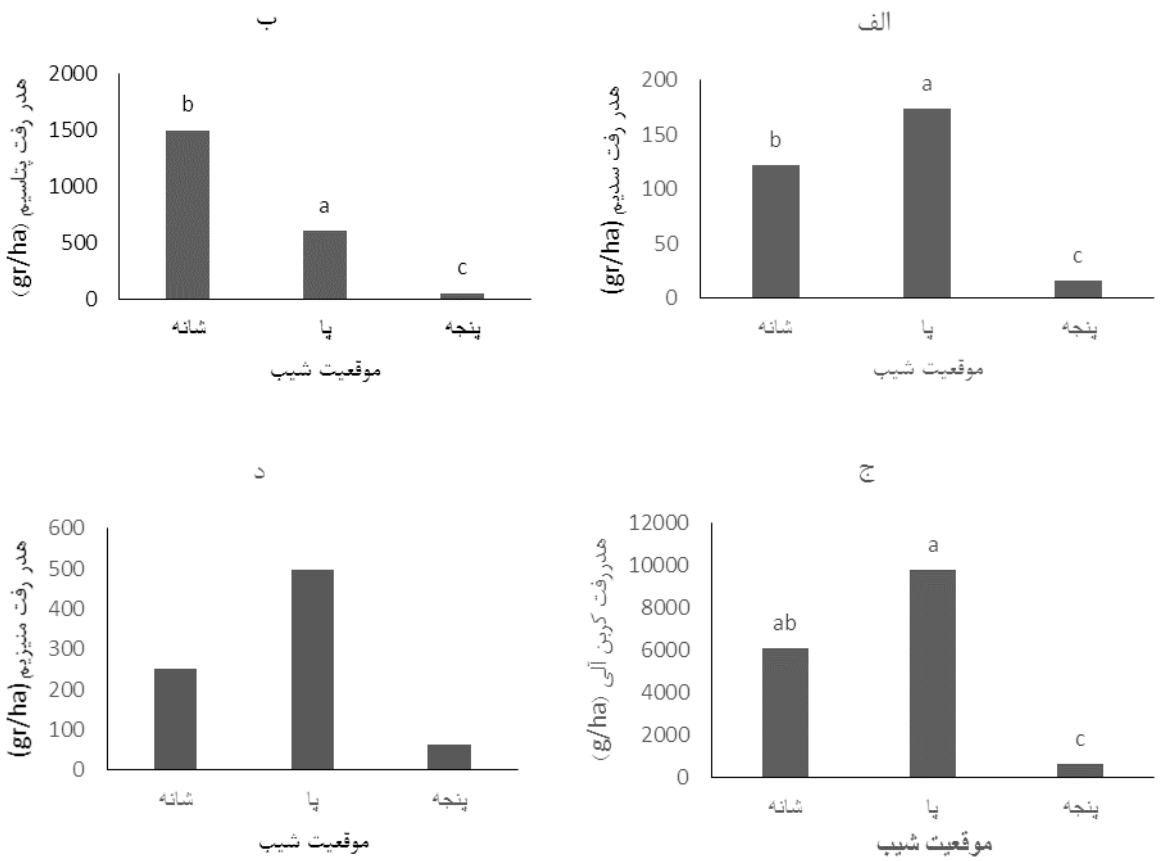


شکل ۴: مقایسهٔ میانگین تأثیر الف) موقعیت شیب و ب) غلظت PAM بر رواناب تولیدی در بارش شبیه‌سازی شده. حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار و حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار است.

Abdinejad و همکاران (2018) نیز به این نتیجه رسیدند که تأثیر شیب و اقلیم بر میزان حجم رواناب تولیدی و ضریب رواناب واحدهای مارنی معنی‌دار است. Chaplot and Bissonnais (2000) نیز بیان کردند که با افزایش شیب زمین، رواناب بیشتری تولید می‌شود. Rezaei (2016) نشان داد که درصد شیب زمین، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میزان حجم رواناب است. Zare Khormizi و همکاران (2012) با استفاده از شبیه‌سازی باران، مطالعه‌ای را برای بررسی اثر درصد شیب و خصوصیات خاک بر رواناب و هدررفت خاک انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که بین شیب و حجم رواناب تولید شده، همبستگی کمی وجود دارد و در سطح پنج درصد فاقد معنی‌داری است؛ این در حالی است که Roa-Espinosa و همکاران (1999) در پانزده کرت با ابعاد یک متر در یک متر و شیب ده درصد، تأثیر پلی‌اکریل‌آمید پودری و محلول را بررسی کردند و نشان دادند که هیچ یک از دو شکل مصرف پلی‌اکریل‌آمید در میزان رواناب تولید شده در خاک مطالعه شده تغییر قابل توجهی ایجاد نکرد.

طبق نتایج جدول ۲، اثر موقعیت شیب فقط بر هدر رفت کربن آلی و عناصر سدیم، پتاسیم و منیزیم معنی‌دار بود و اثر غلظت PAM و اثر متقابل فاقد معنی‌داری بود. در شکل ۵، نتایج مقایسهٔ میانگین اثر موقعیت شیب بر کربن آلی و عناصر سدیم، پتاسیم و منیزیم ارائه شده‌است.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]



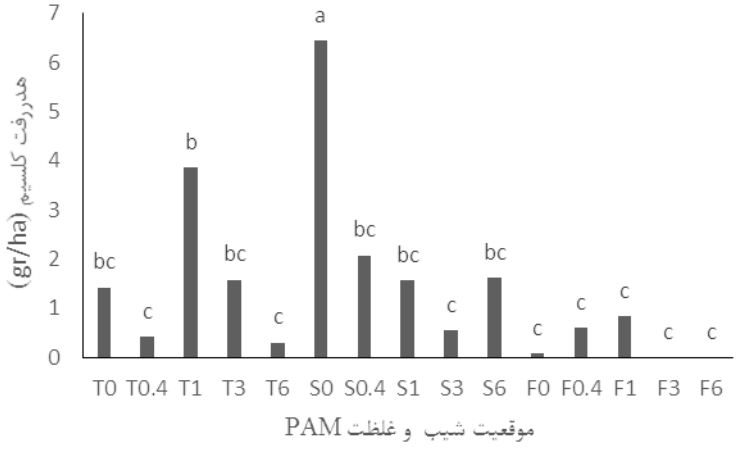
شکل ۵: اثر اصلی موقعیت شیب بر هدر رفت الف) سدیم، ب) پتاسیم، ج) کربن آلی و د) منیزیم در اثر بارش شبیه‌سازی شده. حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار است و حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار دارد.

بیشترین هدررفت سدیم، مربوط به پای شیب با ۱۷۳ گرم بر هکتار هدر رفت است که با موقعیت شانهٔ شیب (۱۲۰ گرم) اختلاف معنی‌داری دارد. مقدار هدررفت در موقعیت پنجهٔ شیب با شانزده گرم بر هکتار هدررفت، بسیار ناچیز است. علت مقدار هدر رفت زیاد سدیم در پای شیب، غلظت بالای این عنصر در پای شیب (جدول ۱) و حل شدن زیاد سدیم است که به آسانی حل می‌شود و رواناب آن را منتقل می‌سازد. Vaezi and Mazloom (2018) نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که بین میزان هدررفت سدیم با موقعیت شیب همبستگی معنی‌داری وجود دارد. بیشترین هدررفت پتاسیم، در موقعیت شانهٔ شیب با میانگین هدررفت ۱۴۳۰ گرم بر هکتار رخ داده‌است که با میزان هدر رفت پتاسیم در موقعیت پای شیب با میانگین هدررفت ۶۰۷ گرم بر هکتار اختلاف معنی‌داری دارد. کمترین هدررفت پتاسیم نیز در موقعیت پنجهٔ شیب با میانگین هدررفت ۵۲ گرم بر هکتار رخ داده‌است. Zakii و همکاران (2014) نشان دادند که میزان کل پتاسیم خارج شده از خاک در شیب ۸-۶ درصد، ۷۹/۳۳ کیلوگرم در هکتار است و با افزایش اندک شیب به ۱۲-۱۰ درصد، هدررفت پتاسیم به ۱۰۳/۲۰ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد. Abbasi و همکاران (2014) به این نتیجه رسیدند که اجرای بارش به وسیلهٔ شبیه‌ساز باران و استفاده از PAM به مقدار kg/h ۲۵ در کاهش مقدار رواناب تولیدی، رسوب و هدر رفت سدیم و پتاسیم تأثیر مثبتی داشته‌است. نتایج مقایسهٔ میانگین اثر موقعیت شیب بر هدر رفت کربن آلی و منیزیم در اثر بارش شبیه‌سازی شده نیز روند مشابهی را نشان می‌دهد. بیشترین میانگین هدررفت منیزیم

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

(۴۹۸ گرم در هکتار) در پای شیب رخ داده‌است که با شانهٔ شیب (۲۵۰ گرم بر هکتار) اختلاف معنی‌داری ندارد. کمترین میزان هدررفت منیزیم (۶۳ گرم بر هکتار) نیز در موقعیت پنجهٔ شیب رخ داده‌است که به طور معنی‌داری کمتر از دو موقعیت شیب دیگر است. بیشترین میانگین هدررفت کربن‌آلی با میانگین هدررفت ۹/۸ کیلوگرم بر هکتار، در موقعیت پای شیب رخ داده‌است که با موقعیت شانهٔ شیب (۶/۱ کیلوگرم بر هکتار) اختلاف معنی‌داری ندارد؛ در حالی که میزان هدررفت کربن آلی در موقعیت پنجهٔ شیب (۰/۲ کیلوگرم بر هکتار) به طور معنی‌داری کمتر از دو موقعیت شیب دیگر است. Vaezi and Mazloom (2018) مشاهده کردند که در بین عناصر غذایی خاک مورد بررسی در حوضه آبخیز تهم چای استان زنجان، منیزیم در اثر بارش‌های یک دورهٔ آماری پانزده ساله بیشترین هدررفت را داشته‌است.همچنین به این نتیجه رسیدند که استفاده از PAM به مقدار ۱۰kg/h آسیب ناشی از برخورد قطرات باران را به حداقل می‌رساند، به کاهش رواناب و رسوب تولیدی منجر می‌شود و میزان هدررفت منیزیم را به مقدار قابل‌توجهی کاهش می‌دهد (Rezaei, 2016). Rashidfar و همکاران (2004) نیز بیان کردند که میزان هدررفت کربن‌آلی در اثر اجرای بارش به وسیلهٔ شبیه‌ساز باران در چهار کاربری کشت گندم، پسماند ذرت، پسماند پنبه و تیمار شاهد به ترتیب ۱/۸۸، ۵/۷۷، ۸/۶۸ و ۷/۰۸ گرم بر مترمربع است که می‌توان این نتایج را با مقادیر به دست آمده در این پژوهش مقایسه کرد. Wang و همکاران (2010) طی تحقیقاتی به این نتیجه رسیدند که چون قسمت عمدهٔ کربن‌آلی (هوموس) خاک معمولاً در لایهٔ سطحی خاک قرار دارد، فرسایش سطحی قسمت عمدهٔ کربن‌آلی را با خود حمل می‌کند.

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر اصلی شاخص موقعیت شیب در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت بر میزان هدر رفت کلسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. در شکل ۶، مقایسهٔ میانگین اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت PAM بر هدر رفت کلسیم در اثر بارش شبیه‌سازی شده ارائه شده‌است.



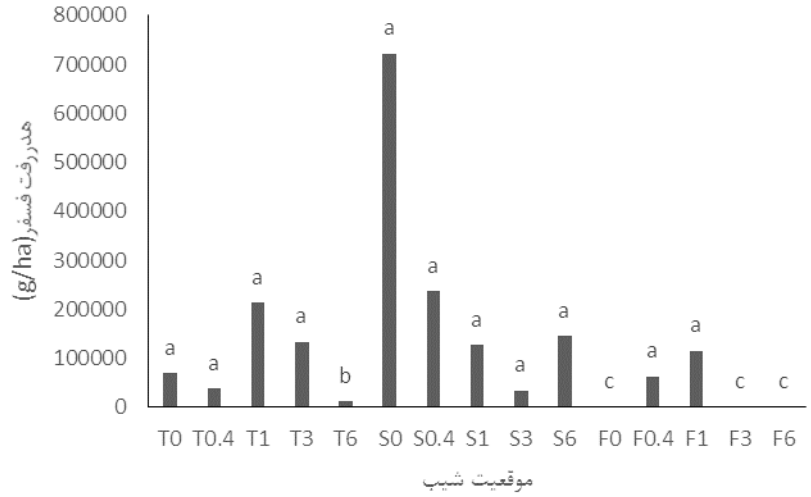
شکل ۶: اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت PAM بر هدر رفت کلسیم در اثر بارش شبیه‌سازی شده. حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار است و حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار دارد.

مشاهده می‌شود که بیشترین میزان هدررفت، مربوط به تیمار شاهد پای شیب (S0) و کمترین میزان هدررفت کلسیم مربوط به تیمار ۳ و ۶ گرم برمترمربع PAM پنجهٔ شیب (f3 و f6) است. به طور کلی مشاهده می‌شود که هر سه موقعیت افزایش غلظت PAM، به کاهش هدر رفت کلسیم منجر می‌شود که این کاهش در پای شیب فاقد معنی-

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

داری است، ولی در پنجه و شانهٔ شیب معنی‌دار است. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین هدررفت کلسیم در شانهٔ شیب رخ می‌دهد که افزایش PAM، هدر رفت این عنصر را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده‌است. Rashidi و همکاران (2018) نیز بیان کردند که استفاده از PAM به مقدار ۱۰kg/h، آسیب ناشی از برخورد قطرات باران را به حداقل می‌رساند، به کاهش رواناب و رسوب تولیدی منجر می‌شود و میزان هدررفت کلسیم را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.

همچنین اثر هر دو شاخص اصلی موقعیت شیب و غلظت PAM و اثر متقابل آنها بر هدررفت فسفر در اثر بارش شبیه‌سازی شده، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. در شکل ۷، مقایسهٔ میانگین اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت PAM بر هدر رفت فسفر در اثر بارش شبیه‌سازی شده ارائه شده‌است.



شکل۷: مقایسهٔ میانگین اثر متقابل موقعیت شیب و غلظت PAM بر هدررفت فسفر در اثر بارش شبیه‌سازی شده. حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار است و حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار دارد.

مشاهده می‌شود که بیشترین هدررفت فسفر، در تیمار شاهد موقعیت پای شیب (S0) و کمترین هدررفت نیز در تیمار ۳ و ۶ گرم بر متر مربع PAM در پنجهٔ شیب (f3 و f6) رخ داده‌است. استفاده از پلی‌اکریل‌آمید در دو موقعیت پنجه و شانهٔ شیب، کاهش معنی‌داری در هدر رفت فسفر دارد، ولی در پای شیب این کاهش معنی‌دار نیست. Salmasi و همکاران (2019) بیان کردند که هدررفت فرم‌های مختلف فسفر در اثر بارش با شبیه‌ساز باران به میزان ۴۹ تا ۱۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. Abbasi و همکاران (2014) نیز به این نتیجه رسیدند که در هنگام اعمال بارش به وسیلهٔ شبیه‌ساز باران، استفاده از PAM به مقدار kg/h ۲۵ در کاهش مقدار رواناب تولیدی، رسوب و هدر رفت فسفر تأثیر مثبتی دارد. در پژوهشی دیگر، Sadeghi و همکاران (2013) به ارزیابی کمی تأثیر پلی‌اکریل‌آمید بر هدررفت عناصر و غلظت رسوب در شرایط آزمایشگاهی پرداختند و نتایج نشان داد که استفاده از پلی‌اکریل‌آمید، بر هدر رفت عناصری مانند فسفر، پتاسیم و میزان رسوب تولیدی تأثیر معنی‌دار دارد. Cook and Nelson (1980) بیان کردند که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید محلول به علت کاهش مؤثر در فرسایش حاصل از آبیاری و بارندگی، کاربرد آسان و هزینهٔ نسبی کم آن، نسبت به سایر تثبیت‌کننده‌های مصنوعی خاک بهترین پلیمر است.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی با توجه به اینکه بیشترین مقدار فرسایش و تولید رسوب در موقعیت پای شیب ایجاد می‌شود، بیشترین هدررفت عناصر موجود در خاک نیز از این قسمت زمین حاصل می‌شود. موقعیت شیب و غلظت PAM، مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار بر شدت رواناب و فرسایش خاک حاصل از بارش است و در موقعیت پای شیب، بیشترین شدت فرسایش مشاهده می‌شود. همچنین PAM در غلظت‌های بالاتر نسبت به غلظت‌های پایین‌تر در کاهش رواناب و رسوب و به دنبال آن هدررفت عناصر غذایی موجود در خاک تأثیر بیشتری دارد، اما از یک غلظت مشخص به بعد (۳ گرم بر متر مربع) تأثیر PAM بیشتر نمی‌شود؛ یعنی نمی‌توان گفت که با افزایش غلظت PAM تأثیرش نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به نتایج مشاهده شده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پلی اکریل‌آمید آنیونی بر کاهش فرسایش خاک و هدر رفت عناصری مانند فسفر و ماده آلی در اراضی شیب‌دار تأثیر مهمی دارد؛ چرا که خروج این عناصر از خاک بیشتر به صورت چسبیده به ذرات خاک اتفاق می‌افتد و با افزایش مقدار مصرف PAM، فرسایش و تولید رسوب کاهش می‌یابد که این امر به هدر رفت کمتر فسفر و ماده آلی منجر می‌شود. اثر مقدار مصرف PAM بر کاهش تولید رسوب، هدر رفت کربن آلی و فسفر، در موقعیت‌های شیبِ با مقدار فرسایش بیشتر مهم‌تر است؛ این در حالی است که اثر مقدار مصرف PAM بر هدر رفت عناصری که بیشتر به صورت محلول از خاک خارج می‌شوند، کمتر است و این امر از تأثیر کمتر مقدار مصرف PAM بر میزان رواناب سرچشمه می‌گیرد.

منابع

1. Aase, J.; Bjorneberg, K. D. L.; & R. E. Sojka, 1998. Sprinkler Irrigation Ruonoff and Erosion Controlwith Polyacrylamide- Laboratory Tests, *Soil Science Society of America Jornal*, 62, 1681-1687.

2. Abbasi, Q.; Neyshabori, M. R.; Oustan, h.; & A. Ahmadi, 2014. Hydromulch and Polyacrylamide Effects on Runoff Control, Sediment Yield and N, P, K Losses in Laboratory Conditions, *Water and soil science*, 24, 247-259.

3. Abdinejad, P.; Fiznia, S.; & H. R. Pyrowan, 2018. An Assessment of Topography, Slope and Climate Effects on the Runoff Production within Marly Lands in Zanjan Province by using an Artificial Rain Simulator, *Journal of Watershed Management Research*, 9(17), 193-205.

4. Abu-Zreig, M.; Al- Sharif, M.; & J. Amayreh, 2007. Erosion Control Of Arid Land in Jordan with Two Anionic Polyacrylamides, *Arid Land Research Management*, 21, 315-328.

5. Ai-Ping, W.; Fa- Hu, L.; & Y. Sheng-Min, 2011. Effect of Polyacrylamide Application on Runoff, Erosion, and Soil Nutrient Loss Under Simulated Rainfall, *Pedosphere*, 21(5), 628-638.

6. Awad, Y.; Blagodatskaya, M.; OK E., Y. S.; & Y. Kuzeyakov, 2012. Effects of Polyacrylamide, Biopolymer, and Biochar on Decomposition of Soil Organic Matter and Plant Residues as Determined by 14C and Enzyme Activities, *European Journal of Soil Biology*, 48, 1-10.

7. Bechet, J.; Duc, J.; Loye, A.; Jaboyedoff, M.; Mathys, N.; Malet, J. Ph.; Klotz, S.; Le Bouteiller, C.; Rudaz, B.; & J. Travelletti, 2016. Detection of seasonal cycles of erosion processes in a black marl gully from a time series of high-resolution digital elevation models (DEMs), *Earth Surf. Dynam*, 4, 781-798.

8. Chaplot, V., & Y. Le Bissonnais., (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms*. 25, 145-153.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

9. Cook, D. F., & S. D. Nelson., (1980). Effect of Polyacrylamide on Seeding Emergence in crust-forming soils. *Soil Science.* 141(5), 328-333.
10. Correll, D.; Jordan, L. T. E.; & D. E. Weller, 1999. Precipitation effects on sediment and associated nutrient ischarges form Rhode River watershed, *Journal of Environ Quality,* 28, 1897-1907.
11. Dordipour, E.; Ghadiri, H.; & J. Hussein, 2007. The influence of salinity and sodicity on soil erodibility, sediment transport and downstream water quality from three contrasting soils, *Journal of Agricultural Science and Natural Resource*, 14, 41-53.
12. Eubeler, J. P.; Bernhard, M.; & T. P. Knepper, 2010. Environmental Different Biodegradation of Synthetic Polymers.ll. Groups, *Ternds in Biodegradation of Polymer Analytical Chemistry*, 29(1), 98-84.
13. Jahanbakhshi, F.; Ekhtesasi, M. R.; Talebi, A.; & M. Piri, 2016. Investigation of permeability of three geological formations in different precipitation intensities using rainfall simulator (Case study: Shirkooh Yazd), 11th Iran. national conference on watershed management sciences and engineering ofApril19-21. *Yasooj. Iran.* (In Persian).
14. McLaughlin, R.; Amoozegar, A.; Duckworth, O.; & J. Heitman, 2014. Optimizing Soil-Polyacrylamide Interactions for Erosion Control at Construction Sites, Soil Science Department North Carolina State University, Report No. 441. 47pp.
15. Olsen, S. R.; Cole, C. V.; Watanabe, F. S.; & L. A. Dean, 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate; U.S. Department of Agriculture: Washington, D. C., USDACirc. 939.
16. Perez-Latorre, F.; Castro, J. L. D.; & A. Delgado, 2010. A comparison of two variable intensity rainfall imulators for runoff studies, *Soil and Tillage Research*, 107, 11-16.
17. Peterson, J. R.; Flanagan, D. C.; & J. K. Tishmack, 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.
18. Rashidfar, M.; Hasanli, AM.; & M. Soufi, 2004. Loss of soil nutrients and organic matter from lands with different covers in arid and semiarid regions under the effects of runoff and erosion, *Desert*, 9, 35-48.
19. Rashidi, N.; Naderi, M.; & SH. Ghorbani Dashtak, 2018. The Effect of Polyacrylamide on Erosion, Runoff and Infiltration of a Silty Loam Soil, *Journal of Water and Soil Science,* 21(4), 43-55.
20. Rezaei, K., 2016. Effects of physicochemical properties of marls on their erodibility using rainfall simulator in Nowbaran, Saveh, *Quantitative geomorphological research*, 5, 52-66.
21. Roa-Espinosa, A.; Bubuenzer, G. D.; & E. S. Miyashita, 1999. Sediment and Runoff Control on Construction Sites using Four Application Methods of Polyacrylamide Mix, American Society of Agricultural Engineers Annual Meeting Paper, Pp. 99-2013.
22. Rowell, D. L., 1994. Soil Science: Methods and Applications, Longman Group, Harlow, pp. 345.
23. Sadeghi, S. H. R.; Hazbavi, Z.; Younesi, H.; & M. Behzadfar, 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.
24. Salmasi, R.; Farahbakhsh, M.; & H. Asadi, 2019. Estimation of runoff phosphorus losses from calcareous soils of Talkherood Watershed using rainfall simulator, *Watershed engineering and management*, 11(3), 701-710.
25. Shainberg, I.; Levy, G. J.; Rengasamy, P.; & H. Frenkel, 1991. Aggregate stability and seal formation as affected by drops impact energy and soil amendments, *Soil Science Society of American Journal*, 154, 113-118.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

26. Sheklabadi, M.; Khademi, H.; & A. H. Charkhabi, 2003. Runoff and Sediment Yield in Soils Developed on Different Parent Materials in the Golabad Watershed, Ardestan, *Journal of Water and Soil Science*, 7(2), 85-101.
27. Sojka, R.; Lentz, E. R. D.; Ross, C. W.; Trout, T. J.; Bjorneberg, D. L.; & J. K. Aas, 1998. Polyacrylamide Effects on Infiltration in Irrigated Agriculture, *Journalof Soil and Water Conservation*, 53, 325-331.
28. Vaezi, A. R., & Y. Mazloom., (2018). Temporal Variations of Stream Discharge and Nutrients Loss in the TahamChai Catchment, North-Western Iran. *Journal of Water and Soil Science*. 22, 29-44.
29. Wang, Y.; Fu, B.; Lü, Y.; Song, C.; & Y. Luan, 2010. Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China, *Quaternary Research*, 73, 70-76.
30. Xiahua, Q.; Mingzhu, L.; Zhenbin, C.; & Z. Fen, 2008. Study on the Swelling Kinetics of Superabsorbent Using Open,Circuit Potential Measure Ment, *European Polymer Juornal*, 44, 743-754.
31. Zakii, J.; Asoodar, M. A.; & M. Almasi, 2014. Effect of hill slope, tillage and seeding techniques on soil erosion, alimentary elements, organic material and wheat grain yield under rain fed condition, *Applied fields crops research*,102, 101-109.
32. Zare Khormizi, M.; Najafinejad, A.; Noura, N.; & A. Kavian, 2012. Effects of slope and soil properties on runoff and soil loss using rainfall simulator, Chehel-Chai Watershed, Golestan province, *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(2), 165-178 (in Persian).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

Investigating the Effect of Polyacrylamide Concentration and Slope Position on Soil Erosion and Leaching of Elements

Fatemeh Nikjoo Vakilabad**:** *Previous MSc student of soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili*
Hossein shahab arkhazloo***:** *Associate professor of soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili*
Esmaiel Goli Kalanpa**:** *Associate professor of soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili*
Shokrollah Asghari**:** *Professor of soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili*

Article History (Received: 2022/07/14 **Accepted** 2022/08/14**)**

Extended abstract

1- Introduction

Due to erosion, soil structure is destroyed, plant elements are removed from the soil by runoff and destroyed, soil fertility is reduced and, as a result, the production and productivity of the soil is reduced. The use of modifiers such as polyacrylamide while reducing runoff production and soil erosion can be useful in reducing the wastage of soil nutrients, especially in sloping lands. The aim of the present study was to investigate and compare the rate of sediment and runoff production and nutrient loss in three slope positions and four concentrations of polyacrylamide using a rain simulator. Direct measurement of runoff and sediment, efficiency and repeatability in different intensities, durations and amounts of rain are among the advantages of using a rain simulator in investigating surface runoff, erosion, and sediment (Jahanbakhshi et al., 2016). Therefore, in order to investigate and study soil erosion and direct measurement of runoff and sediment, rain simulators can be used.

2- Methodology

The present research endeavor was conducted to investigate the effect of using different amounts of anionic polyacrylamide superabsorbent in controlling the erosion and wastage of soil nutrients in sloping lands. The experiment was performed as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. The first factor of the slope was determined in three positions (slope toe, slope foot, and shoulder slope) and the second factor was the concentration of polyacrylamide at five levels (0,0/4, 1, 3, and 6 g/m^2). The test area was located on the campus of Mohaghegh Ardabili University being exposed to a 10-minute rainfall with an intensity of 35 mm/hour; it was checked that the intended rainfall was simulated by a rain simulator. A total of 45 experiments were performed by the rain simulator on plots measuring 2 m^2. After conducting each rain simulator test in the plots, runoff and sediments were collected in a collection tank and the amount of sediment, runoff volume and amounts of sodium, potassium, calcium, magnesium, phosphorus and organic carbon were measured in the laboratory.

*Corresponding Author Email: hose_shohab@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]

3- Results

The effects of slope position on all soil characteristics were significant (P <0.01) increasing from 0.35 kg/ha to 0.55 kg/ha. The effect of slope position on organic carbon loss was significant at the 5% level and other elements at the 1% level. The effect of polyacrylamide concentration was significant only on phosphorus loss at the level of 1%. Also, the interaction effect of slope and concentration on calcium loss was significant at the level of 5%. By changing the position of the slope from the toe slope to the foot slope, the average runoff volume increased from 3.84 to 14.8 liters, and the average phosphorus loss increased from 0.035 kg/ha to 0.55 kg/ha. The effect of PAM in higher concentrations was greater than in lower concentrations in reducing runoff, sediment, and then the loss of nutrients in the soil. The results showed that the maximum production of sediment due to the simulated rain on the surface of the plot is 192.36 grams per square meter. This is the value of the control plot at the foot slope (S0) which is significantly different from other treatments. The lowest amounts of sediments were related to the treatment of 6 grams per square meter of PAM in the position of the toe slope (F6) with an average production sediment of zero, and the treatment of 6 grams per square meter of PAM in the position of the toe slope (F3) with an average sediment production of 1.69 grams per square meter.

4- Discussion & Conclusions

The highest amount of sediment and runoff was produced at the foot slope. The greatest loss of nutrients was observed at the foot slope. It was observed that the effect of PAM in higher concentrations is greater than in lower concentrations in reducing runoff, sediment, and then the loss of nutrients in the soil. It can be concluded that the use of anionic polyacrylamide has an important effect on reducing soil erosion and consequently reducing the wastage of elements such as phosphorus and organic matter in sloping lands, because the release of these elements from the soil mainly happens attached to the soil particles. This research showed that the effect of PAM in reducing runoff, sediment and then the loss of nutrients of soil, in higher concentrations is greater than in lower concentrations but from a certain concentration onwards (3 grams per square meter) the impact of PAM does not increase.

Key Words: Rain Simulator, Runoff, Sediment, Loss of soil elements**.**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.11.5]