

اندازه‌گیری و مقایسه نرخ پاشمان خاک تحت تأثیر اسیدیته و شدت باران

عطاله کاویان*، اعظم علیپور، کریم سلیمانی و لیلا غلامی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۴)

چکیده

یکی از جدی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی که امروزه بسیاری از مناطق دنیا با آن روبه‌رو هستند، باران اسیدی است. این پدیده اثرات مخرب زیست‌محیطی بسیاری دارد که یکی از مهم‌ترین آنها آلودگی و تخریب خاک است. باران اسیدی اثر آنی بر خاک داشته و سبب تجزیه و پراکنده شدن ذرات خاک می‌شود. این اولین گام برای شروع فرسایش خاک است. بنابراین در این پژوهش به بررسی اثر pH‌های مختلف باران اسیدی به همراه تغییرات شدت بر پاشمان خاک در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از شبیه‌ساز باران و فنجان پاشمان پرداخته شد. برای انجام آزمایش‌ها از باران اسیدی با pH‌های ۳/۷۵، ۴/۲۵، ۵/۲۵ و باران معمولی در سه شدت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت استفاده و در نهایت ۳۶ نمونه برای تجزیه و تحلیل آماری برداشت شد. به منظور انجام تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS ۲۳ و EXCEL ۲۰۱۳ و آزمون‌های آنالیز واریانس یک‌طرفه و دوطرفه در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد در شدت‌های ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر بر ساعت، نرخ پاشمان در تمامی تیمارهای pH باران تفاوت معنی‌داری داشتند و باران اسیدی با pH ۳/۷۵ بیشترین مقدار پاشمان را ایجاد کرد. در حالی که این تفاوت در شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت علیرغم افزایش عددی مقدار پاشمان در تیمارهای با pH ۳/۷۵ و ۴/۲۵، تفاوت معنی‌دار نشد. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت، مقدار پاشمان خاک نیز افزایش می‌یابد. در نهایت آزمون تجزیه واریانس دو طرفه نشان داد اعمال همزمان دو فاکتور تغییرات pH و شدت باران اثر متقابلی در پاشمان خاک بر هم نداشتند.

واژه‌های کلیدی: باران اسیدی، شدت باران، فنجان پاشمان، هدر رفت خاک، شبیه‌ساز باران

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ataollah.kavian@gmail.com

مقدمه

بارانی است که pH آن از ۵/۶ یعنی از pH باران طبیعی کمتر باشد (۲۵، ۲۸، ۳۲ و ۴۳). باران اسیدی، به‌طور عمده توسط انحلال دی‌اکسید گوگرد (SO_2) و اکسید نیتروژن (NO_x) در جو ایجاد می‌شود (۵). بیش از ۶۵ درصد بارش‌های اسیدی به‌علت وجود SO_2 و ۳۵ درصد دیگر به‌علت وجود NO_x است (۲۹). گازهای مذکور در ترکیب با بخار آب و اکسیژن موجود در هوا طی فرایندهای شیمیایی که منجر به تولید اسیدکربنیک، اسیدنیتریک می‌شوند (۲۹). این واژه انواع پدیده‌ها، از جمله مه اسیدی و برف اسیدی که تمام آنها با نزول مقدار قابل ملاحظه اسید از آسمان مطابقت دارد را شامل می‌شود (۱۸). میزان اثر باران اسیدی بر خاک به نوع و خواص خاک بستگی دارد، حساسیت خاک‌ها نسبت به باران اسیدی توسط چند عامل تعیین می‌شود که مهم ترین آنها وجود یا عدم وجود کربنات در نیم‌رخ خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک که عمدتاً توسط محتوی رس و مواد آلی خاک تعیین می‌شود و سیستم مدیریتی که بر خاک اعمال می‌شود، خواه در آن زراعت صورت گیرد و کوددهی انجام شود و خواه به‌وسیله سیلاب تجدید شود بستگی دارد (۲۳ و ۴۷). باران اسیدی اثر آبی بر خاک داشته و سبب تجزیه و پراکنده شدن ذرات خاک می‌شود. این اولین گام برای شروع فرسایش خاک است. سپس این ذرات پراکنده شده باعث پر شدن خلل و فرج خاک شده و موجب ایجاد رواناب با حجم بیشتر و به تبع آن افزایش فرسایش خاک می‌شود.

در مورد تأثیر مستقیم شدت بارندگی بر فرسایش و هدررفت خاک مطالعات مختلفی انجام گرفته و این در حالی است که مطالعات مربوط به تأثیر باران اسیدی بر فرسایش اندک است. انجف (۳۰) نشان داد به شرطی که میزان بارندگی اتفاق افتاده حداقل ۹/۵ میلی‌متر باشد، میزان شدت بارش بیشتر از ۱۰/۸ میلی‌متر بر ساعت فرساینده خواهد بود. در مطالعات اخیر والتا و همکاران (۳۹) و باری و همکاران (۲) به ارتباط بین تأثیر خصوصیات بارش مثل شدت، اندازه قطره‌ها و انرژی جنبشی آنها بر میزان هدررفت توجه کرده‌اند. دفرشا و ملس (۶) نشان دادند که افزایش شدت بارندگی طی مدت بارندگی، موجب افزایش هدر

فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که به‌طور جدی منابع طبیعی را تهدید می‌کند (۳۷). فرسایش خاک بسته به نوع عامل انتقال دهنده ذرات، به دو نوع آبی و بادی تقسیم می‌شود که بسته به شدت فرسایش، شکل‌های مختلفی از فرسایش آبی رخ می‌دهد که یکی از مهم‌ترین فرسایش‌های آبی، فرسایش بارانی یا پاشمانی است (۱۲). فرسایش پاشمانی اولین مرحله در فرایند فرسایش شناخته شده که نتیجه بمباران سطح خاک به‌وسیله قطرات باران است (۲۱، ۳۳، ۴۰ و ۴۵). پاشمان به‌دلیل خرد کردن ذرات خاک و کاهش قطر آنها باعث کاهش مقاومت ذرات در مقابل حمل می‌شود و همچنین با کاهش نفوذ آب در لایه سطحی خاک موجبات افزایش رواناب، فرسایش و حمل رسوب را فراهم می‌آورد (۲). قطرات باران در هنگام برخورد به سطح خاک موجب جابه‌جایی ذرات خاک شده و ساختمان خاک را تخریب می‌کنند (۱۳). بسیاری از دانشمندان و متخصصین فرسایش خاک معتقدند که درک درست از فرسایش ناشی از پاشمان قطرات به عصر مبارزات بی‌حاصل با فرسایش خاتمه می‌دهد و دوره نویدبخشی را برای حل معضل با توجه بیشتر به کنترل بیولوژیک خاک در مقابل پاشمان فراهم کرده است (۴۷). مقدار خاک پاشمان یافته توسط قطرات باران به چندین عامل از قبیل شدت بارندگی، ویژگی‌های قطره باران (سرعت سقوط و توزیع اندازه قطره) و ویژگی‌های خاک (چسبندگی، مقدار اولیه آب و زبری سطح خاک) بستگی دارد (۳۱). فرسایش پاشمانی رابطه منطقی و ریاضی با شدت بارندگی دارد (۱۷). بررسی روابط بین تخریب پاشمانی و خصوصیات بارش به مطالعات ۶۰ سال اخیر برمی‌گردد که به‌طور کلی بیان شده است تخریب پاشمانی به‌صورت نمایی یا خطی با شدت بارش یا انرژی جنبشی قطره‌های بارش افزایش می‌یابد (۹). علاوه بر شدت، باران اسیدی نیز یکی از عواملی است که می‌تواند باعث فرسایش خاک شده و اثرات مخربی را بر خاک داشته باشد. باران اسیدی یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی خاک است (۱۹) که از پیامدهای آلودگی هوا محسوب می‌شود (۳۵). به‌طور کلی منظور از باران اسیدی،

حوضه‌های آبخیز، این پژوهش با هدف بررسی اثر باران اسیدی در غلظت‌های مختلف در شدت‌های کم، متوسط و زیاد بر پاشمان خاک در شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های خاک

برای انجام آزمایش‌ها، خاک سطحی با عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر (۱ و ۲) از اراضی کشاورزی دیم اطراف شهرستان ساری جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. خاک‌های جمع‌آوری شده از الک دو میلی‌متری (۱، ۷ و ۲۴) عبور داده و به‌مدت ۲۴ ساعت قبل از بارش در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد (۷) خشک شد تا همه نمونه‌ها از لحاظ رطوبتی شرایط یکسانی داشته باشند. پس از آزمایش‌های اولیه روی خاک مشخص شد که بافت خاک، لومی با درصد سیلت ۴۸/۶، شن ۳۳/۸ و رس ۱۷/۶، درصد مواد آلی ۱/۲۴، هدایت هیدرولیکی ۰/۴۹۹، کربنات کلسیم ۲۹/۲۵ و پ‌هاش ۷/۳۶ است.

مشخصات باران‌ساز

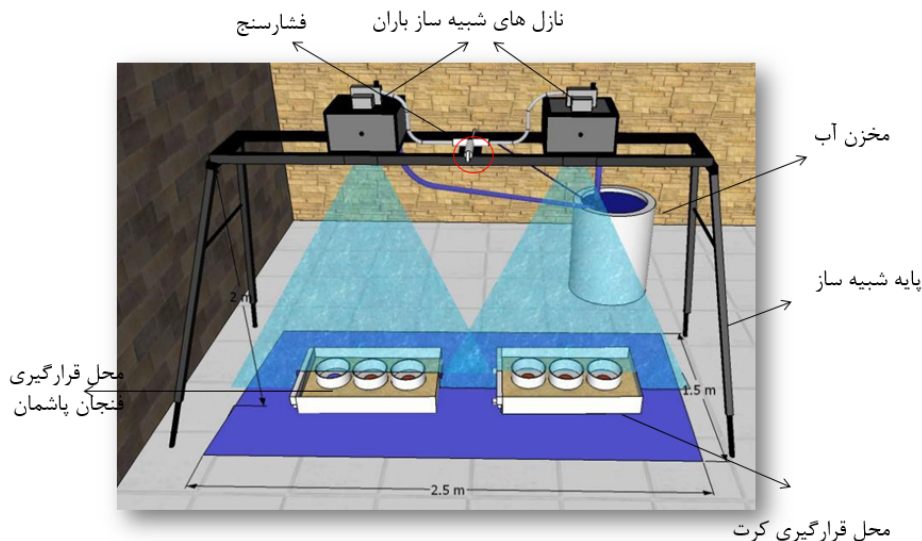
شبهه‌ساز باران شامل دو نازل نوسانی از نوع ویجت ۸۰۱۰۰ با قطر روزنه ۴/۵ میلی‌متر است که روی پایه‌هایی متحرک با قابلیت تنظیم ارتفاع تا ۲۷۰ سانتی‌متر قرار گرفته است (۱۴). نازل‌های بارشی با الگوی بادبزی، دامنه‌ای از قطرات مختلف ایجاد می‌کنند. برای انجام آزمایش‌ها، از بارش با شدت کم (۴۰ میلی‌متر بر ساعت)، متوسط (۶۰ میلی‌متر بر ساعت) و زیاد (۸۰ میلی‌متر بر ساعت) نسبت به شدت‌های بارش منطقه که با بررسی منحنی‌های شدت-مدت و فراوانی بارندگی‌های منطقه در مدت زمان ۱۰ دقیقه به‌دست آمد و مدت زمان ۱۰ دقیقه و در سه تکرار استفاده شد (۱۵).

باران اسیدی

برای انجام این تحقیق، نرخ فرسایش پاشمانی در فنجان پاشمان با در نظر گرفتن طرح اولیه مورگان (۲۷) و با تغییرات اندکی

رفت خاک و رواناب می‌شود. یوسفی و همکاران (۴۶) اثر شدت بارش و شیب روی رواناب را بررسی کردند. یافته‌های ایشان نشان داد که با افزایش شدت بارش از ۵۵ به ۱۱۴ میلی‌متر بر ساعت میزان رواناب به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا یافت. محمدی و کاویان (۲۶) به بررسی تأثیر الگوهای بارش بر رواناب و تولید رسوب در مقیاس کرت برای حوضه آبخیز معرف زوجی خامسان واقع در استان کردستان پرداختند. نتایج ایشان نشان داد بین الگوهای بارش تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنین ایشان تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد در مقدار رواناب و غلظت رسوب بین الگوهای مختلف بارش را مشاهده کردند. لیو و همکاران (۲۲) اثر شدت بارندگی و شیب را بر هدررفت خاک و پاشمان بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش شدت بارش تأثیر شیب بر هدررفت رسوب کاهش یافت، درحالی‌که اثر شدت بارش روی هدررفت خاک در دامنه‌های ملایم نسبت به دامنه‌های تند بیشتر بود. سعیدیان و همکاران (۳۵) اثر باران اسیدی و تغییر غلظت آن در فرسایش‌پذیری سازند آجاجاری را با استفاده از شبهه‌ساز باران کامفورست بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان رواناب و رسوب در شدت‌های ۱ و ۱/۲۵ میلی‌متر در دقیقه مربوط به بارش با اسیدپته چهار بود و همچنین بارش با اسیدپته پنج نیز نسبت به بارش آب مقطر رواناب و رسوب بیشتری تولید می‌کند. درنهایت ایشان بیان کردند که تغییرات در نفوذپذیری و شروع رواناب در غلظت‌های مختلف بارش نیز اختلاف معنی‌داری را نشان داد. کوشا و همکاران (۱۹) اثر باران‌های اسیدی و قلیایی بر ویژگی‌های خاک و تولید رسوب برای دو بافت خاک سبک و سنگین توسط شبهه‌ساز باران را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد افزایش pH میزان حجم رواناب و غلظت رسوب در تمامی تیمارها کاهش یافت ولی افزایش شدت بارندگی باعث افزایش مقادیر مذکور شد.

جمع‌بندی مطالعات انجام شده نشان داد که تاکنون پژوهشی مبنی بر اثر باران اسیدی در شدت‌های متفاوت باران بر پاشمان خاک ثبت نشده است. با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و به‌دنبال آن افزایش آلودگی هوا و احتمال بارش باران اسیدی در



شکل ۱. نحوه قرارگیری فنجان پاشمان در کرت‌های فرسایش خاک و اجزای باران‌ساز مورد استفاده در شرایط آزمایشگاهی

شدند و پس از مدت زمان مورد نظر، آب اضافی روی نمونه‌ها تخلیه و رسوب باقی‌مانده به داخل فویل منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و در نهایت وزن نمونه‌های رسوب پاشمان شده با استفاده از ترازو وزن شدند (۱۰، ۱۶، ۲۱ و ۳۶). در نهایت با استفاده از رابطه کوک و کای رابطه (۱) (۳۴). نرخ فرسایش پاشمانی محاسبه شد. برای سهولت در انجام محاسبات آماری و آزمایشات، تیمارها به شرح جدول (۱) کدگذاری شدند.

$$s = \frac{D_{t_2} - D_{t_1}}{(t_2 - t_1)A} \quad (1)$$

که در آن s ، نرخ پاشمان در مدت بارش مشخص بر حسب گرم بر دقیقه در متر مربع، D_{t_1} وزن خاک قبل از انجام آزمایش پاشمان به گرم، D_{t_2} وزن خاک بعد از انجام آزمایش پاشمان به گرم، Δt (ت_۲ - ت_۱) زمان بارش به دقیقه و A سطح فنجان پاشمان به مترمربع هستند. جدول (۱) نیز کدگذاری تیمارها را در پژوهش حاضر نشان می‌دهد.

به منظور انجام کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS ۲۳ و Excel ۲۰۱۳ استفاده شد. تغییرات مقدار نرخ پاشمان ناشی از باران غیراسیدی (شاهد) و اسیدی (pHهای ۳/۷۵، ۴/۲۵ و ۵/۲۵) در شدت‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰

در ابعاد (۱۰ و ۱۶) تحت شبیه‌سازی باران با آب مقطر (۲۵) و شبیه‌سازی با آب محتوی اسید سولفوریک و اسید نیتریک با نسبت دو به یک که با استفاده از فرمول حجم-غلظت با مقادیر ۳/۷۵ (اسیدیته زیاد)، ۴/۲۵ (اسیدیته متوسط) و ۵/۲۵ (اسیدیته کم) به دست آمد (۸)، روی خاک با شرایط خشک در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری نرخ فرسایش پاشمانی

خاک‌های خشک شده در آن، در داخل فنجان پاشمان قرار داده شدند (شکل ۱)، سپس برای رسیدن به وزن مخصوص ظاهری خاک در شرایط طبیعی به مقدار ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، از غلتک استوانه‌ای از جنس پی‌وی‌سی پر شده با ماسه و سیمان استفاده و خاک به وزن مخصوص شرایط اولیه رسانده شد (۱۱). با استفاده از باران شبیه‌سازی شده (با شدت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت) تحت دو نوع بارش غیراسیدی و اسیدی (با اسیدیته ۳/۷۵، ۴/۲۵ و ۵/۲۵) و به مدت ۱۰ دقیقه آزمایشات انجام پذیرفت. پس از خاتمه بارندگی، ذرات خاک پاشمان شده در داخل فنجان‌های پاشمان به تفکیک تیمار باران اسیدی و غیراسیدی، به روش شستشو به داخل ظروف تخلیه انتقال داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده

جدول ۱. کدگذاری تیمارها

کد تیمار	نام تیمار به انگلیسی	نام تیمار
NAR	Non Acidic Rain	باران غیراسیدی
AR ₁	Acid Rain 3/75	باران اسیدی ۳/۷۵
AR ₂	Acid Rain 4/25	باران اسیدی ۴/۲۵
AR ₃	Acid Rain 5/25	باران اسیدی ۵/۲۵

جدول ۲. مقادیر نرخ پاشمان حاصل از آزمایشات

شدت (mm/h)	تکرار	باران با اسیدیته ۳/۷۵	باران با اسیدیته ۴/۲۵	باران با اسیدیته ۵/۲۵	باران غیر اسیدی (شاهد)
۴۰	۱	۸/۵۷	۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۲۸
	۲	۸/۵۷	۲/۸۵	۲/۸۵	۲/۸۵
	۳	۸/۵۷	۱/۴۲	۴/۲	۵/۷۱
۶۰	۱	۱۷/۱۴	۸/۵۷	۱۰	۴/۲۸
	۲	۱۴/۲۸	۸/۵۷	۱۲/۸۵	۲/۸۵
	۳	۱۵	۱۱/۴۲	۸/۵۷	۴/۲۸
۸۰	۱	۲۱/۴۲	۱۱/۴۲	۲/۸۵	۱۰
	۲	۱۱/۴۲	۱۰	۱۴/۲۸	۷/۱۴
	۳	۱۵/۷۱	۱۴/۲۸	۷/۱۴	۷/۱۴

گیری نرخ پاشمان تحت شبیه‌سازی باران با اسیدیته‌های متفاوت، در سه شدت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت در جدول (۲) ارائه شده است.

نتایج مقایسه نرخ پاشمان در شدت‌های مختلف باران اسیدی با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه، نرخ پاشمان هر چهار تیمار (NAR, AR₁, AR₂, AR₃) در سطح احتمال ۹۵ درصد در هر یک از سه شدت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت به‌طور جداگانه مقایسه و سپس گروه‌بندی از طریق آزمون دانکن انجام شد.

نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه (جدول ۲) چهار تیمار (NAR, AR₁, AR₂, AR₃) تفاوت معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد در شدت ۴۰ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد در شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت نشان داد ولی در شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت، نرخ پاشمان با وجود اختلاف عددی و روند افزایشی همراه با کم شدن pH تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. در شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت با توجه به اختلاف معنی‌دار

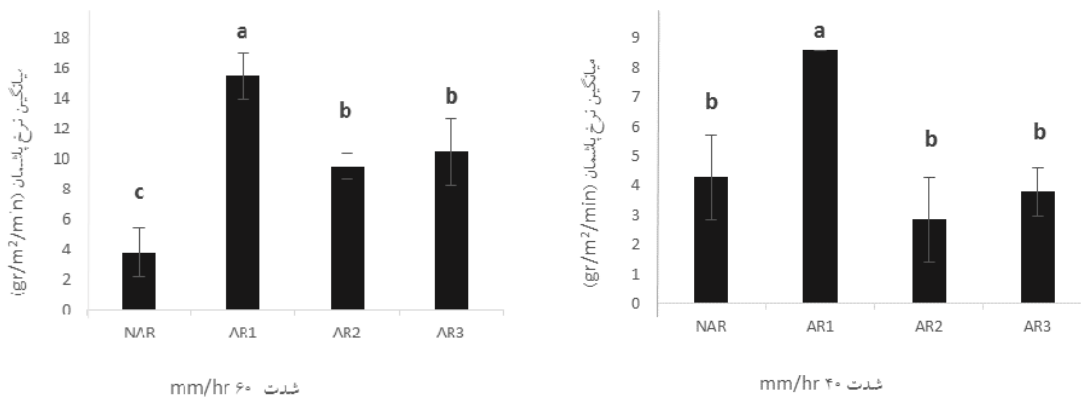
میلی‌متر بر ساعت به‌دست آمد. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگراف اسمیرنوف و در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. طرح آماری با در نظر گرفتن سه مقدار شدت باران و چهار اسیدیته مختلف که هرکدام در سه تکرار انجام شد با آنالیزهای انجام شده یک طرح کاملاً تصادفی هست. با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌های چندگانه به روش دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، مقایسه میانگین نرخ پاشمان در هر یک از شدت‌ها انجام شد. در نهایت اثر متقابل شدت و اسیدیته باران با استفاده از آزمون آنالیز واریانس دو‌طرفه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر باران اسیدی با pH‌های ۳/۷۵، ۴/۲۵ و ۵/۲۵ و غیراسیدی در سه شدت کم، متوسط و زیاد بر نرخ پاشمان خاک در سه تکرار انجام شد. نتایج اندازه

جدول ۲. نتیجه آنالیز واریانس یکطرفه چهار تیمار در شدت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت

متغیر وابسته	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی داری
شدت ۴۰	۳	۱۹/۳۱۴	۱۶/۳۱۴	۰/۰۰۱
شدت ۶۰	۳	۶۸/۶۷۷	۲۶/۵۴۳	۰/۰۰۰
شدت ۸۰	۳	۴۴/۵۷۶	۲/۷۰۲	۰/۱۱۶



شکل ۲. نمودار مقایسه میانگین نرخ پاشمان در شدت ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر در ساعت در چهار تیمار NAR-AR₁-AR₂-AR₃

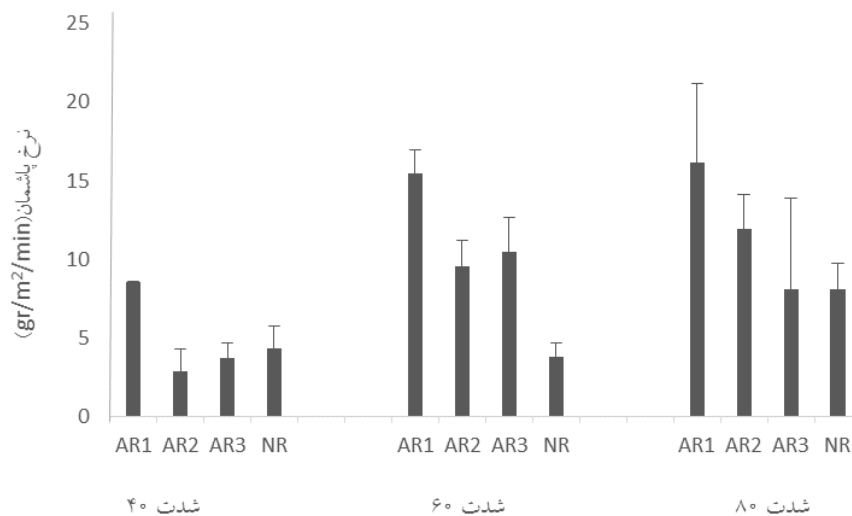
AR₁ = باران اسیدی ۳/۷۵، AR₂ = باران اسیدی ۴/۲۵، AR₃ = باران اسیدی ۵/۲۵، NAR = باران غیراسیدی

خستگی می‌شود و در نتیجه ذرات خاک به راحتی از هم جدا می‌شوند (۴۰). نتایج سعیدیان و همکاران (۳۵) نیز مبنی بر افزایش فرسایش و رواناب با اسیدی‌تر شدن باران مؤید همین امر است. نتایج کوشا و همکاران (۱۹) نیز نشان داد که با اسیدی‌تر شدن بارش بر حجم رواناب و غلظت رسوب افزوده می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت مقایسه نرخ پاشمان علیرغم افزایش پاشمان همراه با اسیدی‌تر شدن بارش تفاوت معنی‌داری را بین چهار تیمار (NAR, AR₁, AR₂, AR₃) نشان نداد و به دلیل عدم معنی‌داری اختلاف پاشمان در تیمارها، گروه‌بندی شکل نگرفت. در شدت بارش ۸۰ میلی‌متر بر ساعت نیز بیشترین مقدار پاشمان در تیمار pH ۳/۷۵ و کمترین مقدار در باران غیراسیدی (شاهد) مشاهده شد. علت عدم معنی‌داری می‌تواند شدت زیاد بارش باشد که به خودی خود حتی بدون اثر اسیدی شدن بارش سبب پاشمان بیشتر در تمامی تیمارها حتی در بارش غیراسیدی می‌شود.

بین تیمارهای اسیدیته، گروه‌بندی تیمارها با استفاده از مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد (شکل ۲) که در این گروه‌بندی اسیدیته ۳/۷۵ به‌طور مستقل در گروه a و سه تیمار دیگر در گروه b قرار گرفتند. در شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت نیز با توجه به اختلاف معنی‌دار بین تیمارها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن (شکل ۲)، تیمارها در سه گروه قرار گرفتند. تیمار باران اسیدی AR₁ با pH ۳/۷۵ در گروه a، AR₂ و AR₃ در گروه b و NAR در گروه c. نتایج گویای این مطلب است که هرچه بر غلظت اسید در باران اسیدی افزوده شود، مقدار پاشمان نیز افزایش می‌یابد. به بیان دیگر بارش غیراسیدی (شاهد) فرسایش کمتری را نسبت به باران اسیدی ایجاد می‌کند که علت آن می‌تواند وجود مقادیر کربنات کلسیم در خاک دانست که در خاک مورد آزمایش مقدار قابل توجهی است. میزان کربنات کلسیم درشت به‌عنوان یک فاکتور پایدار کننده خاک شناخته شده است که خاک را مقاوم می‌کند ولی زمانی که باران اسیدی روی خاک می‌بارد آهک توسط اسید

جدول ۳. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه دو فاکتور شدت و pH بارش

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	sig	f
شدت بارش	۲۵۹/۸۳۲	۲	۱۲۹/۹۱۶	۰/۰۰۰	۸/۸۲۶
pH بارش	۳۱۵/۶۶۲	۳	۱۰۵/۲۲۱	۰/۰۰۰	۱۵/۵۲۲
شدت بارش × pH بارش	۸۲/۶۴۸	۶	۱۳/۷۷۵	۰/۱۰۰	۲/۰۳۲
خطا	۳۴۶۹/۱۳۴	۳۶			



شکل ۳. نمودار اثر متقابل شدت و اسیدیته مختلف بارش بر مقدار نرخ پاشمان

و همکاران (۳۸) و دفرشا و ملس (۶) مبنی بر تأثیرپذیری هدررفت خاک با افزایش شدت بارش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که باران اسیدی می‌تواند بر پاشمان بیشتر و هدر رفت خاک تأثیرگذار باشد. متأثر شدن خاک از باران اسیدی علاوه بر میزان اسیدیته باران به خصوصیات شیمیایی خاک نیز وابسته است. وجود کلسیم کربنات و مواد آلی در خاک به پایداری و مقاومت خاک در برابر باران اسیدی کمک می‌کند. به طوری که در حالت‌های اسیدی کمتر مقدار پاشمان حاصل از باران اسیدی با مقدار پاشمان حاصل از باران غیراسیدی در خاک‌هایی که مقادیر بالای کربنات کلسیم را دارند، تفاوت معنی‌داری ندارد ولی چنانچه

اثر متقابل pH و شدت باران بر نرخ پاشمان

برای بررسی اثر متقابل اسیدیته و شدت‌های متفاوت باران بر نرخ پاشمان از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. نتایج (جدول ۳) نشان‌دهنده عدم وجود اثر متقابل بین دو عامل شدت و pH باران به‌طور همزمان بر نرخ پاشمان بود. این در حالیست که بین تیمارهای هر یک از این عوامل تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد وجود دارد.

همان‌طور که مقایسه میانگین‌ها در نمودار شکل (۳) نشان می‌دهد با افزایش شدت باران نرخ پاشمان افزایش می‌یابد. با افزایش شدت بارندگی انرژی جنبشی قطرات و تعداد قطراتی که به خاک برخورد می‌کنند بیشتر شده و به دنبال آن فرسایش پاشمانی افزایش می‌یابد. این یافته‌ها با نتایج خالیدیان و شاهویی (۱۷)، یوسفی و همکاران (۴۶)، گریتس و همکاران (۹)، تینگ

باران اسیدی تر باشد می تواند موجب خستگی شدن کربنات کلسیم شده و مقدار خاک پاشمان یافته را افزایش دهد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که هر چه بر میزان شدت باران افزوده شود خاکدانه های خاک بیشتر متلاشی شده و در نتیجه مقدار پاشمان خاک نیز افزایش می یابد.

با توجه به نتایج این تحقیق و تأثیر خصوصیات خاک بر مقدار پاشمان حاصل از باران اسیدی، پیشنهاد می شود با توجه به احتمال تر شدن بارش باران اسیدی در جهان در پی آلودگی های روزافزون، تحقیقات بیشتری در رابطه با اثرات باران اسیدی بر خاک مناطق مختلف انجام شود.

منابع مورد استفاده

1. Angulo-Martinez, M., S. Beguería, A. Navas and J. Machin. 2012. Splash erosion under natural rainfall on three soil types in NE Spain. *Geomorphology* 175: 38-44.
2. Barry, D. A., G. C. Sander, S. Jomaa, B. C. P Heng, J. Y. Parlange, I. G. Lisle and W. L. Hogarth. 2010. Exact solutions of the Hairsine-Rose precipitation-driven erosion model for a uniform grain-sized soil. *Journal of Hydrology* 389: 399-405.
3. Bear, F. E. 1955. Chemistry of the Soil. Einhold Publishing Corporation: New York.
4. Bihamta, M. R. and M. A. Zare Chahooki. 2009. Statistical principles in natural resources sciences. Tehran University Press. Tehran. (In Farsi).
5. Chen, S., X. Shen, Z. Hu, H. Chen, Y. Shi and Y. Liu. 2012 . Effects of simulated acid rain on soil CO₂ emission in a secondary forest in subtropical China. *Geoderma* 189: 65-71.
6. Defersha, M. B. and A. M. Melesse. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena* 90: 47-52.
7. Ekwue, E. and I. Maidugury. 1991. The effects of soil organic matter content. Rainfall duration and aggregate size on soil detachment. *Soil Technology* 4: 197-207.
8. Ezzatian, V. 2011. Acid rains, the consequence of air pollution. Fourteenth Geophysics Conferences of Iran. Tehran University Geophysics Institute. Tehran. (In Farsi).
9. Gerits, J. J. P., J. L. M. P. De Lima and T. M. W. Van den Broek. 1990. Overland flow and erosion. *Process Studies in Hillslope Hydrology* 173-214.
10. Gholami, L., S. H. R. Sadeghi and M. Homae. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. *Soil Science Society of American Journal* 77: 268-278.
11. Gholami, L., S. H. R. Sadeghi and M. Homae. 2012. Efficiency of rice straw mulch as a soil amendment to reduce splash erosion. In: Proceedings of a Symposium Held at the Institute of 68- Mountain Hazards and Environment. CAS Chengdu, China.
12. Jabbari far, M., B. Khalili Moghaddam, M. Bagheri and A. Shahbazi. 2014. Modeling of splash erosion of a part of the Karoon watershed using fuzzy regression. In: Proceeding of the 1th National Conference on Sustainable Management of Soil and Environment Resources. University of Kerman Shahid Bahonar. Kerman. (In Farsi)
13. Kavian, A. A., F. Hayavi, M. Boroghani. 2015. The effect of polyacrylamide on the rate of splash erosion in different soils with using simulated rain. *Journal of Range and Watershed, Iran Natural Resources Magazine* 67(2): 203-216. (In Farsi).
14. Kavian, A. A., M. Mohammadi, M. Fallah and L. Gholami. 2016. Effect of wet wheat straw at changes of start and runoff coefficient in laboratory plots under simulated rain. *Journal of Soil and Water Conservation* 5(2). 73-82. (In Farsi).
15. Kavian, A. A., R. Asgarian, Z. Jaafarian Jelodar, M. A. Bahmanyar. 2014. The effect of soil properties on runoff and sediment in farm scale (case study is part of the agricultural lands in around of Sari). *Journal of Soil and Water Knowledge* 23(4): 45-57. (In Farsi).
16. Khaleidi Darvishan, A. V., S. H. R. Sadeghi, M. Homae and M. Arabkhedri. 2014. 90 Measuring sheet erosion using synthetic color contra aggregates, *Hydrological Process* 28: 4463-4471.
17. Khaledian, H. and S. S. Shahoi. 2010. Measuring erosion and its relationship with rainfall intensity in Kurdistan province. *Iranian Journal of Water Research* 4(6): 19-24. (In Farsi).
18. Khaleghi nasab, A., A. Afra and M. Ghasemi. 2012. Air pollution and its role in causing acid rain as a major contributor to forest degradation, the environment and the drought. In: Proceeding of the 3th National Conference on Conflicting Desertification and Sustainable Development of Iran's Desert Mines, Arak. (In Farsi).
19. Koosha, S. 2015. Acidic and alkaline precipitation's effect on soil properties and sediment yield of different soils by rain simulator. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan. (In Farsi).

20. Kukal, S. S. and M. Sarkar. 2010. Splash erosion and infiltration in relation to mulching and polyvinyl alcohol application in semi-arid tropics. *Archives of Agronomy and Soil Science* 56(46): 697-705.
21. Legout, C., S. Legue´dois, Y. Le Bissonnais and O. Malam Issa. 2005. Splash distance and size distributions for various soils. *Geoderma* 124: 279–292.
22. Liu, T., J. Luo, Z. Zheng, T. Li and S. He. 2016. Effects of rainfall intensity on splash erosion and its spatial distribution under maize canopy. *Natural Hazards* 1-15.
23. Manahan, S. E. 2005. Environmental Chemistry, CRC Press, US.
24. Mazurak, A. P. and P. N. Mosher. 1968. Detachment of Soil Particles in Simulated Rainfall 1. *Soil Science Society of America Journal* 32(5): 716-719.
25. Mirhoseini, S. M., J. Shahabpour and M. H. Farpour. 2000. Geochemical behavior of zinc, potassium and sodium in the soil, against acid rains associated with the copper smelter of Sarcheshmeh, Rafsanjan. *Journal of Earth Sciences* 18(71): 161-166. (In Farsi).
26. Mohammadi, M. A. and A. Kavian. 2016. Effects of rainfall patterns on runoff and soil erosion in field plots. *International Soil and Water Conservation Research* 3(4): 273–281.
27. Morgan, R. P. C. 1978. Field studies of rainsplash erosion. *Earth Surface Processes* 3(3): 295-299.
28. Neill, P. O. 1993. Environmental Chemistry, Chapman and Hall, 2nd edition, London.
29. Niknejad, D. 2014. Water resources and environmental pollution caused by acid rain. In: Proceeding of the First National Conference on Sustainable Agricultural Development with the Use of Agricultural Pattern, Hamedan. (In Farsi).
30. Onchev N. G. 1984. Universal index for calculating rainfall erosivity in soil erosion and conservation (Sofia, Bulgaria). *Soil Science and Agrochemical* 9(2): 424-431.
31. Planchon, O., M. Esteves, N. Silvera and J. M. Lapetite. 2000. Raindrop erosion of tillage induced micro relief: Possible use of the diffusion equation. *Soil Tillage Research* 56(3–4): 131–144.
32. Purohit, S. S. and B. Kakrani. 2002. Air Environment and Pollution. Agrobios Publisher. India.
33. Qinjuan, C., C. Qiangguo and M. Wenjun. 2008. Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China. *Chin Geography Science* 18(2): 155-161.
34. Rezaei Pasha, M., A. A. Kavian, GH. Vahab Zadeh. 2011. Experimental study of spraying erosion and its relationship with some soil characteristics in three neighboring land use sites (case study: Kasilian Watershed). *Journal of Sciences and Technology Soil and Water Engineering* 15(58). 257-269. (In Farsi).
35. Saeidian, H., H. Moradi, S. Feyznia and N. Bahramifar. 2014. The effect of acid rain and changes its concentration in erodible Aghajary’s sazand (Case study: part of the Morgha watershed in Ize city). *Journal of Watershed Researches* 101: 101-112. (In Farsi).
36. Sutherland, R. A. and D. Ziegler. 1998. The influence on the soil conditioner. Agri-Sc. On splash detachment and aggregate stability. *Soil and Tillage Research* 45: 373-386.
37. Tripathi, R. P. and H. P. Singh. 2001. Soil Erosion and Conservation. New Delhi: New Age International Limited Publication, India.
38. Ting, M., Z. Chenghu, Z. Tongxin and C. Qiangguo. 2008. Modeling raindrop impact and splash erosion processes within a spatial cell: a stochastic approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 33 :712–723.
39. Valette, G., Prévost, S., Lucas, L., & Léonard, J.2006. SoDA project: A simulation of soil surface degradation by rainfall. *Computers and Graphics* 30(4): 494-506.
40. Van Breeman, N., C. T. Driscoll and J. Mulder. 1984. Acidification and internal proton sources in acidification of soil and water. *Nature* 307: 599-604.
41. Van Dijk, A. I. J., A. G. C. Meesters and L. A. Bruijnzeel. 2002. Exponential distribution theory and the interpretation of splash detachment and transport experiments. *Soil Science Society of America Journal* 66(5): 1466-1474.
42. Walling, D. E., A. L. Collins, H. A. Sickingabula and G. J. L. Leeks. 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets: a Zambian example. *Land Degradation and Development* 12: 387–415.
43. Welburn, A. 1990. Air Pollution and Acid Rain: The Biological Impact. Longman Publications, England.
44. Wiklander, L. 1973. The acidification of soil by acid precipitation. *Grundforbattring* 25: 155-164.
45. Wuddivira, M. N., R. J. Stone and E. I. Ekwue. 2009. Clay, organic matter and wetting effects on splash detachment and aggregate breakdown under intense rainfall. *Soil Science Society of American Journal* 73(1): 226-232.
46. Yusefi, A., A. Farrokhian Firouzi and B. Khalili Moghaddm. 2015. Investigation of the effect of intensity and duration of rainfall on splash erosion using multivariate splash Device. In: Proceeding of the 2th National Conference on Sustainable Agricultural Development and the Healthy environment. Professional Technical University of Martyr Mofatteh Hamedan. (In Farsi).
47. Zachar D. 1982. Soil Erosion Development in Soil Science. Elsevier Scientific, Amesterdam.
48. Zhang, J. E., Y. Ouyang and D. J. Ling. 2007. Impacts of simulated acid rain on cation leaching from the Latosol in south China. *Chemosphere* 67(11): 2131-2137.

Measurement and Comparison of Soil Splash Rates under the Influence of Acidity and Rain Intensity

A. Kavian*, A. Alipour, K. Soleimani and L. Gholami^{1*}

(Received: December 30-2017 ; Accepted: April 24-2018)

Abstract

Nowadays, acid rain serves as one of the most serious environmental problems has affected many regions in the world. This phenomenon is characterized by many environmental impacts, such as soil contamination and degradation. Acid rain immediately affects soil, causing soil particles to breakdown and be dispersed; this is the first step to initiate the soil erosion. Therefore, in this study, the effect of different pH levels of acid rain (at different levels) on the soil splash was investigated under laboratory conditions using a rain simulator and a cup splash. In the experiments, acid rains, with the pH values of 3.75, 4.25, 5.25 and normal rains at three intensities of 40, 60 and 80 mmh⁻¹, were studied; finally, a number of 36 samples were taken for statistical analyses. SPSS 23 and EXCEL 2013 software and one way and two-way ANOVA were used for the statistical analysis at a confidence level of 95%. The results showed that at the intensities of 40 and 60 mmh⁻¹, the splash rate was significantly different in all pH treatments, and the acid rain with pH of 3.75 showed the highest splash rate. However, no significant difference was found at the rain intensity of 80 mmh⁻¹, despite the higher splash rate at the pH of 4.25 and 5.25 treatments. Also, the results of the comparison of the means showed that the soil splash rate was also increased with enhancing rain intensity. Finally, the two-way ANOVA test showed that the simultaneous interaction effects of the two factors of pH and rain intensity on soil splash was not significant.

Keywords: Acid rain, Rain intensity, Splash cup, Soil loss, Rain simulator

1. Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

*: Corresponding Author, Email: ataollah.kavian@gmail.com