Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

سال دوازدهم- شماره ۴۲- پاییز ۱۳۹۷

Vol. 12, No. 42, Fall 2018

اثر غلظت‌های مختلف باران اسیدی بر فرآیند پاشمان در خاک خشک و اشباع

اعظم علیپور[۱]، عطاالله کاویان[۲]، کریم سلیمانی[۳] و لیلا غلامی[۴]

تاریخ دریافت:۱۳۹۵/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۰۹/۲۲

چکیده

افزایش روزافزون جمعیت جهان موجب شده که بهره‌برداری و مدیریت پایدار از منابع آب و خاک برای تأمین نیازها مورد توجه قرار گیرد. بنابراین از پیش‌نیازهای اصلی مدیریت منابع آب و خاک، بررسی فرسایش خاک و راه‌کارهای کنترل آن می‌باشد. همچنین بایستی توجه داشت که باران اسیدی نیز یکی از عواملی است که می‌تواند باعث فرسایش شده و اثرات مخربی بر خاک و همچنین محیط‌زیست داشته باشد. بنابراین در این تحقیق به بررسی اثر باران اسیدی بر فرآیند پاشمان خاک تحت شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از شبیه‌ساز باران پرداخته شد. برای انجام آزمایش‌ها از باران اسیدی با غلظت‌های pH متفاوت ۳/۷۵، ۴/۲۵ و ۵/۲۵ در شرایط خاک خشک و اشباع و در شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت استفاده شد. به منظور انجام تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS 23 و EXCEL 2013 و آزمون تی تست زوجی و آنالیز واریانس یک‌طرفه و دوطرفه در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد نرخ پاشمان حاصل از باران اسیدی در اسیدیته ۳/۷۵ در مقایسه با نرخ پاشمان حاصل از باران غیراسیدی دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد روی خاک خشک بود، درحالی‌که در pHهای ۴/۲۵ و ۵/۲۵ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین مقایسه نرخ پاشمان حاصل از باران اسیدی و غیراسیدی روی خاک اشباع در هیچ یک از تیمارها تفاوت معنی‌داری را علیرغم افزایش عددی نشان نداد. نتیجه مقایسه تیمارهای خاک خشک با تیمارهای خاک اشباع، تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ٪ ۹۹ نشان داد که بیان کننده تأثیر مستقیم رطوبت خاک بر مقدار پاشمان می‌باشد. با بررسی اثر متقابل رطوبت خاک در شرایط خشک و اشباع شده با غلظت‌های pH متفاوت باران نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مورد استفاده مشاهده نگردید.

کلید واژه‌ها: *باران اسیدی، خاک خشک و اشباع شده، فنجان پاشمان، هدررفت خاک*

مقدمه

گسترش روز افزون شهرها، رشد سریع شهرنشینی و انقلاب صنعتی باعث ایجاد اثرات فراوان زیست‌محیطی در داخل و اطراف شهرها گردیده است. فعالیت‌های صنعتی، تولید انرژی و سوخت، کاربرد کود و آفت‌کش، با تأثیر بر خصوصیات شیمیایی آب باران در چرخه هیدرولوژیکی باعث ورود مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلاینده به اتمسفر می‌گردد. ورود آلاینده‌های فلزی و ترکیبات اسیدساز از قبیل ترکیبات گوگرددار، نیتروژن‌دار و یا نتیجه واکنش‌های آن‌ها در اتمسفر به باران یا هر فرم دیگر بارندگی موجب افزایش اسیدیته بارندگی‌ها، تشکیل باران‌های اسیدی و تغییر در کیفیت بارش‌های جوی خواهد شد [۳۵]. پدیده باران اسیدی یکی از آثار و نتایج آلودگی هوا، می‌باشد [۴۳، ۲۹] و به طور عمده توسط انحلال دی اکسید گوگرد (SO_2) و اکسید نیتروژن (NO_x) در جو ایجاد می‌شود [۶] بیش از ۶۵ درصد بارش‌های اسیدی به دلیل وجود SO_2 و ۳۵ درصد دیگر به علت وجود NO_x می‌باشد[۳۷]. به طورکلی منظور از باران اسیدی، بارانی است که pH آن کمتر از ۵/۶ بوده و بایستی مقدار pH این نوع باران از pH باران طبیعی کمتر باشد [۳۴، ۴۰،۳۸، ۴۹]. اصطلاح باران اسیدی برای نخستین بار توسط روبرت آنگوس اسمیت درسال ۱۸۷۲ برای تشریح و توصیف طبیعت اسیدی باران‌های باریده شده در شهر منچستر انگلیس استفاده شد. ایشان پی برد که ترکیب شیمیایی باران تحت تأثیر عواملی چون وزش باد، شدت بارندگی و توزیع آن، ترکیبات آبی و سوخت می‌باشد که این نتایج مؤید وجود اسید سولفوریک در باران اسیدی و اثرات مخرب آن بر خاک و گیاه می‌باشد [۱۳]. باران‌های اسیدی اثرات زیست‌محیطی متعددی دارند که اغلب منفی

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری،دانشکده منابع طبیعی،دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری.
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری،دانشکده منابع طبیعی،دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری. پست الکترونیک:
Email:a.kavian@sanru.ac.ir
۳- استاد گروه مهندسی آبخیزداری،دانشکده منابع طبیعی،دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری.
۴- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری،دانشکده منابع طبیعی،دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری.

www.SID.ir

Archive of SID

بوده و از آن جمله می‌توان به تخریب بناها و برخی ابزارهای انسان ساخت [۵۰، ۱۹]، تخریب و از بین رفتن جنگل‌ها [۴۷، ۴۶، ۷] و نیز تأثیر بر گیاهان زراعی [۱۰، ۳۹، ۱۷] اشاره کرد. از دیگر اثرات مهم باران اسیدی می‌توان تأثیر آن بر خاک را بیان نمود که به شکل‌های متفاوت از قبیل شستشوی کاتیون‌های مغذی، آزادسازی عناصر سمی و اسیدی شدن خاک رخ می‌دهد [۳۸].

در حوزه‌های آبخیز با مناطق صنعتی و نیروگاه‌های برق وقوع بارش‌های اسیدی محتمل بوده و به دنبال آن احتمال شکل‌گیری رواناب اسیدی نیز افزایش می‌یابد که با ورود به شبکه آبراهه‌ها، می‌تواند اثرات مخربی داشته باشد. علاوه بر آلودگی و کاهش کیفیت آب در اثر باران اسیدی، خاک این حوضه‌ها نیز مورد تهدید قرار گرفته و احتمال اسیدی شدن خاک و آبشویی کاتیون‌های خاک، فرسایش خاک و تولید رسوب اسیدی وجود دارد. بنابراین لازم است که تدابیری برای مدیریت بهتر این حوضه‌ها نسبت به سایر حوضه‌ها اعمال شود. با توجه به مطالعات انجام شده روی باران اسیدی، این پدیده می‌تواند اثرات مهمی بر فرسایش خاک داشته باشد. سعیدیان و همکاران [۴۳] با مطالعه روی اثرات باران اسیدی بر فرسایش و حجم رواناب دریافتند که باران اسیدی با اسیدیته ۴ و ۵ رواناب و رسوب بیشتری را نسبت به باران با آب مقطر ایجاد می‌کند. **باران اسیدی اثر آنی بر خاک داشته و سبب تجزیه و پراکنده شدن ذرات خاک می‌شود. این اولین گام برای شروع فرسایش خاک است.** فرسایش پاشمانی، نخستین مرحله در فرآیند فرسایش خاک بوده که در نتیجه برخورد قطرات باران به سطح خاک رخ می‌دهد. قطرات باران در هنگام برخورد به سطح خاک ذرات خاک را جابه‌جا و ساختمان خاک را تخریب می‌کنند [۲۱، ۱۶]. در رابطه با فرسایش پاشمانی پژوهش‌های زیادی از جمله اکوی [۸]، وان و همکاران [۴۶]، سالس و پوزن [۴۳]، لگوس و همکاران [۲۹]، گایزلر و همکاران [۱۱]، کانگا [۵]، اسدی و همکاران [۱]، بروغنی و حیاوی [۴]، کاویان و همکاران [۲۲] و غلامی و همکاران [۱۵] انجام شده است. از پژوهش‌های اخیر می‌توان به مواردی که در ادامه ارائه می‌گردد اشاره نمود. لی‌یو و همکاران [۳۰] اثر شدت باران بر فرسایش پاشمانی و توزیع مکانی آن تحت تاج پوشش ذرت را بررسی کردند و نتایج نشان داد که نرخ فرسایش پاشمانی در شدت ۲ میلی‌متر بر ساعت بیش‌تر از پاشمان تحت شدت ۱ میلی‌متر برساعت بود. جیا و همکاران [۱۸] توانایی پستی و بلندی‌های کوچک خاک در جداسازی و حمل ذرات خاک توسط پاشمان قطرات باران را بررسی و اثر مثبت میکرورلیف بر نرخ جداسازی و اثر منفی بر انتقال خالص پاشمان به پایین‌دست را نشان دادند. خالدی درویشان و شریفی مقدم [۲۴] اثر خاکدانه بر پاشمان خاک را در شرایط آزمایشگاهی بررسی کردند که نتایج نشان داد با افزایش متوسط قطر خاکدانه مقدار پاشمان خاک کاهش می‌یابد. جمع‌بندی سابقه تحقیق در داخل و خارج کشور نشان داد که تأثیر باران اسیدی با pHهای مختلف بر فرآیند پاشمان در خاک با شرایط خشک و اشباع شده تاکنون ثبت نشده است. بنابراین در پژوهش حاضر سعی بر آن است با استفاده از غلظت‌های متفاوت باران اسیدی و نیز تحت شبیه‌ساز باران و شرایط آزمایشگاهی، اثر باران اسیدی بر فرآیند پاشمان خاک در خاک با شرایط خشک و اشباع شده در فنجان پاشمان بررسی گردد.

مواد و روش

ویژگی‌های خاک

برای انجام آزمایش‌ها خاک سطحی با عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر [۲۷] از اراضی کشاورزی محوطه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید. خاک‌های جمع‌آوری شده از الک ۲ میلی‌متری [۳۱، ۸] عبور داده و به مدت ۲۴ ساعت قبل از بارش در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد [۸] خشک گردید تا همه نمونه‌ها از لحاظ رطوبتی شرایط یکسانی داشته باشند. پس از آزمایش‌های اولیه روی خاک مشخص گردید 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 pH ۷/۳۶ می‌باشد.

مشخصات باران‌ساز

شبیه‌ساز باران شامل دو نازل نوسانی از نوع ویجت ۸۰۱۰۰ با قطر روزنه ۴/۵ میلی‌متر می‌باشد که روی پایه‌هایی متحرک با قابلیت تنظیم ارتفاع تا ۲۷۰ سانتی‌متر قرار گرفته است. نازل‌های بارشی با الگوی بادبزنی، دامنه‌ای از قطرات مختلف ایجاد می‌کنند. برای انجام آزمایش‌ها، از بارش با شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت (بر اساس متوسط بارش منطقه) و مدت زمان ۱۰ دقیقه و در سه تکرار استفاده گردید [۲۳].

باران اسیدی

برای انجام این تحقیق، نرخ فرسایش پاشمانی در فنجان پاشمان تحت شبیه‌سازی باران با آب مقطر [۳۴] و شبیه‌سازی با آب محتوی اسید سولفوریک و اسید نیتریک با نسبت ۲ به ۱ [۹] 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، روی خاک با شرایط خشک و اشباع که با آب اسیدی با همان اسیدیته باران مدنظر در هر تیمار اشباع شد، در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری نرخ فرسایش پاشمانی

خاک‌های خشک شده در آون، در داخل فنجان پاشمان قرار داده (شکل ۱)، سپس برای رسیدن به وزن مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب خاک در شرایط طبیعی با استفاده از کشیدن غلتک استوانه‌ای با جنس پی‌وی‌سی بر روی کرت پر شده با ماسه و سیمان استفاده و به وزن مخصوص شرایط اولیه رسانده شد [۱۶]. با استفاده از باران شبیه‌سازی شده (با شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت) تحت دو نوع بارش بغیراسیدی و اسیدی (با اسیدیته ۳/۷۵، ۴/۲۵ و ۵/۲۵) و به مدت ۱۰ دقیقه آزمایشات انجام پذیرفت. پس از خاتمه

www.SID.ir

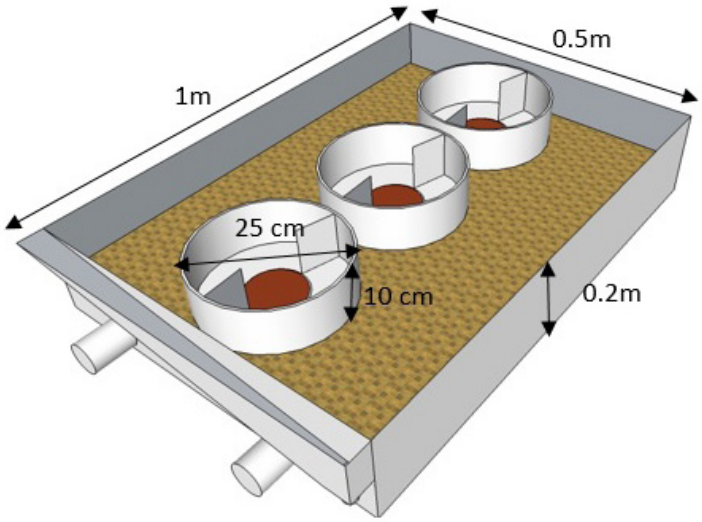
Archive of SID

بارندگی، ذرات خاک پاشمان شده در داخل فنجان‌های پاشمان به تفکیک تیمار خاک خشک و اشباع شده و همچنین 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 و پس از مدت زمان مورد نظر، آب اضافی روی نمونه‌ها تخلیه و رسوب باقی‌مانده به داخل فویل منتقل و در نهایت به مدت ۲۴ ساعت درآون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و در نهایت وزن نمونه‌های رسوب پاشمان شده با استفاده از ترازو وزن شدند [۴۵، ۲۹، ۱۶، ۲۵]. در نهایت با استفاده از رابطه کوک و کای (رابطه ۱) [۴۱] نرخ فرسایش پاشمانی محاسبه گردید.

$$S = \frac{D_{t2} - D_{t1}}{(t_2 - t_1)A} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن S، نرخ پاشمان در مدت بارش مشخص بر حسب گرم بر دقیقه در متر مربع، D_{t1} وزن خاک قبل از انجام آزمایش پاشمان به گرم، D_{t2} وزن خاک بعد از انجام آزمایش پاشمان به گرم، $(t_2 - t_1)\ \Delta t$ زمان بارش به دقیقه و A سطح فنجان پاشمان به مترمربع می‌باشند. جدول ۱ نیز کدگذاری تیمارها را در پژوهش حاضر نشان می‌دهد.

به‌منظور انجام کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS 23 و Excel 2013 استفاده گردید. تغییرات نرخ پاشمان خاک ناشی از باران غیراسیدی و اسیدی در خاک خشک و اشباع شده تحت شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به دست آمد. برای اثبات نرمال بودن به دلیل کمتر از ۳۰ عدد بودن داده‌ها آزمون شاپیروویلک [۳] در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام گرفت. با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌های چندگانه به روش دانکن در



شکل ۱- نحوه قرارگیری فنجان پاشمان در کرت‌های فرسایش خاک تحت شرایط آزمایشگاهی

Fig. Positioning place the splash cup in soil erosion plots under laboratory conditions

جدول ۱- کدگذاری تیمارها در خاک خشک و اشباع شده تحت باران اسیدی و غیراسیدی برای شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت

Table1. Encoding of treatments in dry and saturated soils under acid and non-acid rain for an intensity of 40 mm / h

تیمار Treatment	معادل لاتین Latin equivalent	علامت اختصاری Symbol
باران غیراسیدی – خاک خشک	Non Acid rain - dry Soil	NAR- DS
باران غیر اسیدی – خاک اشباع	Non Acid rain - Saturation Soil	NAR- SS
باران اسیدی ۳/۷۵– خاک خشک	Acid rain1 - dry Soil	AR_1-SD
باران اسیدی ۳/۷۵– خاک اشباع	Acid rain1 - Saturation Soil	AR_1-SS
باران اسیدی ۴/۲۵ – خاک خشک	Acid rain2 - dry Soil	AR_2- DS
باران اسیدی ۴/۲۵ – خاک اشباع	Acid rain 2- Saturation Soil	AR_2- SS
باران اسیدی ۵/۲۵– خاک خشک	Acid rain3 - dry Soil	AR_3 -DS
باران اسیدی ۵/۲۵– خاک اشباع	Acid rain 3- Saturation Soil	AR_3-SS

www.SID.ir

Archive of SID

سطح معنی‌داری ۰/۰۵، نرخ پاشمان در تمامی غلظت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از آزمون تی‌تست زوجی، معنی‌داری اختلاف نرخ پاشمان در تمامی تیمارهای خاک خشک با تمامی تیمارهای خاک اشباع بررسی شد.

در نهایت با استفاده از آنالیز واریانس دو طرفه اثر متقابل و همزمان رطوبت خاک و اسیدیته‌های مختلف باران بر مقدار نرخ پاشمان بررسی شد [۱۵، ۲۳].

نتایج

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر باران غیراسیدی و اسیدی با غلظت‌های ۳/۷۵، ۴/۲۵ و ۵/۲۵ در خاک خشک و اشباع شده بر فرآیند پاشمان خاک و مقیاس فنجان پاشمان برای شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت در سه تکرار انجام شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری نرخ پاشمان در تیمار باران اسیدی و باران غیر اسیدی در جدول ۲ و نتایج آزمایش خاک بعد از شبیه‌سازی باران اسیدی و غیراسیدی در جدول۳ ارائه شده است.

مقایسه نرخ پاشمان تحت باران اسیدی و غیر اسیدی در خاک خشک

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک تأیید و سپس با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه تفاوت میانگین نرخ پاشمان در باران غیراسیدی و اسیدی (۵pH=/۲۵، ۴pH=/۲۵ و ۳pH=/۷۵) در سطح ۹۵ درصد بررسی شد (جدول ۴). درنهایت

جدول ۲- مقادیر نرخ پاشمان در خاک خشک و اشباع شده برای باران غیراسیدی و اسیدی با شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت

Table2. Splash rates in dry and saturated soils for non-acid and acid rain with an intensity of 40 mm / h

وضعیت خاک Soil status	تکرار Repeat	باران اسیدی (pH)		Acid rain (pH)	باران غیراسیدی (شاهد) Non Acid rain
		3/75	4/25	5/25	
خاک خشک Dry Soil	1	8/57	4/28	4/28	4/28
	2	8/57	2/58	2/85	2/58
	3	8/57	1/42	4/2	5/71
خاک اشباع Saturation Soil	1	17/14	18/57	22/85	12/85
	2	30	15/71	21/42	21/42
	3	42/85	21/42	20	17/14

جدول۳- نتایج آزمایش خاک پس از بارش باران اسیدی و غیراسیدی روی خاک خشک و اشباع شده

Table3. Soil test results after acid rain and non-acid rain on the dry and saturated soil

ردیف Row	تیمار Treatment	مواد آلی Organic material	کربنات کلسیم Calcium carbonate	رس Clay
1	خاک منطقه Area soile	1/24	29/25	17/6
2	AR_1-DS	1/13	28	23/6
3	AR_2-DS	1/17	26/75	17/6
4	AR_3-DS	0/97	30	19/6
5	NAR-DS	1/28	28/75	19/6
6	AR_1-SS_1	0/99	27	23/6
7	AR_2- SS_2	1/2	26/75	17/6
8	AR_3-SS_3	1/24	29/75	٦21/6

www.SID.ir

Archive of SID

با استفاده از آزمون دانکن گروه‌بندی تیمارها در شکل ۲ بر اساس اختلاف میانگین‌ها انجام گرفت.

بر اساس نتایج آزمون آنالیز واریانس یکطرفه، بین نرخ پاشمان حاصل از باران غیراسیدی و نرخ پاشمان حاصل از باران اسیدی جهت مقایسه ۴ تیمار ($NARDS\text{-}AR_1DS\text{-}AR_2DS\text{-}AR_3DS$)، در غلظت pH ۳/۷۵ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴) و با اسیدی‌تر شدن باران مقدار پاشمان افزایش یافت. سعیدیان و همکاران [۴۳] نیز در پژوهشی بیان کردند که با کم شدن pH و اسیدی‌تر شدن باران فرسایش و رواناب افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. دلیل این اختلاف معنی‌دار با توجه به نتیجه آزمایش خاک بعد از شبیه‌سازی باران اسیدی و مقایسه آن با خصوصیات خاک قبل از آن (جدول ۳) می‌تواند به دلیل کاهش مقادیر کربنات کلسیم از ۲۹/۲۵ به ۲۸ و ۲۶/۵ و مواد آلی از ۱/۲۴ به ۱/۱۳ و ۱/۱۷ در بارش‌های اسیدی‌تر و مقدار کم رس در خاک مورد آزمایش باشد. چراکه کاهش کربنات کلسیم و رس در خاک موجب می‌گردد، ساختمان خاک متزلزل شده و خاکدانه‌های خاک نیز متلاشی گردند و در نتیجه پاشمان خاک بیش‌تر می‌شود. به عبارت دیگر، افزایش رس [۴۲]، مواد آلی [۳۳] و کربنات کلسیم [۲] از مهم‌ترین عواملی هستند که باعث تشکیل کمپلکس‌های خاک، پایداری ساختمان و افزایش مقاومت خاکدانه‌ها در برابر تخریب حاصل از سدیم و pH و افزایش خلل و فرج و ضریب آبگذری خاک شده و پاشمان و فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد [۲۸، ۱۲، ۳۶]. تأثیر مثبت آهک نیز در پایداری خاکدانه‌ها به این صورت است که به عنوان سیمان موجب افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک شده و در نتیجه نفوذپذیری افزایش و رواناب کاهش می‌یابد[۳۲]. نقش کربنات کلسیم در خاک، از هر دو جنبه ساختمان و بافت حائز اهمیت بوده به‌طوری‌که از یک سو با هماوری ذرات خاک و تشکیل ساختمان نقش خود را در سهولت آزادسازی رطوبت در مکش‌های کم اعمال می‌کند و از سوی دیگر با ایجاد محیط متخلخل ریز، رطوبت را حتی در مکش‌های بالا توزیع می‌کند [۳۲].

با استفاده از آزمون دانکن نیز میانگین‌ها مقایسه و گروه‌بندی انجام شد. بر اساس نتایج این آزمون در شکل ۲ تیمارها در دو گروه a و b قرار گرفتند که تیمار باران اسیدی با اسیدیته ۳/۷۵ با توجه به اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها به تنهایی در گروه a و سایر تیمارها با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار در گروه b گروه‌بندی شدند.

مقایسه نرخ پاشمان تحت باران اسیدی و غیراسیدی در خاک اشباع در این تحقیق علاوه بر خاک در شرایط خشک، خاک اشباع شده نیز تحت شبیه‌سازی باران در شرایط اسیدی و غیراسیدی قرار گرفت و نرخ پاشمان به دست آمده مقایسه شد (جدول ۵).

نتیجه آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه جهت مقایسه ۴ تیمار ($NRSS\text{-}AR_1SS_1\text{-}AR_2SS_2\text{-}AR_3SS_3$) در سطح ۹۵٪ با وجود روند افزایشی درمقدار پاشمان حاصل از باران اسیدی نسبت به باران غیر اسیدی، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. گروه‌بندی آزمون

جدول ۴- نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه نرخ فرسایش پاشمان در تیمارهای مختلف خاک خشک
($NARDS\text{-}AR_1DS\text{-}AR_2DS\text{-}AR_3DS$)

Table4. Results of one-way ANOVA test for splash erosion rate in treatments $NARDS\text{-}AR_1DS\text{-}AR_2DS\text{-}AR_3DS$

نرخ پاشمان Rate splash		مجموع مربعات sum of squares	درجه آزادی degree of freedom	میانگین مربعات mean square	آمارهF F	سطح معنی‌داری (sig) sig
بیرون از گروه	Outside the group	57/942	3	19/314	16/314	0/001
درون گروه	Inside the group	9/471	8	1/184		
نهایی	total	67/412	11			

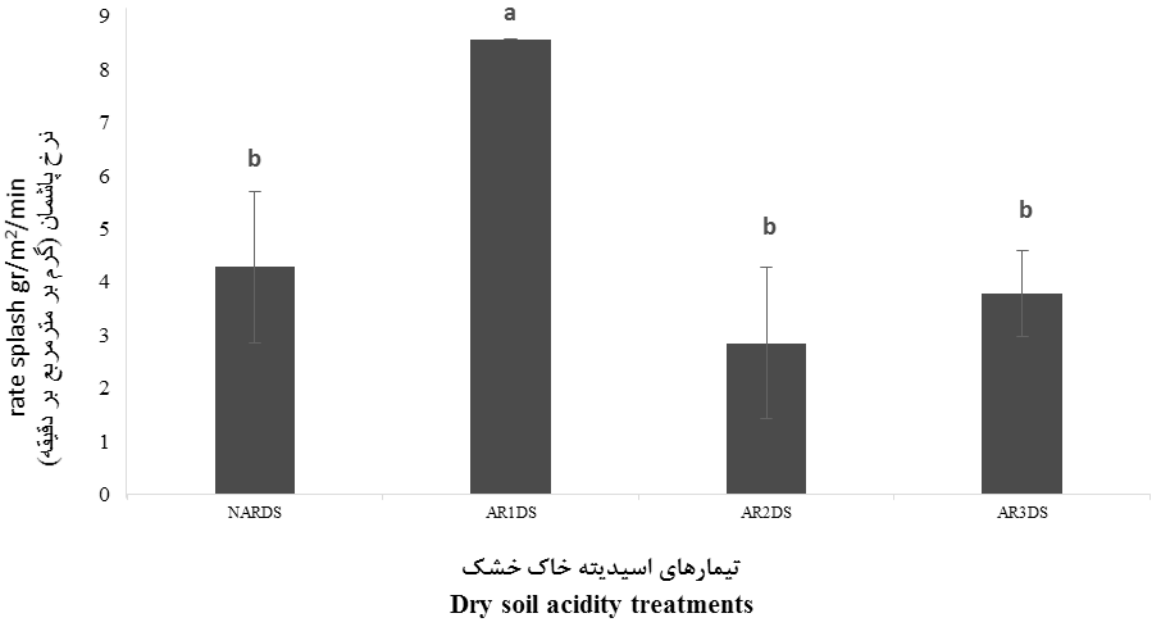
جدول ۵- نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه نرخ پاشمان در تیمارهای مختلف خاک اشباع
($NARSS\text{-}AR_1SS_1\text{-}AR_2SS_2\text{-}AR_3SS_3$)

Table5. Results of one-way ANOVA test in different saturated soils treatments $NARSS\text{-}AR_1SS_1\text{-}AR_2SS_2\text{-}AR_3SS_3$

نرخ پاشمان Rate splash		مجموع مربعات sum of squares	درجه آزادی degree of freedom	میانگین مربعات mean square	آمارهF F	سطح معنی‌داری (sig) sig
بیرون از گروه	Outside the group	298/581	3	99/527	2/054	0/185
درون گروه	Inside the group	387/588	8	48/448		
نهایی	total	686/168	11			

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نمودار مقایسه میانگین نرخ پاشمان در تیمارهای مختلف خاک خشک (NARDS-AR_1DS-AR_2DS-AR_3DS)

Fig. Comparison chart of the average splash rate in different treatments of dry soil (NARSS-AR_1DS-AR_2DS-AR_3DS)

دانکن که نتایج آن در شکل ۳ آمده نیز به دلیل معنی‌دار نشدن این اختلافات، تمامی تیمارها را در یک گروه (گروه a)، گروه‌بندی کرد.

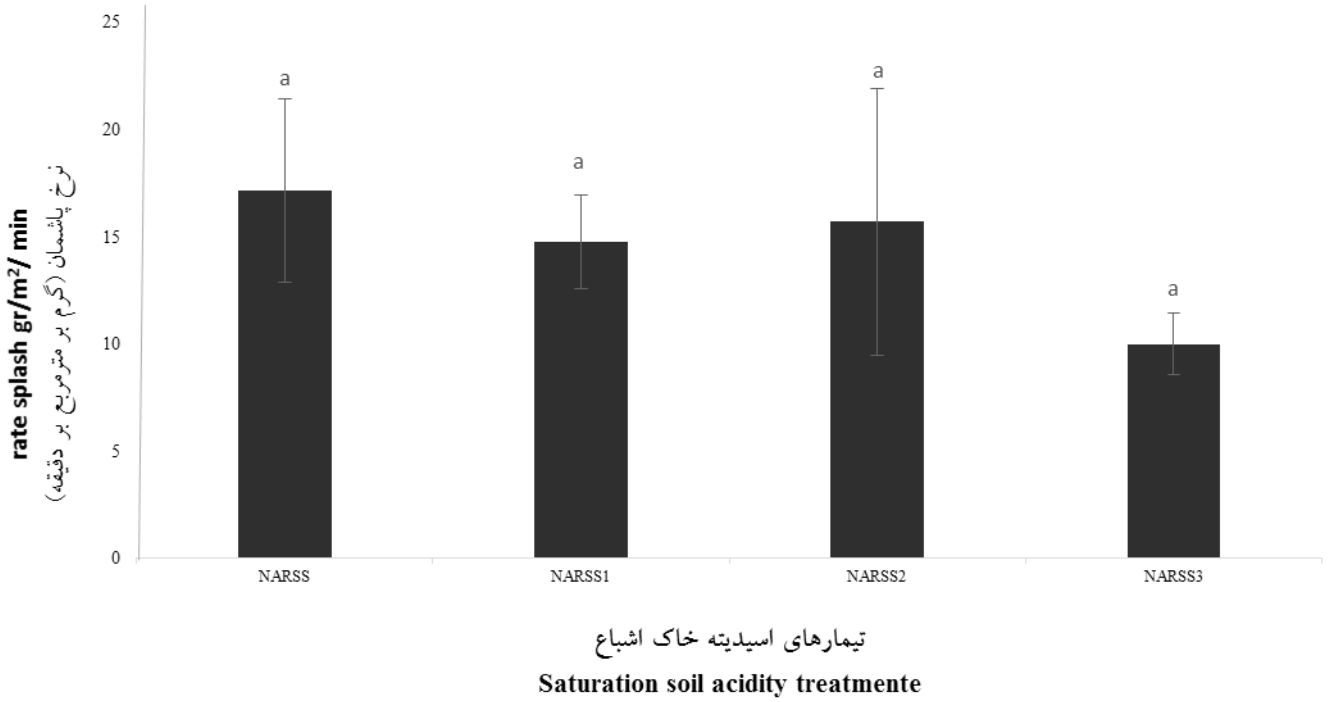
همان‌طور که نتایج نشان داد علیرغم افزایش عددی در میزان نرخ پاشمان در بارش‌های اسیدی نسبت به غیراسیدی، عدم معنی‌داری به اثبات رسید و همچنین مقایسه میانگین‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان داد که این امر در نرخ پاشمان در اسیدیته ۳/۷۵ نمود بیش‌تری دارد. علت این امر می‌تواند این باشد که خاک این تیمارها قبل از شبیه‌سازی بارش با همان آب اسیدی اشباع شد و مدت ۲۰ دقیقه زمان برای انجام واکنش‌ها به خاک داده شد. به همین جهت مواد آلی خاک و کربنات کلسیم موجود در خاک تحت تأثیر اسید قرار گرفته به طوری که مقدار مواد آلی از ۱/۲۴ در خاک منطقه مورد آزمایش به ۰/۹۹ در خاک اشباع شده با باران اسیدی ۳/۷۵ رسیده که نتیجه آن سست شدن و متلاشی شدن بیش‌تر خاک و پاشمان بیش‌تر در این تیمار بود.

در نهایت با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه اثر متقابل رطوبت خاک در دو حالت خشک (DS) و اشباع (SS) با چهار تیمار pH باران ۳/۷۵ (AR_1)، ۴/۲۵ (AR_2)، ۵/۲۵ (AR_3) و باران غیراسیدی (NAR) بر نرخ فرسایش پاشمانی در سطح احتمال ۹۵ درصد بررسی شد. جدول ۶ نتایج آنالیز واریانس دو طرفه برای دو فاکتور رطوبت خاک و pH باران را نشان می‌دهد و همچنین آزمون تی‌تست زوجی جهت مقایسه تمامی تیمارهای خاک خشک با تیمارهای خاک اشباع برای بررسی اثر رطوبت خاک انجام شد که نتایج آن به شرح جدول ۷ ارائه شده است. شکل ۴ نیز نمودار اثر متقابل دو فاکتور رطوبت خاک و اسیدیته باران را نشان می‌دهد.

نتایج آنالیز واریانس دوطرفه (جدول ۶) تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۹۵ درصد بین دو فاکتور رطوبت خاک و pH باران نشان نداد و اثر متقابلی برهم نداشتند. این درحالی‌ست این آزمون تفاوت معنی‌داری را درحالت‌های هر فاکتور به صورت مجزا نشان می‌دهد. همچنین شکل ۴ و نتیجه آزمون تی تست زوجی جهت مقایسه تیمارهای خاک خشک با خاک اشباع نیز تأثیر محسوس رطوبت اشباع خاک را در افزایش میزان پاشمان نشان می‌دهد. رطوبت پیشین خاک یکی از مشخصه‌های اصلی و مهم تأثیرگذار بر فرآیند فرسایش است که از طرق گوناگون فرسایش خاک را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجا که رطوبت پیشین خاک نقش مهمی در پایداری خاکدانه‌ها و تراکم‌پذیری خاک دارد لذا می‌توان گفت که تأثیر بسزایی روی میزان حساسیت خاک به فرسایش دارد [۲۰،۲۵]. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش شدت بارندگی پاشمان خاک بیش‌تر شد که این امر خود باعث افزایش مقدار فرسایش خاک می‌شود. به‌عبارتی اثر شدت بارندگی بر تغییرات پاشمان معنی‌دار است که با نتایج خالدی درویشان مبنی بر اینکه افزایش شدت بارندگی مقدار پاشمان را افزایش می‌دهد مطابقت داشت [۱۵، ۱۶، ۲۴ و ۲۵].. در تحقیقی که توسط کانگا [۵] انجام گردید ایشان بیان نمودند که در اثر برخورد قطرات باران، ذرات خاک از هم جدا شده و در ادامه به دلیل خیس شدن ذرات و کاهش چسبندگی آنها، انتقال ذرات به وسیله قطرات برگشت یافته از سطح تسهیل شده و به دنبال آن پاشمان افزایش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین نرخ پاشمان در تیمارهای مختلف خاک اشباع (NARSS-AR_1SS_1-AR_2SS_2-AR3SS3)

Fig.3 Comparison chart of the average splash rate in different treatments of saturation soil (NARSS-AR_1SS_1-AR_2SS_2-AR_3SS_3)

جدول ۶- نتایج آنالیز واریانس دوطرفه نرخ پاشمان در تیمارهای مختلف رطوبت خاک و pH بارش

Table6. The results of two-way analysis variance of two factors moisture soil and rain pH

f	sig	میانگین مربعات mean square	درجه آزادی (df) sum of squares	مجموع مربعات sum of squares	منابع تغییرات Sources of changes	
4/124	0/024	102/554	3	307/661	rainfall pH	pH بارش
68/998	0/000	1716/027	1	1716/027	soil moisture	رطوبت خاک
0/729	0/549	18/137	3	54/412	soil moisture, pH rainfall	رطوبت خاک*pH بارش
		24/871	16	397/928	Error	خطا

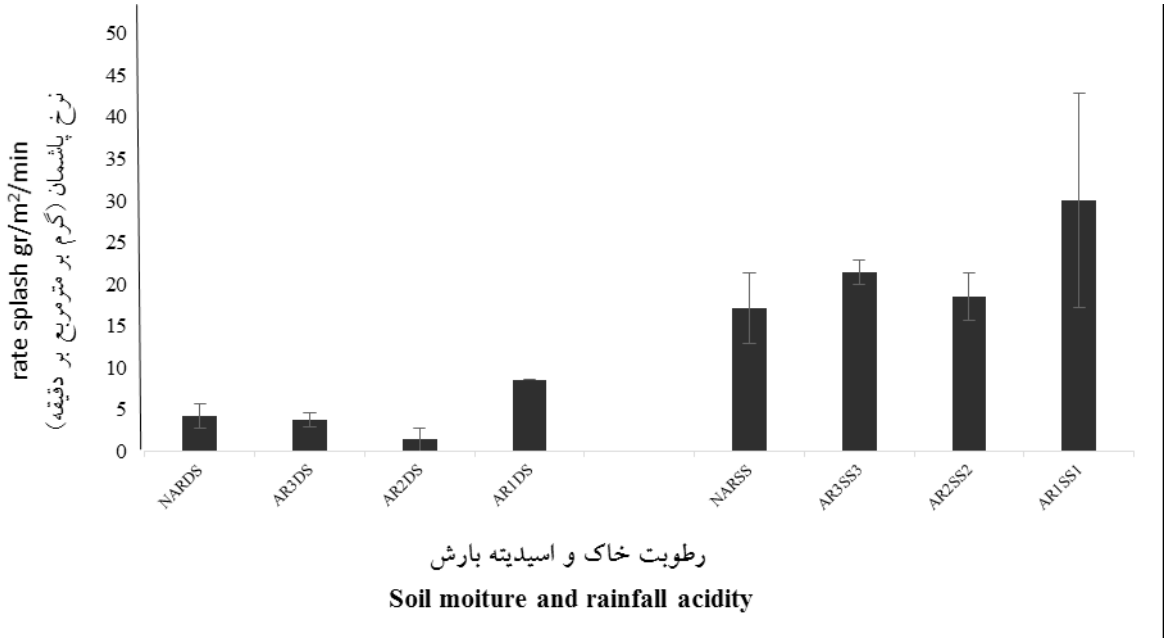
جدول۷- نتایج آزمون تی تست زوجی جهت مقایسه نرخ پاشمان در تیمارهای خاک خشک با خاک اشباع

Table7. Paired t-test results to compare splash rates in dry soil treatments with saturated soil

sig	درجه آزادی degree of freedom	t	تفاوت زوج ها				
			تفاوت در سطح اعتماد ۹۵ درصد 95% Confidence Interval of the Difference		خطای استاندارد میانگین	انحراف معیار	میانگین
			Upper/بالا	Lower /پایین	Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean
0/000	11	-8/411	-12/486	-21/336	2/010	6/964	-16/911

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- نمودار اثر متقابل بین رطوبت خاک و اسیدیته مختلف بارش بر مقدار نرخ پاشمان

Fig 4. Chart of interaction effect between soil moisture and different rainfall acidity on the amount of splash rate

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر غلظت‌های متفاوت باران اسیدی در مقایسه با باران غیراسیدی روی خاک در شرایط خشک و اشباع و همچنین بررسی اثر متقابل آن‌ها بر نرخ فرسایش پاشمانی انجام شد. آزمایش‌ها در مقیاس فنجان پاشمان و در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از شبیه‌ساز باران انجام گردید. نتایج نشان داد که با اسیدی‌تر شدن باران و در نهایت مقایسه آن با باران غیراسیدی مقدار پاشمان خاک افزایش می‌یابد که این امر هم در خاک خشک و هم در خاک اشباع شده اتفاق افتاد. این افزایش در خاک خشک و pH ۳/۷۵ معنی‌دار و در سایر موارد تنها با افزایش مقدار در پاشمان خاک همراه بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که خاک اشباع در مقایسه با خاک خشک در تمامی تیمارهای باران اسیدی و غیراسیدی فرآیند پاشمان خاک را بیش‌تر می‌کند که مؤید تأثیر مستقیم رطوبت پیشین خاک بر میزان پاشمان است.

منابع

1. Asadi, H. Roohipour, H. Refahi, H,GH. 2005. Evaluation of a process model soil erosion for the processes of caused by rainfall. Collection of third National Conference's articles on erosion and sediment. Soil Conservation and Watershed Researches Center, 235-237.(In persian)

2. Ben-Hur, M. Shainberg, I. Bakker, D. and Keren, R.1985. Effect of soil texture and CaCO3 content on water infiltration in crusted soil as related to water salinity. Irrig. Sci. 6: 281-294.

3. Bihamta, M, R. and Zare Chahooki, M, A. 2009. Statistical principles in natural resources sciences. Tehran University Press. (In persian)

4. Boroghani, M. Hayavi, F. 2012. Application of Poly Acrylic in splash erosion on marl soil. Journal of Environmental Erosion's Researches, Number 3. 31-44. (In persian)

5. Canga¸ M, R. 1999. Effects of subsequent simulated rainfall on runoff and erosion. Agriculture and Forester, 23: 659-665.

6. Chen, S. Shen, X. Hu, Z. Chen, H. Shi, Y. Liu, Y. 2012. Effects of simulated acid rain on soil CO 2 emission in a secondary forest in subtropical China. Geoderma, 189: 65-71.

7. Driscoll C. T., Lawarence, C, B., Bulger, A, J., Butler, T, J., Cronan, C, S., Eager, C., Lambert, K, F., Likens, G, E., Stoddard, J, L., Weathers K, C. 2001. Ac deposition in the northeastern US: sources and inputs, ecosystems effects and management strategies. Bioscience.Vol.51, 180p.

8. Ekwue, E, I. and Maidugury. 1991. The effects of soil organic matter content. Rainfall duration and aggregate size on soil detachment. Soil Technol. 4: 197-207.

9. Ezzatian, V. 2011. Acid rains, The consequence of air pollution. Fourteenth Geophysics Conferences of Iran. Tehran University Geophysics Institute. 5 p. (In persian)

www.SID.ir

Archive of SID

10. Ferenbaugh, R,W .1976 . Effect of simulated acid rain on Phaseolus vulgaris L. American Journal of Botany. V.63: 283-288.

11. Geißler, C., Kühn, P. Böhnke, M. Bruelheide, H. Shi, X. & Scholten, T. 2012. Splash erosion potential under tree canopies in subtropical SE China. Catena, 91, 85-93.

12. Ghadimi Arous Mahaleh, F. 1998. Investigation on relationship between different forms of erosion and physicochemical characteristics of marls. Journal of Pajouhesh and Sazandegi. No: 40-42: 95-99.

13. Ghazanchi, A. and Jebeli, B. 2013. Acid rain and its environmental effects. Second conference planning and environmental management. 5 p. (In persian)

14. Gholami, L. Sadeghi, S, H. Homaei, M. 2014. Effect of rice straw on the onset and runoff coefficient caused by rain. 2015. Journal of Iran Water Research. 8(15). 33-40.(In persian)

15. Gholami, L. Sadeghi, S. H. R. & Homaee, M. 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 (11-15)..

16. Gholami, L. Sadeghi, S. H. R.. & 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.

17. Irving, P, M. 1987. Gaseous pollutant and acidic rain impact on crop in the United States: A comparision. Environ. Technol. V.8: 451-458.

18. Jia w. Longshank Z. Faqi W. and Zhanbin L. 2016. The Role of Surface Microreliefs in Influencing Splash Erosion: A Laboratory Study. Soil and water resourse 11 (2): 83.

19. Kanazu, T., Matsumura, T., Nishiuchi, T and Yamamoto, T. 2001.Effect of simulated acid rain on deterioration of concrete, Water, Air and Soil Pollution, v. 130, pp. 1481-1486.

20. Karimi, A, R. 2013. Air pollution and its controlling methods, Ghom Industrial University Press. (In persian)

21. Kavian, A, A. Asgarian, R. Jaafarian Jelodar, Z. Bahmanyar, M, A. 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 persian)

22. Kavian, A, A. Hayavi, F. Boroghani, M. 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 pesian)

23. Kavian, A, A. Mohammadi, M. Fallah, M. Gholami, L. 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 persian)

24. Khaledi Darvishan, A. Sharifi Moghaddam, M. 2016. The effect of aggregate diameter on soil splash in laboratory conditions. Journal of Watershed Science and Engineering. 10(32), 33-39. (In persian)

25. Khaledi Darvishan, A. V. Sadeghi, S. H. R. Homaee, M. and Arabkhedri, M. 2014. 90Measuring sheet erosion using synthetic colorcontra aggregates, Hydrol. Process. 28:4463-4471.

26. Koosha, S. 2015. Acidic and alkaline precipitation's effect on soil properties and sediment yeild of different soils by rain simulator. MC.s. Dissertation. Faculty of Agriculture. Bu Ali Sina University, 170 pages. (In Persian)

27. Kukal, S, S. and Sarkar, M. 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.

28. Lado, M. Paz, A. and Ben-Hur, M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in saturated hydraulic conductivity. Soil Science Society American Journal, 68: 234-242.

29. Legout, C. Leguedois, S. Bissonnais, Y, Le. and Issa, O, M. 2005. Splash distance and size distributions for various soils. Geoderma 124: 279–292.

30. Liu, T., Luo, J., Zheng, Z., Li, T., & He, S.2016. Effects of rainfall intensity on splash erosion and its spatial distribution under maize canopy. Natural Hazards, 1-15.

31. Mazurak, A, P. and Mosher P. N. 1968. Detachment of soil particles in simulated rainfall. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 716–719.

32. Mermut, A.R. Amundson, R. and Cerling, T, E. 2000. The use of stable isotopes in studying carbonates dynamics in soils. In: Global climate change and pedogenic carbonates, edited by Lal, R., John, M. Kimble, H. and Stewart, B.A. Pp: 231-239.

www.SID.ir

Archive of SID

33. Minhas, P. S. and Sharma D, R. 1986. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. Irrig. Sci. 7 (3): 159-161.

34. Mirhoseini, S, M. Shahabpour, J and Farpour, M, H. 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 persian)

35. Moaref, S. Sekhavatjoo, M, S. Hoseini Alhashemi, A, S. Takdastan, A and Malaei, A, R. 2011. Effectiveness of the quality of atmospheric precipitation in the face of pollutants in the air of Ahvaz city. Fifth National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, 12 p. (In persian)

36. Names, A. Rawls, J. and Yakov, A. 2005. Influence of organic matter on the estimation of saturated hydraulic conductivity. Soil Science Society American Journal, 69: 1330-1337.

37. Niknejad, Davood. 2014. Water resources and environmental pollution caused by acid rain. First National Conference on sustainable agricultural development with the use of agricultural pattern, Hamedan. 8 p. (In persian)

38. Neill, P, O. 1993. Environmental Chemistry, Chapman and Hall, 2nd edition, 268p.

39. Pell, E, J. Arny, C, I. and Pearson, N, S. 1987. Impact of simulated acid precipitation on quantity and quality of a field grown potato crop. Environ. Exp. Bot. v. 27. 6-14.

40. Purohit, S.S. & Kakrani, B. 2002. Air Environment and Pollution. Agrobios (India) Publisher. 261p.

41. Qinjuan, CH., C. Qiangguo, Ma. Wenjun. 2008. Comparative Study on Rain Splash Erosion of Representative Soils in China. Chin. Geogra. Sci. 18(2):155–161.

42. Rasiah, V. and Kay B, D. 1995. Characterizing rate of wetting: Impact on structural destabilization. Soil Sci. 160: 176-182.

43. Saeidian, H. Moradi, H. feyznia, S. Bahramifar, N. 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. Number 101, 101-112. (In persian)

44. Salles, C. & Poesen, J. 2000. Rain properties controlling soil splash detachment. Hydrological processes, 14(2): 271-282.

45. Sutherland, R.A. and D. Ziegler. 1998. The influence of the soil conditioner. Agri-Sc. On splash detachment and aggregate stability. Soil and Till. Res. 45: 373-386.

46. Sharpe, W.E., Drohan, J.R. 1999. The effect of acidic deposition on Pennsylvania's forests. Environmental Resources Research Institute Publisher, University Park, PA 16802, USA.

47. Ulrich, B. 1980. Production and consumption of hydrogen ions in the ecosphere.in: Hutchinson, T.C., Havas, M. (eds.) Effect of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press, New York, 222p.

48. Wan, Y. El-Swaify, S, A. & Sutherland, R, A. 1996. Partitioning interrill splash and wash dynamics: a novel laboratory approach. Soil Technology, 9(1): 55-69.

49. Welburn, A. 1990. Air pollution and acid rain: the biological impact. Longman Publications.100-127.

50. Yokom, J. E., Bear, N.S. 1983. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 600/8-83-016B, Washington, D.C. 6-1:6-72.

www.SID.ir