

گزارش فنی

تأثیرپذیری پاشمان از دست‌خوردگی خاک در مطالعات آزمایشگاهی فرسایش

وفا همایون فر^۱ و عبدالواحد خالدی درویشان^{۲*}^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۲ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹

چکیده

یکی از روش‌های بررسی فرسایش، انجام مطالعات در کرت‌های آزمایشگاهی است، اما انتقال و آماده‌سازی خاک که منجر به تخریب ساختمان خاک می‌شود، هنوز از جمله معایب انجام مطالعات آزمایشگاهی فرسایش است. دست‌خوردگی خاک در اثر انتقال و آماده‌سازی در آزمایشگاه از جمله مواردی است که می‌تواند نتایج اندازه‌گیری‌های فرسایش را با آنچه که در طبیعت است، مغایر سازد. از سوی دیگر اندازه‌گیری پاشمان که به‌عنوان اولین عامل مسبب جدایش و سپس حرکت ذرات خاک، از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین آگاهی از انحراف نتایج پاشمان در اثر اقدامات آماده‌سازی خاک برای ارتقای دقت نتایج آزمایشگاهی ضرورتی انکارناپذیر است. در همین راستا پژوهش حاضر برای مقایسه تغییرات میزان پاشمان خاک در یک خاک شنی-رسی-لومی در هر دو حالت دست‌نخورده و دست‌خورده و در شدت‌های بارندگی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت انجام شد. بر طبق نتایج پژوهش حاضر دست‌خوردگی خاک در مطالعات آزمایشگاهی فرسایش متغیرهای پاشمان در جهت بالادست و پایین‌دست و پاشمان ناخالص را در سطح ۹۹ درصد و پاشمان خالص را در سطح ۹۵ درصد به‌طور معنی‌دار افزایش داد، در حالی که نسبت پاشمان بالادست به پایین‌دست در اثر دست‌خوردگی خاک تغییر معنی‌داری نداشت. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، متغیرهای مختلف پاشمان شامل پاشمان در جهت‌های بالادست و پایین‌دست، پاشمان ناخالص و پاشمان خالص در خاک دست‌خورده برای پژوهش‌های آزمایشگاهی فرسایش نسبت به خاک طبیعی به ترتیب ۲۱۶، ۲۴۱، ۲۳۴ و ۲۵۷ درصد افزایش یافتند.

واژه‌های کلیدی: پاشمان خالص، پاشمان ناخالص، حوزه آبخیز کجور، شبیه‌سازی باران، کرت فرسایش

مقدمه

را بیان می‌کند (Zheng, 2005). مطالعات انجام شده در مورد فرسایش آبی نشان می‌دهد که این فرسایش باعث تغییر در بسیاری از خصوصیات خاک از جمله کاهش ظرفیت نگهداشت، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و تخریب خاک می‌شود. سقوط قطره باران و برخورد با سطح خاک به‌عنوان عامل فرساینده سبب شروع حرکت ذرات خاک می‌شود و به‌عنوان اولین گام در فرسایش خاک، موادی را برای انتقال فراهم می‌کند (Qinjuan و همکاران، ۲۰۰۸).

خاک یکی از منابع طبیعی ارزشمندی است که در مقیاس زمانی کوتاه تجدیدناپذیر می‌باشد. فرسایش به‌عنوان عامل اصلی تخریب خاک محسوب می‌شود و اثرات آن معمولاً غیر قابل جبران است (Bissonias و همکاران، ۲۰۰۱؛ Refahi, 2007). فرسایش آبی یکی از گسترده‌ترین انواع فرسایش خاک می‌باشد که تعادل بین نیروی حرکتی آب در سطح خاک و مقاومت خاک

* مسئول مکاتبات: a.khaleedi@modares.ac.ir

رواناب (Choudhary و همکاران، ۱۹۹۷؛ Nikkami و همکاران، ۲۰۰۴؛ Gomez و Nearing، ۲۰۰۵) و هدررفت خاک (Bell و همکاران، ۱۹۴۵؛ Gomez و Nearing، ۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفته حال آن که تاکنون مطالعه‌ای در مورد مقایسه تغییرات پاشمان خاک در خاک طبیعی و آماده‌سازی شده انجام نگرفته است. لذا پژوهش حاضر بر آن است که به مقایسه میزان تغییرات متغیرهای مختلف پاشمان در اثر آماده‌سازی خاک برای مطالعات آزمایشگاهی فرسایش بپردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: محدوده اجرای پژوهش با کاربری جنگل تخریب شده و ارتفاع ۱۶۶۵ متر از سطح دریا، در محدوده طول و عرض جغرافیایی $27^{\circ} 46'$ تا $51^{\circ} 15' 27''$ به ترتیب شرقی و شمالی و در شمال ایران قرار گرفته است. این منطقه بخشی از حاشیه شرقی حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس (حوزه آبخیز کجور) می‌باشد. شیب عمومی منطقه یک‌جانبه و ۱۸ درصد و جهت شیب دامنه‌ها جنوبی می‌باشد. موقعیت کلی محدوده اجرای پژوهش در حوزه آبخیز کجور، استان مازندران و ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. بافت خاک منطقه مورد مطالعه شنی-رسی-لومی و دارای عمق کم‌تر از یک متر می‌باشد. درصد نسبی رس، لای و ماسه در پژوهش حاضر به ترتیب ۲۳، ۲۷ و ۵۰ درصد می‌باشد. مقدار ماد آلی خاک ۲/۱۶۷ و pH در حدود ۷/۹ و مقدار هدایت الکتریکی خاک برابر ۱۵۷/۶ دسی‌زیمنس بر میلی‌متر بود.

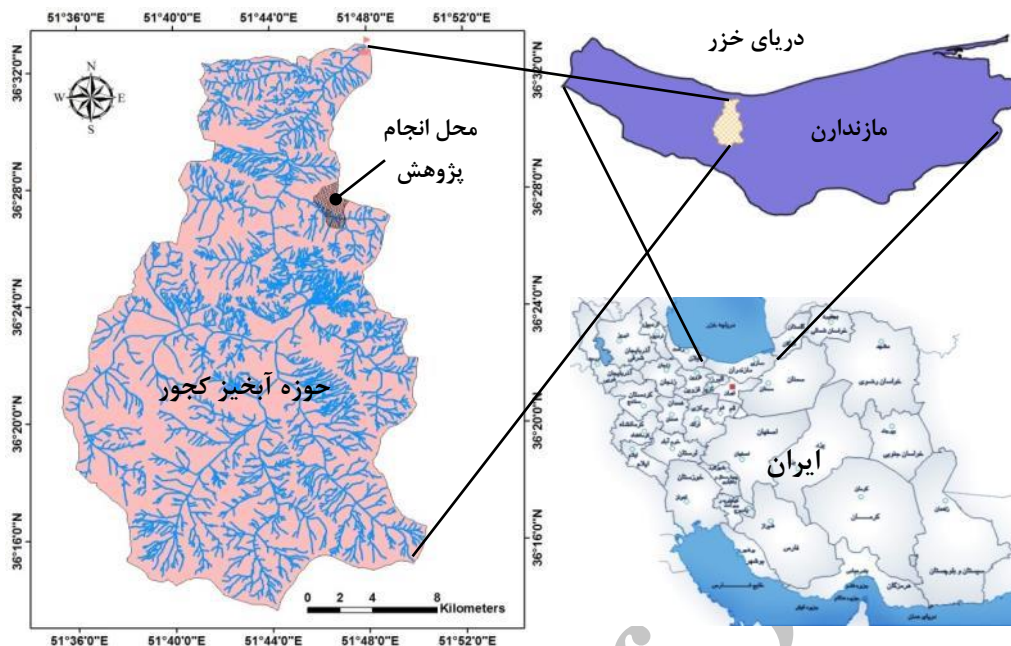
در مرحله بعد با توجه به آمار باران‌نگاری ایستگاه سینوپتیک کجور و منحنی‌های IDF برخی ایستگاه‌های مجاور آن، سه سطح شدت بارندگی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت با مدت زمان ثابت حدود ۲۰-۱۵ دقیقه و متناسب با دوره بازگشت ۲۰-۱۰ سال انتخاب شد که قابل استناد برای مطالعات آبخیزداری است. همچنین، برای انجام پژوهش حاضر از شبیه‌ساز قابل حمل دارای یک یا دو نازل BEX: 3/8 S24W

مطالعه رفتار خاک در مقابل فرسایش به‌پارامترهایی از جمله بافت، ساختمان، پوشش سطحی و پستی و بلندی خاک بستگی دارد که به دلیل مشکلات اندازه‌گیری در طبیعت، معمولاً از انتقال خاک برای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود. بنابراین یکی از روش‌های بررسی فرسایش، انجام مطالعات روی خاک آماده‌سازی شده در کرت‌های آزمایشگاهی است. برای انجام مطالعات آزمایشگاهی فرسایش، انتقال و آماده‌سازی خاک ضروری است. در صورتی که تغییرات ایجاد شده در خاک حین برداشت، حمل و مراحل مختلف آماده‌سازی آن شامل هوا خشک کردن و عبور دادن خاک از الک و به‌ویژه مقدار رطوبت خاک در طول این فرایندها و در نهایت تلاش برای افزایش وزن مخصوص ظاهری سطح خاک ممکن است، بر بافت و ساختمان خاک و در نتیجه بر نتایج پژوهش‌های رواناب و فرسایش اثرگذار باشد. بنابراین می‌توان گفت که مطالعه آزمایشگاهی فرسایش دارای محدودیت‌های است که اعتماد مطلق به نتایج به‌دست آمده از آن را برای کاربرد در شرایط واقعی سلب می‌کند (Toy و همکاران، ۲۰۰۲).

به دلایل فوق‌الذکر معمولاً اندازه‌گیری پاشمان خاک به‌عنوان اولین گام در فرسایش آبی، در شرایط طبیعی خاک صورت گرفته است (Ellison، ۱۹۴۴؛ Morgan، ۱۹۷۸ و ۱۹۸۱؛ Poesen و Torri، ۱۹۸۸؛ Torri و Poesen، ۱۹۹۲؛ Nanko و همکاران، ۲۰۰۸؛ Angulo و همکاران، ۲۰۱۲). اما ضرورت اندازه‌گیری فرایندهای مختلف رواناب و فرسایش در آزمایشگاه نیز موجب شده تا پژوهشگران مختلف (Kinnell، ۱۹۸۲؛ Jomaa و همکاران ۲۰۱۰؛ Shahoei و Khaledian، ۲۰۱۱؛ Vaezi و همکاران، ۲۰۱۲؛ Rezaei Pasha و همکاران، ۲۰۱۲؛ Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳) از روش‌های مختلف اندازه‌گیری پاشمان روی خاک آماده‌سازی شده استفاده نمایند. بنابراین آگاهی از میزان انحراف داده‌های پاشمان در اثر دست‌خوردگی خاک در آزمایشگاه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

در تعدادی از پژوهش‌های انجام شده اثر شخم و دیگر اقدامات خاک‌ورزی در زمین‌های کشاورزی بر

به‌صورت تحت فشار برای شدت‌های مختلف باران و ارتفاع ریزش سه متر مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت کلی محدوده اجرای پژوهش در حوزه آبخیز کجور، استان مازندران و ایران

مکعب تعیین شد. همچنین، جهت یکسان بودن شرایط قبل از اندازه‌گیری پاشمان، رطوبت خاک در هر دو حالت طبیعی و دست‌خورده به‌صورت یکسان و برابر با حدود ۳۳ درصد حجمی در نظر گرفته شد. برای دستیابی به رطوبت یکسان از باران شبیه‌سازی شده با قطر قطرات بسیار ریز و غیر فرساینده استفاده شد (Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۲).

اندازه‌گیری متغیرهای پاشمان: در پژوهش حاضر برای اندازه‌گیری پاشمان از فنجان پاشمان استفاده شد. فنجان پاشمان مورد استفاده در این پژوهش با در نظر گرفتن طرح Morgan (۱۹۷۸ و ۱۹۸۱) و تغییر عرض دهانه بزرگ از ۳۰ به ۲۵ سانتی‌متر (Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۳) ساخته شد. در این طرح دو صفحه عمودی در طرفین دهانه اصلی و در راستای عمود بر شیب عمومی سطح خاک به گونه‌ای قرار گرفت که بتوان حجم ذرات پاشمان شده در جهت‌های بالادست و پایین‌دست را از هم تفکیک نمود (Morgan، ۱۹۷۸ و ۱۹۸۱؛ Nanko و همکاران، ۲۰۰۸) و سپس مقادیر پاشمان ناخالص (کل) و خالص به‌ترتیب از طریق محاسبه حاصل جمع و تفاضل دو مقدار بالادست و پایین‌دست محاسبه شد

آماده‌سازی خاک: جهت آماده‌سازی خاک از روش Kukul و Sarkar (۲۰۱۱) به‌عنوان روش پایه همراه با برخی اصلاحات با هدف حفظ ساختار خاکدانه‌ها Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۳) استفاده شد. بر این اساس آماده‌سازی خاک از طریق هواخشک کردن آن تا حد رطوبت بهینه (Fox و Bryan، ۱۹۹۹)، عبور از الک هشت میلی‌متری (Agassi و Bradford، ۱۹۹۹؛ Ekwue و Harrilal، ۲۰۱۰؛ Defersha و همکاران، ۲۰۱۱؛ Orsham و همکاران، ۲۰۱۰) و حذف بقایای گیاهی و سنگ‌ریزه‌ها (Agassi و Bradford، ۱۹۹۹) انجام گرفت. سپس با توجه به اهمیت و اثرات وزن مخصوص ظاهری در مقاومت سطحی خاک در برابر قطرات باران و رواناب (Luk، ۱۹۸۵)، از لوله‌ای PVC با قطر ۱۰ سانتی‌متر و پر شده با مخلوط ماسه و سیمان به‌عنوان غلطک استفاده شد. برای رسیدن به تعداد بهینه حرکت رفت و برگشت غلطک روی خاک پس از دفعات مشخص اقدام به برداشت نمونه از عمق دو تا پنج سانتی‌متری خاک و اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری آن شده و در نهایت تعداد رفت و برگشت ۲۰ بار برای رسیدن به وزن مخصوص ظاهری حدود ۱/۶۴ گرم در سانتی‌متر

(Morgan, ۱۹۸۱؛ Mizugaki و همکاران، ۲۰۱۰).

شکل ۲ نمایی از فنجان پاشمان مورد استفاده در پژوهش بر روی خاک در دو حالت طبیعی و آماده-سازی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- فنجان پاشمان مورد استفاده در پژوهش بر روی خاک در دو حالت طبیعی (راست) و آماده‌سازی شده (چپ)

تحلیل‌های آماری: اطلاعات حاصله از تیمارها و تکرارهای مختلف در فنجان‌های دارای خاک با شرایط طبیعی و خاک آماده‌سازی شده به صورت بانک اطلاعاتی در نسخه ۲۰۱۰ نرم‌افزار Excel و همچنین نسخه ۱۸ نرم‌افزار SPSS ذخیره شد. سپس نرمال بودن داده‌ها به دلیل تعداد کمتر از ۳۰ داده، با استفاده از آزمون شپیرو-ویلک و همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لئون مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه به منظور بررسی اختلاف متغیرهای پاشمان در دو حالت خاک طبیعی و آماده‌سازی شده مورد استفاده

قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری متغیرهای مختلف پاشمان خاک در دو حالت خاک طبیعی و آماده‌سازی شده در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج بررسی توزیع داده‌ها و همگنی واریانس به ترتیب با استفاده از آزمون‌های شپیرو-ویلک و لئون نشان داد که داده‌ها دارای واریانس همگن بوده اما نرمال نیستند. بنابراین با تبدیل داده‌ها به حالت لگاریتمی، داده‌ها نرمال شدند. لذا برای بررسی اختلاف بین میانگین داده‌ها از تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری مقادیر متغیرهای پاشمان در دو خاک طبیعی و آماده‌سازی شده، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد در متغیرهای پاشمان بالادست و پایین‌دست و پاشمان ناخالص و اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد در متغیر پاشمان خالص را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، متغیرهای مختلف پاشمان شامل پاشمان در جهت‌های بالادست و پایین‌دست، پاشمان ناخالص و پاشمان خالص در خاک آماده‌سازی شده نسبت به خاک طبیعی به ترتیب ۲۱۶، ۲۴۱، ۲۳۴ و ۲۵۷ درصد افزایش یافتند. نتایج همچنین، نشان داد که اگرچه خاک آماده‌سازی شده نسبت به خاک طبیعی پاشمان بیشتری دارد اما تغییرات نسبت پاشمان بالادست به پایین‌دست نامنظم و غیر معنی‌دار بوده است. شکل ۳ نمودار جعبه‌ای تغییرات پاشمان خالص (گرم در متر مربع) در خاک طبیعی و آماده‌سازی شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، علاوه بر میزان پاشمان خالص، دامنه تغییرات پاشمان خالص بین تکرارهای مختلف نیز در خاک آماده‌سازی شده نسبت به خاک طبیعی بیشتر است.

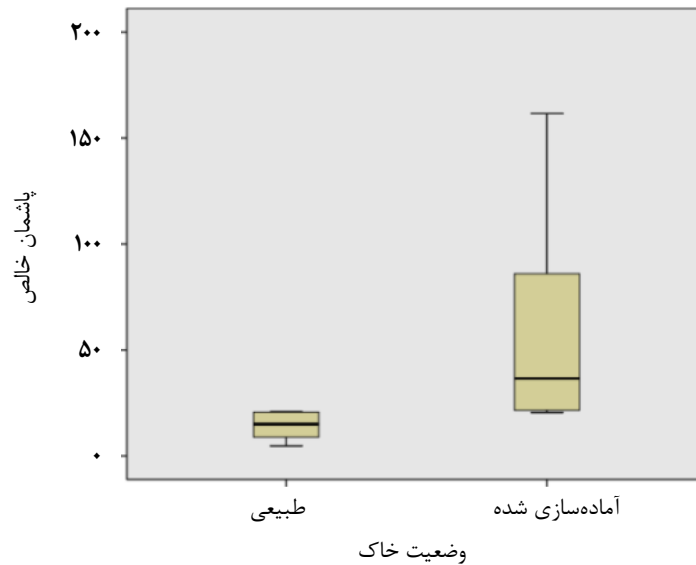
دلیل افزایش پاشمان در هر دو جهت بالادست و پایین‌دست پس از آماده‌سازی خاک، تخریب و یا تضعیف ساختمان خاکدانه‌ها حین مراحل آماده‌سازی می‌باشد.

جدول ۱- میزان متغیرهای مختلف پاشمان (گرم در مترمربع) در خاک طبیعی و آماده‌سازی شده

نسبت بالادست به پایین دست	پاشمان خالص	پاشمان ناخالص	پاشمان پایین دست	پاشمان بالادست	تیمار	تکرار	شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت)
۰/۵۹	۴/۷۱	۱۸/۴۰	۱۱/۵۵	۶/۸۴	طبیعی	۱	
۰/۵۳	۲۵/۸۹	۸۳/۶۰	۵۴/۷۵	۲۸/۸۵	آماده‌سازی شده	۱	
۰/۳۸	۸/۸۸	۱۹/۶۱	۱۴/۲۵	۵/۳۶	طبیعی	۲	۴۰
۰/۳۶	۲۱/۵۲	۴۵/۸۲	۳۳/۶۷	۱۲/۱۵	آماده‌سازی شده	۲	
۰/۴۳	۲۰/۷۸	۵۱/۹۹	۳۶/۳۹	۱۵/۶۱	طبیعی	۳	
۰/۵۳	۲۱/۳۸	۶۹/۱۵	۴۵/۲۶	۲۳/۳۸	آماده‌سازی شده	۳	
۰/۴۷	۱۱/۴۶	۳۰/۰۰	۲۰/۷۳	۹/۲۷	طبیعی		میانگین
۰/۴۷	۲۲/۹۳	۶۶/۱۹	۴۵/۵۶	۲۱/۶۳	آماده‌سازی شده		
۲۴/۱۶	۷۲/۷۸	۶۳/۵۲	۶۵/۷۴	۵۹/۷۱	طبیعی		ضریب تغییرات
۲۰/۳۶	۱۱/۱۹	۲۸/۸۰	۲۳/۶۹	۳۹/۶۴	آماده‌سازی شده		
۰/۳۰	۲۰/۶۵	۳۸/۷۱	۲۹/۶۸	۹/۰۳	طبیعی	۱	
۰/۲۱	۱۶۱/۵۶	۲۴۸/۴۰	۲۰۴/۹۸	۴۳/۴۲	آماده‌سازی شده	۱	
۰/۵۶	۷/۶۶	۲۷/۲۸	۱۷/۴۷	۹/۸۱	طبیعی	۲	۶۰
۰/۴۵	۲۰/۵۰	۵۴/۶۸	۳۷/۵۹	۱۷/۰۹	آماده‌سازی شده	۲	
۰/۳۹	۱۵/۰۰	۳۴/۲۷	۲۴/۶۴	۹/۶۴	طبیعی	۳	
۰/۳۵	۸۵/۹۷	۱۷۸/۰۹	۱۳۲/۰۳	۴۶/۰۶	آماده‌سازی شده	۳	
۰/۵۶	۷/۶۶	۲۷/۲۸	۱۷/۴۷	۹/۸۱	طبیعی		میانگین
۰/۴۵	۲۰/۵۰	۵۴/۶۸	۳۷/۵۹	۱۷/۰۹	آماده‌سازی شده		
۰/۳۹	۱۵/۰۰	۳۴/۲۷	۲۴/۶۴	۹/۶۴	طبیعی		ضریب تغییرات
۰/۳۵	۸۵/۹۷	۱۷۸/۰۹	۱۳۲/۰۳	۴۶/۰۶	آماده‌سازی شده		
۰/۴۱	۲۰/۳۶	۴۶/۶۸	۳۴/۵۲	۱۴/۱۶	طبیعی	۱	
۰/۳۰	۵۸/۹۳	۱۱۰/۲۹	۸۴/۶۱	۲۵/۶۸	آماده‌سازی شده	۱	
۰/۵۷	۱۱/۱۹	۴۰/۴۳	۲۵/۸۱	۱۴/۶۲	طبیعی	۲	۸۰
۰/۳۳	۹۷/۳۲	۱۹۴/۳۹	۱۴۵/۸۶	۴۸/۵۴	آماده‌سازی شده	۲	
۰/۳۱	۴۵/۰۰	۸۵/۶۹	۶۵/۳۵	۲۰/۳۵	طبیعی	۳	
۰/۷۲	۳۶/۵۵	۲۲۲/۶۰	۱۲۹/۵۸	۹۳/۰۲	آماده‌سازی شده	۳	
۰/۴۳	۲۵/۴۸	۵۸/۱۷	۴۱/۶۱	۱۶/۱۴	طبیعی		میانگین
۰/۴۵	۶۴/۱۲	۱۷۵/۸۰	۱۱۹/۷۵	۵۵/۶۳	آماده‌سازی شده		
۲۹/۹۰	۶۸/۶۲	۴۱/۴۴	۴۹/۹۲	۲۱/۳۶	طبیعی		ضریب تغییرات
۵۱/۳۹	۴۷/۹۴	۳۳/۲۴	۲۶/۴۹	۶۱/۵۶	آماده‌سازی شده		

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس برای متغیرهای مختلف پاشمان

سطح معنی‌داری	آماره F	مجموع مربعات	متغیر
۰/۰۰۱	۱۸/۶۶۴	۰/۸۴۳	لگاریتم پاشمان بالادست
۰/۰۰۱	۱۶/۴۵۷	۱/۰۸۶	لگاریتم پاشمان پایین دست
۰/۰۰۱	۱۷/۹۳۲	۰/۹۷۱	لگاریتم پاشمان ناخالص
۰/۰۰۴	۱۱/۴۸۵	۱/۵۸۶	لگاریتم پاشمان خالص
۰/۷۸۲	۰/۰۷۹	۰/۲۸۸	نسبت بالادست به پایین دست



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای تغییرات پاشمان خالص (گرم در مترمربع) در خاک طبیعی و آماده‌سازی شده

همین نکته می‌باشد. یکی دیگر از عوامل افزایش پاشمان در خاک آماده‌سازی شده نسبت به خاک طبیعی، حذف بقایای ریشه گیاهان از پروفیل خاک و ناپایدار شدن ساختمان خاک می‌باشد. در این رابطه پژوهشگران متعددی به تأثیر سیستم ریشه‌ای خاک بر افزایش مقاومت خاک (Albert و Ghidry، ۱۹۹۷؛ Mamo و Bubenzer، ۲۰۰۱)، پایداری ساختار خاک (Marquez و همکاران، ۲۰۰۴)، افزایش نفوذ (Wu و همکاران، ۲۰۰۰؛ Joseph و همکاران، ۲۰۰۳) و بهبود پایداری خاکدانه‌ها (Monroe و Klavivko، ۱۹۸۷؛ Albert و Ghidry، ۱۹۹۷؛ Martens، ۲۰۰۲) تأکید کرده‌اند.

از سوی دیگر حذف بقایای گیاهی (ریشه و برگ) باعث می‌شود که چسپندگی بین ذرات خاک کمتر شده و در نتیجه برخورد قطرات باران موجب جدایش بیشتر ذرات خاک شود. بنابراین در مجموع می‌توان گفت که در اثر آماده‌سازی خاک، ساختمان خاکدانه تضعیف و پایداری آن کاهش یافته و در نهایت میزان پاشمان در هر دو جهت بالا و پایین دست شیب افزایش می‌یابد.

به عبارت دیگر، برداشت خاک از منطقه مادری، لرزش‌های ماشین باربری در مسیر انتقال خاک به آزمایشگاه، الک کردن خاک برای حذف سنگ و سنگ‌ریزه، حذف بقایای گیاهی، انتقال خاک به داخل کرت‌های آزمایشگاهی و در نهایت استفاده از غلطک برای افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک تا حد خاک طبیعی، همه و همه می‌توانند موجب تخریب و تضعیف خاکدانه‌ها شوند. بنابراین می‌توان این گونه استنباط نمود که آماده‌سازی خاک برای اقدامات آزمایشگاهی فرسایش نیز می‌تواند موجب تخریب ساختمان خاک و در نتیجه افزایش پاشمان شود.

از عوامل افزایش پاشمان در خاک آماده‌سازی شده نسبت به خاک طبیعی می‌توان به حذف سنگ‌ریزه سطحی در خاک آماده‌سازی شده در حین مراحل آماده‌سازی (الک کردن) اشاره نمود. به عبارت دیگر حذف سنگ‌ریزه‌های خاک باعث افزایش جدایش خاک ناشی از برخورد قطرات باران و در نهایت کاهش نفوذ می‌شود. نتایج Jomaa و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر حفاظت ساختار عمومی خاک در برابر انرژی جنبشی قطرات باران به وسیله قطعات سنگ‌ریزه نیز مؤید

منابع مورد استفاده

1. Agassi, M. and J.M. Bradford. 1999. Methodologies for interrill soil erosion studies. Soil and Tillage Research, 49: 277-287.
2. Angulo Martínez, M., S. Beguería, A. Navas and J. Machín. 2012. Splash erosion under natural rainfall on three soil types in NE Spain. Geomorphology, 175-176: 38-44

3. Bell, F.G., A.G. Mccall and H.L. Borst. 1945. Investigations in erosion control and reclamation of eroded land at the Northwest Appalachian conservation experiment station, Zanesville, Ohio, 1934-42. USDA Technical Bulletin No. 888.
4. Bissonnias, Y.L., C. Montier, M. Jamagne, J. Daroussin and D. King. 2001. Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena*, 46: 207-220.
5. Choudhary, M.A., A.R. Lal and W.A. Dick. 1997. Long-term tillage effects on runoff and soil erosion under simulated rainfall for a central Ohio soil. *Soil and Tillage Research*, 42: 175-184.
6. Defersha, M.B., S. Quraishi and A.M. Mellese. 2011. The effect of slope steepness and antecedent moisture highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 2367-2375.
7. Ekwue, E.I. and A. Harrilal. 2010. Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 105(1): 112-118.
8. Ellison, W.D. 1944. Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering*, 25: 131-136.
9. Fox, D.M. and R.B. Bryan. 1999. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *Catena*, 38: 211-222.
10. Ghidey, F. and E.E. Alberts. 1997. Plant root effects on soil erodibility, splash detachment, soil strength, and aggregate stability. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 40: 129-135
11. Gomez, J.A. and M.A. Nearing. 2005. Runoff and sediment losses from rough and smooth soil surfaces in a laboratory experiment. *Catena*, 59: 253-266.
12. Jomaa, S., D.A. Barry, A. Brovelli, G.C. Sander, J.Y. Parlange, B.C.P. Heng, H.J. Tromp-van Meerveld. 2010. Effect of raindrop splash and transversal width on soil erosion: Laboratory flume experiments and analysis with the Hairsine-Rose model. *Journal of Hydrology*, 395(1-2): 117-132.
13. Jomaa S., D.A. Barry, A. Brovelli, B.C.P. Heng, G.C. Sander, J.Y. Parlange and C.W. Rose. 2012. Rain splash soil erosion estimation in the presence of rock fragments. *Catena*, 92: 38-48.
14. Joseph, L., J. Pikul and J.A. Kristian. 2003. Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 859-867.
15. Kinnell, P.I.A. 1982. Laboratory studies on the effect of drop size on splash erosion. *Journal of Agricultural Engineering*, 27: 431-439.
16. Khaledian, H. and S.S. Shahoei. 2011. Splash erosion measurement and its relationship with rainfall intensity in Kurdistan Province. *Iranian Water Research Journal*, 6: 19-24 (in Persian).
17. Khaledi Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, M. Homae and M. Arabkhedri. 2012. Potential use of synthetic color-contrast aggregates and a digital image processing technique in soil splash measurements. *IAHS Publication*, 356: 364-368.
18. Khaledi Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, M. Homae and M. Arabkhedri. 2013. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. *Hydrological Processes*, DOI:10.1002/hyp.9956.
19. Kukal, S.S. and M. Srakar. 2011. Laboratory simulation studies on splash erosion and crusting in relation to surface roughness and raindrop size. *Journal of the Indian Society of Soil Sciences*, 59(1): 87-93.
20. Luk, S.H. 1985. Effect of antecedent soil moisture content on rainwash erosion. *Catena*, 12: 129-139.
21. Mamo, M. and G.D. Bubenzer. 2001. Detachment rate, soil erodibility and soil strength as influenced by plant roots: Part 2. Field study. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 44: 1175-1181.
22. Márquez, C.O., V.J. Garcia, C.A. Cambardella, R.C. Schultz and T.M. Lsenhart. 2004. Aggregate-size stability distribution and soil stability. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 725-735.
23. Martens, D.A. 2002. Relationship between plant phenolic acids released during soil mineralization and aggregate stabilization. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1857-1867.
24. Mizugaki, Sh., K. Nanko and Y. Onda. 2010. The effect of slope angle on splash detachment in an unmanaged Japanese cypress plantation forest. *Hydrological Processes*, 24: 576-587.
25. Monroe, C.D. and E.J. Kladvko. 1987. Aggregate stability of a silt loam soil as affected by roots of corn, soybeans, and wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18(10): 1077-1087.
26. Morgan, R.P.C. 1978. Field studies of rainsplash erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 3: 295-299.
27. Morgan, R.P.C. 1981. Field measurement of splash erosion. *IAHS Publication*, 133: 373-382.
28. Nanko, K., S. Mizugaki and Y. Onda. 2008. Estimation of soil splash detachment rates on the forest floor of an Unmanaged Japanese Cypress Plantation Based on field measurements of throughfall drop sizes and velocities. *Catena*, 72: 348-361.
29. Nikkami, D., A.J. Ardakani, F.B. Movahedi and P. Razmjoo. 2004. The effects of plough on surface runoff. Available online at: <http://www.fao/ag/ag>, 7 pages.

30. Orsham, A., A.M. Akhund ali and A. Behnia. 2010. Effect of soil antecedent moisture contents on runoff and sedimentation values with simulated rainfall method. *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 16(4): 445-455 (in Persian).
31. Poesen, J. and D. Torri. 1988. The effect of cup size on splash detachment and transport measurements. Part I: Field measurements, *Catena Supplement*, 12: 113-126.
32. Qinjuan, C.H., C. Qiangguo and Ma. Wenjun. 2008. Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China. *Chinese Geographical Science*, 18(2): 155-161.
33. Refahi, H.Gh. 2007. *Water erosion and conservation*. Tehran, Tehran University Press, 671 pages (in Persian).
34. Rezaei Pasha, M., A. Kavian and Gh. Vahabzade. 2012. Experimental study of splash erosion and its relation with some soil properties in three adjacent land uses (a case study: Kasilian Watershed). *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources (Water and Soil Science)*, 15(58): 257-269 (in Persian).
35. Torri, D. and J. Poesen. 1992. The effect of soil surface slope on raindrop detachment. *Catena*, 19: 561-578.
36. Toy, T.J., G.R. Foster and K.G. Renard. 2002. *Soil erosion processes, prediction, measurement, and control*. New York, NY, John Wiley and Sons, 338 pages.
37. Vaezi, A., A. Rostami and M.H. Mohamadi. 2012. Time variation processes soil degradation and splash in marl soil under simulated rain. *Journal of Soil Research*, 25(4): 361-371 (in Persian).
38. Wu, W.D., S.Z. Zheng and Z.H. Lu. 2000. Effect of plant roots on penetrability and anti-scourability of red soil derived from Granite. *Pedosphere*, 10: 183-188.
39. Zheng, F.L. 2005. Effects of accelerated soil erosion on soil nutrient loss after deforestation on the loess plateau. *Pedosphere*, 15(6): 707-715.

Archive of SID