نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Managment

سال چهارم- شماره ۱۲- بهار ۱۳۹۵ Vol. 4, No. 12, Fall 2016

تعمیم نتایج کرت‌های آزمایشگاهی و صحرایی فرسایش تحت باران شبیه‌سازی شده

عبدالواحد خالدی درویشان[1*]، وفا همایون‌فر[2] و سیدحمیدرضا صادقی[3]

تاریخ دریافت: ۹٤/۰٤/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۲۰

چکیده

روش‌های مختلف اندازه‌گیری رواناب و فرسایش ممکن است منجر به نتایج گوناگونی شوند که لزوماً وابسته به اثرات خاص متغیر مورد مطالعه بر فرسایش نیست. اگرچه مطالعه رواناب، فرسایش و رسوب روی خاک آماده‌سازی شده در کرت‌های آزمایشگاهی به‌دلیل داشتن مزایای زیاد اجتناب‌ناپذیر است، اما دست‌خوردگی و انتقال خاک و آماده‌سازی کرت‌های آزمایشگاهی از اعتبار نتایج این‌گونه پژوهش‌ها می‌کاهد. تمام روش‌های آماده‌سازی خاک جهت انجام پژوهش‌های آزمایشگاهی یک هدف اساسی دارند و آن این‌که نمونه خاک آماده شده تا حد امکان همگن باشند. تغییرات ایجاد شده در خاک حین جمع‌آوری، حمل و مراحل مختلف آماده‌سازی آن شامل هواخشک کردن، الک کردن و به‌ویژه اثر رطوبت خاک در طول این فرآیند و در نهایت افزایش وزن مخصوص ظاهری سطح خاک ممکن است بر نتایج رواناب و فرسایش اثرگذار باشند. بر همین اساس، مطالعه‌ای موردی به‌منظور مقایسه رواناب سطحی، غلظت رسوب و هدررفت خاک از کرت‌های صحرایی با خاک دست‌خورده (آماده‌سازی شده برای کرت‌های آزمایشگاهی فرسایش) و دست‌نخورده (خاک طبیعی) انجام شد. نتایج نشان داد که اثر دست‌خوردگی خاک بر تمامی متغیرهای زمان شروع، حجم و ضریب رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک معنی‌دار ($p\leq 0.01$) بود. متغیرهای زمان شروع، حجم و ضریب رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک به‌ترتیب ۲/۲۹، ۳/٤۵، ۲/۷۹، ۲/۸۳ و ۱۱/۵۰ برابر در اثر دست‌خوردگی خاک افزایش یافتند.

۱. استادیار (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندارن، ایران.
تلفن: ۰۱۱-٤٤۵۵۳۱۰۱، رایانامه: a.khaledi@modares.ac.ir
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندارن، ایران.
۳. استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندارن، ایران.

واژه‌های کلیدی: دست‌خوردگی خاک، شبیه‌ساز باران، ضریب رواناب، کرت‌های آزمایشگاهی.

مقدمه و مبانی

خاک به‌عنوان یکی از منابع طبیعی ارزشمندی است که در مقیاس زمانی کوتاه تجدیدناپذیر است و باید با استفاده از دیدگاه چندرشته‌ای مورد بررسی قرار گیرد [۱۸]. فرسایش نتیجه تقابل چندین عامل است که در زمان و مکان متغیر هستند[۲۰، ٤۵]. فرسایش به عنوان عامل اصلی تخریب خاک محسوب می‌شود و اثرات آن معمولا غیرقابل جبران می‌باشد. بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه های آبخیز برای دست‌یابی به مدیریت صحیح اراضی و حفظ کمیت و کیفیت آب و خاک از ضروریات اساسی محسوب می‌شود. از طرفی اندازه‌گیری هریک از آن‌ها در شرایط طبیعی بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است.

تعیین مقدار فرسایش‌پذیری خاک به منظور انتخاب، طراحی و کاربرد عملیات حفاظتی نیازمند شناسایی و کمی نمودن ویژگی‌ها و فرآیندهای هیدرولوژیک خاک به‌ویژه پتانسیل تولید رواناب و رسوب است [۵۹]. برآورد مقادیر رواناب و رسوب از طریق ایستگاه‌های رسوب‌سنجی و استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی و با استفاده از شبیه‌ساز باران در آزمایشگاه و عرصه قابل انجام است. اگرچه اندازه‌گیری رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران در شرایط صحرایی [۱۷، ۲۱، ٤۹، ۵۳] و آزمایشگاهی [۷، ۱۱، ۳۱، ۳۳، ۵٦، ٦۲] قابل انجام است؛ اما اندازه‌گیری‌های صحرایی معمولاً نیازمند صرف هزینه و زمان بیش‌تری است. بنابراین، یافتن روش‌هایی برای برآورد دقیق میزان رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز امری ضروری است. از این‌رو، امروزه استفاده از روش‌های آزمایشگاهی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است.

مطالعات فرسایش خاک در مقیاس کرت از ابتدای پژوهش در مورد فرسایش خاک دارای اهمیت زیادی بوده است [٤۸]. استفاده از شبیه‌ساز باران برای اندازه‌گیری فرسایش دارای دو مزیت اصلی، توانایی کنترل شدت و مدت بارندگی و تکرارپذیر بودن بارندگی می‌باشد که منجر به افزایش دقت داده‌ها و نیز امکان ارزیابی‌های مقایسه‌ای تیمارهای مختلف خواهد شد [۸]. مطالعه آزمایشگاهی فرسایش دارای محدودیت‌های است که اعتماد مطلق به نتایج به‌دست آمده از آن را برای کاربرد در شرایط واقعی سلب می‌کند به‌ویژه زمانی که هدف از مطالعه بررسی اثر عوامل مختلف بر

فرسایش باشد [٦٤]. علاوه بر آن، روش‌های مختلف اندازه‌گیری رواناب و فرسایش ممکن است منجر به نتایج گوناگونی شوند که لزوماً وابسته به اثرات خاص متغیر مورد مطالعه بر فرسایش نیست [١٦، ١٩]. یکی از روش‌های بررسی فرسایش و تولید رواناب و رسوب، انجام مطالعات روی خاک آماده‌سازی شده در کرت‌های آزمایشگاهی است. اگرچه برای آماده‌سازی خاک جهت انجام پژوهش‌های آزمایشگاهی فرسایش خاک روش‌های متعددی پیشنهاد شده [٢٦، ٢٧، ٣٦، ٤١، ٤٣، ٦١]، اما همه این روش‌ها یک هدف اساسی دارند و آن این‌که نمونه‌های خاک قرار داده شده در کرت آزمایشگاهی تا حد امکان همگن باشند [٣٦].

تغییرات ایجاد شده در خاک حین برداشت، حمل و مراحل مختلف آماده‌سازی آن شامل هواخشک کردن و عبور دادن خاک از الک و به‌ویژه مقدار رطوبت خاک در طول این فرآیندها و در نهایت تلاش برای افزایش وزن مخصوص ظاهری سطح خاک به وسیله غلطک، ممکن است بر نتایج رواناب و فرسایش اثرگذار باشند. به‌عنوان مثال، اثر برخی ویژگی‌های خاک مثل پستی و بلندی‌های کوچک و شکل خاک‌دانه‌ها در مقدار و الگوی مکانی رواناب [٤٢] و نیز اثر معنی‌دار زبری سطح بر رواناب و فرسایش [٣٤] تأیید شده است به‌طوری‌که پستی و بلندی‌های کوچک، شکل خاکدانه‌ها و زبری سطح خاک همگی می‌توانند در اثر غلطک زدن سطح خاک ایجاد شده و یا تضعیف و تشدید شوند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که مطالعات محدودی به بررسی اثر تغییرات خاک بر فرآیندهای تولید رواناب و فرسایش عمدتا در کاربری کشاورزی پرداخته‌اند که در تمامی آن‌ها اثر شخم و دیگر اقدامات خاک‌ورزی بر رواناب [٥، ٢٢، ٢٨، ٣٤، ٥٨] و هدررفت خاک [٥، ٣٤، ٣٥، ٤٤] مد نظر قرار گرفته است.

نتایج پژوهش‌های مرتبط با اثر خاک‌ورزی کاملا متفاوت و بعضاً متناقض است چراکه در برخی از آن‌ها هدف مقایسه رواناب و فرسایش خاک در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بوده و در برخی دیگر رواناب و رسوب در حالت بدون خاک‌ورزی و با خاک‌ورزی با هم مقایسه شده‌اند. بدیهی است بررسی اثر خاک‌ورزی نسبت به حالت بدون دست‌خوردگی خاک به پژوهش حاضر نزدیک‌تر بوده و قابلیت مقایسه نتایج وجود دارد. در برخی منابع گفته شده که یکی از روش‌های کاهش میزان فرسایش خاک در اراضی زراعی، نفوذپذیر کردن خاک با استفاده از الگوهای مناسب خاک‌ورزی است [٢٤] و میزان فرآیند فرسایش وابسته به نوع ادوات بکار برده شده در خاک‌ورزی است [١٤]. نوع ادوات خاک‌ورزی در اراضی زراعی شیب‌دار و روش انجام عملیات خاک‌ورزی می‌تواند موجب ذخیره بیش‌تر رطوبت در خاک‌های زراعی شود [٣٩]. خاک‌ورزی نامناسب با افزایش تراکم خاک و کاهش نفوذپذیری می‌تواند موجب ایجاد یا افزایش رواناب شود [٦٩] در حالی‌که خاک‌ورزی مناسب با افزایش نفوذپذیری خاک‌های متراکم شده می‌تواند میزان رواناب سطحی را کاهش دهد [١٤]. خاک‌ورزی نامناسب منجر به فرسایش خاک و در نتیجه آن کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود [٦٩]. قیومی‌محمدی و همکاران [٩] نیز نشان دادند که رهاسازی مجدد اراضی کشاورزی دیم موجب افزایش مجد نفوذپذیری و کاهش رواناب سطحی می‌گردد که طبعا یکی از دلایل آن توقف عملیات خاک‌ورزی می‌باشد.

در جمع‌بندی می‌توان گفت که امروزه انجام مطالعات آزمایشگاهی فرسایش و رسوب در مقیاس کرت، که با انتقال خاک به آزمایشگاه و در نتیجه تغییر و دست‌خوردگی آن همراه است، با توجه به مزایای پژوهشی آن امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. درحالی‌که پژوهش‌های انجام شده در این زمینه عموماً به بررسی اثر آماده‌سازی خاک با هدف زراعت، جنگل‌کاری و یا باغ‌داری پرداخته‌اند که حداقل در یک جنبه بسیار مهم با آماده‌سازی خاک برای پژوهش‌های آزمایشگاهی رواناب، فرسایش و رسوب کاملاً متفاوت است. بنابر موارد گفته شده، آگاهی از جهت و مقدار تغییرات رواناب و فرسایش در اثر فرآیند آماده‌سازی خاک برای مطالعات آزمایشگاهی فرسایش امری اجتناب‌ناپذیر است و پژوهش حاضر درصدد پاسخ‌گویی به این نیاز برآمده است. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به تعمیم دقیق‌تر نتایج مطالعات آزمایشگاهی فرسایش خاک به شرایط طبیعی منجر شود.

مطالعه موردی

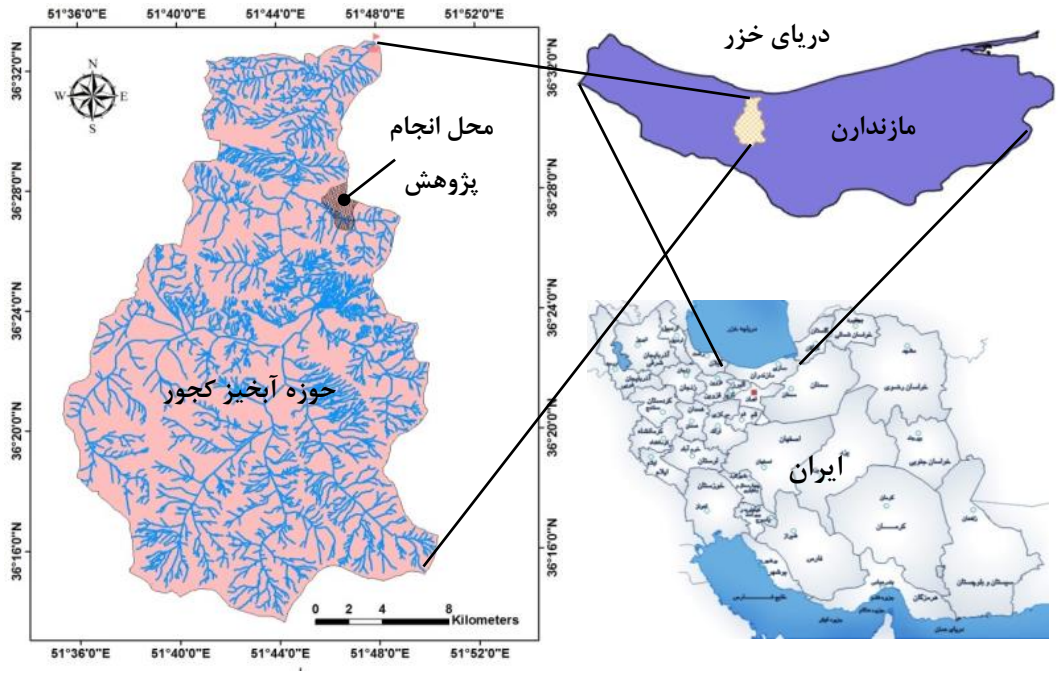
١- منطقه مورد مطالعه

دامنه‌ای با کاربری جنگل تخریب شده در حاشیه روستای کدیر و در شرق حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس در شمال ایران و در جنوب‌غربی شهرستان نور برای انجام مطالعه موردی انتخاب گردید. این منطقه در محدوده جغرافیایی ٥١ درجه و ٤٦ دقیقه و ٢٧ ثانیه طول شرقی و ٣٦ درجه و ٢٧ دقیقه و ١٥ ثانیه عرض شمالی و در ناحیه البرز مرکزی واقع شده است. شیب محل نمونه‌برداری ١٨ درصد و جهت شیب دامنه جنوبی می‌باشد. موقعیت کلی محدوده اجرای پژوهش در حوزه آبخیز کجور، استان مازندارن و ایران در شکل ١ نشان داده شده است. بافت خاک منطقه مورد مطالعه شنی-رسی-لومی و خاک دارای سنگ‌ریزه با مقدار متوسط کم‌تر از ١٠ درصد (پوشش سطحی) بود. مقدار ماده آلی خاک ٢/١٦٧ و pH در حدود ٧/٩ و مقدار هدایت الکتریکی خاک برابر ٠/٠١٥٧٦ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری گردید.

٢- روش کار

٢-١- نصب و آماده‌سازی کرت‌ها

مطالعه موردی در دو تیمار اصلی الف) خاک دست‌نخورده (شرایط طبیعی) و ب) خاک دست‌خورده (آماده‌سازی شده) هر یک با سه تکرار با استفاده از کرت‌هایی به ابعاد یک متر مربع ساخته شده از ورقه‌های فلزی گالوانیزه انجام گرفت. به منظور جمع‌آوری رواناب و رسوب، در قسمت انتهای پایین‌دست کرت‌ها، مجاری و مخازن مناسب تعبیه شد.



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

شکل ۲- نمایی از کرت‌ها در دو حالت خاک با شرایط طبیعی (چپ) و آماده‌سازی شده (راست)

در سه کرت با تیمار شرایط طبیعی، به غیر از حذف پوشش گیاهی، هیچ‌گونه تغییر و دست‌خوردگی در خاک ایجاد نشد. در تیمار خاک آماده‌سازی شده، ابتدا از محل استقرار کرت‌ها، مقدار کافی خاک از عمق ۲۰ سانتی‌متر [۱۵، ۴۰، ۴۳] برداشت شد. سپس، برای آماده‌سازی خاک از روش کوکال و سرکار [۴۳] به‌عنوان روش پایه همراه با برخی اصلاحات، با هدف حفظ ساختار خاک‌دانه‌ها [۴۰] استفاده شد. بر این اساس آماده‌سازی خاک از طریق هوا خشک کردن آن تا حد رطوبت بهینه [۳۰] عبور از الک هشت میلی‌متری [۱، ۲۵، ۲۷] و حذف بقایای گیاهی و سنگ‌ریزه‌ها [۱۲] انجام گرفت. پس از انتقال خاک به داخل کرت‌ها، با توجه به اهمیت و اثرات وزن مخصوص ظاهری در مقاومت سطحی خاک در برابر قطرات باران و رواناب [۵۰]، از لوله‌ای پی وی سی با قطر ۱۰ سانتی‌متر و پر شده با بتن به‌عنوان غلطک استفاده گردید. یکی از عوامل مؤثر در رواناب و هدررفت خاک، شرایط رطوبتی خاک قبل از شروع بارندگی است [۱، ۳، ۱۱ ، ۲۳]. لذا قبل از اجرای تیمارها میزان رطوبت خاک تمامی کرت‌ها تا حد ممکن به مقدار رطوبت یکسان در حدود ۲۹ درصد حجمی که تقریباً نشان‌دهنده شرایط هواخشک در فاصله زمانی انجام پژوهش (آذرماه ۱۳۹۲) بود رسانده شد. در شکل ۲ نمایی از کرت‌های مورد استفاده در پژوهش نشان داده شده است.

در مرحله بعد با توجه به آمار باران‌نگاری ایستگاه سینوپتیک کجور، 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 و قابل استناد برای مطالعات آبخیزداری انتخاب شد. هم‌چنین برای انجام پژوهش حاضر از شبیه‌ساز باران قابل حمل دارای یک یا دو نازل BEX: 3/8 S24W به صورت تحت فشار برای شدت‌های مختلف باران و ارتفاع ریزش ۳ متر استفاده شد.

۲-۲- اندازه‌گیری متغیرهای رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک

به‌منظور آگاهی از زمان شروع و تغییرات زمانی رواناب خروجی

از کرت‌ها، زمان رسیدن اولین قطره رواناب به خروجی هر کرت ثبت شد. سپس رواناب خروجی از هر کرت در پنج فاصله زمانی سه دقیقه و در مجموع ۱۵ دقیقه پس از شروع رواناب و نیز پس از خاتمه بارش تا قطع شدن رواناب به صورت مجزا جمع‌آوری و اندازه‌گیری گردید. برای جمع‌آوری رواناب، در انتهای هر کرت گودالی حفر و در داخل آن یک بطری مدرج (مخزن جمع‌آوری رواناب) قرار داده شد. سپس رواناب خروجی به بطری مذکور هدایت شده و حجم آن در هر بازه زمانی سه دقیقه محاسبه و اندازه‌گیری شد. برای محاسبه ضریب رواناب نیز در هر یک از تیمارها و تکرارها، کل حجم رواناب خروجی از کرت بر کل حجم بارندگی در سطح کرت تقسیم گردید. مقادیر رسوب خروجی (هدررفت خاک از کرت) هر آزمایش نیز به تفکیک بازه‌های زمانی سه دقیقه‌ای، محاسبه شد. غلظت رسوب و مقدار هدررفت خاک از کرت به‌ترتیب بر حسب گرم در لیتر و گرم در متر مربع محاسبه گردید.

آزمون‌های لازم با در نظر گرفتن طرح آماری تحت عنوان کرت‌های خردشده و آزمایشات فاکتوریل با دو عامل خاک (دو سطح) و شدت بارندگی (سه سطح) و در مجموع تعداد شش تیمار ترکیبی انجام شد. سپس برای بررسی اختلاف نتایج زمان شروع و حجم رواناب و هدررفت خاک در تیمارهای مختلف خاک و شدت بارندگی از آنالیز واریانس [۲] استفاده شد.

تحلیل نتایج مطالعه موردی

نتایج مربوط به اندازه‌گیری زمان شروع و حجم رواناب در فواصل زمانی سه دقیقه‌ای پس از شروع رواناب و نیز پس از توقف بارش، حجم کل رواناب و در نهایت ضریب رواناب در خاک دست‌نخورده و دست‌خورده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، کوتاه‌ترین زمان تاشروع رواناب (۲/۹۹ دقیقه) مربوط به خاک دست‌نخورده در شدت بارندگی ۸۰ میلی‌متر در ساعت و طولانی‌ترین آن مربوط به خاک دست‌خورده در شدت بارندگی ۴۰ میلی‌متر بر ساعت بود که بیان‌گر بیش‌تر بودن زمان لازم برای شروع یا مشاهده رواناب برای خاک دست‌خورده نسبت به خاک دست‌نخورده در هر سه شدت بارندگی است. از نظر ضریب رواناب نیز با افزایش شدت بارندگی از ۴۰ به ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت، ضریب رواناب در خاک دست‌نخورده از ۶/۸۲ به ۱۳/۹۲ و ۲۵/۷۰ درصد و در خاک دست‌خورده از ۲۵/۰۸ به ۳۴/۲۴ و ۵۷/۱۷ درصد افزایش یافت. معنی‌دار بودن یافته‌های مذکور پس از تحلیل آماری نتایج نیز تأیید شد. نتایج میانگین غلظت رسوب و هدررفت خاک در سه تکرار از تیمارهای مورد بررسی در جدول ۲ و ۳ نتایج تحلیل‌های آماری در جدول ۴ نشان داده شده‌است.

با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که دامنه میانگین وزنی غلظت رسوب از ۲/۷۰ تا ۱۲/۴۱ متغیر و به‌طور کلی میانگین وزنی غلظت رسوب نمونه‌های رواناب در فواصل زمانی مختلف پس از شروع رواناب در خاک دست‌خورده نسبت به خاک دست‌نخورده افزایش یافته است.

نتایج تحلیل‌های آماری (جدول ۴) نشان داد که به‌طور کلی دست‌خوردگی خاک در سطح ۹۹ درصد بر زمان شروع رواناب اثر افزاینده معنی‌دار داشته است. دلیل افزایش زمان شروع رواناب در اثر دست‌خوردگی خاک را می‌توان این‌گونه تحلیل نمود که به دلیل الک کردن و انتخاب و تفکیک غیر عمدی اندازه‌های همگن خاک‌دانه‌ها، ابعاد بزرگ‌تری از فضاهای متخلل در خاک دست‌خورده وجود دارد. در نتیجه در ابتدای بارندگی شدت نفوذ نسبت به خاک دست‌نخورده بالاتر است. از طرف دیگر بر طبق نتایج، دست‌خوردگی خاک بر حجم رواناب در سطح اعتماد ۹۹ درصد اثر معنی‌دار داشته است. یکی از دلایل افزایش رواناب در خاک دست‌خورده نسبت به خاک دست‌نخورده می‌تواند حذف سنگ‌ریزه سطحی در حین آماده‌سازی خاک باشد زیرا در خاک طبیعی به‌دلیل افزایش ابعاد خلل و فرج در اطراف قطعات سنگی کوچک در سطح و داخل نیم‌رخ خاک، نفوذپذیری افزایش یافته و رواناب سطحی کاهش می‌یابد که با نتایج برخی محققین مبنی بر کاهش رواناب با افزایش درصد سنگ‌ریزه هم‌خوانی دارد [۲۹، ۶۵ و ۶۶]. هم‌چنین جمعه و همکاران [۳۷] بیان می‌کند که قطعات خردشده سنگ ساختار عمومی خاک را از انرژی

جدول ۱- نتایج میانگین زمان شروع، حجم و ضریب رواناب در سه تکرار از تیمارهای مورد بررسی

شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)	تیمار خاک	زمان شروع رواناب (دقیقه)	کل حجم رواناب (لیتر)						ضریب رواناب (درصد)
			در بازه‌های زمانی سه دقیقه					پس از توقف بارش	حجم کل رواناب	
			۰-۳	۳-۶	۶-۹	۹-۱۲	۱۲-۱۵			
۴۰	دست‌نخورده	۸/۵۴	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۰۷	۱/۰۵۷	۶/۸۲
	دست‌خورده	۱۱/۳۶	۰/۱۹	۰/۵۳	۰/۹۵	۱/۱۵	۱/۲۶	۰/۲۰	۴/۲۹۱	۲۵/۰۸
۶۰	دست‌نخورده	۳/۹۹	۰/۲۱	۰/۴۱	۰/۵۲	۰/۶۲	۰/۷۳	۰/۱۳	۲/۶۱۸	۱۳/۹۲
	دست‌خورده	۱۵/۷۴	۰/۷۰	۱/۵۱	۲/۱۲۰	۲/۷۳	۲/۸۵	۰/۲۷	۱۰/۱۷۳	۳۴/۲۴
۸۰	دست‌نخورده	۲/۹۹	۰/۴۷	۱/۰۳	۱/۳۱	۱/۴۹	۱/۶۲	۰/۲۸	۶/۲۰۱	۲۵/۷۰
	دست‌خورده	۴/۷۳	۱/۲۰	۲/۸۱	۳/۴۹	۳/۴۴	۳/۶۴	۰/۳۹	۱۴/۹۶۰	۵۷/۱۷

جدول ۲- نتایج میانگین غلظت رسوب در سه تکرار از تیمارهای مورد بررسی

شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)	تیمار خاک	غلظت رسوب (گرم در لیتر)					
		در زمان پس از شروع رواناب (دقیقه)				پس از توقف بارش	میانگین وزنی
		۳	٦	۹	۱۲	۱۵	
٤٠	دست‌نخورده	۲/۵۹	۲/۷۸	۲/۷۳	۲/۸۲	۲/۰٤	۲/۷۸	۳/٤۹
	دست‌خورده	۱۰/۵٦	۹/۹۲	۹/۰۰	۷/۵۹	٦/٦۸	٤/۷۸	۱۰/٤٤
٦۰	دست‌نخورده	۳/٤۵	۲/۳۷	۲/۵٦	۲/۷٤	۲/٦۸	۲/۲٦	۲/۷۰
	دست‌خورده	۱۰/۳۵	۱۰/۹۹	۹/٦۲	۱۰/٤۸	۹/۹۸	۸/۹۵	۱۰/۳۸
۸۰	دست‌نخورده	٦/۷٦	۵/۵٦	٦/۰٦	٦/۰۰	۵/۰٦	۲/۸٦	۷/۵۷
	دست‌خورده	۱۲/۰٦	۱۰/۸۹	۱۰/۱۵	۸/۵٦	۷/۵۱	٤/۳۲	۱۲/٤۱

جدول ۳- نتایج میانگین هدررفت خاک در سه تکرار از تیمارهای مورد بررسی

شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)	تیمار خاک	هدررفت خاک (گرم)						
		در زمان پس از شروع رواناب (دقیقه)				پس از توقف بارش	مقدار کل هدررفت
		۳	٦	۹	۱۲	۱۵		
٤٠	دست‌نخورده	۰/۲۸	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/٦۱	۰/۳۹	۰/۱۲	۳/۱۹
	دست‌خورده	۲/۱۲	۵/۳٦	۸/٦۹	۸/۹۷	۸/۷۲	۰/۹٦	٤٦/٤۲
٦۰	دست‌نخورده	۰/۷۹	۰/۷۹	۱/٤۲	۱/۸۷	۲/۰۰	۰/۲۷	۷/۱۵
	دست‌خورده	۸/۱۲	۱۸/۳۹	۲۲/۸٤	۳۳/۳۰	۳۰/۱۰	۲/۵۰	۱۱۵/۲۵
۸۰	دست‌نخورده	٤/۰۷	۸/۱۸	۱۲/۳۲	۱۲/۲۰	۱۱/٦۲	۱/۰۵	٤۹/٤۵
	دست‌خورده	۲۰/۰٤	٤۱/۹۹	٤۷/۰٦	۳۹/۷٦	۳٦/۹٦	۲/۲۰	۱۸۸/۰۲

جدول ٤- تحلیل آماری اثر دست‌خوردگی خاک بر متغیرهای رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک از کرت

منبع	متغییر وابسته	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی داری
تیمار دست‌خوردگی خاک	زمان شروع رواناب (دقیقه)	۱۳۳/۱۷		۱۳۳/۱۷	۳۳/۳۳	**۰/۰۰۰
	لگاریتم حجم رواناب (لیتر)	۱/۵۲		۱/۵۲	۲۰/۲۸	**۰/۰۰۱
	ضریب رواناب (درصد)	۲٤۵٤/۲۰	۱	۲٤۵٤/۲۰	۱۵/۵۳	**۰/۰۰۲
	غلظت رسوب (گرم در لیتر)	۱۸۹/٦۷		۱۸۹/٦۷	۲٦/۷۹٤	**۰/۰۰۳
	لگاریتم هدررفت خاک (گرم)	٤/۵۵۵		٤/۵۵۵	٤۹/۱۹۲	**۰/۰۰۰

* علامت معنی‌داری در سطوح ۹۹ درصد می‌باشد.

جنبشی قطرات باران حفاظت کرده و باعث کاهش جدایش خاک در نتیجه برخورد قطرات باران و در نهایت افزایش نفوذ می‌شوند. دلیل دیگر این امر می‌تواند وجود ریشه و بقایای گیاهی در خاک دست‌نخورده باشد که به‌نوبه خود باعث افزایش نفوذ و کاهش میزان رواناب می‌شود و با نتایج لی و زو، واو و همکاران، و جوزف و همکاران مبنی بر اثر سامانه ریشه‌ای بر افزایش نفوذ و به تبع آن کاهش رواناب هم‌سو است [۳۸، ٤٦، ٦۷].

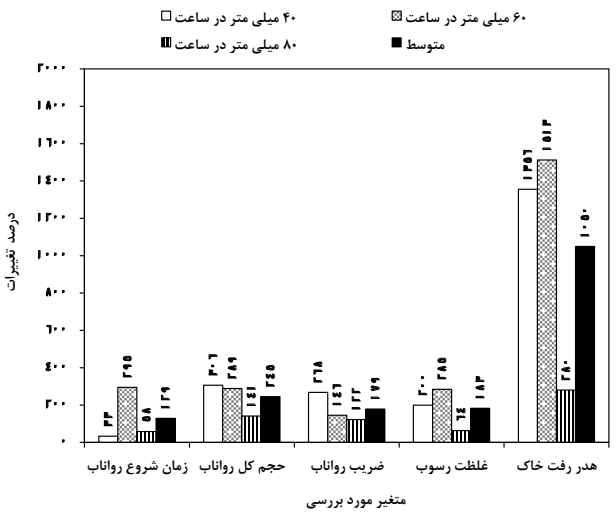
در مجموع می‌توان گفت که به‌طور کلی اگرچه در خاک دست‌خورده نسبت به خاک دست‌نخورده رواناب تا حدودی دیرتر شروع شده اما حجم رواناب و تغییرات آن با گذشت زمان (فواصل زمانی سه دقیقه‌ای پس از شروع رواناب) در خاک دست‌خورده بیش‌تر از خاک دست‌نخورده بوده است. در خاک دست‌خورده اگرچه در ابتدا میزان نفوذ تا حدودی بالاتر از خاک دست‌نخورده است [۱۰]، اما احتمالاً پس از مدتی در نتیجه جدایش و پاشمان بیش‌تر در سطح خاک دست‌خورده خلل و فرج ریز خاک پر شده و در نتیجه میزان رواناب افزایش پیدا می‌کند. اثر اندوده سطحی بر

کاهش نفوذپذیری در سطح خاک قبلا توسط پژوهش‌گران متعددی مورد تایید قرار گرفته است [٦، ١٣، ١٥، ٥٥]. از دلایل افزایش پاشمان در خاک دست‌خورده می‌توان به حذف سنگ‌ریزه‌های سطحی اشاره کرد. نتایج جمعه و همکاران [٣٧] مبنی بر حفاظت ساختار عمومی خاک در برابر انرژی جنبشی قطرات باران توسط قطعات سنگ‌ریزه نیز مؤید همین نکته می‌باشد. با توجه به نتایج مندرج در جدول ١، ضریب رواناب در هر سه شدت بارندگی مورد بررسی، در خاک دست‌خورده بیش‌تر از خاک دست‌نخورده بوده است. با توجه به نتایج تحلیل‌های آماری دست‌خوردگی خاک نیز بر ضریب رواناب اثر معنی‌دار در سطح ٩٩ درصد داشته است.

نتایج تحلیل‌های آماری در جدول ٤ نشان داد که تیمار دست‌خوردگی خاک بر غلظت رسوب اثر افزاینده معنی‌دار در سطح اعتماد ٩٩ درصد داشته است. هم‌چنین می‌توان استنباط نمود که سنگ‌ریزه‌های ریز و درشت به‌عنوان عاملی در برابر انرژی جنبشی قطرات باران [٣٧] بوده و موجب کاهش پاشمان و کاهش منبع رسوب در دسترس برای حمل و طبعاً کاهش غلظت رسوب می‌شوند. هم‌چنین ریشه‌ها و دیگر بقایای گیاهی درون خاک دست‌نخورده به بهبود پایداری خاک‌دانه‌ها کمک می‌کنند [٣٢، ٥٤، ٥٧]. بنابر دلایل فوق میزان غلظت رسوب و هدررفت در خاک دست‌خورده افزایش می‌یابد. علی‌رغم انتظار عمومی، میانگین غلظت رسوب هر دو تیمار در شدت ٦٠ میلی‌متر درساعت نسبت به شدت ٤٠ میلی‌متر در ساعت کم‌تر است. دلیل این امر را می‌توان به زمان شروع رواناب بیش‌تر در خاک دست‌نخورده در شدت ٦٠ میلی‌متر در ساعت و در نتیجه زمان بیش‌تر بارندگی قبل از شروع رواناب برای جدایش بیش‌تر ذرات و در نتیجه قابل دسترس بودن رسوب بیش‌تر برای انتقال و طبعاً افزایش غلظت آن نسبت داد.

نتایج نشان داد که در شدت‌های بارندگی مختلف، مقدار غلظت رسوب در هر دو تیمار خاک دست‌خورده و دست‌نخورده پس از گذشت مدت زمانی از بارندگی به اوج خود رسیده و پس از آن در بیش‌تر تیمارهای مورد بررسی کاهش پیدا کرده است که با نتایج آسولین و بن-هور هم‌سو است [١٥]. با افزایش شدت بارندگی مقدار اوج غلظت رسوب در هر دو تیمار خاک دست‌خورده و دست‌نخورده افزایش یافته است اما

زمان تا اوج غلظت رسوب در خاک دست‌نخورده با افزایش شدت بارندگی کاهش پیدا کرده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که در تیمار خاک دست‌خورده نسبت به خاک دست‌نخورده، غلظت رسوب قبل از نقطه اوج با شیب بیش‌تری افزایش یافته و پس از نقطه اوج نیز با شیب بیش‌تری کاهش یافته است. بنابراین می‌توان گفت که مقدار متوسط، مقدار اوج و شیب تغییرات غلظت رسوب به دلیل دست‌خوردگی خاک بیش‌تر شده است. به‌عبارت دیگر منبع رسوب در دسترس برای جدایش و انتقال، بسته به شدت بارندگی، مدت کوتاهی پس از شروع بارندگی کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین نتایج نشان داد که در خاک دست‌نخورده شیب تغییرات غلظت



شکل ٣ نسبت تغییرات متغیرهای رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک از کرت در اثر دست‌خوردگی خاک

رسوب در فواصل زمانی مختلف بسیار کم است. یکی از دلایل اختلاف غلظت رسوب در خاک دست‌نخورده و دست‌خورده این است که در خاک دست‌خورده زمان شروع رواناب طولانی‌تر و در نتیجه پاشمان و جدایش ذرات بیش‌تر می‌باشد. در نتیجه در اولین فاصله زمانی پس از شروع رواناب، منابع رسوب در دسترس برای حمل بیش‌تر بوده و در نتیجه غلظت رسوب در آن بالاتر است ولی با گذشت مدت زمان اندکی پس از شروع رواناب، منبع رسوب در دسترس برای حمل و پیرو آن غلظت رسوب نیزکاهش پیدا می‌کند. در حالی که در خاک دست‌نخورده میزان جدایش و پاشمان ذرات کم بوده و به‌دلیل شروع سریع‌تر رواناب، منابع رسوب در دسترس برای حمل در اولین فواصل زمانی پس از شروع رواناب کم و در ادامه نیز مقدار آن تقریباً ثابت بوده است.

درصد افزایش متغیرهای رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک از کرت در اثر دست‌خوردگی خاک نیز در شکل ٣ نشان داده شده‌است. حجم رواناب در اثر دست‌خوردگی خاک در شدت‌های بارندگی ٤٠، ٦٠ و ٨٠ میلی‌متر در ساعت به‌ترتیب حدود ٣٠٦، ٢٨٩ و ١٤١ درصد افزایش یافته است (شکل ٣). به‌نظر می‌رسد با افزایش شدت بارندگی، اثر این عامل در مقایسه با اثر عامل دست‌خوردگی خاک، غالبیت یافته است.

در شدت‌های بارندگی کم‌تر به‌دلیل این‌که بارندگی زمان بیش‌تری برای نفوذ دارد بنابراین بیش‌تر تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد. در حالی‌که، در شدت‌های بالاتر بیش‌تر متغیرها تحت تاثیر شدت بارندگی قرار می‌گیرند. به‌عبارتی دیگر اثر شدت بارندگی بر اثر ویژگی‌های خاک غالبیت پیدا می‌کند. در این زمینه غالبیت اثر عامل شدت بارندگی بر تیمارهای مختلف توسط دیگر پژوهش‌گران تاکید شده است. از آن جمله زارتل و همکاران اثر بارندگی در شدت‌های بالا را بیش‌تر از اثر شیب [٦٨]، هوکه و همکاران و

خالدی درویشان اثر بارندگی در شدت‌های بالا را بیش‌تر از رطوبت پیشین خاک [۳، ۳۶] و شریفی و همکاران اثر ویژگی‌های بارندگی را بیش‌تر از ویژگی‌های خاک [۷] دانسته‌اند.

نسبت افزایش غلظت رسوب در اثر دست‌خوردگی خاک در شدت‌های بارندگی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت به‌ترتیب حدود ۲۰۰، ۲۸۵ و ۶۴ درصد بوده است (شکل ۳). بنابراین به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که متوسط غلظت رسوب در اثر دست‌خوردگی خاک در شدت‌های بارندگی ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر در ساعت زیاد بوده در حالی‌که با افزایش شدت بارندگی تا حدود ۸۰ میلی‌متر در ساعت، اثر دست‌خوردگی خاک بر غلظت رسوب کاهش یافته است.

با توجه به شکل ۳ شدت‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت نسبت افزایش هدررفت خاک از کرت در اثر دست‌خوردگی خاک به‌ترتیب حدود ۱۳۵۷، ۱۵۱۳ و ۲۸۰ درصد محاسبه شده است. یکی از دلایل این امر می‌تواند حذف سنگ‌ریزه‌های سطحی در هنگام الک کردن در خاک دست‌خورده باشد که با نتایج تای لانگ و همکاران مبنی بر این‌که سنگ‌ریزه سطحی میزان کل رسوب را کاهش می‌دهد، هم‌خوانی دارد [۶۳]. هم‌چنین ریک‌زاپ نشان دادند که سنگ‌ریزه قدرت فرسایندگی جریان‌های سطحی و در نتیجه مقدار تلفات خاک را نیز کاهش می‌دهد [۶۰]. بنابر موارد گفته شده، شاید بتوان یکی از مشکلات عمده روش‌های اماده‌سازی خاک را حذف سنگ‌ریزه خاک دانست. به‌طور کلی، در عمل فرسایش آبی ابتدا ذرات خاک در اثر نیروی جنبشی حاصل از برخورد قطرات باران یا نیروی برشی رواناب از توده خاک جدا می‌شوند، سپس این ذرات به‌وسیله قطرات باران و یا رواناب منتقل می‌شوند. بنابراین فرسایش‌پذیری خاک تابعی از قابلیت جدا شدن ذرات و قابلیت انتقال آن‌ها می‌باشد. بدین ترتیب، هر ویژگی از خاک که بتواند مانع جدا شدن ذره خاک و انتقال آن شده یا آن را مشکل سازد، فرسایش‌پذیری خاک را کاهش خواهد داد [۴]. وجود سنگ و سنگ‌ریزه در سطح خاک دست‌نخورده موجب حفاظت از خاک‌دانه‌ها در برابر قطرات باران و وجود ریشه‌ها و بقایای گیاهان در سطح و درون پروفیل خاک نیز موجب حفاظت خاک‌دانه‌ها در برابر جریان رواناب شده و لذا دست‌خوردگی خاک با حذف ریشه‌ها و بقایای گیاهی و سنگ‌ریزه‌های کوچک از سطح و پروفیل خاک موجب افزایش فرسایش‌پذیری و در ادامه افزایش غلظت رسوب و هدررفت خاک از کرت خواهد شد.

جمع‌بندی نتایج نشان داد که در شرایط پژوهش حاضر، دست‌خوردگی خاک به‌ترتیب موجب افزایش ۲/۲۹، ۳/۴۵، ۲/۷۹، ۲/۸۳ و ۱۱/۵۰ برابری در متغیرهای زمان شروع، حجم و ضریب رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک از کرت نسبت به خاک دست‌نخورده گردید. لذا تعمیم نتایج کرت آزمایشگاهی (خاک دست‌خورده) به شرایط کرت طبیعی فقط با در نظر گرفتن نسبت تغییرات متغیرهای اندازه‌گیری شده رواناب و رسوب امکان‌پذیر و عملی است و البته نسبت‌های مذکور ممکن است با تغییر خاک و یا روش آماده‌سازی آن، متفاوت باشند.

منابع مورد استفاده

۱- ارشم، ع.، آخوندعلی، ع.م. و بهنیا، ع. ۱۳۸۸. بررسی اثر رطوبت‌های قبلی خاک بر مقادیر رواناب و رسوب با استفاده از باران شبیه‌سازی شده، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۶(۴): ۴۴۵-۴۵۵.

۲- بی‌همتا، م.ر. و زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۹. اصول آمار در منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۰ ص.

۳- خالدی‌درویشان، ع. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی فرآیندهای ایجاد رواناب و فرسایش در رطوبت‌های مختلف پیشین خاک، رساله دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸ ص.

۴- رفاهی، ح. ۱۳۸۴. فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۲ ص.

۵- زکیئی، ج.، آسودار، م. ا. و الماسی، م.، ۱۳۹۱. اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت در سطوح شیب‌دار بر میزان فرسایش خاک و عملکرد گندم دیم در استان کرمانشاه. مهندسی زراعی، ۳۵(۲): ۱-۱۲.

۶- سیفی، م.، روحی‌پور، ح.، نیشابوری، م.ر. و احمدی، ع.، ۱۳۹۲. بررسی تاثیر اندوده سطحی خاک بر میزان رواناب و فرسایش بین شیاری با استفاده از شبیه‌سازی باران. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷(۲۳): ۱-۸.

۷- شریفی، ف.، صفارپور، ش.، ایوب‌زاده، س.ع. و وکیل‌پور، ج. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در تعیین آستانه شروع رواناب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور به کمک استفاده از شبیه‌سازی و داده‌های بارش- رواناب، منابع طبیعی ایران، ۵۷(۱): ۳۳-۴۵.

۸- صادقی، س.ح.ر. ۱۳۸۹. مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰۰ ص.

۹- قیومی‌محمدی، ا.م.، قربانی‌دشتکی، ش.، رئیسی، ف. و طهماسبی، پ.، ۱۳۹۲..اثر رهاسازی اراضی بر تغییرات نفوذ آب به خاک. حفاظت منابع آب و خاک، ۲(۴): ۴۱-۵۱.

۱۰- مظاهری، م.ر.، محمودآبادی، م. و رشیدی، ز. ۱۳۹۰. مقایسه نفوذپذیری در دو شرایط طبیعی و آزمایشگاهی با تاکید بر دست‌خوردگی خاک، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۸ تا ۲۰ بهمن ۱۳۹۰، کرمان، دانشگاه شهید باهنر، ۹ ص.

۱۱- مهدوی، م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم)، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۱ ص.

12- Agassi, M. and Bradford, J.M., 1999. Methodologies for Interrill Soil erosion Studies. Soil and Tillage Research, 49: 277-287.

13- Ahmadi, A., Neyshabouri, M.R., Rouhipour, H., Asadi, H. and Irannajad, M., 2010. Factors and mechanisms influencing interrill erodibility at different rainfall intensities. Journal of Food,

Agriculture & Environment. 8 (2): 996-999.

14- Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-flaño, P. and Ortigosa, L., 2007. Factors affecting runoff and under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research Journal, 93: 324-334.

15- Assouline, S. and Ben-Hur, M., 2006. Effects of Rainfall Intensity and Slope Gradient on the Dynamics of Interrill Erosion during Soil Surface Sealing, Catena, 66: 211-220.

16- Boardman, J., Dearing, J.A. and Foster I.D.L., 1990. Soil erosion studies, some assessments, In: Soil Erosion on Agricultural Land. Boardman J., et al. (Eds.), Wiley, New York, pp. 659-672.

17- Bochet, E., 2015. The fate of seeds in the soil: a review of the influence of overland flow on seed removal and its consequences for the vegetation of arid and semiarid patchy ecosystems, Soil, 1: 131-146.

18- Brevik, E.C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J.N., Six, J. and Van Oost, K.., 2015. The interdisciplinary nature of soil. Soil, 1: 117-129.

19- Bryan, R.B. and Ploey, J., 1983. Comparability of soil erosion measurements with different laboratory rainfall simulators, In: Rainfall Simulation, Runoff, and Soil Erosion, de Ploey J. (Ed.), Catena Suppl, 4, Catena Verlag, Cremlingen, WG, pp. 33-56.

20- Cerdà, A., 1998. The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain. Can. J. Soil Sci., 78: 321-330.

21- Cerdà, A., Giménez-Morera, A. and y Bodí, M.B., 2009. Soil and water losses from new citrus orchards growing on sloped soils in the western Mediterranean basin. Earth Surface Processes and Landforms, 34: 1822-1830.

22- Choudhary, M.A., Lal, A.R. and Dick W.A., 1997. Long-term tillage effects on runoff and soil erosion under simulsted rainfall for a Central Ohio soil. Soil and Tillage Research, 42: 175-184.

23- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., 1988. Applied hydrology, McGraw-Hill, India.

24- Cotler, H. and Ortega-Larrocea, M.P., 2006. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. Catena, 65: 107-117.

25- Defersha, M.B., Quraishi, S. and Mellese, A.M., 2011. The Effect of Slope Steepness and Antecedent Moisture Content on Interrill Erosion, Runoff and Sediment Size Distribution in the Highlands of Ethiopia. Hydrology and Earth System Sciences, 15: 2367-2375.

26- Ekwue, E.I., 1991. The Effects of Soil Organic Matter Content, Rainfall Duration and Aggregate Size on Soil Detachment, Soil Technology, 4: 197-207.

27- Ekwue, E.I. and Harrilal, A., 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: 112-118.

28- Erkossa, T., Stahr, K. and Gaiser, T., 2005. Effect of different methods of land preparation on runoff, soil and nutrient losses from a Vertisol in the Ethiopian highlands, Soil Use and Management, 21: 253-259.

299- Figueiredo, T. and Poesen, J., 1998. Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil, Soil and Tillage Research, 46: 81-95.

30- Fox, D.M. and Bryan, R.B., 1999. The Relationship of Soil Loss by Interrill Erosion to Slope Gradient, Catena, 38: 211-222.

31- Gabarrón-Galeote, M. A., Martínez-Murillo, J. F., Quesada, M. A., and Ruiz-Sinoga, J. D., 2013. Seasonal changes in the soil hydrological and erosive response depending on aspect, vegetation type and soil water repellency in different Mediterranean microenvironments, Solid Earth, 4: 497-509.

32- García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., Zornoza, R., Bárcenas, G., and Caravaca. F., 2010.

Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. Soil Till. Res., 109(2): 110-115.

33- Ghidey, F. and Alberts, E.E., 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.

34- Gholami, L., Banasik, K., Sadeghi, S.H.R., Khaledi Darvishan, A. and Hejduk, L., 2014. Effectiveness of Straw Mulch on Infiltration, Splash Erosion, Runoff and Sediment in Laboratory Conditions. Journal of Water and Land Development, 22: 51–60.

35- Gomez, J.A. and Nearing, M.A., 2005. Runoff and sediment losses from rough and smooth soil surfaces in a laboratory experiment, Catena, 59: 253-266.

36- Harold, L.B., Mccall, A.G. and Bell, F.G., 1945. Investigations in Erosion Control and Reclamation of Eroded Land at the Northwest Appalachian Conservation Experiment Station, Zanesville, Ohio, 1934-42. United States Department of Agriculture, Technical Bulettin 888, 95 p.

37- Hawke, R.M., Price, A.G. and Bryan, R.B., 2006. The Effect of Initial Soil Water Content and Rainfall Intensity on Near-Surface Soil Hydrologic Conductivity, A Laboratory Investigation, Catena, 65: 237-246.

38- Jomaa S., Barry, D.A., Brovelli, A., Heng, B.C.P., Sander, G.C., Parlange, J.Y. and Rose, C.W., 2012. Rain splash soil erosion estimation in the presence of rock fragments, Catena, 92: 38-48.

39- Joseph, L., Pikul, J. and Kristian, J.A., 2003. Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage. Soil Science Society of America Journal, 67: 859-867.

40- Keller, T., Arvidsson, J. and Dexter, A.R., 2007. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. Soil and Tillage Research Journal, 92: 45-52.

41- Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S.H.R., Homaee, M. and Arabkhedri, M., 2012. Potential Use of Synthetic Color-Contrast Aggregates and a Digital Image Processing Technique in Soil Splash Measurements. In Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment, IAHS Publication 356: Wallingford, Oxfordshire, UK; 364-368.

42- Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S.H.R., Homaee, M. and Arabkhdri, M., 2013. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. Journal of Hydrological Processes, 28 (15), 4463–4471.

43- Kirkby, M. 2001. Modeling the Interactions between Soil Surface Properties and Water, Elsevier Catena, 46: 89-102.

44- Kukal, S.S. and Srakar, M., 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.

45- Layon, T.L., Buckman, H.O. and Brady N.C., 1952. The Nature and Properties of soil. 12th ed., Mac Millan Co., New York, 591 p.

46- Le Bissonnias, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., and King, D., 2002. Mapping erosion risk for cultivated soil in France. Catena, 46(2-3): 207-220.

47- Li, Y., Xu, X.Q., 1992. The intensifying effect of plant roots on the soil antiscouribility on the Loess Plateau. Science China, Series B, 3: 254–259.

48- Li, Y., Zhu, X. and Tian, J., 1991. Effectiveness of plant roots to increasethe anti-scourability of soil on the Loess Plateau, Chinese Science Bulletin, 36: 2077–2082.

49- Licznar, P. and Nearing, M.A., 2003. Artificial neural networks of soil erosion and runoff prediction at the plot scale, Catena, 51: 89– 114.

50- Lieskovský, J., and Kenderessy, P., 2014. Modelling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: a case study en Vráble (Slovakia) using WATEM/SEDEM. Land Degradation and

Development, 25: 288-296.

51- Luk, S.H., 1985. Effect of Antecedent Soil Moisture Content on Rainwash Erosion, Catena, 12: 129-139.

52- Mamo, M. and Bubenzer, G.D., 2001a. Detachment rate, soil erodibility and soil strength as influenced by living plant roots: Part II. Field study. American Society of Agricultural Engineers, 44: 1175-1181.

53- Mamo, M. and Bubenzer, G.D., 2001b. Detachment rate, soil erodibility and soil strength as influenced by living plant roots: Part I. Laboratory study. American Society of Agricultural Engineers, 44: 1167-1174.

54- Mandal, D., Sharda, V.N., 2013. Appraisal of soil erosion risk in the Eastern Himalayan region of India for soil conservation planning. Land Degradation & Development, 24: 430-437.

55- 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.

56- Moore, C. and Singer, M.J., 1990. Crust formation effects on soil erosion processes. Soil Science Society of American Journal. 54: 1117–1123.

57- Moreno-Ramón, H., Quizembe, S. J., and Ibáñez-Asensio, S., 2014. Coffee husk mulch on soil erosion and runoff: experiences under rainfall simulation experiment, Solid Earth, 5: 851-862.

58- Monroe, C.D. and Kladivko, E.J., 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.

59- Nikkami, D., Ardakani, A.J., Movahedi, F.B. and Razmjoo, P., 2004. The Effects of Plough on Surface Runoff. http/www.fao/ag/ag, 7p.

60- Ramos, M. C., Nacci, S. and Pla, I., 2000. Soil sealing and its influence on erosion rates for some soils in the Mediterranean area, Soil Science, 165: 398-403.

61- Rieke-Zapp, D., Poesen, J. and Nearing, M.A., 2007. Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion, EarthSurface Processes and Landforms, 32: 1063-1076.

62- Romkens, M.J.M., Helming, K. and Prasad, S.N., 2001. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness and soil water regimes, Catena, 46: 103-123.

63- Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., Sharifi, E., Khaledi Darvishan, A., and Homaee, M., 2015. Scale effect on runoff and soil loss control using rice straw mulch under laboratory conditions, Solid Earth, 6: 1-8.

64- Tailong, G., Quanjiu, W.D. and Li, J.Z., 2010. Effect of surface stone cover on sediment and solute transport on the slope of fallow land in the semi-arid loess region of northwestern China, Journal of Soils and Sediments, 10: 1200-1208.

65- Toy, T.J., Foster, G.R. and Renard, K.G., 2002. Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control, New York: John Wiley and Sons, 338 p.

66- Valentin, C., 1994. Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West Africa, Catena, 23(1-2): 87-97.

67- Wang, X., Li, Z., Cai, C., Shi, Z., Xu, Q., Fu, Z. and Guo, Z., 2012. Effects of rock fragment cover on hydrological response and soil loss from Regosols in a semihumid environment in South-West China, Geomorphology, 151-152: 234-242.

68- Wu, W.D., Zheng, S.Z. and Lu, Z.H, 2000. Effect of plant roots on penetrability and anti-scouribility of red soil derived from Granite, Pedosphere, 10: 183-188.

69- Zartl, A.S., Klik, A. and Huang, C., 2001. Soil Detachment and Transport Processes from Interrill and Rill Areas, Physics and Chemistry of the Earth (B): 26: 25-26.

70- Zhang, G. S., Chan, K.Y., Oates, A., Heenan, D.P. and Huang, G.B., 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. Soil and Tillage Research Journal, 92: 122-128.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری

Extension and Development of Watershed Managment

Vol. 4, No. 12, Fall 2016 **سال چهارم- شماره ۱۲- بهار ۱۳۹۵**

Abstract

Generalization of the Results of Laboratory and Field Erosion Plots under Simulated Rainfall

A. Khaledi Darvishan[1], V. Homayounfar[2] and S. Hamidreza Sadeghi[3]

Received: 2015/07/12 Accepted: 2016/04/08

Different methods of measuring runoff and erosion may lead to different results, which are not necessarily related to specific effects of studied variable on erosion. Although runoff, erosion and sediment studies on the prepared soil in the experimental plots is inevitable because of many advantages, but the disturbance and transport of soil and prepared experimental plots reduces the reliability of these studies. All methods of preparing soils for use in laboratory experiments have one basic objective, namely, that the prepared soil sample should be as homogeneous as possible. Changes in soil during collecting, transport and preparation procedures including air drying, sieving and especially the effects of soil moisture during this process and finally, increasing the bulk density of the soil surface may affect the results of the runoff and erosion. A case study was therefore conducted to compare the surface runoff, sediment concentration and soil loss from the field plots with disturbed soil (prepared for experimental erosion plots) and undisturbed (natural soil). The results showed that the effect of soil disturbance on all variables including time to runoff, runoff volume and coefficient, sediment concentration and soil loss was significant ($p \leq 0.01$). Time to runoff, runoff volume and coefficient, sediment concentration and soil loss increased by 2.29, 3.45, 2.79, 2.83 and 11.50 times respectively after soil disturbance.

Keywords: Experimental plots, Rainfall simulator, Runoff coefficient, Soil disturbance.

1. Assistant Professor (Corresponding Author), Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran. Email: a.khaledi@modares.ac.ir

2. Former Master Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

3. Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.