دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

اثر آماده‌سازی خاک برای مطالعات آزمایشگاهی فرسایش بر رواناب سطحی

وفا همایون‌فر[۱]، عبدالواحد خالدی درویشان[۲] و سیدحمیدرضا صادقی[۳]

۱ و ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور (نویسنده مسوول: a.khaledi@modares.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۱

چکیده

اگرچه مطالعات آزمایشگاهی رواناب و فرسایش در مقیاس کرت به دلیل مزایای پژوهشی اجتناب‌ناپذیر هستند، اما انجام این مطالعات مستلزم دست‌خوردگی، انتقال به آزمایشگاه و آماده‌سازی خاک برای قرارگیری در کرت‌ها بوده و این اقدامات به نوبه خود به کاهش اعتبار نتایج منجر می‌شوند. با این‌حال علی‌رغم اهمیت این موضوع، تاکنون کم‌تر به ارزیابی اثرات آماده‌سازی خاک بر متغیرهای رواناب و رسوب پرداخته شده است. بنابراین پژوهش حاضر به منظور مقایسه رواناب سطحی در دو حالت خاک دست‌نخورده (شرایط طبیعی) و دست‌خورده (طی مراحل مختلف آماده‌سازی خاک برای مطالعات آزمایشگاهی) انجام گرفت. بدین منظور کرت‌های صحرایی با ابعاد ۱×۱ متر در دو حالت خاک دست‌نخورده و دست‌خورده در دامنه‌ای دارای خاک شنی- رسی- لومی با شیب ثابت ۱۸ درصد در حاشیه روستای کدیر در بالادست حوزه آبخیز آموزشی-پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس تحت بارندگی شبیه‌سازی شده با سه شدت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت قرار گرفت. سپس زمان شروع رواناب در خروجی هر رت ثبت و حجم و ضریب رواناب در پنج فاصله زمانی سه دقیقه پس از شروع رواناب اندازه‌گیری شد. بر مبنای نتایج حاصل از این پژوهش، میانگین زمان شروع، حجم و ضریب رواناب کرت در اثر دست‌خوردگی خاک به‌طور معنی‌دار ($p<0/01$) و به‌ترتیب ۲/۲۹، ۳/۴۵ و ۲/۷۹ برابر افزایش یافتند که این موضوع به وضوح نشان‌دهنده عدم امکان تعمیم نتایج آزمایشگاهی رواناب و فرسایش به شرایط طبیعی بدون لحاظ اثرات ناشی از دست‌خوردگی خاک است. نتایج هم‌چنین نشان داد که عوامل دست‌خوردگی خاک و شدت بارندگی اثر متقابل هم‌افزایی بر زمان شروع رواناب و اثر متقابل هم‌زدایی بر حجم و ضریب رواناب داشتند.

واژه‌های کلیدی: زمان شروع رواناب، دست‌خوردگی خاک، شبیه‌ساز باران، ضریب رواناب

مقدمه

حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت پایدار منابع آبخیز برای تأمین نیازهای جمعیت رو به رشد در دهه‌های اخیر از اولویت ویژه‌ای برخوردار است و در این میان مطالعه فرآیند ایجاد رواناب و فرسایش خاک و ارزیابی عوامل ایجاد و مهار آن از پیش‌نیازهای اصلی مدیریت صحیح منابع آب و خاک است. رواناب با سپری شدن مدت زمانی پس از بارندگی شکل گرفته و تا حد زیادی وابسته به ویژگی‌های بارندگی، پوشش گیاهی، خاک و شیب است. اندازه‌گیری رواناب در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی انجام می‌شود.

اندازه‌گیری مولفه‌های رواناب در کرت‌های آزمایشگاهی و صحرایی با استفاده از بارندگی‌های طبیعی و یا شبیه‌ساز باران قابل انجام است. استفاده از شبیه‌ساز باران برای اندازه‌گیری فرسایش دارای دو مزیت اصلی، توانایی کنترل شدت و مدت بارندگی و تکرارپذیر بودن بارندگی می‌باشد که به افزایش دقت داده‌ها و نیز امکان ارزیابی‌های مقایسه‌ای تیمارهای مختلف منجر خواهد شد (۳۸). یکی از روش‌های بررسی فرسایش و تولید رواناب، انتقال خاک به آزمایشگاه‌های شبیه‌ساز باران و انجام مطالعات روی خاک آماده‌سازی شده در کرت‌های آزمایشگاهی است.

اگرچه برای آماده‌سازی خاک جهت انجام پژوهش‌های آزمایشگاهی فرسایش خاک روش‌های متعددی پیشنهاد شده است (۳۷،۲۶،۱۸،۱۱،۱۰)، اما همه این روش‌ها یک هدف اساسی دارند و آن این‌که نمونه‌های خاک قرار داده شده در کرت آزمایشگاهی تا حد امکان همگن باشند (۱۰). از طرفی روش‌های مختلف اندازه‌گیری رواناب و فرسایش ممکن است به نتایج گوناگونی منجر شوند که لزوماً وابسته به اثرات خاص متغیر مورد مطالعه نیست (۷). به عبارت دیگر تغییرات ایجاد شده در خاک حین برداشت، حمل و مراحل مختلف آماده‌سازی آن شامل هوا خشک کردن و عبور دادن خاک از الک بر نتایج رواناب و فرسایش اثرگذار می‌باشد، بنابراین آگاهی از تغییرات میزان رواناب در خاک آماده‌سازی شده نسبت به خاک طبیعی و تحلیل آن برای افزایش امکان تعمیم نتایج آزمایشگاهی به شرایط طبیعی، امری اجتناب‌ناپذیر است.

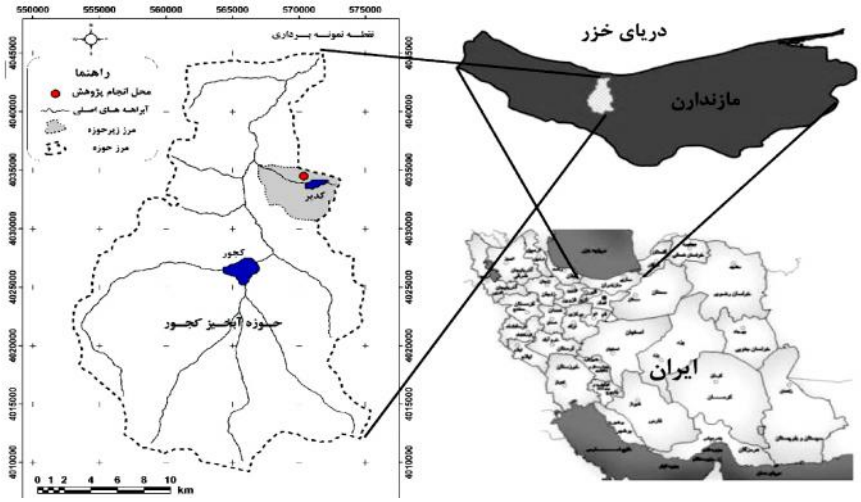
بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات محدودی به بررسی اثر تغییرات خاک بر فرآیندهای تولید رواناب و فرسایش عمدتاً در کاربری کشاورزی پرداخته‌اند که در تمامی آن‌ها اثر شخم و دیگر اقدامات خاک‌ورزی بر رواناب و یا هدررفت خاک (۳۵،۲۷،۱۷،۱۶،۱۲،۸) مدنظر قرار گرفته است. حال آن که تاکنون مطالعه‌ای در مورد مقایسه تغییرات مؤلفه‌های رواناب در خاک طبیعی و آماده‌سازی شده برای پژوهش‌های آزمایشگاهی رواناب و فرسایش انجام نگرفته است. از آنجاکه دست‌خوردگی خاک در اثر اقدامات خاک‌ورزی با هدف کشاورزی کاملاً متفاوت از مراحل آماده‌سازی خاک با هدف پژوهش‌های آزمایشگاهی رواناب و فرسایش است، لذا خلأ پژوهشی در این زمینه به خوبی احساس می‌شود. بنابر موارد گفته شده پژوهش حاضر درصدد اندازه‌گیری و تحلیل تغییرات مؤلفه‌های رواناب در اثر فرآیند آماده‌سازی خاک برای مطالعات آزمایشگاهی فرسایش برآمده است. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند به تعمیم دقیق‌تر نتایج مطالعات آزمایشگاهی فرسایش خاک به شرایط طبیعی منجر شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

محدوده اجرای پژوهش 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 جنوب‌غربی شهرستان نور در محدوده جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۷ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه و ۱۵ ثانیه عرض شمالی و در زون البرز مرکزی واقع شده است. شیب عمومی منطقه یک‌جانبه و ۱۸ درصد و جهت شیب دامنه جنوبی می‌باشد. موقعیت کلی محدوده اجرای پژوهش در حوزه آبخیز کجور، استان مازندارن و ایران در شکل یک نشان داده شده است. درصد نسبی رس، لای و ماسه در خاک دامنه مورد بررسی به‌ترتیب ۲۳، ۲۷ و۵۰ درصد و لذا بافت خاک منطقه مورد مطالعه شنی- رسی- لومی می‌باشد. مقدار ماد آلی خاک ۲/۱۶۷ و pH در حدود ۷/۹ و مقدار هدایت الکتریکی خاک برابر ۱۵۷/۶ دسی‌زیمنس بر میلی‌متر اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- موقعیت دامنه مورد مطالعه در حوزه آبخیز کجور استان مازندران
Figure 1. The location of the study slope in Kojour watershed, Mazandaran province

روش انجام پژوهش

نصب و آماده‌سازی کرت‌ها

به منظور اندازه‌گیری زمان شروع و تولید رواناب در خاک با شرایط طبیعی (دست‌نخورده) و آماده‌سازی شده در محل مورد مطالعه تعداد شش کرت صحرایی با ابعاد یک متر مربع و از جنس ورقه‌های فلزی گالوانیزه نصب شد و در قسمت انتهای پایین‌دست کرت‌ها مجاری و مخازن جمع‌آوری رواناب و رسوب تعبیه شد. از این تعداد سه کرت با شرایط طبیعی و بدون تغییر و دست‌خوردگی خاک و فقط با حذف پوشش گیاهی و سه کرت نیز با خاک آماده‌سازی شده در نظر گرفته شد.

به منظور ایجاد سه کرت با خاک آماده‌سازی شده به مقدار کافی از لایه ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک (۲۶،۲۳،۴) از محل استقرار کرت‌ها و یا در فاصله کمی از آن‌ها برداشت شد و سپس برای آماده‌سازی خاک از روش کوکال و سرکار (۲۶) به عنوان روش پایه همراه با برخی اصلاحات (استفاده از الک هشت میلی‌متری) با هدف حفظ ساختار خاک‌دانه‌ها و نمایش بهتری از شرایط مادری خاک (۹،۲) استفاده شد. در هر نوع دست‌خوردگی خاک و از جمله آماده‌سازی آن برای طرح‌های آزمایشگاهی فرسایش، درصدی از آسیب به ساختمان خاک اجتناب‌ناپذیر است. دلیل انتخاب الک با منافذ بزرگ‌تر نیز تلاش برای کاهش تخریب ساختمان و کاهش شکست خاک‌دانه‌ها بوده و اصولاً قطر منافذ الک باید با توجه به ویژگی‌های ساختمان خاک انتخاب شود.

بر این اساس آماده‌سازی خاک از طریق هوا خشک کردن آن تا حد رطوبت بهینه (۱۵) عبور از الک (۹،۱۱،۲۶،۳۶) و حذف بقایای گیاهی و سنگ‌ریزه‌ها (۲) انجام گرفت. در روند آماده‌سازی خاک به روشی که گفته شد وزن حجم ثابتی از خاک به حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد که در اثر حذف بقایای گیاهی و سنگ و سنگ‌ریزه است. هم‌چنین آماده‌سازی خاک کاهش تراکم و وزن مخصوص آن را در پی خواهد داشت. جدول ۱ مشخصات خاک قبل و بعد از آماده‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات خاک قبل و بعد از آماده‌سازی

Table 1. Soil characteristics before and after soil preparation

حالت خاک	مشخصه مورد بررسی	
	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ساختمان ظاهری
قبل از آماده‌سازی	۱/۶	دانه‌ای
بعد از آماده‌سازی	۱/۵	دانه‌ای

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]

لذا 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 (۲۹)، از لوله‌ای پی وی سی با قطر ده سانتی‌متر و پر شده با مخلوط ماسه و سیمان به‌عنوان غلطک استفاده شد. با توجه به نتایج پژوهش‌های قبلی، یکی از عوامل مؤثر در رواناب و هدررفت خاک، شرایط رطوبتی خاک قبل از شروع بارندگی است (۳۶،۲۲). 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 خاک 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 سه متر استفاده شد.

شکل ۲- تصاویر کرت‌ها در حالت خاک با شرایط طبیعی (بالا) و دست‌خورده (پایین)
Figure 2. Views of the plots in natural soil conditions (up) and disturbed soil (down)

اندازه‌گیری زمان شروع، حجم و ضریب رواناب

به منظور آگاهی از زمان شروع و تغییرات زمانی رواناب خروجی از کرت‌ها، زمان رسیدن اولین قطره رواناب به خروجی هر کرت ثبت شده و پس از آن رواناب خروجی از هر کرت در پنج فاصله زمانی سه دقیقه‌ای 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 شد. برای جمع‌آوری رواناب، در انتهای هر کرت گودالی حفر و در داخل آن یک ظرف مدرج 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 شد.

تحلیل آماری نتایج

اطلاعات حاصله از هر تیمار در کرت‌های دارای خاک طبیعی و آماده‌سازی شده در نسخه ۱۹ نرم‌افزار SPSS ذخیره و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آزمون‌های آماری تجزیه واریانس 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. ابتدا برای متغیرهای مختلف نرمال بودن داده‌ها مورد آزمون قرار که متغیرهای حجم رواناب و هدر رفت خاک نرمال نبود و برای نرمال کردن آن‌ها از تغییر شکل داده استفاده شد چرا که بر طبق منابع آماری، قدرت تشخیص اختلاف بین داده‌ها در آزمون‌های پارامتری بیشتر از آزمون‌های غیرپارامتری بوده و لذا استفاده از آزمون‌های پارامتری با داده‌های نرمال نتایج مناسب‌تری نسبت به آزمون‌های غیرپارامتری با داده‌های غیرنرمال دارد (۴۱). از طرف دیگر تغییر شکل داده‌های غیرنرمال به صورت لگاریتمی به نرمال شدن داده‌ها منجر شد. سپس برای بررسی اختلاف نتایج زمان شروع و حجم رواناب و هدررفت خاک در تیمارهای مختلف خاک و شدت بارندگی از آزمون آنالیز واریانس (۶) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به اندازه‌گیری زمان شروع و حجم رواناب در فواصل زمانی سه دقیقه 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 ۲ نشان داده شده‌اند.

همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، کوتاه‌ترین زمان تا شروع 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. یافته‌های مذکور پس از تحلیل آماری نتایج نیز تأیید شده و در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]

جدول ۲- نتایج میانگین زمان شروع، حجم و ضریب رواناب در سه تکرار از تیمارهای مورد بررسی
Table 2. The results of time to runoff, runoff volume and coefficient in three replications of studied treatments

شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)	تیمار خاک	زمان شروع رواناب (دقیقه)	حجم رواناب (لیتر)						ضریب رواناب (درصد)
			در زمان پس از شروع رواناب (دقیقه)					پس از توقف بارش	حجم کل رواناب	
			۳	۶	۹	۱۲	۱۵			
۴۰	دست‌نخورده	۸/۵۴	۰/۰۹۳	۰/۱۶۳	۰/۱۴۷	۰/۱۷۳	۰/۱۶۶	۰/۰۵۰	۱/۰۵۷	۶/۸۲
	دست‌خورده	۱۱/۳۶	۰/۱۴۴	۰/۳۹۹	۰/۷۱۱	۰/۸۶۶	۰/۹۴۸	۰/۱۵۱	۴/۲۹۱	۲۵/۰۸
۶۰	دست‌نخورده	۳/۹۹	۰/۲۱۲	۰/۴۱۴	۰/۵۱۵	۰/۶۲۲	۰/۷۲۸	۰/۱۲۸	۲/۶۱۸	۱۳/۹۲
	دست‌خورده	۱۵/۷۴	۰/۶۹۵	۱/۵۰۸	۲/۱۲۰	۲/۷۳۲	۲/۸۵۳	۰/۲۶۵	۱۰/۱۷۳	۳۴/۲۴
۸۰	دست‌نخورده	۲/۹۹	۰/۳۵۰	۰/۷۶۹	۰/۹۸۵	۱/۱۲۱	۱/۲۱۶	۰/۲۱۱	۶/۲۰۱	۲۵/۷۰
	دست‌خورده	۴/۷۳	۰/۸۹۸	۲/۱۰۵	۲/۶۱۸	۲/۵۷۹	۲/۷۳۰	۰/۲۹۱	۱۴/۹۶۰	۵۷/۱۷

نتایج تحلیل‌های آماری نشان (جدول ۳) داد که دست‌خوردگی خاک در سطح ۹۹ درصد بر زمان شروع رواناب به‌طور کلی اثر افزاینده معنی‌دار داشته است. دلیل افزایش زمان شروع رواناب در خاک دست‌خورده نسبت به خاک دست‌نخورده را می‌توان این‌گونه بیان کرد که در خاک دست‌خورده به دلیل الک کردن و انتخاب و تفکیک غیر عمدی اندازه‌های همگن خاک‌دانه‌ها، ابعاد بزرگ‌تری از فضاهای متخلل وجود دارد. در نتیجه در ابتدای بارندگی شدت نفوذ نسبت به خاک دست‌نخورده بالاتر است. از طرف دیگر با توجه به نتایج تحلیل‌های آماری مشاهده شد که شدت بارندگی بر زمان شروع رواناب اثر کاهنده معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد دارد (جدول ۳). به‌عبارت دیگر بر اساس نتایج پژوهش حاضر با افزایش شدت بارندگی زمان لازم برای شروع رواناب کاهش یافت که ضمن وجود انتظار این فرآیند با یافته‌های پژوهش‌های قبلی از جمله آرنائز و همکاران، فراسر و همکاران، هانگ و همکاران، خالدی درویشان، مارتینز موریلو و همکاران، شریفی و همکاران و هم‌چنین ویشمایر و اسمیت (۴۴،۴۰،۳۰،۲۲،۱۹،۱۴،۳) مطابقت دارد.

شکل ۳ میانگین تغییرات زمانی رواناب در سه تکرار از تیمارهای خاک دست‌نخورده و دست‌خورده در شدت‌های بارندگی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر بر ساعت را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات متغیرهای رواناب در اثر دست‌خوردگی خاک نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. افزایش زمان لازم برای شروع رواناب در اثر دست‌خوردگی خاک در هر سه شدت بارندگی مورد بررسی به صورت چشمی در شکل‌های ۳ و ۴ نیز قابل تشخیص است.

جدول ۳- اثرات شدت بارندگی و دست‌خوردگی خاک بر زمان شروع، حجم و ضریب رواناب
Table 3. The effects of rainfall intensity and soil disturbance on time to runoff, runoff volume and coefficient

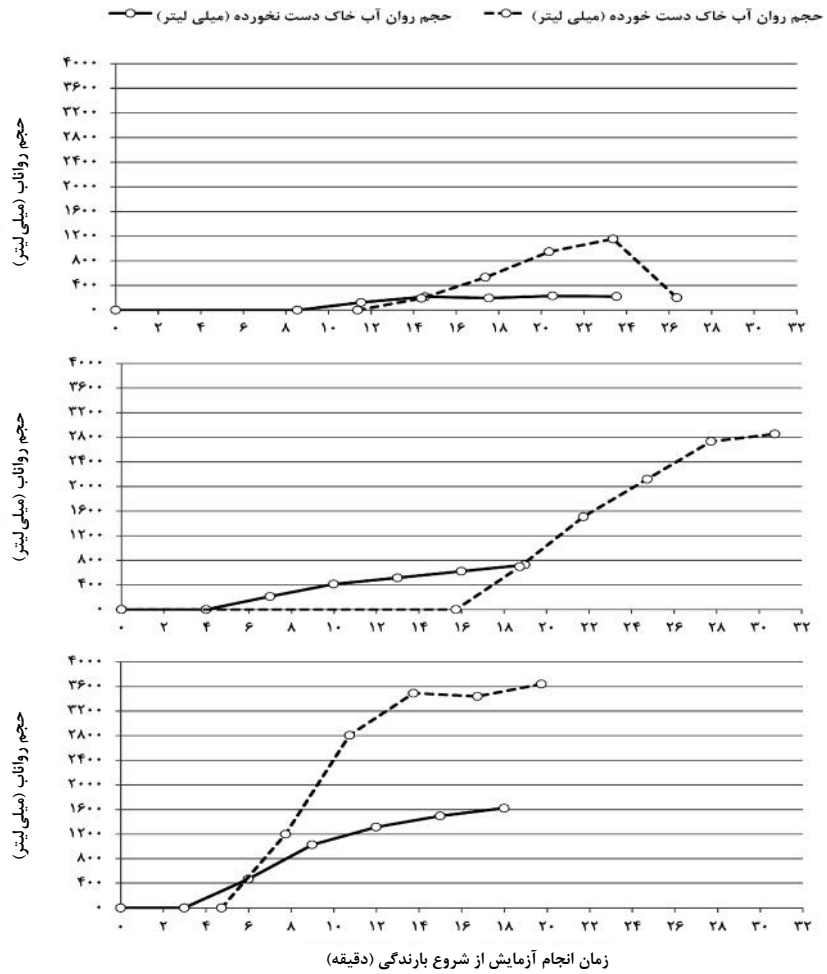
منبع	متغییر وابسته	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی داری
شدت بارندگی	زمان شروع رواناب (دقیقه)	۱۴۶/۴۷	۲	۷۳/۲۳	۱۸/۳۳	۰/۰۰۰**
	لگاریتم حجم رواناب (لیتر)	۱/۴۵		۰/۷۲	۹/۶۸	۰/۰۰۳**
	ضریب رواناب (درصد)	۲۰۳۳/۹۰		۱۰۱۶/۸۶	۶/۴۳	۰/۰۱۳*
تیمار خاک	زمان شروع رواناب (دقیقه)	۱۳۳/۱۷	۱	۱۳۳/۱۷	۳۳/۳۳	۰/۰۰۰**
	لگاریتم حجم رواناب (لیتر)	۱/۵۲		۱/۵۲	۲۰/۲۸	۰/۰۰۱**
	ضریب رواناب (درصد)	۲۴۵۴/۲۰		۲۴۵۴/۲۰	۱۵/۵۳	۰/۰۰۲**

* و **: علامت معنی‌داری به‌ترتیب در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد

نتایج ارائه شده مربوط به حجم رواناب در جدول ۲ و هم‌چنین شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که در هر سه شدت بارندگی مورد بررسی، حجم رواناب در خاک دست‌خورده نسبت به خاک دست‌نخورده بیش‌تر بوده است. هم‌چنین نتایج نشان داد که نسبت افزایش حجم رواناب در اثر دست‌خوردگی خاک و به عبارت دیگر اختلاف حجم رواناب در دو خاک دست‌خورده و دست‌نخورده، با افزایش شدت بارندگی کم‌تر شده است. این یافته نشان‌دهنده غالبیت اثر شدت بارندگی بر حجم و ضریب رواناب به ویژه در مقادیر بالا نسبت به ویژگی‌های خاک است و به عبارت دیگر با افزایش شدت‌های بارندگی، اثرپذیری حجم و ضریب رواناب از شدت بارندگی بیش‌تر از ویژگی‌های خاک است.

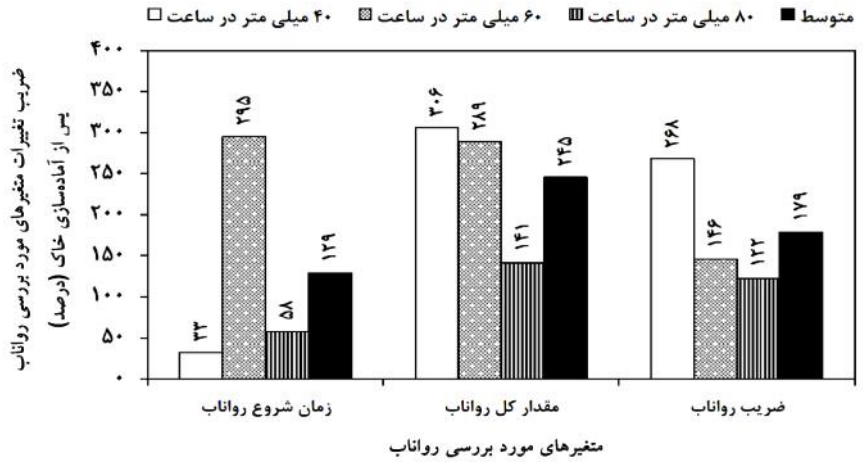
هم‌چنین با توجه به شکل‌های ۳ و ۴، حجم رواناب در اثر دست‌خوردگی خاک در شدت‌های بارندگی ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت به ترتیب حدود ۳۰۶، ۲۸۹ و ۱۴۱ درصد افزایش یافته است. به‌نظر می‌رسد با افزایش شدت بارندگی اثر این عامل در تقابل با عامل دست‌خوردگی خاک، غالبیت یافته است. در شدت‌های بارندگی کم‌تر به دلیل این‌که بارندگی زمان بیش‌تری برای نفوذ دارد؛ بنابراین بیش‌تر تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد در حالی که در شدت‌های بالاتر بیش‌تر متغیرهای تحت تاثیر شدت بارندگی قرار می‌گیرد و به عبارتی شدت بارندگی بر ویژگی‌های خاک غالبیت پیدا می‌کند. در این زمینه غالبیت اثر عامل شدت بارندگی بر تیمارهای مختلف توسط دیگر پژوهش‌گران تأکید شده است. از آن جمله زارتل و همکاران (۴۶) اثر بارندگی در شدت‌های بالا را بیش‌تر از اثر شیب، هاوکه و همکاران (۱۸) و خالدی درویشان (۲۲) اثر بارندگی در شدت‌های بالا را بیش‌تر از رطوبت پیشین خاک و شریفی و همکاران (۴۰) اثر ویژگی‌های بارندگی را بیش‌تر از ویژگی‌های خاک دانسته‌اند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]



شکل ۳- میانگین تغییرات زمانی رواناب در سه تکرار از تیمارهای مورد بررسی در شدت بارندگی ۴۰ (بالا)، ۶۰ (وسط) و ۸۰ (پایین) میلی‌متر در ساعت

Figure 3. The average temporal variations of runoff in three replications of studied treatments in rainfall intensities of 40 (up), 60 (middle) and 80 (down) mm h^{-1}



شکل ۴- ضریب تغییرات (درصد) متغیرهای رواناب در اثر آماده‌سازی خاک برای مطالعات آزمایشگاهی فرسایش خاک

Figure 4. Variation coefficient (%) of runoff variables due to the soil preparation for laboratory soil erosion studies

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]

نتایج نشان داد که دست‌خوردگی خاک بر حجم رواناب در سطح اعتماد ۹۹ درصد اثر معنی‌دار دارد. 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 فیگویردو و پوزن، والنتین و هم‌چنین وانگ و همکاران (۴۳،۴۲،۱۳) مبنی بر کاهش رواناب با افزایش درصد سنگ‌ریزه هم‌خوانی دارد. هم‌چنین جمعه و همکاران (۲۰) بیان می‌کند که قطعات خردشده سنگ ساختار عمومی خاک را از انرژی 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 جوزف و همکاران، لی و زو و هم‌چنین وو و همکاران (۴۵،۲۸،۲۱) مبنی بر اثر سامانه ریشه‌ای بر افزایش نفوذ و به تبع آن کاهش رواناب هم‌سو است. شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند 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 دست-نخورده است (۳۲)، 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. از دلایل افزایش پاشمان در خاک دست‌خورده می‌توان به حذف سنگ‌ریزه‌های سطحی اشاره کرد. نتایج جمعه و همکاران (۲۰) مبنی بر حفاظت ساختار عمومی خاک در برابر انرژی جنبشی قطرات باران توسط قطعات سنگ‌ریزه نیز مؤید همین نکته می‌باشد.

با توجه به نتایج تحلیل‌های آماری مشاهده شد که شدت بارندگی نیز بر حجم رواناب اثر افزاینده معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد داشته است. این یافته علاوه بر تطابق با منطق علمی حاکم بر پدیده تولید رواناب، با نتایج فراسر و همکاران، هانگ و همکاران، خالدی درویشان، شریفی و همکاران و هم‌چنین ویشمایر و اسمیت (۴۴،۴۰،۲۲،۱۹،۱۴) مبنی بر کاهش نفوذ و افزایش رواناب با افزایش شدت بارندگی هم‌سو است.

هم‌چنین با توجه به جدول یک 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 ۹۵ درصد داشته است. هم‌چنین با افزایش شدت بارندگی از ۴۰ به ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر در ساعت ضریب رواناب در هر دو خاک دست‌خورده و دست‌نخورده افزایش پیدا کرده است. لذا شدت بارندگی بر ضریب رواناب اثر معنی‌دار افزاینده در سطح ۹۵ درصد داشته است که با نتایج پژوهش‌های قبلی مبنی بر اثر مستقیم شدت بارندگی بر ضریب رواناب از جمله ابو-عواد، آرنائز و همکاران، هاوکه و همکاران، مارتینز-موریلو و همکاران، مکینتایر، اشمیت و هم‌چنین شریفی و همکاران (۴۰،۳۹،۳۳،۳۰،۱۸،۱) مطابقت دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که در شدت‌های بارندگی بالاتر به‌دلیل افزایش پاشمان، تخریب لایه سطحی خاک، تشکیل سله و در نهایت کاهش نفوذ، سهم بیش‌تری از بارندگی به رواناب تبدیل می‌شود.

نتایج هم‌چنین نشان داد که عوامل دست‌خوردگی خاک و شدت بارندگی اثر متقابل هم‌افزایی بر زمان شروع رواناب و اثر متقابل هم‌زدایی بر حجم و ضریب رواناب داشتند. با افزایش شدت بارندگی اثر دست‌خوردگی خاک بر زمان شروع رواناب بیش‌تر شده در حالی‌که این اثر بر دیگر مؤلفه‌ها شامل حجم و ضریب رواناب کم‌تر شده است. لذا می‌توان گفت مقادیر بالای شدت بارندگی به عنوان یک عامل غالب در مطالعات رواناب و فرسایش عمل نموده و اثر دیگر عوامل را کم‌رنگ‌تر و نامحسوس جلوه می‌دهد. به بیان دیگر به نظر می‌رسد در شدت‌های کم بارندگی، فرآیند تولید رواناب و فرسایش بیش‌تر تابع ویژگی‌های خاک است در حالی‌که در شدت‌های زیاد این فرآیند بیش‌تر تابع ویژگی‌های بارندگی به ویژه شدت آن می‌باشد. بدیهی است که تبدیل این یافته به یک اصل کلی و قطعی نیازمند انجام پژوهش‌های تکمیلی در خصوص اثر متقابل دیگر ویژگی‌های خاک و ویژگی‌های بارندگی بر مراحل مختلف فرآیند تولید رواناب و فرسایش خاک است. هم‌چنین میزان اختلاف نتایج خاک طبیعی و دست‌خورده ممکن است با تغییر خاک و یا روش آماده‌سازی آن، تغییر کند. لذا پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مشابه در دیگر خاک‌ها و با استفاده از دیگر روش‌های آماده‌سازی نیز انجام شود. از آنجایی‌که تخریب سطح خاک در مرحله غلطک زدن بسیار شدید است لذا پیشنهاد می‌شود امکان حذف این مرحله و جایگزینی آن با زمان‌دهی به خاک برای بازیابی ساختار نسبی نیز مورد بررسی قرار گیرد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]

منابع

1. Abu-Awwad, A.M. 1997. Water Infiltration and Redistribution within Soils Affected by a Surface Crust. Journal of Arid Environments, 37: 231-242.
2. Agassi, M. and J.M. Bradford. 1999. Methodologies for Interrill Soil Erosion Studies. Soil and Tillage Research, 49: 277-287.
3. Arnaez, J. T. Lasanta, P. Ruiz-Flano and L. Ortigosa. 2007. Factors Affecting Runoff and Erosion under Simulated Rainfall in Mediterranean Vineyards. Soil and Tillage Research, 93: 324-334.
4. Assouline, S. and M. Ben-Hur. 2006. Effects of Rainfall Intensity and Slope Gradient on the Dynamics of Interrill Erosion during Soil Surface Sealing. Catena, 66: 211-220.
5. Barthes, B. and E. Roose. 2002. Aggregate Stability as an Indicator of Soil Susceptibility to Runoff and Erosion; Validation at Several Levels. Catena, 47: 133-149.
6. Bihamta, M.R. and M.A. Zare Chahoki. 2011. Statistics Principles in Natural Resources, 2nd Edn., Tehran University Press, Iran. 300 pp (In Persian).
7. Boardman, J., J.A. Dearing and I.D.L. Foster. 1990. Soil Erosion Studies, Some Assessments. In Soil Erosion on Agricultural Land. J. Boardman, I.D.L. Foster and J.A. Dearing (eds.), Wiley, New York. 1990: 659-672.
8. 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.
9. Defersha, M.B., S. Quraishi and A.M. Mellese. 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.
10. Ekwue, E.I. 1991. The Effects of Soil Organic Matter Content, Rainfall Duration and Aggregate Size on Soil Detachment. Soil Technology, 4: 197-207.
11. 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: 112-118.
12. Erkossa, T., K. Stahr and T. Gaiser. 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.
13. Figueiredo, T. and J. Poesen. 1998. Effects of Surface Rock Fragment Characteristics on Interrill Runoff and Erosion of a Silty Loam soil. Soil and Tillage Research, 46: 81-95.
14. Fraser, I., T.R. Harrod and P.M. Haygarth. 1999. The Effect of Rainfall Intensity on Soil Erosion and Particulate Phosphorus Transfer from Arable Soils. Water Science and Technology, 39: 41-45.
15. Fox, D.M. and R.B. Bryan. 1999. The Relationship of Soil loss by Interrill Erosion to Slope Gradient. Catena, 38: 211-222.
16. 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.
17. Harold, L.B., A.G. Mccall and F.G. Bell. 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 pp.
18. Hawke, R.M., A.G. Price and R.B. Bryan. 2006. The effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity, a laboratory investigation. Catena, 65: 237-246.
19. Huang, J., P.T. Wu and X.N. Zhao. 2010. Impact of Slope Biological Regulated Measures on Soil Water Infiltration. Transactions of the CSAE, 26: 29-37.
20. 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.
21. 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.
22. Khaledi Darvishan, A. 2013. Simulation of Runoff Generation and Soil Erosion Processes in Different Antecedent Soil Moisture Contents. Ph.D. Thesis, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University. 138 pp (In Persian).
23. Khaledi Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, M. Homaee and M. Arabkhedri. 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, 2012: 364-368.
24. Khaledi Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, M. Homaee and M. Arabkhdri. 2014. Measuring Sheet Erosion Using Synthetic Color-Contrast Aggregates. Hydrological Processes, 25: 4463-4471.
25. Kukal, S.S. and M. Sarkar. 2010. Splash Erosion and Infiltration in Relation to Mulching and Polyviny1 Alcohol Application in Semi-Arid Tropics. Archives of Agronomy and Soil Science, 56: 697-705.
26. 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: 87-93.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]

27. Layon, T.L., H.O. Buckman and N.C. Brady. 1952. The Nature and Properties of Soil. 12th ed., Mac Millan Co., New York, 591 pp.
28. Li, Y. and X.Q. Xu. 1992. The Intensifying Effect of Plant Roots on the Soil Antiscouribility on the Loess Plateau. Science China, Series B, 3: 254-259.
29. Luk, S.H. 1985. Effect of Antecedent Soil Moisture Content on Rainwash Erosion. Catena, 12: 129-139.
30. Martínez-Murillo, J.F., E. Nadal-Romero, D. Regüés, A. Cerdà and J. Poesen. 2013. Soil Erosion and Hydrology of the Western Mediterranean Badlands throughout Rainfall Simulation Experiments: A Review. Catena, 106: 101-112.
31. Martinez-Zavala, L., A. Jordan Lopez and N. Bellinfante. 2008. Seasonal Variability of Runoff and Soil Loss on Forest Road Backslopes under Simulated Rainfall. Catena, 74: 73-79.
32. Mazaheri, M.R., M. Mahmudabadi and Z. Rashidi. 2012. Infiltration Comparison at Two Natural and Laboratory Conditions with Emphasis on Soil Disturbance. 11th National Seminar on Irrigation and Evapotranspiration, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. 7-10 January 2012, 9 pp (In Persian).
33. Mcintyre, D.S. 1958. Permeability Measurements of Soil Crusts Formed by Raindrop Impact. Soil Science, 85: 85-189.
34. Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation, Blackwell, Oxford, 316 pp.
35. Nikkami, D., A.J. Ardakani, F.B. Movahedi and P. Razmjoo. 2004. The Effects of Plough on Surface Runoff. FAO, 7 pp.
36. 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: 445-455 (In Persian).
37. Romkens, M.J.M., K. Helming and S.N. Prasad. 2001. Soil Erosion under Different Rainfall Intensities, Surface Roughness and Soil Water Regimes. Catena, 46: 103-123.
38. Sadeghi, S.H.R. 2011. Study and Measurement of Water Erosion. Tarbiat Modares University Press, 200 pp (In Persian).
39. Schmidt, J. 2006. Effects of Soil Slaking and Sealing on Infiltration-Experiments and Model Approach. In: Proceedings of the 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2006: 29-32.
40. Sharifi, F.A.S., Sh. Safarpour, S.A. Ayoubzadeh and J. Vakilpour. 2005. An Investigation of Factors Affecting Runoff Generation in Arid and Semi-Arid Area Using Simulation and Rainfall Runoff Data. Iranian Journal of Natural Resources, 57: 33-47 (In Persian).
41. Townend, J. 2002. Practical Statistics for Environmental and Biological scientists, Chichester: John Wiley and Sons, 286 pp.
42. Valentin, C. 1994. Surface Sealing as Affected by Various Rock Fragment Covers in West Africa. Catena, 23: 87-97.
43. Wang, X., Z. Li, C. Cai, Z. Shi, Q. Xu, Z. Fu and Z. Guo. 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.
44. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agricultural Handbook No. 537. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 58 pp.
45. Wu, W.D., S.Z. Zheng and Z.H. Lu. 2000. Effect of Plant Roots on Penetrability and Anti-Scouribility of Red Soil Derived from Granite. Pedosphere, 10: 183-188.
46. Zartl, A.S., A. Klik and C. Huang. 2001. Soil Detachment and Transport Processes from Interrill and Rill Areas. Physics and Chemistry of the Earth (B), 26: 25-26.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]

Effects of Soil Preparation for Laboratorial Erosion Studies on Surface Runoff

Vafa Homauonfar[1], Abdolvahed Khaledi Darvishan[2] and Seyyed Hamid Reza Sadeghi[3]

1 and 3- M.Sc. Student and Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University
2- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University
(Corresponding author: a.khaledi@modares.ac.ir)
Received: July 10, 2014 Accepted: June 1, 2015

Abstract

Despite of soil disturbance, transfer to the laboratory and preparation inside the plots which themselves lead to lower validity of the results, the experimental study on runoff and erosion at plot scale with many research advantages are inevitable. However, there has been less attention to evaluate the effects of soil preparation on runoff and sediment variables. The present study was therefore conducted to compare surface runoff in two undisturbed (natural) and disturbed (during various steps of preparing soil for laboratorial studies) soil conditions. To achieve the study purposes, 1×1 m-plots were considered in a slope with sandy-clay-loam soil and gradient of 18% under simulated rainfall with three intensities of 40, 60 and 80 mm h^{-1}. The study slope was located in the vicinity of Kodir village in upper Educational and Research Forest Watershed of Tarbiat Modares University. The time-to-runoff in the output of each plot was recorded and the runoff volume and coefficient at five three-minute intervals was subsequently measured. The results showed that the average time-to-runoff, runoff volume and coefficient were significantly ($p \leq 0.01$) increased 2.29, 3.45 and 2.79 times, respectively due to the soil disturbance which clearly indicated the impossibility generalization of laboratorial runoff and erosion results to natural conditions without considering the effects of soil disturbance. The results showed the synergistic interaction of soil disturbance and rainfall intensity on time-to-runoff and antagonistic interaction on runoff volume and coefficient.

Keywords: Rainfall Simulator, Runoff Coefficient, Soil Disturbance, Time-to-Runoff

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.6.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.68]