دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

اثر مدت بارندگی بر پاسخ هیدرولوژیکی کرت‌های صحرایی تحت شبیه‌سازی باران

آزاده کاتبی‌کرد[۱]، عبدالواحد خالدی‌درویشان[۲] و سیدجلیل علوی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، (نویسنده مسوول: a.khaledi@modares.ac.ir)
۳- استادیار، گروه مهندسی جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت : ۹۴/۹/۱۶ تاریخ پذیرش:۹۵/۱۰/۲۶

چکیده

با افزایش شدت بارندگی، رواناب که عاملی بسیار مهم در فرآیند فرسایش خاک محسوب می‌شود تشکیل خواهد شد. در ایجاد پدیده رواناب عواملی نظیر شرایط اقلیمی، خصوصیات هندسی حوزه آبخیز، سازندهای زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی تاثیرگذار هستند. اگرچه در شرایط کرت‌های تحت شبیه‌سازی باران زمان انجام آزمایش محدودتر و طبعا اثر مدت بارندگی بر نتایج ملموس‌تر است، اما تاکنون این اثر کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. لذا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر مدت بارندگی در شش سطح ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه و هریک با سه تکرار تحت شدت باران ثابت ٤٠ میلی‌متر بر ساعت بر مولفه‌های رواناب شامل حجم، ضریب و زمان خاتمه رواناب و همچنین غلظت رسوب انجام شد. کرت‌های صحرایی یک مترمربعی تحت شبیه‌ساز باران واقع در دامنه‌ای از ارتفاعات شرقی حوزه آبخیز کجور برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر انتخاب شدند. نتایج نشان داد که با افزایش مدت بارندگی مولفه‌های رواناب به‌طور معنی‌دار افزایش یافتند اما نرخ افزایش در سطوح مختلف مدت بارندگی یکسان نبوده است. به عبارت دیگر در شرایط پژوهش حاضر، نقطه عطف پاسخ هیدرولوژیکی کرت به مدت بارندگی مابین ۲۵ تا ۳۰ دقیقه اتفاق افتاد، جایی‌که شیب تغییرات مولفه‌های رواناب با مدت بارندگی به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد که با افزایش مدت بارندگی غلظت رسوب کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز کجور، رسوب، رواناب، کرت صحرایی، مدت بارندگی، نفوذ

مقدمه

هنگامی که شدت نفوذ آب در خاک کمتر از شدت بارندگی باشد، بخشی از بارندگی در سطح خاک جمع می‌شود و رواناب را به‌وجود می‌آورد. رواناب ایجاد شده در جهت شیب شروع به حرکت می‌کند (۳۴). رواناب فرآیند مهمی است که باعث هدررفت خاک و عناصر غذایی آن می‌شود و کاهش حاصل‌خیزی خاک را به‌دنبال دارد (۲۸). بنابراین بررسی رواناب و عوامل موثر بر آن به‌عنوان یکی از فرآیندهای اصلی فرسایش خاک، امری اجتناب‌ناپذیر است. ازجمله عوامل تاثیرگذار بر رواناب عوامل آب و هوایی، عوامل مربوط به مورفولوژی حوزه آبخیز، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی و هم‌چنین کاربری منطقه می‌باشند. دما، تبخیر و بارندگی از جمله عوامل مهم آب و هوایی هستند که بر رواناب و در نتیجه مقدار رسوبی که قادر به حمل آن خواهد بود موثرند. از بین این عوامل بارندگی عامل بسیار مهمی است (۲). بدیهی است در صورتی که بارندگی رخ ندهد روانابی به‌وجود نخواهد آمد. مدت بارندگی، شدت و فراوانی آن از ویژگی‌های مهم تاثیرگذار بر رواناب و رسوب می‌باشند. اگرچه با افزایش شدت بارندگی، قطرات باران بزرگ‌تر و در نتیجه انرژی جنبشی آن‌ها نیز بیش‌تر می‌شود و نهایتاً قدرت بیش‌تری برای تخریب خاک‌دانه‌ها خواهند داشت؛ اما اثر شدت بارندگی در تشدید فرسایش متاثر از مدت بارندگی می‌باشد (۳۳). در مطالعات مختلف در زمینه اثر مدت بارندگی بر هر یک از فرآیندهای ایجاد رواناب و فرسایش انجام شده است. به عنوان مثال اثر مدت بارندگی بر پاشمان (۱۵،۱،۵)، حجم و ضریب رواناب (۱۳)، جریان نخاله‌ای یا ذره‌دار (۷،۸،۹،۱۹،۴۰) و هدررفت خاک (۴) بررسی شده است. اما در مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی فرسایش با استفاده از شبیه‌ساز باران مدت زمان آزمایش بسیار کوتاه بوده و لذا انتخاب و اندازه‌گیری صحیح مدت بارندگی اهمیت بیشتری دارد. هم‌چنین انجام مطالعات مربوط به رواناب در مقیاس کرت‌های کوچک به مدت انجام آزمایش بسیار حساس می‌باشد (۲۳) و تغییر کوچکی در مدت بارندگی منجر به تغییرات معنی‌دار در نتایج آزمایش می‌شود. علی‌رغم اهمیت اثر مدت بارندگی بر رواناب، مطالعات محدودی در چند دهه اخیر در این زمینه انجام شده است. در این راستا دانجو و همکاران (۱۲) در اسپانیا با استفاده از کرت‌های کوچک یک مترمربعی به بررسی نقش کاربری اراضی بر رواناب و رسوب پرداختند. نتایج نشان داد که همبستگی قوی بین بارندگی و رواناب وجود دارد. هم‌چنین فانگ و همکاران (۱۸) به بررسی اثر رژیم بارندگی و شیب بر رواناب در خندق‌های لسی فلات لس در چین پرداختند. ایشان سه رژیم مختلف بارندگی را شدت‌ها و مدت‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده اثر معنی‌دار شدت و مدت بارندگی بر مقدار و ضریب رواناب بود. بطوری‌که در مدت‌های بیش‌تر بارندگی افزایش رطوبت و تشکیل سله در سطح خاک ضریب و حجم رواناب را بالا می‌برد. اکوا و راموتار (۱۶) به بررسی اثر حضور ذغال‌سنگ نارس در خاک، نوع خاک و تراکم خاک بر رابطه بین هدررفت خاک و مدت بارندگی در شرایط آزمایشگاهی و با شبیه‌سازی باران پرداختند. در این پژوهش چهار سطح مدت بارندگی ۵،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.49]

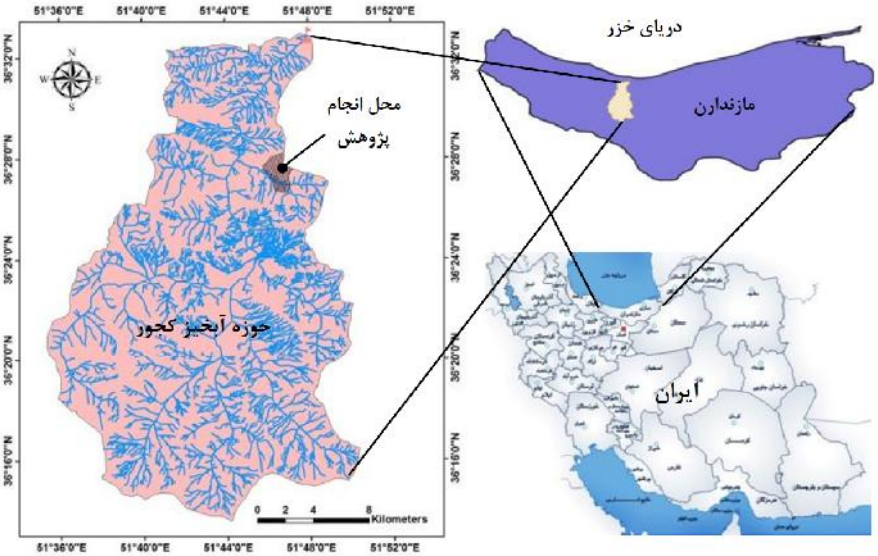
۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه درنظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای مختلف خاک با افزایش مدت بارندگی میزان هدررفت خاک افزایش یافته‌است. کیهاو و همکاران (۳۱) به بررسی اثر ویژگی‌های بارندگی (شدت، مدت، جهت حرکت و موقعیت بارندگی نسبت به کرت و نیز تغییر فواصل بدون بارندگی) بر تولید رواناب و رسوب در شرایط آزمایشگاهی پرداختند. تفاوت معنی‌دار در مؤلفه‌های آب‌نمود، رسوب‌نمود، رطوبت خاک و عمق نفوذ در شرایط مختلف بارندگی مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزایش اوج رواناب، اوج رسوب نیز افزایش و سپس کاهش یافته و این کاهش رسوب ناشی از تغییر حالت فرسایش با محدودیت حمل به فرسایش با محدودیت جدایش بوده است. بر اساس نتایج این پژوهش، مدت زمان بارندگی عامل مهمی در ترک‌خوردگی سطح خاک بوده است. در داخل کشور نیز آرمین و همکاران (۳) به تعیین اثر شیب دامنه، تداوم باران و بافت خاک در مقدار فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران مدل FEL3 پرداختند. آزمایش‌های این پژوهش در ۳ شیب مختلف ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد و در دو نوع بافت خاک انجام شد. هر آزمایش با شدت بارندگی ۶۵ میلی‌متر بر ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه به‌طول انجامید. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌دار بین مقادیر حجم رواناب در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای ابتدایی، میانی و پایانی تداوم باران وجود دارد.

جمع‌بندی بررسی مستندات قابل دسترس در زمینه‌ی پژوهش مورد مطالعه نشان می‌دهد که علی‌رغم اهمیت اثر مدت بارندگی بر رواناب اما پژوهش‌های اندکی در این زمینه انجام شده است. با در نظر گرفتن این مهم که بررسی عوامل مؤثر بر رواناب در سطوح کوچک‌تر لزوم توجه به اثر مقیاس زمانی را تشدید می‌کند؛ لذا بررسی دقیق اثر مدت زمان بارندگی بر مولفه‌های رواناب در مقیاس کرت بسیار مهم‌تر جلوه می‌کند. پژوهش حاضر با ثابت در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک و هم‌چنین شدت بارندگی، تنها اثر مدت بارندگی را در کرت‌های صحرایی و با استفاده از شبیه‌ساز باران مورد بررسی قرار داده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در دامنه‌ای با پوشش مرتعی و شیب و جهت یکنواخت جنوبی در حاشیه روستای کدیر واقع در ارتفاعات شرقی حوزه آبخیز آموزشی پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس (حوزه آبخیز کجور) انجام شد. حوزه آبخیز مذکور با مساحت ۵۰۰۰۰ هکتار در جنوب شرقی شهرستان نوشهر در دامنه‌های شمالی البرز در طول جغرافیایی "۵۱°۴۶'۲۴ تا "۵۱°۴۶'۲۷ و عرض جغرافیایی "۳۶°۲۷'۱۴ تا "۳۶°۲۷'۱۷ واقع شده است. بافت خاک لومی-رسی، عمق خاک عموماً کم‌تر از یک متر، میانگین وزن مخصوص ظاهری لایه سطحی خاک ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. محل انجام پژوهش به‌گونه‌ای انتخاب شد که نشان‌دهنده شرایط متوسط حوزه مورد مطالعه باشد. شکل ۱ موقعیت محل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت محدوده اجرای پژوهش در حوزه آبخیز کجور، استان مازندران، ایران (۱۷)
Figure 1. Location of study area in Kojour watershed, Mazandaran province, Iran (17)

روش انجام کار

این پژوهش در کرت‌های صحرایی محصور شده با ورقه‌های گالوانیزه و سطح یک مترمربع (ابعاد ۱×۱ متر) و با شیب یکنواخت و جهت ثابت متناسب با شرایط متوسط منطقه مورد بررسی انجام گرفت. پس از نصب کرت، پوشش گیاهی تا حد امکان با استفاده از قیچی از محل یقه در سطح خاک

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.49]

قطع و برداشته شد. در مرحله بعد محل قرارگیری ظروف جمع‌آوری رواناب و رسوب در خروجی کرت تعبیه گردید. به‌منظور شبیه‌سازی باران در پژوهش حاضر از شبیه‌ساز باران صحرایی قابل حمل دارای یک نازل تحت فشار BEX: 3/8 S24W با ارتفاع ریزش ۲/۵ متر برای شبیه‌سازی باران استفاده شد (شکل ۲). برای تعیین سطوح مختلف تیمار مورد آزمایش با توجه به آمار باران‌نگاری ایستگاه سینوپتیک کجور (نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک موجود در منطقه)، شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت که با توجه به منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی دارای تداوم ۳۰ دقیقه و متناسب با دوره بازگشت ۲۰ سال است انتخاب شد. یک شدت بارندگی متناسب با مدت مشخص و دوره بازگشتی معین با استفاده از منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی نشان‌دهنده شدتی از بارندگی است که در آن دوره بازگشت، امکان وقوع با مدت زمان برابر یا کم‌تر از مدت متناظر در منحنی‌ها را دارد. لذا در پژوهش حاضر تلاش شد انتخاب سطوح مدت بارندگی به‌گونه‌ای باشد که هم محدودیت کم‌تر یا مساوی با ۳۰ دقیقه برای شدت بارندگی ۴۰ میلی‌متر در ساعت را پوشش دهد و هم تعداد سطوح به‌گونه‌ای باشد که امکان تحلیل تغییرات فرآیندهای مورد بررسی رواناب و فرسایش در مدت‌های مختلف فراهم شود. باتوجه به توضیحات داده شده در نهایت شش سطح مدت بارندگی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر در ساعت برای نیل به اهداف پژوهش انتخاب شد. بنابراین در مجموع شش تیمار با سه تکرار برابر با ۱۸ کرت داده مورد بررسی قرار گرفت. پس از نصب کرت و استقرار شبیه‌ساز باران با شروع بارندگی در حین اجرای هر یک از تیمارها، زمان رسیدن اولین قطره رواناب به خروجی کرت به عنوان زمان شروع رواناب با استفاده از زمان‌سنج ثبت شده و پس از آن مقادیر رواناب در مخزن انتهایی کرت‌ها با توجه به مدت زمان بارندگی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه) در فواصل زمانی پنج دقیقه پس از شروع رواناب و نیز پس از خاتمه بارندگی تا قطع شدن رواناب جداگانه جمع‌آوری و اندازه‌گیری گردید. از هر نمونه پس از اختلاط کامل، بلافاصله حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر جدا و به داخل ظروف دیگری که با مشخصات کامل تیمار و تکرار کدگذاری شده بودند انتقال داده شده و برای محاسبه غلظت رسوب (۲۲) به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. مجموع رواناب خروجی پس از قطع بارندگی نیز به‌صورت یک‌بار در انتهای هر آزمایش اندازه‌گیری شد. حجم بارندگی در سطح کرت با استفاده از یک ظرف برای اندازه‌گیری شدت بارندگی در حین هریک از آزمایش‌ها و در نظر گرفتن سطح کرت و زمان بارندگی محاسبه گردید. در هر کرت ضریب رواناب با در نظر گرفتن حجم کل رواناب خروجی و محاسبه حجم کل بارندگی از طریق شدت و مدت زمان بارندگی، اندازه‌گیری گردید.

در آزمایشگاه برای تعیین غلظت رسوب معلق از روش تخلیه آب استفاده شد (۳۰،۳۹). بدین‌صورت که نمونه رواناب و رسوب را درون ظرف‌های نشانه‌گذاری شده با مشخصات کامل تیمار و تکرار به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده و پس از تخلیه آب، رسوب ته‌نشین شده به داخل ظرف‌های کوچک آلومنیومی با وزن مشخص، ریخته و سپس جهت خشک شدن در کوره با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند (۳۰). با توزین نمونه‌های رسوب خشک شده و کسر وزن ظروف آلومنیومی، وزن رسوبات در حجم مشخص رواناب محاسبه شد. در نهایت پس از تناسب حجم و واحدها در هر یک از نمونه‌ها، غلظت رسوب به صورت گرم در لیتر محاسبه گردید.

پس از اجرای سه تکرار برای هر یک از تیمارها در نهایت برای انجام تحلیل آماری نتایج، داده‌های حاصل از مولفه‌های رواناب در ۶ تیمار مدت بارندگی و هرکدام با ۳ تکرار در نسخه ۲۱ نرم‌افزار SPSS ذخیره شد. سپس نرمال‌بودن داده‌ها به این دلیل که تعداد داده‌ها کم‌تر از ۵۰ عدد بود (۳۲)، با استفاده از آزمون شاپیروویلک کنترل شد. پس از آن آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه به‌منظور بررسی اختلاف بین مقادیر میانگین مولفه‌های رواناب در مدت‌های مختلف بارندگی مورد استفاده قرار گرفت. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها از آزمون دانکن به‌منظور بررسی اختلاف بین میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری و محاسبه مولفه‌های رواناب در مدت‌های مختلف بارندگی در جدول ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین نتایج اندازه‌گیری غلظت رسوب در نمونه‌های جمع‌آوری شده رواناب مربوط به فواصل زمانی مختلف در تیمارها و تکرارهای مورد بررسی در همین جدول آورده شده است. در جدول ۲ نتایج مربوط به آنالیز واریانس یک‌طرفه متوسط مشخصه‌های رواناب و هم‌چنین غلظت رسوب نشان داده شده است. در جدول ۳ نیز نتایج مربوط به گروه‌بندی تیمار مدت بارندگی (به‌روش دانکن) برای حجم رواناب، ضریب رواناب، زمان خاتمه رواناب و غلظت رسوب ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.49]

شکل ۲- شبیه‌ساز باران (راست) و کرت صحرایی (چپ) مورد استفاده در این پژوهش
Figure 2. Rainfall simulator (right) and field plot (left) used in this research

جدول ۱- نتایج متغیرهای رواناب و غلظت رسوب در مدت‌های مختلف بارندگی
Table 1. The results of runoff and sediment concentration variables in various rainfall durations

مدت بارندگی (دقیقه)	تکرار	زمان شروع رواناب (دقیقه)	زمان خاتمه رواناب (دقیقه)	حجم بارندگی (لیتر)	حجم رواناب (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)	غلظت رسوب (گرم در لیتر)
۵	۱	۵/۵	۰/۵۰	۷/۰۰	۰/۲۵	۳/۵۷	۱۰/۲۸
	۲	۵/۱۲	۰/۵۸	۱۰/۱۵	۰/۳۵	۳/۴۱	۶/۶۲
	۳	۶/۵	۰/۴۵	۱۲/۰۰	۰/۱۴	۱/۱۸	۳/۱۵
	میانگین	۵/۷۱	۰/۵۱	۹/۷۲	۰/۲۵	۲/۷۱	۶/۶۸
	ضریب تغییرات (درصد)	۱۲/۴۹	۱۲/۸۶	۲۶/۰۲	۴۱/۵۹	۴۸/۸۷	۵۳/۳۲
۱۰	۱	۳/۶۷	۱/۰۰	۹/۱۱	۲/۷۵	۳۰/۱۸	۵/۰۱
	۲	۶/۵۸	۱/۶۷	۱۱/۰۵	۱/۸۶	۱۶/۸۳	۳/۵۲
	۳	۷/۱۷	۱/۲۲	۱۱/۴۵	۱/۲۴	۱۰/۸۵	۵/۵۹
	میانگین	۵/۸۱	۱/۳۰	۱۰/۵۴	۱/۹۵	۱۹/۲۸	۴/۷۱
	ضریب تغییرات (درصد)	۳۲/۲۷	۲۶/۳۴	۱۱/۸۵	۳۸/۸۶	۵۱/۳۱	۲۲/۶۰
۱۵	۱	۴/۹۷	۱/۱۷	۱۳/۳۱	۵/۲۳	۳۹/۲۸	۴/۹۱
	۲	۴/۸۵	۰/۳۳	۱۳/۳۱	۱/۴۱	۱۰/۶۲	۱۰/۳۱
	۳	۷/۸۳	۱/۵۰	۱۵/۲۲	۰/۹۵	۶/۲۴	۴/۸۲
	میانگین	۵/۸۸	۱/۰۰	۱۳/۹۵	۲/۵۳	۱۸/۷۲	۶/۶۸
	ضریب تغییرات (درصد)	۲۸/۶۷	۶۰/۳۲	۷/۸۹	۹۲/۷۸	۹۵/۸۹	۴۷/۰۴
۲۰	۱	۵/۱۷	۱/۹۳	۱۷/۲۹	۱/۱۹	۶/۸۵	۶/۱۰
	۲	۴/۹۷	۱/۴۲	۱۶/۶۵	۴/۰۹	۲۴/۵۴	۲/۸۳
	۳	۱۰/۵۰	۱/۴۷	۲۰/۳۳	۱/۵۱	۷/۴۱	۲/۸۹
	میانگین	۶/۸۸	۱/۶۱	۱۸/۰۹	۲/۲۶	۱۲/۹۳	۳/۹۴
	ضریب تغییرات (درصد)	۴۵/۵۹	۱۷/۵۰	۱۰/۸۹	۷۰/۳۹	۷۷/۷۴	۴۷/۴۸
۲۵	۱	۵/۰۰	۱/۳۳	۲۰/۰۰	۱/۷۳	۸/۶۷	۳/۴۶
	۲	۶/۶۷	۲/۰۸	۲۱/۱۱	۲/۹۳	۱۳/۹۰	۴/۲۵
	۳	۹/۲۵	۲/۵۰	۲۲/۸۳	۳/۴۰	۱۴/۸۹	۲/۰۰
	میانگین	۶/۹۷	۱/۹۷	۲۱/۳۲	۲/۶۹	۱۲/۴۹	۳/۲۳
	ضریب تغییرات (درصد)	۳۰/۷۱	۳۰/۰۹	۶/۷۰	۳۱/۹۶	۲۶/۷۶	۳۵/۳۲
۳۰	۱	۱/۰۰	۳/۶۲	۲۰/۶۷	۱۹/۸۴	۹۶/۰۰	۷/۸۴
	۲	۰/۹۳	۱/۹۷	۲۰/۶۲	۱۱/۹۳	۵۷/۸۶	۵/۴۲
	۳	۶/۵۰	۲/۸۳	۲۴/۳۳	۷/۱۵	۲۹/۳۸	۳/۷۷
	میانگین	۲/۸۱	۲/۸۱	۲۱/۸۷	۱۲/۹۷	۶۱/۰۸	۵/۶۸
	ضریب تغییرات (درصد)	۱۱۳/۷۳	۲۹/۴۰	۹/۷۴	۴۹/۴۰	۵۴/۷۲	۳۶/۱۲

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.49]

جدول ۲- تجزیه واریانس یک‌طرفه متغیرهای رواناب و غلظت رسوب در مدت‌های مختلف بارندگی

Table 2. One-way ANOVA for runoff and sediment concentration variables in various rainfall durations

متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری (.Sig)
زمان شروع رواناب	۳۴/۲۲۳	۵	۶/۸۴۵	۱/۳۰۴	۰/۳۲۶
حجم رواناب	۳۱۶/۲۲۶	۵	۶۳/۲۴۵	۷/۵۲۱	۰/۰۰۲ **
ضریب رواناب	۶۲۵۹/۱۹۶	۵	۱۲۵۱/۸۳۹	۴/۵۴۸	۰/۰۱۵ *
زمان خاتمه رواناب	۹/۶۱۵	۵	۱/۹۲۳	۷/۲۲۹	۰/۰۰۲ **
غلظت رسوب	۳۰/۸۷۲	۵	۶/۱۷۴	۱/۳۰۰	۰/۳۲۷

سطح معنی‌داری: **: ۰/۰۱ و *: ۰/۰۵

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های متغیرهای رواناب و غلظت رسوب در زمان‌های مختلف بارندگی

Table 3. Comparison of group means for runoff and sediment concentration variables in various rainfall durations

مدت بارندگی (دقیقه)	حجم رواناب (لیتر)		ضریب رواناب (درصد)		زمان خاتمه رواناب (دقیقه)		غلظت رسوب (گرم در لیتر)	
۵	۰/۲۵	b	۲/۷۱	b	۰/۵۱	c	۶/۶۸	a
۱۰	۱/۹۵	b	۱۹/۲۸	b	۱/۳۰	bc	۴/۷۱	a
۱۵	۲/۵۳	b	۱۸/۷۲	b	۱/۰۰	bc	۶/۶۸	a
۲۰	۲/۲۶	b	۱۲/۹۳	b	۱/۶۱	b	۳/۹۴	a
۲۵	۲/۶۹	b	۱۲/۴۹	b	۱/۹۷	ab	۳/۲۳	a
۳۰	۱۲/۹۷	a	۶۱/۰۸	a	۲/۸۱	a	۵/۶۸	a

همان‌طور که دیده می‌شود کم‌ترین و بیش‌ترین میانگین حجم رواناب به ترتیب مربوط به تیمار مدت بارندگی ۵ دقیقه (۰/۲۵ لیتر) و تیمار مدت بارندگی ۳۰ دقیقه (۱۲/۹۷ لیتر) می‌باشند. برای ضریب رواناب نیز مشاهده می‌شود که حداقل میانگین ضریب رواناب مربوط به تیمار مدت بارندگی ۵ دقیقه با ۲/۷۱ درصد و حدکثر ضریب رواناب مربوط به تیمار مدت بارندگی ۳۰ دقیقه با ۶۱/۰۸ درصد می‌باشد. هم‌چنین نتایج مربوط به زمان خاتمه رواناب نشان می‌دهند که کمترین زمان خاتمه رواناب مربوط به تیمار مدت بارندگی ۵ دقیقه (۰/۵۱ دقیقه) و بیشترین زمان خاتمه رواناب مربوط به تیمار ۳۰ دقیقه (۲/۸۱ دقیقه) می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود که حداقل میانگین غلظت رسوب (۳/۲۳ گرم در لیتر) مربوط به تیمار مدت بارندگی ۲۵ دقیقه و حداکثر آن (۶/۶۸ گرم در لیتر) مربوط به تیمارهای مدت بارندگی ۵ و ۱۵ دقیقه می‌باشد.

نتایج مربوط به متغیر زمان شروع رواناب در جدول ۲ نشان می‌دهد که در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار بین زمان شروع رواناب وجود ندارد. از جمله عوامل موثر بر زمان شروع رواناب می‌توان به بافت (۱۰) و رطوبت پیشین خاک (۶،۲۰،۳۵)، درصد پوشش گیاهی و درصد شیب (۳۶) و شدت بارش (۲۰،۴) اشاره کرد. لذا در این پژوهش با توجه به ثابت در نظر گرفتن شرایط عامل فرسایش‌پذیر (خاک) و هم‌چنین شدت بارندگی در همه تیمارها، می‌بایست بین زمان شروع رواناب در کرت‌های مختلف اختلاف معنی‌دار وجود نداشته باشد. به عبارت دیگر با توجه به این‌که متغیر هدف مدت بارندگی بوده که بر زمان شروع رواناب تأثیرگذار نیست، لذا با انجام آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نیز مشخص شد که بین زمان‌های شروع رواناب در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

هم‌چنین نتایج مربوط به زمان خاتمه رواناب در جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهند که بین تیمارهای مختلف در سطح اعتماد ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج موید این مطلب است که در مدت‌های بارندگی بالاتر به‌دلیل افزایش زمان اثر پاشمان، تخریب لایه سطحی خاک، تشکیل اندوده در سطح خاک[1] (۲۶) و در نهایت کاهش نفوذ، سهم بیش‌تری از بارندگی به رواناب تبدیل می‌شود و هم‌چنین با ادامه بارندگی ظرفیت آبگیری سطح خاک کم‌تر شده لذا پس از قطع بارندگی زمان بیش‌تری لازم بوده که رواناب تخلیه شود.

نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که افزایش مدت بارندگی موجب افزایش حجم رواناب شده است چراکه افزایش مدت بارندگی حتی با فرض ثابت بودن و عدم کاهش نفوذ نیز می‌تواند موجب افزایش حجم رواناب گردد. اما در مورد ضریب رواناب که نسبت رواناب به بارندگی در مدت زمان تیمار است نیز با افزایش مدت بارندگی، ضریب رواناب افزایش یافت. در مدت‌های کوتاه‌تر (۵ دقیقه) و دقایق ابتدایی بارندگی میزان نفوذ بیش‌تر بوده و لذا درصد کمتری از بارندگی به رواناب تبدیل شده است. چراکه در دقایق اولیه پس از شروع بارندگی، خاک خشک‌تر و دارای پتانسیل مکش و نفوذپذیری بیش‌تری است (۲،۱۸). آب در ابتدا تحت تأثیر نیروهای ثقل و مویینگی به داخل خاک نفوذ می‌کند. ولی پس از گذشت زمان منافذ خالی خاک از آب پر شده و رطوبت خاک افزایش می‌یابد لذا خاصیت مویینگی اثر خود را در حرکت آب به سمت پایین از دست می‌دهد و آب تنها تحت اثر نیروی ثقل نفوذ می‌کند. بنابراین به‌تدریج یکی از عوامل محرک حرکت آب در خاک حذف شده و سرعت نفوذ کاهش می‌یابد (۲۹،۱۷،۱۱،۳۸). هم‌چنین علت دیگر افزایش مولفه‌های رواناب می‌تواند وقوع فرسایش پاشمانی باشد. با برخورد اولین قطرات باران به سطح خاک، ذرات آن جدا شده و پاشمان اتفاق می‌افتد. پاشمان

1- Soil Sealing

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.49]

به‌دلیل خرد کردن ذرات خاک و کاهش قطر آن‌ها و هم‌چنین بهم ریختن ساختمان خاک و کاهش نفوذ آب در لایه سطحی خاک می‌شود و موجبات افزایش رواناب، فرسایش و حمل رسوب را فراهم می‌آورد. به‌عبارت دیگر اثر قطرات باران بر سطح خاک منجر به تغییر ساختار سطح خاک یعنی شکسته‌شدن خاک‌دانه‌ها و تشکیل سله می‌گردد (۳۷). ایجاد سله منافذ سطح خاک را بسته و از نفوذ آب به داخل خاک جلوگیری و سرعت نفوذ آب به خاک را کُند می‌کند (۳۸،۲۵،۲۴،۱۷،۱۴). بنابراین می‌توان گفت که با افزایش مدت بارندگی از طرفی منافذ خاک با آب پر شده و از نفوذپذیری خاک کاسته می‌شود و از طرف دیگر جدایش ذرات خاک در مدت طولانی‌تری باعث ایجاد سله در سطح خاک شده، منافذ خاک را می‌بندد. لذا افزایش مدت بارندگی افزایش حجم و ضریب رواناب را به‌دنبال دارد (۲۷،۲۵،۱۸).

همان‌طور که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهند با افزایش مدت بارندگی مقدار غلظت رسوب کاهش یافته است. اما نتایج تحلیل‌های آماری در جداول ۲ و ۳ نشان داد که این کاهش معنی‌دار نبوده و به‌عبارت دیگر تیمار مدت بارندگی بر غلظت رسوب اثر معنی‌داری نداشته است. دلیل کاهش غلظت رسوب با افزایش مدت بارندگی آن است که در مدت‌های کوتاه بارندگی منابع رسوب قابل دسترس برای حمل با رواناب توسط پاشمان تامین شده و لذا غلظت رسوب بالاست (۱۶) ولی با بیش‌تر شدن مدت بارندگی منبع رسوب (پاشمان) در دسترس برای حمل کاهش و در نتیجه غلظت رسوب نیز کاهش یافته است. 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 (۳۳). با بیش‌تر شدن زمان بارندگی، تشکیل اندوده سطحی خاک رسوب قابل دسترس برای حمل توسط رواناب را کم می‌کند.

نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش مدت بارندگی، متغیرهای زمان خاتمه، حجم و ضریب رواناب افزایش و غلظت رسوب کاهش یافته است. نتایج مربوط به تحلیل واریانس یک طرفه نشان‌دهنده این است که در مدت‌های مختلف بارندگی بین متغیرهای زمان خاتمه، حجم و ضریب رواناب اختلاف معنی‌دار بوده و در متغیر غلظت رسوب این اختلاف غیرمعنی‌دار می‌باشد. به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصله می‌توان گفت با افزایش مدت بارندگی اگرچه رواناب بیش‌تر شده، لیکن هنوز توان جدا کردن رسوب‌ها و رساندن آن‌ها به خروجی کرت را نداشته اذا غلظت رسوب در مدت‌های بیش‌تر بارندگی کاهش یافته است. در انتها همان‌طور که گفته شد معمولا در مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی فرسایش و رسوب در مقیاس کرت و با استفاده از شبیه‌ساز باران، مدت و شدت بارندگی با استفاده از آمار باران‌نگار مربوط به منطقه مادری خاک تعیین می‌شود. لذا یافته‌های پژوهش حاضر از آن جهت حائز اهمیت است که نشان داد حساسیت در انتخاب و اجرای مدت بارندگی حتی در حد ۵ دقیقه و به‌ویژه در مدت‌های کم می‌تواند نتایج را به‌طور معنی‌دار تغییر دهد.

منابع

1. Abd Elbasit, M.A., H. Yasuda, A. Salmi and H. Anyoji. 2010. Characterization of rainfall generated by dripper-type rainfall simulator using piezoelectric transducers and its impact on splash soil erosion. Earth Surface Processes and Landforms, 35(4): 466-475.
2. Alizadeh, A. 2011. Principles of applied hydrology. Emam Reza Press, Mashhad, Iran, 519 pp (In Persian).
3. Armin, M., A. Telvari, A. Najafinejad and V. Ghorbannia. 2007. The effect of soil texture, rainfall duration and intensity on soil erosion using FEL3 rainfall simulator model. 4th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, 20-21 February 2007, Karaj, Iran. 17 pp (In Persian).
4. Arnaez, J., T. Lasanta, P. Ruiz-Flaño and L. Ortigosa. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research, 93(2): 324-334.
5. Arowoogun, E.O. 2011. The Influence of rainfall Duration on Splash Produced from A Loamy sand soil. Master's Thesis, 49 pp.
6. Auerswald, K., C.K. Mutchler and K.C. McGregor. 1994. The influence of tillage-induced differences in surface moisture content on soil erosion. Soil and Tillage Research, 32(1): 41-50.
7. Cannon, S.H., E.M. Boldt, J.L. Laber, J.W. Kean and D.M. Staley. 2011. Rainfall intensity–duration thresholds for postfire debris-flow emergency-response planning. Natural Hazards, 59(1): 209-236.
8. Caine, N. 1980. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. Geografiska Annaler, Series A, 62(1-2): 23-27.
9. Chien-Yuan, C., C. Tien-Chien, Y. Fan-Chieh, Y. Wen-Hui and T. Chun-Chieh. 2005. Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring. Environmental Geology, 47(5): 715-724.
10. Defersha, M.B. and A.M. Mellese. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. Catena, 90: 47-52.
11. De Roo, A.P.J. and H.T. Riezebos. 1992. Infiltration experiments on loess soils and their implications for modeling surface runoff and soil erosion. Catena, 19(2): 221-239.
12. Dunjo, G., G. Pardini and M. Gispert. 2004. The role of land use-land cover on runoff generation and sediment yield at a microplot scale, in a small Mediterranean catchment. Journal of Arid Environments, 57(2): 99-116.
13. Dunne, T., W. Zhang and B.F. Aubry. 1991. Effects of rainfall, vegetation, and microtopography on infiltration and runoff. Water Resources Research, 27(9): 2271-2285.
14. Edwards, W.M. and W.E. Larson. 1969. Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.7.9]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.49]

15. Ekwue, E.I. 1991. The effects of soil organic matter content, rainfall duration and aggregate size on soil detachment. Soil Technology, 4(3): 197-207.
16. Ekwue, E.I. and S.D. Ramoutar. 2011. Soil Loss-Rainfall Duration Relations as Affected by Peat Content. Soil Type and Compaction Effort, Soil Erosion Studies. Dr. Danilo Godone (Ed.), InTech, 180-192.
17. Esteves, M. and J.M. Lapetite. 2003. A multi-scale approach of runoff generation in a Sahelian gully catchment: a case study in Niger. Catena, 50(2): 255-271.
18. Fang, H.Y., Q.G. Cai, H. Chen and Q.Y. Li. 2008. Effect of rainfall regime and slope on runoff in a gullied loess region on the Loess Plateau in China. Environmental Management, 42(3): 402-411.
19. Guzzetti, F., S. Peruccacci, M. Rossi and C.P. Stark. 2007. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. Landslides, 5(1): 3-17.
20. 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.
21. Homayounfar, V. 2014. Comparison of surface runoff and soil loss from field plots with disturbed and undisturbed soils. MSc Thesis, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. 57 pp (In Persian).
22. Inbar, M. and C.A. Lierena. 2000. Erosion processes in high mountain agricultural terraces in Peru Mountain. Journal of Research and Development, 1: 72-79.
23. Joel, A., I. Messing, O. Seguel and M. Casanova. 2002. Measurement of surface, water runoff from plots of two different sizes. Hydrological Processes, 16(7): 1467-1478.
24. Mannering, J.V. 1967. The relationships of some physical and chemical properties of soils to surface sealing. PhD Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA. 207 pp.
25. Moldenhauer, W.C. and D. Ci Long. 1964. Influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates: I. Effect over a range of texture. Soil Science Society of America, 28(6): 813-817.
26. Nciizah, A.D. and I.I. Wakindiki. 2015. Soil sealing and crusting effects on infiltration rate: a critical review of shortfalls in prediction models and solutions. Archives of Agronomy and Soil Science, 61(9): 1211-1230.
27. Neave, M. and S. Rayburg. 2007. A field investigation into the effects of progressive rainfall-induced soil seal and crust development on runoff and erosion rates: The impact of surface cover. Geomorphology, 87(4): 378-390.
28. Perez-Latorre, F.J., L.D. Castro and A. Delgado. 2010. A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. Soil and Tillage Research, 107(1): 11-16.
29. Peugeot, C., M. Esteves, J.L. Rajot, J.P. Vandervaere and S. Galle. 1997. Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the central supersite of the Hapex-Sahel experiment. Journal of Hydrology, 188: 179-202.
30. Putjaroon, W. and K. Pongboon. 1987. Amount of runoff and soil losses from various land-use sampling plots in Sakolnakorn Province, Thailand. Forest Hydrology and Watershed Management-Hydrologie Forestiere et Amenagement des Bassins Hydrologiques (Proceedings of the Vancouver Symposium), pp: 231-238.
31. Qihua, R., S. Danyang, L. Peng and H. Zhiguo. 2012. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. Journal of Hydrology, 424-425: 99-111.
32. Razali, N.M. and Y.B. Wah. 2011. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogrov-smirnov, lillifores and anderson-darling tests. Journal of Statistical Modeling and Analytics, 2(1): 21-33.
33. Refahi, H. 2009. Water erosion and conservation. Tehran University Press, Tehran, Iran, 671 pp (In Persian).
34. Rosewell, C.J. 1993. Soil Loss: A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion, Tech. Handbook No. 11. 2nd edn. Department of Conservation and Land Management, Sydney, pp: 28-31.
35. Seeger, M. 2007. Uncertainty of Factors Determining Runoff and Erosion Processes as Quantified by Rainfall Simulations. Catena, 71(1): 56-67.
36. Sharifi, F., Sh. Saffarpour, S.A. Ayoubzadeh and J. Vakilpour. 2004. 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(1): 33-45 (In Persian).
37. Valettea, G., S. Prevosta, L. Lucas and J. Leonard. 2006. SoDA Project: A Simulation of Soil Surface Degradation by Rainfall. Computers and Graphics, 30(4): 494-506.
38. Vandervaere, J.P., C. Peugeot, M. Vauclin, R.A. Jaramillo and T. Lebel. 1997. Estimating hydraulic conductivity of crusted soils using disc infiltrometers and minitensiometers. Journal of Hydrology, 188: 203-223.
39. Walling, D.E., A.L. Collins, H.A. Sichinabula and G.J.L. Leeks. 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets, A Zambian Example. Land and Degradation Development, 12(5): 387-415.
40. Wieczorek, G.F. 1987. Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. Reviews in Engineering Geology, 7: 93-104.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.49]

Effects of Rainfall Duration on Hydrological Response of Field Plots under Rainfall Simulation

Azadeh Katebikord[1], Abdulvahed Khaledi Darvishan[2] and Seyed Jalil Alavi[3]

1- Gradated M.Sc. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
2- Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran (Corresponding Author: a.khaledi@modares.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
Received: December 7, 2015 Accepted: January 14, 2017

Abstract

By increasing the intensity of rainfall, runoff, which is considered as a very important factor in soil erosion process, occurs. Climate, geometrical characteristics of watershed, geological formations, soil, vegetation and land use are among factors affecting runoff generation. Although in plots under rainfall simulation, the experiment time is more limited and the effect of rainfall duration on the results is more tangible, this effect has been less considered. The present study was therefore conducted to evaluate the effect of rainfall duration in 6 levels of 5, 10, 15, 20, 25 and 30 minutes with 3 replications under constant rainfall intensity of 40 millimeter per hour on runoff parameters including commencement time, volume, coefficient and end time and sediment concentration. The field plots under rainfall simulation located in an eastern highland slope of Kojour Watershed were selected to achieve the study purposes. The Results indicated that the runoff parameters were significantly increased ($p \geq 0.05$) with increasing rainfall duration while the rate of increase was not the same in different rainfall duration levels. In other words, under the present study conditions, the turning point of hydrological response to rainfall duration was occurred between 25-30 minutes, where the gradient of runoff parameters with rainfall duration was considerably increased. The results also showed that the sediment concentration decreased with increasing rainfall duration.

Keywords: Field Plot, Kojour Watershed, Infiltration, Rainfall Duration, Runoff, Sediment

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.7.9]

[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.49]