دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

تأثیرپذیری رواناب و هدررفت خاک اندازه‌گیری شده از تغییر طول و جهت دامنه تحت بارش‌های طبیعی در یک منطقه خشک

حمزه نور[۱] و محمود عرب‌خدری[۲]

۱- استادیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران (نویسنده مسوول: h.noor@areeo.ac.ir)
۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۱
صفحه: ۲۵۴ تا ۲۶۲

چکیده

ارزیابی تغییرپذیری داده‌های رواناب و هدررفت خاک به‌دلیل شرایط مختلف سامانه اندازه‌گیری، به‌منظور پیشرفت دانش فرسایش خاک، ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیک و طراحی آزمایش‌های علمی ضروری است. برای این منظور پژوهش حاضر به ارزیابی تأثیرپذیری رواناب و هدررفت خاک اندازه‌گیری شده از تغییر طول و جهت دامنه در مراتع خشک سنگانه کلات در استان خراسان رضوی پرداخته است. برای نیل به اهداف این پژوهش ۵ تیمار کرت با طول ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر در دو تیمار جهت دامنه (شمالی و جنوبی) ایجاد شد. نتایج ارزیابی ۲۰ واقعه بارش منجر به فرسایش خاک، دلالت بر آن داشت که یک واقعه حداکثری مسئول ۷۰ درصد هدررفت خاک در دامنه شمالی و ۳۷ درصد در دامنه جنوبی بوده است. نتایج هم‌چنین نشان داد که در دامنه جنوبی به‌دلیل پوشش گیاهی ناچیز، پاسخ هیدرولوژیک به بارش‌های متوالی و بارش تگرگ نسبت به دامنه شمالی متفاوت می‌باشد. در نهایت، ارزیابی تغییرات هدررفت خاک و رواناب در واحد سطح با افزایش طول کرت در هر دو دامنه دلالت بر رابطه غیرخطی و منفی بین آن‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: کرت آزمایشی، وابستگی به مقیاس، هیدرولوژی مرتع

مقدمه

مطالعه فرآیندهای حاکم بر فرسایش خاک و تولید رواناب و ارزیابی عوامل کنترل‌کننده آن‌ها در مقیاس‌های مختلف مکانی از مهم‌ترین پیش نیازهای حفاظت خاک و مدیریت آبخیز است. بنابراین از دهه‌های پیشین تحقیقات گسترده‌ای در زمینه کمی‌سازی و هم‌چنین شناخت فرآیندهای مؤثر بر فرسایش خاک در سطح جهان صورت گرفته است (۱۴،۳، ۱۶). نتایج این مطالعات به‌منظور کاهش اثرات مخرب، استفاده بهینه از منابع، تهیه مدل‌های پیش‌بینی کننده و انتخاب اقدامات و طرح‌های مدیریتی مناسب حفاظت آب و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این زمینه، نقش شرایط مکان اندازه‌گیری، به‌عنوان عاملی که به‌طور مستقیم وقوع فرآیندهای مختلف تولید رواناب و رسوب را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بسیار درخور توجه است (۱۹) که خود منجر به توسعه کرت‌های فرسایش خاک در ابعاد مختلف به‌منظور کنترل شرایط حاکم بر فرآیند فرسایش خاک شده است. استفاده از این کرت‌ها علاوه بر امکان درک فرآیند حاکم، در انجام مطالعات مقایسه‌ای و ارزیابی کارآیی مدل‌های برآورد فرسایش خاک حائز اهمیت فراوان است (۱۵).

توجه به تغییرپذیری رواناب و فرسایش خاک اندازه‌گیری شده با تغییر سطح کرت و ویژگی‌های محیطی احداث آن، یکی از اقدامات اولیه و اساسی به‌منظور مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب به‌ویژه در مراحل آغازین آن در دامنه است. بنابراین تحقیقات متعددی به بررسی اثر مقیاس مکانی بر پاسخ هیدرولوژیک در مناطق مختلف دنیا و تحت شرایط متنوع پرداخته‌اند (۳۳،۹،۸). نتیجه این تحقیقات با توجه به مقیاس اندازه‌گیری، شرایط اقلیمی و خاک منطقه مورد مطالعه و دیگر عوامل مؤثر در فرآیندهای هیدرولوژیک دارای نتایج متفاوت و بعضاً متناقضی بوده است. در این راستا Nicolau (۲۰)، Morino-de las Heras و همکاران، (۱۹)، Arabkhedri و همکاران (۳) و Parsons و همکاران (۲۱) روند افزایشی و Cammeraat (۷)، Yair و Raz-Yassif (۳۵)، Leys و همکاران (۱۴)، Mayor و همکاران (۱۸) و Thomaz و Ramos-Scharrón (۲۸) روند کاهشی هدررفت خاک در واحد سطح با افزایش مساحت را گزارش نمودند.

در این راستا در مراتع مناطق خشک و نیمه خشک وجود عوامل مساعد در تولید رواناب و فرسایش شدید خاک از قبیل بارش‌های شدید، پراکندگی و حتی فقدان پوشش گیاهی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی حساس خاک، موجب مشکلات فراوان درون و برون منطقه‌ای می‌شود (۸) و از سوی دیگر چرخه تخریب منطقه و تشدید تولید رواناب و فرسایش خاک را تسهیل می‌نماید (۱۸). در این مناطق مقدار اندازه‌گیری شده رواناب و هدررفت خاک به‌شدت تحت تأثیر ویژگی‌های سامانه اندازه‌گیری و محیط آن است. زیرا در این مناطق پراکنده بودن پوشش گیاهی، وجود یا عدم وجود سخت لایه‌ها و تغییرات آن در طول دامنه به‌همراه تغییرات نفوذپذیری خاک و وجود انواع فرسایش سطحی و متمرکز، باعث تفاوت زیادی در سطح یک دامنه از نظر محل تولید یا ذخیره رواناب و رسوب می‌شود (۱۸،۷).

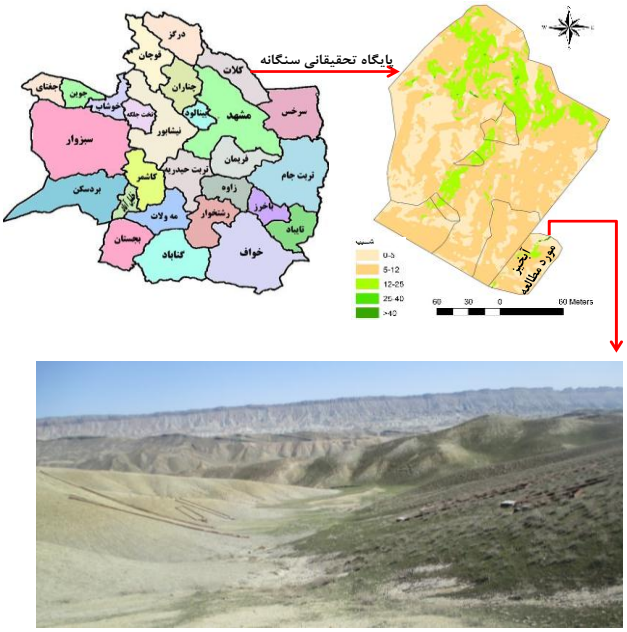
در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی مقایسه‌ای میزان تولید رواناب و هدررفت خاک اندازه‌گیری شده از کرت‌های فرسایشی با طول‌های متفاوت مستقر در دو دامنه جنوبی و شمالی با میزان پوشش گیاهی متفاوت در یک اکوسیستم مرتعی خشک شمال شرق کشور طرح‌ریزی شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه در ۱۰۰ کیلومتری شمال شرق مشهد واقع شده است. مورفولوژی منطقه اغلب به‌صورت تپه‌ماهوری بوده و متوسط ارتفاع در آن ۶۶۰ متر از سطح دریا است. در سال ۱۳۸۵ یک آبخیز کوچک مرتعی در پایگاه تحقیقاتی سنگانه به کرت‌های فرسایشی مجهز شد (۲۴). شکل ۱ نمایی از آبخیز مورد بررسی و موقعیت آن در استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت پایگاه تحقیقاتی سنگانه در استان خراسان رضوی و نمایی از کرت‌های مستقر در آبخیز کوچک مورد مطالعه

Figure 1. Location of the Sanganeh research area in Khorasan Razavi Province and view of Plot installed in study micro-watershed

متوسط بارندگی سالانه پایگاه حدود ۱۸۰ میلی‌متر محاسبه شده است (۱). این آبخیز کوچک با مساحت یک هکتار دارای دو دامنه شمالی و جنوبی با پوشش گیاهی متفاوت می‌باشد. تیپ غالب پوشش‌گیاهی درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) بوده که حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد شیب شمالی را تشکیل می‌دهد. پوشش‌گیاهی در دامنه‌های جنوبی ضعیف و متوسط پوشش‌گیاهی در آن‌ها حدود صفر تا ۴ درصد می‌باشد. عمق خاک در هر دو دامنه کم‌تر از ۲۰ سانتی‌متر و از نظر زمین‌شناسی دامنه شمالی ماسه سنگ و شیل و دامنه جنوبی شیل است (۲۲). برای نیل به اهداف پژوهش، کرت‌های فرسایشی به‌عنوان سامانه‌های اندازه‌گیری رواناب و هدررفت خاک با عرض ثابت ۲ متر و مساحت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ مترمربع در دو دامنه شمالی و جنوبی احداث شدند. جداسازی محیط کرت‌ها با خارج با استفاده از ورق‌های فلزی به عرض ۳۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت. لازم به‌توضیح است که در انتخاب ابعاد کرت‌ها، منابع مطالعاتی موجود مورد استناد واقع شده و با توجه به محدودیت‌های موجود در منطقه، مجموعه‌ای از ابعاد کرت که در بیش‌تر تحقیقات مربوط به مطالعه اندازه کرت بر فرسایش خاک توسط پژوهشگران مورد استفاده واقع شده است، در نظر گرفته شد.

برای کسب اطلاعات بیش‌تر از شرایط حاکم بر منطقه از نظر بارش، باران‌نگار نیز در محل پایگاه نصب شد و مشخصات رگبار شامل شدت و مقدار باران جمع‌آوری شد و در تحلیل نتایج رواناب و هدررفت خاک مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات دو دامنه مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات خاک و پوشش گیاهی در دو دامنه جنوبی و شمالی در پژوهش حاضر

Table 1. Characteristics of soil and vegetation cover at southern and northern slopes in current study

ویژگی مورد بررسی	دامنه جنوبی	دامنه شمالی
پوشش گیاهی (٪)	۳	۶۵
لاشبرگ (٪)	۰/۵	۵
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۴	۱/۲
ماده آلی (٪)	۰/۸	۳
ماسه (٪)	۵۴	۶۲
سیلت (٪)	۳۰	۲۷
رس (٪)	۱۶	۱۱
شیب (٪)	حدود ۶۰ درصد	

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]

[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]

برداشت نمونه‌های رواناب و رسوب

به‌منظور جمع‌آوری رواناب و میزان هدررفت خاک در انتهای هر کرت، مخزنی به شکل مکعب مستطیل با ظرفیت مناسب نصب و رواناب و رسوب حاصل از هر رگبار در آن‌ها ذخیره شد (۲۱، ۲۴). پس از هر واقعه بارندگی، ارتفاع رواناب جمع‌آوری شده در پنج نقطه داخل هر مخزن (چهار گوش و مرکز) به‌وسیله خط‌کش استاندارد اندازه‌گیری و در فرم‌های از پیش تهیه شده یادداشت و سپس حجم رواناب با توجه به مشخص بودن سایر پارامترهای مورد نیاز برای هر کرت محاسبه شد. برای تعیین غلظت رسوب، از رواناب محتوی هر مخزن پس از هم زدن کامل، نمونه آب و رسوب برداشت و در ادامه نمونه‌های رسوب جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل و غلظت رسوب (میلی‌گرم در لیتر) با خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و سپس توزین آن‌ها، اندازه‌گیری شدند (۲۲). وزن خاک فرسایش یافته نیز از حاصل‌ضرب غلظت رسوب نمونه در حجم کل رواناب محاسبه شد. عملکرد کرت‌ها از نظر تولید رواناب و هدررفت خاک، در وقایع باران طبیعی طی دوره مهر ۱۳۸۵ تا شهریور ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفت. در طول مدت انجام پژوهش، منطقه مورد مطالعه توسط دام‌های روستائیان مورد چرا قرار می‌گرفت.

پس از تکمیل نمونه‌برداری‌های صحرایی و کارهای آزمایشگاهی، در ابتدا بررسی مشخصات آماری داده‌های بارش، رواناب و هدررفت خاک اندازه‌گیری شده در دو منطقه شامل کل هدررفت خاک و تولید رواناب و ضریب تغییرات به‌همراه میانگین کلی غلظت رسوب (حاصل تقسیم کل هدررفت خاک بر مجموع رواناب وقایع)، صورت پذیرفت. در این زمینه تفاوت‌های رفتاری فرآیندهای تولید رواناب و هدررفت خاک در دو دامنه نیز مد نظر قرار گرفته است. در ادامه اثر جهت و طول دامنه بر مقادیر اندازه‌گیری شده رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به تفاوت مساحت کرت‌های مورد بررسی و به‌منظور حذف اثر مساحت در نتایج، از رواناب و هدررفت خاک در واحد سطح در تحلیل‌ها استفاده شد. در این زمینه با تقسیم حجم رواناب و هدررفت خاک هر کرت بر مساحت آن، مقدار رواناب و هدررفت خاک در واحد سطح برای هر کرت به ترتیب بر حسب سانتی‌متر و گرم در مترمربع به دست آمد.

نتایج و بحث

طی ۳۶ ماه دوره زمانی مورد مطالعه، ۲۰ واقعه بارش منجر به تولید رواناب منطقه ثبت شد. مشخصات بارش‌های ثبت شده در این دوره در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ مهم‌ترین ویژگی‌های بارش‌های ثبت شده در پایگاه تحقیقاتی سنگانه

Table 2. The most important rainfall characteristics in Sanganeh research area

ردیف	تاریخ	نوع بارش	مقدار بارش (میلی‌متر)	شدت متوسط بارش (میلی‌متر در ساعت)	حداکثر شدت ۳۰ دقیقه (میلی‌متر در ساعت)
۱	۱۳۸۵/۰۸/۲۵	باران	۹/۲۰	۱/۰۳	۵/۲۰
۲	۱۳۸۵/۰۹/۲۸	باران	۷/۰۰	۲/۴۲	۶/۴۰
۳	۱۳۸۵/۱۰/۱۱	برف	۱۶/۲۰	۰/۷۹	۵/۶۰
۴	۱۳۸۵/۱۱/۳۰	باران و برف	۱۲/۶۰	۰/۴۲	۳/۶۰
۵	۱۳۸۵/۱۲/۰۸	باران و برف	۱۰/۰۰	۱/۴۶	۵/۲۰
۶	۱۳۸۵/۱۲/۲۶	باران	۱۳/۴۰	۰/۵۶	۶/۸۰
۷	۱۳۸۶/۰۱/۰۳	باران	۴/۴۰	۳/۷۷	۴/۱۰
۸	۱۳۸۶/۰۱/۰۸	باران	۵/۱۰	۱/۱۳	۴/۷۰
۹	۱۳۸۶/۰۱/۱۰	باران	۱۷/۰۰	۰/۸۱	۴/۰۰
۱۰	۱۳۸۶/۰۹/۱۷	باران و تگرگ	۶/۶۰	۱/۹۴	۹/۶۰
۱۱	۱۳۸۶/۰۹/۲۶	باران	۱۴/۲۰	۰/۵۴	۲/۰۰
۱۲	۱۳۸۶/۰۹/۲۹	باران	۲/۴۰	۰/۴۵	۲/۸۰
۱۳	۱۳۸۷/۰۲/۱۵	باران	۶/۶۰	۱۳/۸۷	۳۰/۸۷
۱۴	۱۳۸۷/۱۲/۱۲	باران	۸/۸۰	۰/۶۰	۳/۶۰
۱۵	۱۳۸۷/۰۲/۱۵	باران	۱۳/۶۰	۰/۷۰	۴/۰۰
۱۶	۱۳۸۸/۰۱/۰۵	باران	۹/۸۰	۱/۵۰	۳/۶۰
۱۷	۱۳۸۸/۰۱/۱۱	باران	۹/۲۰	۲/۰۰	۳/۲۰
۱۸	۱۳۸۸/۰۱/۱۷	باران	۶/۸۰	۱/۳۰	۲/۴۰
۱۹	۱۳۸۸/۰۱/۳۱	باران	۹/۰۰	۶/۹۰	۱۳/۶۰
۲۰	۱۳۸۸/۰۲/۲۲	باران	۶/۴۰	۶/۲۰	۱۱/۲۰

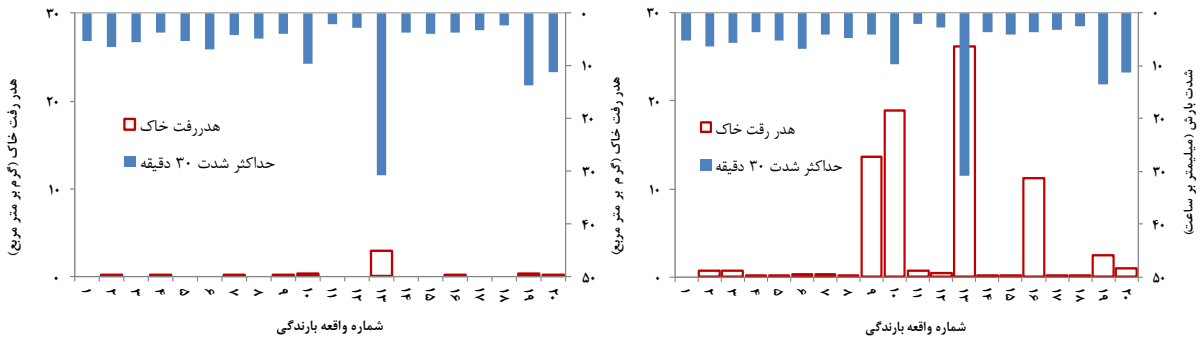
بررسی آماری داده‌های بارش، رواناب و هدررفت خاک

ارزیابی ضریب تغییرات داده‌های بارش، رواناب و هدررفت خاک نشان داد که ضریب تغییرات مقدار بارش (۹۱ درصد) نسبت به تولید رواناب (۱/۳۶ برابر) از یکنواختی بیش‌تری برخوردار است. از سوی دیگر تغییرات رواناب نسبت به غلظت رسوب (ضریب تغییرات= ۲/۲۷ برابر) و سپس مقدار هدررفت خاک (ضریب تغییرات=۲/۳۷ برابر) کم‌تر است. بدون توجه به اندازه کرت می‌توان بیان نمود که تغییرات هدررفت خاک طی وقایع ثبت شده بیش‌تر از رواناب بوده است. این یافته دلالت بر پیچیده‌تر بودن فرآیند کنش و انتقال ذرات رسوب نسبت به فرآیند تولید رواناب دارد که با یافته‌های Bagarello و همکاران (۶) و Bagarello و Ferro (۵) هم‌خوانی دارد.

بخشی از این تغییرات می‌تواند به‌دلیل دامنه نسبتاً وسیع ویژگی‌های رخدادهای منجر به فرسایش خاک نیز باشد.

در شکل ۲ متوسط مقدار هدررفت خاک در کرت‌های مستقر در دو دامنه مورد بررسی ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در هر دو دامنه حداکثر میزان هدررفت خاک طی واقعه ۱۳ (۱۳۸۷/۰۲/۱۵) ثبت شده است. نتایج نشان دهنده آن است که این واقعه در دامنه شمالی و جنوبی به‌ترتیب مسئول تولید ۷۰٪ و ۳۴٪ هدررفت خاک در مجموع واقعه‌های مورد بررسی بوده است. به‌عبارتی در دامنه شمالی که دارای پوشش گیاهی مناسبی می‌باشد این بارش به‌عنوان تک واقعه حداکثری در هدررفت خاک خود را نشان داده است. در حالی‌که در دامنه جنوبی بدون پوشش گیاهی، این واقعه به‌عنوان یکی از وقایع حداکثری بوده است. بررسی دقیق شکل ۲ و جدول ۲ نشان می‌دهد که این واقعه دارای بالاترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای در کل داده‌های ثبت شده بوده است. در این زمینه غلامی و همکاران (۱۲) و فضلی و همکاران (۱۰) به نقش مهم ویژگی‌های باران به‌ویژه حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای در هدررفت خاک از کرت‌های فرسایشی اشاره داشته‌اند. هم‌چنین نقش وقایع حداکثر در مناطق خشک و نیمه خشک در فرسایش خاک و تولید رسوب توسط محققین پیشین در سایر مناطق جهان (۱۷،۱۱،۲۵) نیز گزارش شده است. در این زمینه عرب‌خدری (۲) بیان می‌دارد که در مناطق معتدل به دلیل غلبه رویدادهای معمولی، فرسایش و تولید رسوب بیش‌تر متاثر از رویدادهای متوسط است. حال‌آن‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فرسایش و تولید رسوب بیش‌تر از رویدادهای حداکثر تاثیر می‌پذیرد.

هم‌چنین داده‌های غلظت رسوب در کرت‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که حداکثر غلظت رسوب طی واقعه‌های ۱۰ و ۱۳ مشاهده شده است (شکل ۳). بررسی دقیق جدول ۲ دلالت بر نقش مهم حداکثر شدت ۳۰ دقیقه بارش (واقعه ۱۳) و هم‌چنین بارش تگرگ (واقعه ۱۰) در بالابردن کنش و انتقال ذرات خاک در طول دامنه و در نتیجه غلظت بالای رسوب در رواناب را دارد.



شکل ۲- متوسط هدررفت خاک در دامنه شمالی (چپ) و جنوبی (راست)
Figure 2. Average of soil loss at northern slop (left) and southern slope (right)

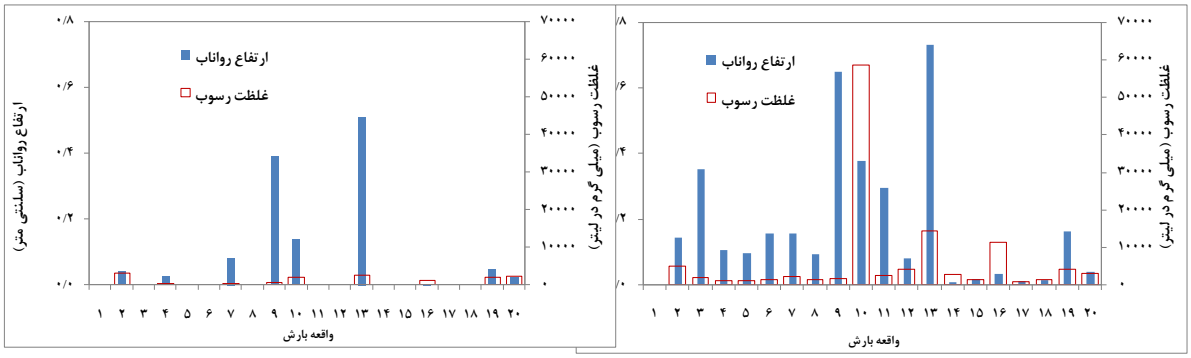
نقش بارش‌های متوالی در تولید رواناب و هدررفت خاک

نقش بارش‌های متوالی در ایجاد فرسایش خاک در وقایع ۸ و ۹ دیده می‌شود. این دو واقعه بارشی طی روزهای ۸ تا ۱۰ فروردین ماه ۱۳۸۶ به‌وقوع پیوستند. بارش اول دارای مقدار کم‌تر (۵/۱ میلی‌متر) ولی شدت متوسط و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه بالاتری نسبت به بارش دوم بوده است (جدول ۲). این ویژگی‌های بارش نقش مهمی در فراهم نمودن مواد قابل انتقال داشته، با این حال قادر به ایجاد رواناب کافی و حمل مواد فرسایش یافته، نبوده است. طی بارش دوم (۱۰ فروردین ماه ۱۳۸۶) مواد فرسایش یافته به‌ویژه در دامنه جنوبی انتقال یافته و هدررفت بالایی را ایجاد نمودند. حال آن‌که در دامنه شمالی از آنجایی که فصل بهار دوره رشد گیاهان منطقه بوده است از اثرات بارش دوم کاسته شد. در زمینه نحوه اثرگذاری بارش‌های متوالی در فرسایش خاک تحقیقات متعددی گزارش شده است در این زمینه تشکیل پوسته‌های سخت سطحی در اثر برخورد قطرات باران و کاهش نفوذپذیری (۳۰)، کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها و کاهش نفوذپذیری (۲۹)، افزایش رطوبت خاک (۳۴)، تخریب خاکدانه‌ها و کاهش منافذ درشت خاک (۲۷) و تخریب خاک‌دانه‌ها و افزایش ذرات فرسایش‌پذیر و انتقال‌پذیر (۳۱) از جمله دلایل این امر عنوان شده است.

نتایج بررسی داده‌های رواناب و غلظت رسوب در دامنه جنوبی مربوط به این دو واقعه بارش متوالی اطلاعات مناسبی در تحلیل عوامل موثر بر تولید رواناب و فرسایش در اختیار قرار می‌دهد. نتایج نشان داد که، ارتفاع رواناب در واقعه اول (۱۳۸۶/۰۱/۰۸) کم‌تر از ۱ میلی‌متر بوده است درحالی‌که در واقعه دوم (۱۳۸۶/۰۱/۱۰)، حدود ۶/۵ میلی‌متر در کرت‌های دامنه جنوبی رواناب ایجاد شده است. در مقابل، داده‌های غلظت رسوب در هر دو واقعه تقریباً برابر است (۱/۵ گرم در لیتر در واقعه اول و ۱/۶۵ گرم در لیتر برای واقعه دوم). به‌عبارتی در بارش دوم، به دلیل مرطوب بودن و کاهش نفوذپذیری خاک میزان تولید رواناب بیش از ۶ برابر افزایش یافته و در نتیجه مواد فرسایش یافته حاصل از واقعه پیش را منتقل ساخته است. در این زمینه عرب‌خدری (۲) بیان می‌دارد که هدررفت شدید خاک در مناطق خشک و نیمه خشک وابسته به ضریب رواناب و میزان رواناب تولیدی نیز می‌باشد به‌گونه‌ای‌که بدون رواناب خاک فرسایش یافته انتقال نمی‌یابد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]

از سوی دیگر همسو با یافته‌های این پژوهش Sadeghi و همکاران (۲۶) در بررسی اثر رخدادهای باران متوالی بر روی رواناب و فرسایش خاک در کرت های کوچک آزمایشی به این نتیجه رسیدند که بارش متوالی در مقدار رواناب و هدررفت خاک اثر معنی‌داری داشته است حال آن‌که بر غلظت رسوب اثر معنی‌داری نداشته است.



شکل ۳- متوسط رواناب و غلظت رسوب در کرت‌های دامنه شمالی (چپ) و جنوبی (راست)
Figure 3. Average of runoff and sediment concentration at northern slop (left) and southern slope (right)

مقایسه دو دامنه در تولید رواناب و هدررفت خاک

بررسی آماری تیمارهای مورد بررسی نشان دهنده تفاوت زیاد بین هدررفت خاک در آن‌ها می‌باشد. به‌گونه‌ای که مجموع هدررفت خاک در رگبارهای یکسان در دامنه شمالی ۳/۴ گرم بر متر مربع است که بسیار کم‌تر از دامنه جنوبی با کل هدررفت خاک ۶۲/۸ گرم بر مترمربع می‌باشد. این اعداد برای میانگین کل غلظت رسوب (تقسیم مجموع رسوب به رواناب کل) دو دامنه شمالی و جنوبی به‌ترتیب حدود ۷۳۰ و ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و برای ارتفاع کل رواناب نیز ۱/۲۵ و ۳/۵۰ میلی‌متر محاسبه شد. این نتایج به‌خوبی نشان می‌دهد که دامنه جنوبی دارای هدررفت خاک و تولید رواناب بالاتری نسبت به دامنه شمالی می‌باشد. جهت جنوبی دامنه به‌دلیل دریافت متفاوت اشعه خورشید بر میزان فرسایش آبی اثر می‌گذارد .گزارش‌ها نشان می‌دهد که دامنه‌های جنوبی مناطق خشک و نیمه خشک واقع در نیم‌کره شمالی غالباً به‌دلیل آفتاب‌گیر بودن و تبخیر بالا دارای پوشش گیاهی کم‌تر و در نتیجه فرسایش خاک بیش‌تری نسبت به دامنه‌های شمالی می‌باشند (۳۱). هم‌چنین نتایج مذکور دلالت بر ضرورت توجه به جهت دامنه در استقرار کرت‌های اندازه‌گیری فرسایش خاک دارد.

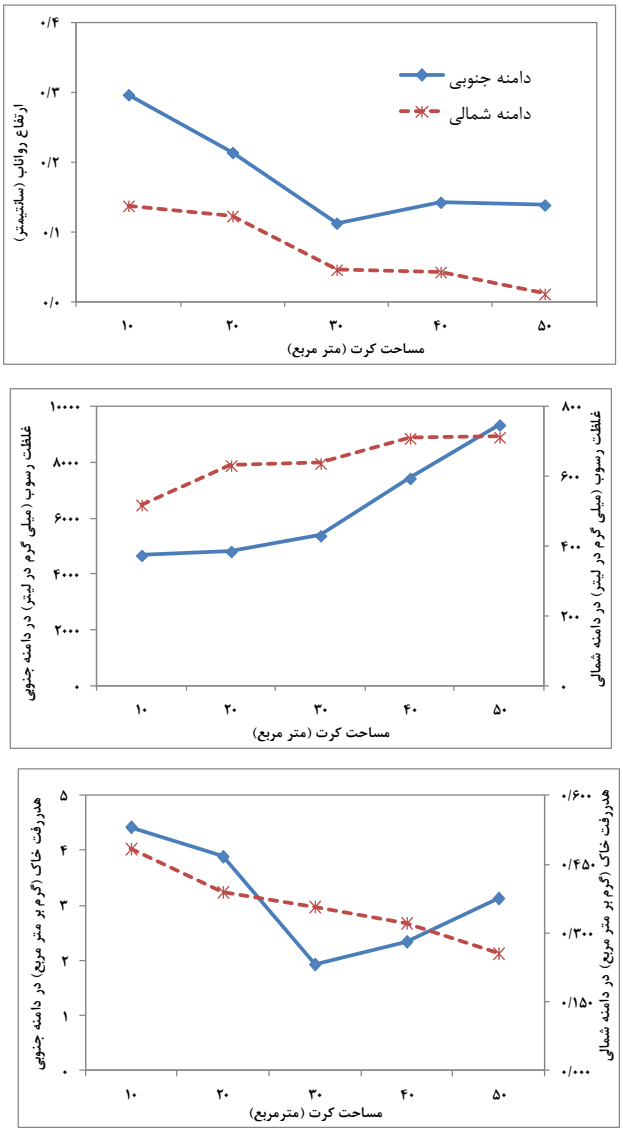
از سوی دیگر بررسی هدررفت خاک در دامنه جنوبی نشان می‌دهد که وقایع ۱۰، ۱۶ و ۱۹ دارای هدررفت خاک بالایی می‌باشند در حالی‌که در تیمار دامنه شمالی طی این وقایع فرسایش خاک با شدت کم‌تری دیده شده است. در این زمینه می‌توان بیان نمود که در تیمار دامنه شمالی طی این رگبارها، پوشش تاجی به‌عنوان یک صافی باعث نفوذ و یا تبخیر بارش می‌گردد و بنابراین رسوب کم‌تری تولید می‌گردد. به‌ویژه واقعه ۱۶ که دارای حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای کم (کم‌تر از ۴ میلی‌متر در ساعت) ولی مقدار بارش حدود ۱۰ میلی‌متر بوده‌است، در دامنه جنوبی با پوشش گیاهی ناچیز موجب هدررفت قابل توجه خاک شده است حال‌آنکه در دامنه شمالی، پوشش گیاهی به‌خوبی از خاک حفاظت نموده است. هم‌چنین واقعه‌های ۱۰ و ۱۹ دارای فرسایندگی بالایی بوده‌اند در واقعه ۱۰ بارش همزمان باران و تگرگ در منطقه به‌وقوع پیوسته است. در این زمینه نیز نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خاک ناشی از رگبارهای شدید و تگرگ به‌خوبی دیده می‌شود.

ارزیابی طول کرت بر رواناب و هدررفت خاک

روند تغییرات رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک در کرت‌های مستقر در دامنه جنوبی و شمالی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص می‌باشد با افزایش طول مسیر جریان در هر دو دامنه از میزان رواناب در واحد سطح کاسته شده با این حال رواناب دارای غلظت بالاتری از رسوب می‌باشد. بررسی شکل ۴ نشان می‌دهد که سرعت کاهش رواناب با افزایش طول کرت بیش‌تر از افزایش غلظت رسوب می‌باشد و در نتیجه آن میزان هدررفت در واحد سطح با افزایش طول مسیر جریان کاهش یافته است. برای نمونه در تیمار دامنه شمالی از کرت ۱۰ تا ۵۰ متر مربعی میزان رواناب حدود ۱۰ برابر کاهش یافته درحالی که غلظت رسوب حدود ۵۰ درصد بیش‌تر شده است.

در دامنه شمالی نتایج نشان می‌دهد که میزان هدررفت خاک در واحد سطح و ارتفاع رواناب با افزایش طول کرت روند کاهشی داشته‌اند. با این حال غلظت رسوب دارای روند متفاوتی بوده و همسو با افزایش طول کرت روند افزایشی داشته است. در دامنه جنوبی نیز همان‌گونه که مشاهده می‌شود یک تغییر در داده‌ها وجود دارد. به‌گونه‌ای که در مورد هدررفت خاک در واحد سطح و هم‌چنین ارتفاع رواناب یک روند کاهشی تا طول ۱۵ متری کرت مشاهده می‌شود حال آن‌که در کرت‌های بزرگ‌تر از ۱۵ متر این روند افزایشی می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۳ مشخص می‌باشد برای طول کرت ۲۰ و ۲۵ متر میزان هدررفت خاک در واحد سطح و ارتفاع رواناب افزایش یافته است. دلیل این نتایج تا حدودی به تفاوت شیب این دو کرت در دامنه جنوبی منطقه می‌باشد که خود باعث این تفاوت شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]



شکل ۴- روند تغییرات رواناب (بالا)، غلظت رسوب (وسط) و هدررفت خاک (پایین) با افزایش مساحت کرت در پایگاه سنگانه

Figure 4. Trend of runoff (up), sediment concentration (middle) and soil loss (down) change with increasing plot area in Sanganeh watershed

رابطه معکوس بین طول کرت و رواناب اندازه‌گیری شده در واحد سطح توسط محققان پیشین نیز گزارش شده است (۴، ۳۲،۱۳). در این زمینه می‌توان بیان نمود که افزایش زمان تمرکز در کرت‌های بزرگ می‌تواند با ایجاد تاخیر در رسیدن جریان رواناب به انتهای کرت و ایجاد فرصت مناسب برای نفوذ جریان در خاک از مقدار رواناب در واحد سطح بکاهد. از سوی دیگر با توجه به این‌که بارش‌های مناطق نیمه خشک اصولاً دارای شدت‌های مختلف طی زمان‌های کوتاه می‌باشند، بنابراین در کرت‌ها با زمان تمرکز کم‌تر، بارش منقطع نیز قادر خواهند بود جریان پیوسته ایجاد نموده و کل سطح کرت در تولید جریان نقش داشته باشد. با این حال در کرت‌های بزرگ جریان اغلب به‌صورت منقطع بوده و برای مشارکت تمامی بخش‌ها در تولید رواناب نیازمند بارش‌های شدید و تداوم بالاتر می‌باشد (۳۵). روند کاهشی رسوب با افزایش طول مسیر جریان، به‌طور ویژه به‌دلیل کاهش میزان رواناب (مطابق با شکل ۴) و در نتیجه عدم امکان جابجایی مواد فرسایش یافته در کرت می‌باشد. به‌عبارتی در کرت‌های مورد بررسی به‌دلیل غالب بودن فرآیند فرسایش سطحی و عدم توسعه شیارها در آن‌ها نفوذ مجدد رواناب و در نتیجه ترسیب مواد درشت‌دانه در حال حمل از مهم‌ترین دلایل رابطه کاهنده بین افزایش طول کرت و هدررفت در واحد سطح می‌باشد.

به نظر می‌رسد در کرت‌های بزرگ، تنها مساحت کوچکی از کرت که در نزدیکی خروجی آن قرار دارد، در فرآیند تولید رواناب و تحویل رسوب شرکت داشته و ذرات جدا شده خاک از بخش بالا دستی کرت‌ها، در مسیر حرکت خود و قبل از رسیدن به خروجی کرت، مجدداً رسوب نموده‌اند که این امر سبب شده تا با افزایش ابعاد کرت، سهم ناحیه مشارکت‌کننده

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]

در تولید رسوب نسبت به مساحت کل کرت به تدریج کاهش یابد.

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرگذاری جهت جغرافیایی و طول دامنه در مقدار اندازه‌گیری شده هدررفت خاک و تولید رواناب در مراتع خشک سنگانه کلات واقع در شمال شرق ایران طرح‌ریزی شده است. با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان بیان نمود که رگبارهای شدید مسئول بخش عمده‌ای از فرسایش خاک و رسوب‌دهی این منطقه هستند. هم‌چنین ارزیابی اثر جهت جغرافیایی احداث کرت و طول کرت بر مقدار اندازه‌گیری شده رواناب و فرسایش خاک اثرگذار است. به‌گونه‌ای که مقادیر اندازه‌گیری شده رواناب و رسوب در جهت جنوبی بسیار بیش‌تر از کرت‌های مستقر در دامنه شمالی بوده است. علاوه بر تفاوت در داده‌های اندازه‌گیری شده هدررفت خاک، رواناب و غلظت رسوب در دو دامنه مورد بررسی، نتایج نشان دهنده آن است که فرآیندهای تبدیل بارش به رواناب و ایجاد فرسایش خاک و انتقال رسوب در این دو منطقه متفاوت است. به‌گونه‌ای که طی برخی از وقایع در دامنه جنوبی مقادیر حداکثری در هدررفت خاک اندازه‌گیری شده است اما متناظر آن در دامنه شمالی مشاهده نشده است. از سوی دیگر بدون توجه به جهت دامنه، ابعاد کرت‌های مورد استفاده در مقادیر اندازه‌گیری شده اثرگذار بوده است. براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر می‌توان جمع‌بندی نمود که لحاظ نقش جهت و طول دامنه در ارزیابی و بررسی فرسایش خاک از سطح حوزه‌های آبخیز بسیار حائز اهمیت بوده و انتخاب تنها یک بخش از آبخیز با استفاده از کرت‌های کوچک و تعمیم نتایج آن به سطح حوزه آبخیز دارای اشکالات فراوان می‌باشد.

با توجه به امکانات موجود پژوهش حاضر در کرت‌های ۱۰ الی ۵۰ مترمربعی انجام شد که محدوده کوچکی از یک دامنه را به خود اختصاص می‌دهد و درنتیجه تغییرات نیم‌رخ دامنه و کاهش شیب در پایین دامنه در آن دیده نشده است. هم‌چنین این تحقیق در محدوده فرسایش سطحی انجام شده است و ضروریست مطالعات دقیقی در محدوده‌های فرسایش شیاری در سطح دامنه نیز صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پروژه تحقیقاتی با همکاری پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهیه شده که بدینوسیله کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

1. Abbasi, A.A., J. Porhemat and E. Khoshbazm. 2014. Investigate the Potential of Runoff in Small Watershed (Case Study: Sanganeh Kalat Watershed). Journal of Rainwater Catchment Systems, 2(3):13-22 (In Persian).
2. Arabkhedri, M. 2015. The Possibility of Estimation of Long-Term Average Annual Erosion Based on Measurements of Erosion from a Few Rainfall Events. Extension and Development of Watershed Management, 3(11): 7-15 (In Persian).
3. Arabkhedri, M., M. Mahmoodabadi, S. Taghizadeh and A. Zoratipour. 2018. Causes of Severe Erosion in a Clayey Soil under Rainfall and Inflow Simulation. Ecopersia, 6(4): 225-233 (In Persian).
4. Asadzadeh, F., M. Gorgi, A. Vaezi, R. Sokouti and S. Mirzaee. 2013. Effect of plot size on measured runoff and sediment yield from natural rain-storms. Water and Soil Resources Conservation, 2(4): 69-80 (In Persian).
5. Bagarello, V. and V. Ferro. 2017. Scale effects on plot runoff and soil erosion in a Mediterranean environment. Vadose Zone Journal, 16(12). doi:10.2136/vzj2017.03.0059.
6. Bagarello, V., V. Ferro, G. Giordano, F. Mannocchi, V. Pampalone, F. Todisco and L. Vergni. 2011. Effect of plot size on measured soil loss for two Italian experimental sites. Biosystems engineering, 108(1): 18-27.
7. Cammeraat, E.L. 2004. Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. Agriculture, ecosystems & environment, 104(2): 317-332.
8. Canton, Y., A. Sole-Benet, J. De Vente, C. Boix-Fayos, A. Calvo-Cases, C. Asensio., J. Puigdefábregas. 2011. A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain. Journal of Arid Environments, 75(12): 1254-1261.
9. De Vente, J., J. Poesen, M. Arabkhedri and G. Verstraeten. 2007. The sediment delivery problem revisited. Progress in Physical Geography, 31(2): 155-178.
10. Fazli, S., S.H.R. Sadeghi. and A.V. KhalediDarvishan. 2010. Rainfall- Runoff- Sediment Modelling. Iran-Watershed Management Science and Engineering, 4(11): 41-44 (In Persian).
11. Gallart, F., P. Llorens, J. Latron and D. Regüés. 2002. Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6(3): 527-537.
12. Gholami, L., S.H.R. Sadeghi, A.V. KhalediDarvishan and A. Telvari. 2008. Storm-wise sediment yield prediction using rainfall and runoff variables, 22(2): 263-271 (In Persian).
13. Joel, A., I. Messing, O. Seguel and M. Casanova. 2002. Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes. Hydrological Processes, 16: 1467-1478.
14. Komaki, C.B., H. Ahmadi, M. Mombeni, S. Ahmad Yousefi and N. Mostafavi. 2019. Comparison of Automatic Extraction of Sediment Delivery of Watershed and Traditional Method in Geographic Information System (Case Study: Yekechenar Watershed –Golestan Province). Journal of Watershed Management Research, 9(18): 260-270.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]

15. Leys, A., G. Govers, K. Gillijns, E. Berckmoes and I. Takken. 2010. Scale effects on runoff and erosion losses from arable land under conservation and conventional tillage: the role of residue cover. Journal of Hydrology, 390: 143-154.
16. Madanchi, P., M. Arabkhedi and M. Habibnejad Roshan. 2019. Determination of best sediment estimation model in semi-arid rangelands by using small reservoirs dams sedimentation (case study: Daremorid watershed in Kerman province). Journal of Watershed Management Research, 9(18): 233-240 (In Persian).
17. Mathys, N., S. Klotz, M. Esteves, L. Descroix and J.M. Lapetite. 2005. Runoff and erosion in the Black Marls of the French Alps: observations and measurements at the plot scale. Catena, 63(2): 261-281.
18. Mayor, A.G., S. Bautista and J. Bellot. 2011. Scale-dependent variation in runoff and sediment yield in a semiarid Mediterranean catchment. Journal of Hydrology, 397: 128-135.
19. Moreno-de las Heras, M., J.M. Nicolau, L. Merino-Martín and B.P. Wilcox. 2010. Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. Water Resource Research, 46, W04503, doi: 10.1029/2009WR007875.
20. Nicolau, J.M. 2002. Runoff generation and routing on artificial slopes in a Mediterranean–continental environment: the Teruel coalfield, Spain. Hydrological Processes, 16: 631-647.
21. Noor, H., S.H. Rajaei, A. Bagherian Kalat and R. Sedigh. 2018. Analyzing Temporal and Spatial Scale Effect on Sediment Yield of Micro-Watershed in Sanganeh Area. Extension and Development of Watershed Management, 6(21): 37-42 (In Persian).
22. Noor, H. and M. Rostami Khalaj. 2018. Improving MUSLE performance for sediment yield prediction at micro-watershed level using seasonal classified data. Water Practice and Technology, 13(3): 505-512.
23. Parsons, A.J., R.E. Brazier and J. Wainwright., D.M. Powell. 2006. Scale relationships in hillslope runoff and erosion. Earth Surface Processes and Landforms, 31: 1384-1393.
24. Rangavar, A.S., A. Gazanchian, A.A. Abbasi and S.H. Hosseini. 2010. Determination of Effective Factors on Sediment Yield in Arid Rangelands of North east of the Iran. Proceedings of the 6th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, Tarbiat Modares University, Noor, Iran (In Persian).
25. Regues, D., J.C. Balasch, X. Castelltort, M. Soler and F. Gallart. 2000. Relaciones entre lastendencias temporalis de producción y transporte de sedimentos y las condiciones climáticas, en una pequeña cuenca de montaña Mediterránea (Vallcebre, Pirineos orientales). Cuadernos de Investigación Geográfica, 26: 41-65.
26. Sadeghi, S.H.R., E. Sharifi Moghaddam and A.V. Khaledi Darvishan. 2016. Effects of subsequent rainfall events on runoff and soil erosion components from small plots treated by vinasse. Catena, 138: 1-12.
27. Soinne, H., J. Hyväluoma, E. Ketoja and E. Turtola. 2016. Relative importance of organic carbon, land use and moisture conditions for the aggregate stability of post-glacial clay soils. Soil and Tillage Research, 158: 1-9.
28. Thomaz, E.L. and C.E. Ramos-Scharrón. 2015. Rill length and plot-scale effects on the hydrogeomorphologic response of gravelly roadbeds. Earth Surface Processes and Landforms, 40(15): 2041-2048.
29. Truman, C.C., T.C. Strickland, T.L. Potter, D.H. Franklin and D.D. Bosch. 2007. Variable rainfall intensity and tillage effects on runoff, sediment, and carbon losses from loamy sand under simulated rainfall. Journal of Environment Quality, 36(5): 1495-1502.
30. Vaezi, A.R. and F. Besharat. 2015. Rainfall during Events on Runoff and Soil Loss under Simulated Rainfalls. Iran-Watershed Management Science and Engineering, 9(29): 9-18 (In Persian).
31. Vaezi, A.R., Z. Bayat and M. Foroumadi. 2018. Variability of Surface Erosion and Particle Size Distribution in Relation to Slope Aspect and Gradient in a Semi-Arid Region in West of Zanjan. JWSS-Isfahan University of Technology, 22(2): 1-14 (In Persian).
32. Van de Giesen, N.C., T.J. Stomph and N. de Ridder. 2000. Scale effects of Hortonian overland flow and rainfall-Runoff dynamics in a West African catena landscape. Hydrological Processes, 14: 165-175.
33. Vanmaercke, M., J. Poesen, G. Verstraeten, J. De Vente and F. Ocakoglu. 2011. Sediment yield in Europe: Spatial patterns and scale dependency. Geomorphology, 130: 142-161.
34. Villatoro-Sánchez, M., Y. Le Bissonnais, R. Moussa and B. Rapidel. 2015. Temporal dynamics of runoff and soil loss on a plot scale under a coffee plantation on steep soil (Ultisol), Costa Rica. Journal of Hydrology, 523: 409-426.
35. Yair A. and N. Raz-Yassif. 2004. Hydrological processes in a small arid catchment: Scale effects of rainfall and slope length. Geomorphology, 61: 155-169.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]

The Influence of Hillslope Length and Direction on Runoff and Soil Loss Under Natural Rainfall in an Arid Region

Hamzeh Noor[1] and Mahmoud Arabkhodri[2]

1- Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Khorasan Razavi, Agricultural Research, Education and Extension Organization Mashhad, Iran (Corresponding author: h.noor@areeo.ac.ir)
2- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
Received: January 6, 2018 Accepted: June 22, 2019

Abstract

Analyzing variability of measured runoff and soil loss data under different condition of measurement system, are critical for advancing erosion science, evaluating hydrologic models, and designing erosion experiments. For this purpose, the current study aimed to evaluate how runoff and soil loss are influenced by hillslope direction and length in Sangane arid rangeland, Razavi Khorasan Province, Iran. To achieve the goals of this research, 5 plots with length of 5, 10, 15, 20 and 25 meters were established on the north and south facing hillside. The analysis of 20 storms events causing soil erosion, indicted that one event produced about 70% and 34% of soil loss in southern and northern slopes, respectively. The results also, showed that in northern slopes duo to poor vegetation cover, hydrological response to subsequent rainfalls and hail are different from the northern slope. Finally, in current study, a decreasing non-linear relationship between area specific runoff and soil loss as well as plot length were founded.

Keywords: Experimental Plot, Range Hydrology, Scale Dependence

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-08-03]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.11.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.254]