نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۰، ص. ۵۹۲-۵۸۳

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.3, Jul-Aug 2011, p. 583-592

تأثیر تندی و جهت شیب بر روان‌آب سطحی و رسوب از کرت‌های کوچک آزمایشی در حوزهٔ آبخیز کجور

سیّدحمیدرضا صادقی[1*]- ملیحه‌سادات ظریف‌معظم[2]- سید خلّاق میرنیا[3]

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۸
تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۵

چکیده

مدیریّت صحیح یک حوزهٔ آبخیز مشروط بر شناخت عوامل موثّر و بررسی رفتار آن‌ها در شرایط متفاوت می‌باشد. اگرچه تاکنون نقش خصوصیّات کلی توپوگرافی بر تولید روان‌آب و رسوب مورد بررسی قرار گرفته است، لیکن تغییرپذیری مؤلفه‌های هیدرولوژیکی مذکور در شرایط مختلف و خصوصاً حوزه‌های آبخیز ایران کم‌تر مورد توجّه قرار گرفته است. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف بررسی نقش تندی و جهت شیب بر حجم روان‌آب و رسوب در حوزهٔ آبخیز جنگلی کجور واقع در جنوب شرقی شهرستان نوشهر طراحی شد. آزمایش‌های مورد نظر با استفاده از یک باران‌ساز پمپی با شدّت ۱/۶ میلی-متر بر دقیقه و کرتی با ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر در دو تیمار شیب کم‌تر و مساوی ۲۵ درصد و بیش‌تر از ۲۵ درصد و جهت‌های شرقی و غربی انجام شد. آزمایش‌ها به‌صورت ماهانه و طی مهر ۱۳۸۷ تا اردیبهشت ۱۳۸۸ در سه تکرار و محل‌های ثابت انجام گردید. بررسی اثر تیمارهای تندی و جهت شیب با استفاده از طرح‌های فاکتوریل و مربّع لاتین در نرم‌افزار SPSS 17 صورت گرفت. نتایج نشان داد که تنها تندی شیب بر حجم روان‌آب تأثیر معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۴$) داشته است به‌نحوی‌که برخلاف تصوّر عموم حجم روان‌آب روی شیب زیاد، کم‌تر از شیب کندتر بوده است. هم‌چنین اثر شیب در برخی از ماه‌ها و اثر جهت در ماه‌های دیگر روی رسوب معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) بوده است و در حالت کلّی با افزایش شیب، رسوب تولیدی به سبب بافت درشت خاک و محدودیت رسوب قابل دسترس، کم و در دامنهٔ شرقی مقدار آن بیش‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: ایجاد روان‌آب، تندی شیب، جهت شیب، آبخیز جنگلی کجور، مقدار رسوب

مقدمه

مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز نیازمند اطّلاعات دقیق و درک وقایع به‌هم پیوسته پدیده‌های موجود در آن می‌باشد (۲۸). فرسایش خاک در طول بارش یک پدیده کاملاً طبیعی است که ناشی از فرآیند جداسازی خاک توسط ضربه قطره‌های باران و روان‌آب سطحی و در پی آن جابجایی ذرّات در اثر پاشمان و حمل آن توسط روان‌آب سطحی می‌باشد (۲۲). اگرچه عوامل موثّر بر فرسایش خاک تحت تأثیر شرایط زمانی و مکانی متنوع می‌باشند، لیکن مهم‌ترین آنها شامل اقلیم، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و نحوه مدیریت اراضی است (۴ و ۲۰). در بین خصوصیّات ذکر شده عامل توپوگرافی از پارامترهای مهم موثّر بر فرسایش و رسوب می‌باشد.

از جمله خصوصیّات توپوگرافی مهّم، تندی[4] و جهت[5] شیب است که به‌صورت مستقیم و یا با تأثیر روی سایر عوامل محیطی باعث تغییر در فرآیندهای هیدرولوژیکی خاک به‌ویژه پتانسیل تولید روان‌آب و رسوب می‌شوند. در این راستا مطالعات متنوّع و گسترده‌ای در سرتاسر جهان، در مقیاس‌ها و کاربری‌های مختلف و نیز شرایط طبیعی و شبیه‌سازی شده صورت گرفته است. در خارج از کشور آغاسی و همکاران (۱۲) طی بررسی خود روی اثر تندی و جهت شیب بر فرسایش و روان‌آب، نشان دادند که جهت دامنه تحت تأثیر وزش باد اثر معنی‌داری روی تولید روان‌آب و رسوب دارد. در هر دو دامنه، با افزایش شیب تولید روان‌آب کاهش ولی تولید رسوب افزایش یافته است که این افزایش در دامنه باد پناه[6] چندان محسوس نبوده حال آن‌که در دامنه رو به باد به‌صورت نمایی فزونی یافته است. کردا و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرّس (نور)
(*- نویسنده مسئول: Email: sadeghi@modares.ac.ir)

4- Slope steepness
5- Slope aspect
6- Leeward

همکاران (۱۸) نیز دریافتند تفاوت پاسخ هیدرولوژیکی خاک در دو دامنه شمالی و جنوبی ناشی از تفاوت پوشش گیاهی دو دامنه بوده که خود تحت تأثیر جهت دامنه و شرایط اقلیمی قرار گرفته است. هم‌چنین بتنی و گریسمر (۱۵) بیان نمودند اثر تندی شیب روی روان-آب و رسوب تحت تأثیر پوشش گیاهی و وضعیت سطح خاک قرار دارد، به‌نحوی‌که در شرایط پوشش گیاهی ضعیف و افزایش شیب منجر به افزایش حجم روان‌آب و رسوب شده است. حال آن‌که در شرایط مناسب پوشش گیاهی و سطح خاک با افزایش شیب، رسوب تولیدی افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته است. کارول و همکاران (۱۷) نیز نشان دادند که مقدار روان‌آب با افزایش شیب در کرت‌های آزمایشی از الگوی خاصّی تبعیّت نکرده بلکه تحت تأثیر عواملی هم-چون پوشش و وضعیت خاک کم و زیاد شده است. پژوهش‌های آزولاین و بن–هور (۱۴) نشان داد که هدررفت خاک تحت تأثیر شدّت بارندگی قرار داشته به‌نحوی‌که در شدّت بارندگی ۱۲ میلی‌متر بر ساعت افزایش شیب تغییر معنی‌داری روی افزایش تولید رسوب ایجاد نکرده است. ولی در شدّت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت باعث افزایش نمایی هدررفت خاک شده است. هم‌چنین چنگ و همکاران (۲۱) با بررسی-های خود در شمال چین مشاهده کردند که افزایش شیب افزایش تولید روان‌آب و هدررفت خاک را به‌دنبال داشته است. نیسن و ورمرسچ (۲۷) نیز در بررسی خود روی عوامل اثرگذار بر فرسایش‌های سطحی، شیاری، آبکندی و لغزش در بلژیک نشان دادند که بین تندی و جهت شیب با فرسایش در اکثر موارد همبستگی مثبت وجود داشته است.

در ایران نیز محمّدزاده (۱۱) به بررسی اثر تندی و جهت شیب بر فرسایش مارن حوزهٔ آبخیز گیوی‌چای در استان اردبیل پرداخت. نتایج به‌دست آمده حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار تولید روان‌آب دو دامنه شمالی و جنوبی بود حال آن‌که نتایج رسوب تولیدی دو دامنه تفاوت معنی‌داری را نشان داد به‌نحوی‌که با افزایش شیب مقادیر روان‌آب و رسوب افزایش پیدا کرده بود. فرجی و همکاران (۹) نیز عوامل مهم موثّر بر فرسایش رسوب‌دهی حوزهٔ آبخیز بابا احمدی خوزستان را بررسی و بیان نمودند که افزایش شیب تأثیر قابل توجهی بر تولید رسوب سازندها و سنگ‌های مقاوم ندارد. هم‌چنین اسدی و همکاران (۱) نشان دادند که اثر شیب روی میزان فرسایش بین شیاری تحت تأثیر شدّت بارندگی و نوع خاک قرار دارد. نتایج پژوهش صادقی و همکاران (۵) در برآورد فرسایش خاک در مقیاس کرت‌های آزمایشی و نیز حوزهٔ آبخیز کوچک در منطقهٔ سنگانه خراسان رضوی نشان داد که مقادیر تولید روان‌آب و رسوب در دو دامنه شمالی و جنوبی به‌واسطه تولید و تکامل خاک و پوشش گیاهی و نیز دریافت سطوح متفاوت انرژی خورشیدی متفاوت بوده است. ظریف و همکاران (۷) نیز در بررسی تغییرات روان‌آب و رسوب در دو شیب حوزهٔ آبخیز جنگلی و در کرت‌های آزمایشی بیان نمودند که حجم روان‌آب در شیب زیاد بیش‌تر از شیب کم بوده در حالی‌که میزان رسوب در شیب زیاد بیش‌تر از شیب کم بوده است.

بررسی سوابق ارائه شده حاکی از تغییرپذیری متفاوت تولید روان-آب و رسوب تحت تأثیر تندی و جهت شیب در مناطق مختلف جهان داشته است. به‌همین دلیل انجام مطالعات گسترده در خصوص تحلیل اثر مؤلفه‌های مختلف توپوگرافی بر خصوصیّات هیدرولوژیک اکوسیستم‌ها ضروری می‌نماید. از این‌رو پژوهش حاضر با هدف بررسی هم‌زمان اثر تندی و جهت شیب بر تولید روان‌آب سطحی و رسوب در حوزهٔ آبخیز جنگلی کجور به‌واسطه امکان دسترسی، مطالعات پیشین و تنوع ظاهری شرایط حاکم بر دامنه‌های مختلف اجرا شده است.

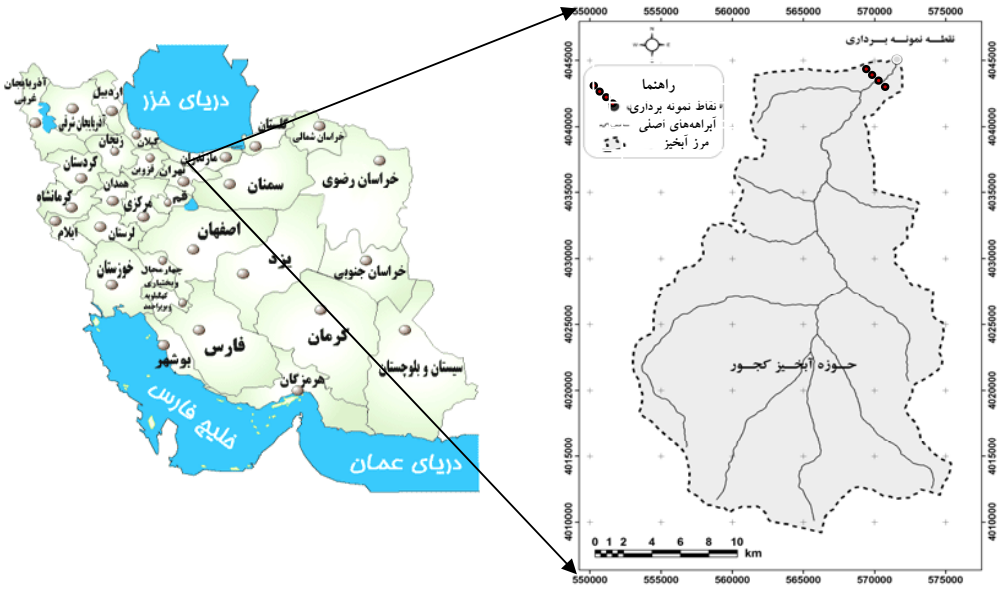
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تحقیق فعلی در حوزهٔ آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرّس (کجور) با مساحت ۵۰۱۳۰ هکتار در جنوب شرقی نوشهر و بین طول‌های″۰ ′۳۵ °۵۱ تا ″۳۰ ′۵۰ °۵۱ شرقی و عرض‌های ″۳۰ ′۱۳ °۳۶ تا ″۰ ′۳۳ °۳۶ شمالی انجام شد (شکل ۱). مساحت عمده‌ای از بخش پایین‌دست حوزهٔ آبخیز را جنگل‌های طبیعی خزان کننده تشکیل می‌دهد و مابقی در بالادست به‌صورت کاربری مرتع مورد تعلیف دام‌های روستائیان منطقه کجور قرار می‌گیرد. میانگین تراکم پوشش گیاهی در توده‌های جنگلی و مناطق مرتعی به‌ترتیب ۷۵ و ۵۰ درصد تعیین شده است (۲ و ۲۹). ارتفاع متوسط منطقه ۱۸۳۰/۵ متر و شیب متوسط آبخیز مورد مطالعه ۳۴ درصد می‌باشد. بخش عمده‌ای از سطح آبخیز مورد نظر به دورهٔ ژوراسیک تعلّق دارد. نوع خاک منطقه تکامل‌نیافته راندزین[1] تا راندزین شسته‌شده و خاک قهوه‌ای جنگلی با pH قلیایی و خاک قهوه‌ای شسته‌شده تا پسدوگلی[2] و با بافت عمومی و غالب لومی شنی ارزیابی شد.

طبق آمار ایستگاه هواشناسی جلگه‌ای نوشهر حداکثر و حداقل درجه حرارت، میانگین بارندگی سالیانه، حداکثر و حداقل متوسط بارندگی ماهیانه به‌ترتیب ۲۵ و ۶/۶ درجه سانتی‌گراد، ۱۳۰۸/۸ میلی-متر، ۲۸۰/۴ و ۳۷/۴ میلی‌متر است. حال آن‌که مقدار بارندگی در بالادست مرتعی حوزهٔ آبخیز به حدود ۲۵۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد. بر اساس طبقه‌بندی کوپن[3] منطقه مورد مطالعه در پایین دست از اقلیم برّی و زمستان سرد و خشک و تابستان کوتاه و اقلیم نیمه خشک در قسمت‌های بالادست برخوردار می‌باشد (۲۹).

1- Rendzine
2- Pseudogley
3- Koppen



شکل ۱- موقعیّت کلی حوزهٔ آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرّس (کجور) و محل کرت‌های مورد مطالعه

روش پژوهش

برای مقایسهٔ پاسخ هیدرولوژیکی خاک تحت تأثیر تندی و جهت شیب با توجّه به شرایط کوهستانی منطقه دو جهت شیب عمومی شرقی و غربی و هم‌چنین سهولت دسترسی و موجودیت شیب در هر دامنه دو تندی شیب در نظر گرفته شد. در دامنهٔ شرقی شیب‌های ۲۵ و ۵۷ درصد و در دامنهٔ غربی ۲۱ و ۴۴ درصد با توجّه به فراوانی طبقات مذکور، بازدیدهای صحرایی، دسترسی و شباهت نسبی سایر شرایط حاکم بر آن‌ها انتخاب شدند.

برای دست‌یابی به اهداف مورد نظر در این تحقیق از شبیه‌ساز باران پمپی (۲۶) و واسنجی شده طی بررسی‌های گذشته (۱۰) استفاده شد. شدّت بارش مورد استفاده حدود ۱/۶ میلی‌متر بر دقیقه و در دامنهٔ شدّت باران منطقه و متناسب با توان‌مندی دستگاه شبیه‌ساز مدّ نظر قرار گرفت. یک‌نواختی شدّت در طول بارش نیز با تکرار دفعات مناسب پمپ، به‌صورت دستی و در فواصل زمانی مناسب و طبق مطالعات پیشین (۱۰) تامین گردید. بارش مصنوعی از ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر و تقریباً در شرایط عادی ایستادن و در تبعیت از پژوهش‌های پیشین (۲۶) روی سطح کرت‌های مطالعاتی ایجاد گردید. کرت مورد استفاده و مستقر بر سطح کرت مورد بررسی با توجه به نوع باران‌ساز و محدودهٔ تحت پوشش آن دارای ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتی‌متری (۲۵ و ۲۶) و مجهز به حاشیه جمع‌آوری کننده روان‌آب بود. نمایی از باران‌ساز و کرت مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده است. آزمایش‌های شبیه‌سازی باران به‌صورت یک‌بار در روزهای میانی هر ماه از مهر ۱۳۸۷ تا اردیبهشت ۱۳۸۸ در محل ثابت و تا زمان دستیابی به مقدار ثابت روان‌آب (۶) طی فواصل زمانی ۲ دقیقه (۱۹) در سه تکرار انجام شد. برای اندازه‌گیری پاسخ هیدرولوژیکی کرت‌های مورد نظر و با هدف اندازه‌گیری روان‌آب غالب سطحی (۳۰) در محل انتهایی هر کرت یک صفحه نازک سیمانی و یک ورق پلاستیکی در نظر گرفته شد تا روان‌آب تولیدی پس از عبور از روی آن به ظرف‌های نیم‌لیتری هدایت و به‌صورت دستی جمع‌آوری شد.

پس از شروع روان‌آب، نمونه‌های تهیّه شده در فواصل زمانی منظم در ظرف‌های جداگانه جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. حجم روان‌آب با استفاده از استوانهٔ مدرّج و لحاظ مقدار آب جمع‌آوری شده در حواشی جمع‌آوری کننده و مواد معلّق از طریق فیلتراسیون با کاغذ صافی ۴۰ اندازه‌گیری شدند (۶). هم‌چنین برای بررسی اثر خصوصیّات خاک شامل رطوبت پیشین، وزن مخصوص ظاهری، درصد مواد آلی و بافت بر تشکیل روان‌آب سطحی و رسوب تولیدی (۲۳ و ۲۶)، ۳۲ نمونه خاک سطحی (عمق کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر) قبل از اجرای آزمایش‌ها و از نزدیک‌ترین محل به کرت در طی هر آزمایش برداشت و در آزمایشگاه خصوصیّات ذکر شده اندازه‌گیری شدند. اطّلاعات حاصله از هر بار آزمایش به‌صورت بانک اطلاعاتی در نرم‌افزار Excel 2003 ذخیره و مقایسه‌های آماری نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 انجام شد. در نهایت اثر شیب و جهت بر متغیّرهای مورد بررسی و نیز حذف خطای ناشی از تفاوت تکرار بین تیمارها به‌وسیلهٔ آزمون بلوک‌های کامل تصادفی[1] و آزمون چند عاملی[2] صورت پذیرفت.

1- Randomized Complete Block
2-Multi-Factor Test

شکل ۲- باران‌ساز پمپی (راست) و کرت مورد استفاده (چپ) در تحقیق

نتایج

پژوهش حاضر با هدف بررسی مقایسه‌ای تأثیر تندی و جهت شیب بر تولید روان‌آب و مقدار رسوب در بخش پائین‌دست حوزهٔ آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرّس (کجور) در استان مازندران انجام شد. میانگین نتایج آزمایشگاهی خصوصیّات خاک تیمارهای مورد مطالعه طی هشت ماه دوره آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین نتایج آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری روان‌آب و رسوب تولیدی از کرت‌های مستقر در دو تندی و دو جهت شیب و نیز نتایج حاصل از انجام آزمون‌های آماری مربوطه به‌ترتیب در جداول ۲ تا ۴ ارائه شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تأثیر تندی و جهت شیب بر تولید روان‌آب و رسوب تولیدی در پائین‌دست حوزهٔ آبخیز کجور انجام گرفت. توجه به این نکته ضروری است که در محدودهٔ مورد مطالعه شیب‌های کم روی تراس آبرفتی واقع شده‌اند و در برخی از اوقات تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند. بنابراین خاک مناطق با شیب‌های زیاد، کم‌تر دست‌خوش تغییرات محیطی بوده و فرآیند خاک‌سازی در آن‌ها کامل‌تر صورت می‌گیرد. دقّت در جدول ۱ نشان می‌دهد درصد ذرّات ریزدانه و مواد آلی بیش‌ترین مقدار را در شیب‌های زیاد دارند و بیش‌ترین وزن مخصوص ظاهری خاک به‌ترتیب در شیب‌های کم شرقی، کم غربی، زیاد شرقی و زیاد غربی با میانگین ۱/۶، ۱/۵، ۱/۴ و ۱ وجود دارد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، حجم روان‌آب جمع‌آوری شده از تیمارهای مورد نظر در شیب‌های زیاد در هر دو دامنه کم‌تر از شیب‌های کم بوده است. هم‌چنین نتایج حاصل از کاربرد آزمون چند عاملی برای حذف خطای ناشی از تفاوت تکرار بین تیمارها و در ماه‌های مختلف به‌جز بهمن و آذر و دی و به‌ترتیب برای روان‌آب و رسوب در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج آماری جدول ۴ نیز حاکی از معنی‌دار بودن تغییرات حجم روان‌آب تحت تأثیر تیمار تندی شیب است. به‌عبارتی با افزایش شیب از کم به زیاد حجم روان‌آب کاهش یافته و این روند در هر دو دامنه مشاهده شده است. یافته‌های آغاسی و همکاران (۱۲) و آزولاین و بن–هور (۱۴) با تأکید بر هدررفت بیش‌تر خاک در شیب‌های کم به سبب ایجاد لایهٔ نفوذناپذیر در آن‌ها مطابقت دارد. زیاد بودن خلل و فرج خاک تحت تأثیر کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (جدول ۱) رابطهٔ معکوس با حجم روان‌آب دارد (۸). اگرچه می‌توان افزایش خلل و فرج خاک در شیب‌های زیاد را نیز به درصد بالاتر مواد آلی در این شیب‌ها نسبت داد (۳ و ۲۴).

جدول ۶ نشان می‌دهد که عامل جهت شیب اثر معنی‌داری بر حجم روان‌آب نداشته است که با یافته‌های کردا و همکاران (۱۸) در این خصوص مطابقت دارد. نتایج حاصل را می‌توان ناشی از اثر صفات خاک (جدول ۱) بر خصوصیّات روان‌آب (۱۳) دانست. هم‌چنین دقّت در نتایج حاصله حاکی از تفاوت معنی‌دار اثر متقابل شیب در جهت در ماه مهر می‌باشد. به‌این صورت که دامنهٔ غربی از روند کلی سایر ماه‌ها پیروی کرده حال آن‌که افزایش حجم روان‌آب با افزایش شیب در دامنهٔ شرقی مشاهده می‌شود. هم‌چنین توجّه به این نکته ضروری است که ماه مهر طی دورهٔ مورد بررسی در مقایسه با سایر ماه‌های تحت آزمایش از لحاظ بارش خشک‌تر بوده است و لذا افزایش روان-آب در این ماه را ناشی از پدیدهٔ آب‌گریزی خاک[1] (۴) دانست.

1- Hydrophobicity, Water Repellency

جدول ۱- میانگین صفات خاک در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزهٔ آبخیز کجور طی دوره بررسی

تیمار	جهت شرقی		جهت غربی	
متغیّر	۲۵ درصد	۵۷ درصد	۲۱ درصد	٤٤ درصد
رس (درصد)	۱۷/۱	۲۱/۴	۱۹/۷	۲۹/۱
سیلت (درصد)	۱۷/۴	۲۴/۵	۲۰/۸	۳۰/۰
شن (درصد)	۶۵/۷	۵۴/۱	۵۹/۴	۴۱/۰
بافت	لومی شنی	لومی رسی شنی	لومی شنی	لومی رسی
رطوبت پیشین خاک (درصد)	۱۸/۷	۱۵/۲	۱۴/۹	۲۷/۵
ماده آلی (درصد)	۳/۵	۴/۴	۳/۲	۶/۰
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعّب)	۱/۶	۱/۴	۱/۵	۱/۰

جدول ۲- نتایج حاصل از اندازه‌گیری حجم روان‌آب (سانتی‌متر مکعّب) و رسوب (میلی‌گرم) در کرت‌های آزمایشی مستقر در دو جهت و تندی شیب در پائین‌دست حوزهٔ آبخیز کجور

تکرار	متغیّر		جهت شرقی				جهت غربی			
			۲۵ درصد		۵۷ درصد		۲۱ درصد غربی		٤٤ درصد غرب	
	زمان		روان‌آب	رسوب	روان‌آب	رسوب	روان‌آب	رسوب	روان‌آب	رسوب
۱	۱۳۸۱	مهر	۶۲۳	–	۴۳۲	–	۲۹۶	–	۴۵۳	–
۲			۴۹۶	–	۲۳۹	–	۳۲۳	–	۲۷۱	–
۳			۴۹۲	–	۲۴۶	–	۲۳۳	–	۱۴۶	–
۱		آبان	۱۲۱۷	۸/۹	۱۲۷۰	۱۸/۹	۱۴۶۱	۲۱/۱	۹۳۳	۱۰/۲
۲			۱۰۷۵	۲۰/۳	۷۱۴	۱۹/۴	۹۸۵	۱۷/۹	۵۱۳	۱۱/۶
۳			۹۹۹	۶/۸	۵۶۵	۱۱/۲	۸۰۲	۸/۰	۴۸۳	۷/۱
۱		آذر	۱۰۵۲	۱۹/۶	۱۳۶۳	۲۰/۲	۱۱۹۵	۷/۹	۸۴۷	۴/۱
۲			۱۱۲۳	۱۵/۴	۶۷۰	۱۴/۴	۸۶۹	۸/۹	۵۴۱	۱/۳
۳			۸۸۹	۱۰/۷	۴۵۵	۱/۲	۵۹۲	۹/۰	۴۱۳	۲/۶
۱		دی	۱۴۶۵	۱۹/۶	۱۵۵۲	۲۰/۲	۱۲۳۱	۲۱/۱	۹۵۳	۴/۱
۲			۱۲۱۲	۱۵/۴	۹۰۰	۱۴/۴	۱۳۸۶	۱۷/۹	۵۶۰	۱/۳
۳			۴۵۰	۱۰/۷	۲۰۰	۱/۲	۷۳۷	۸/۰	۲۱۰	۷/۶
۱		بهمن	۸۶۱	۱۴/۶	۱۰۱۶	۱۵/۳	۸۷۳	۷/۹	۶۹۰	۶/۲
۲			۹۱۳	۱۵/۴	۶۵۵	۱۱/۳	۸۷۲	۸/۹	۶۴۹	۳/۹
۳			۸۷۲	۱۰/۷	۶۶۶	۱۳	۱۰۳۷	۹/۰	۵۲۸	۳/۲
۱	۱۳۸۱	اسفند	۱۲۱۴	۹/۶	۱۴۰۹	۱۳/۰	۱۴۶۲	۵/۹	۱۰۱۴	۳/۶
۲			۱۳۵۰	۸/۶	۱۰۰۰	۷/۴	۱۵۶۶	۵/۹	۱۲۷۹	۳/۷
۳			۱۰۴۵	۸/۰	۵۹۹	۴/۳	۹۳۳	۸/۰	۶۶۹	۱/۲
۱		اردیبهشت	۱۲۸۷	۲۲/۵	۱۳۵۲	۶/۸	۱۱۶۰	۱۶/۲	۹۵۵	۱۵/۵
۲			۱۰۲۵	۲۳/۶	۶۴۲	۱۰/۱	۱۰۷۰	۷/۵	۸۰۰	۲۱/۴
۳			۱۰۸۹	۶/۸	۸۶۴	۲/۰	۱۰۵۱	۶/۹	۶۱۲	۱۰/۴
۱		خرداد	۱۵۲۳	۲۷/۹	۹۹۶	۱۸/۶	۱۳۴۶	۱۱/۵	۱۱۴۵	۱۸/۴
۲			۱۰۳۱	۳۷/۱	۶۹۳	۱۹/۸	۱۲۱۵	۱۴/۴	۸۱۵	۱۱/۸
۳			۱۰۹۸	۱۸/۱	۷۹۰	۱۸/۹	۱۱۷۲	۷/۴	۶۵۹	۱۱/۶

نتایج تجزیهٔ واریانس در رابطه با مقادیر تولید رسوب (جدول ۵) نیز نشان می‌دهد که اختلاف مقادیر رسوب در دو تندی شیب در دو ماه بهمن و اسفند ۱۳۸۷ و فروردین ۱۳۸۸ معنی‌دار بوده است به نحوی‌که افزایش شیب با کاهش رسوب تولیدی در هر دو دامنه همراه بوده است (جدول ۳). نتایج حاصل توسط بتنی و همکاران (۱۵) و کارول و همکاران (۱۷) در رابطه با نقش درز و شکاف سطح خاک و تأثیر مثبت پوشش گیاهی در کاهش وزن رسوب تائید شده است. جدول ۱ نشان می‌دهد که بیش‌ترین درصد مواد آلی به‌ترتیب در شیب‌های ۴۴ درصد غربی، ۵۷ درصد شرقی، ۲۱ درصد غربی و ۲۵ درصد شرقی با میانگین ۶، ۴/۶، ۳/۵ و ۲/۳ وجود داشته است. نظر به نقش مواد آلی در پایداری خاک‌دانه‌ها و افزایش مقاومت خاک در مقابل فرسایش (۱۶، ۳۱ و ۳۲) می‌توان چنین اظهار نمود که توان جدایی و انتقال باران تولیدی و روان‌آب جاری شده برای جداسازی ذرّات خاک در شیب‌های زیاد به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

هم‌چنین مقادیر رسوب در دو جهت شیب در ماه‌های آذر، دی و اسفند ۱۳۸۸ مؤید تفاوت معنی‌دار در مقدار تولید رسوب بوده است (جدول ۵). به‌گونه‌ای که با توجّه به جدول ۲، وزن رسوب در دامنهٔ شرقی بیش‌تر از دامنهٔ غربی می‌باشد. یافته‌های کردا و همکاران (۱۸)، محمدزاده (۱۱) و صادقی و همکاران (۵) نیز تفاوت رسوب تولیدی در دو جهت شیب را مورد تاکید قرار داده‌اند. نتایج حاصل را می‌توان ناشی از تفاوت در وضعیت پوشش گیاهی زمین دانست. به نحوی‌که در منطقهٔ مورد مطالعه پوشش درختی دامنهٔ غربی متراکم‌تر از دامنهٔ شرقی است. از طرفی جهت باد غالب به سمت دامنهٔ غربی بوده و در دوره آزمایش غالبا سطح خاک این دامنه پوشیده از لاشبرگ بوده است. این پوشش توانسته است سطح خاک را در برابر ضربه‌های فرسایشی قطره‌های باران حد فاصل زمان‌های آزمایش مصون نگه داشته و لذا از میزان مواد قابل فرسایش طی زمان آزمایش بعدی کاسته باشد. هم‌چنین دقّت در نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که اثر متقابل شیب و جهت در ماه‌های آبان ۱۳۸۷ و اردیبهشت ۱۳۸۸ معنی‌دار بوده است. جدول ۳ نشان می‌دهد که در دامنهٔ شرقی بر خلاف دامنهٔ غربی افزایش شیب باعث افزایش رسوب تولیدی شده است. آغاسی و همکاران (۱۲) نیز بیان نمودند که رسوب تولیدی دو دامنه تحت تأثیر میزان باران دریافتی بوده است.

از نتایج حاصل از آماره‌های کمّی و اطّلاعات توصیفی حاصل از پژوهش حاضر می توان جمع‌بندی نمود که تعامل نزدیک و پیچیده‌ای بین اجزاء و فرآیندهای محیطی با یکدیگر وجود داشته و حساسیت آن‌ها در مقابل هر گونه تغییر شرایط محیطی زیاد و متفاوت می‌باشد. هم‌چنین نتایج پژوهش فعلی بیانگر پویایی زیاد حوزه‌های آبخیز بوده و از این‌رو مدیریت حوزه‌های آبخیز نیازمند درک و شناخت صحیح پدیده‌های موجود در آن‌هاست. اگر چه دست‌یابی به جمع‌بندی‌های نهایی در هر یک از موارد مرتبط بر آن نیازمند انجام مطالعات گسترده در ابعاد زمانی و مکانی مختلف می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر F و سطح معنی‌داری اختلاف مقادیر حجم روان‌آب و مقدار رسوب حاصل از تکرارهای آزمایش طیّ ماه‌های مختلف در تندی و جهات شیب مورد مطالعه

زمان		۱۳۸۷						۱۳۸۸	
متغیّر	آماره	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
روان‌آب	مقدار F	۷/۴۵	۱۹/۷۵	۱۵/۱۴	۱۸	۰/۵۹	۹/۵۸	۵/۱۷	۱۳/۷
	سطح معنی‌داری	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۵۸	۰/۰۱۴	۰/۰۵	۰/۰۰۶
رسوب	مقدار F	–	۶/۶۴	۲/۳	۰/۴۴	۷/۱۶	۶/۶	۵/۴	۴/۵
	سطح معنی‌داری	–	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۷	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵

جدول ٤- اثر شیب و جهت و متقابل شیب×جهت برحجم روان‌آب در کرت‌های آزمایشی حوزهٔ آبخیز کجور

سال	ماه	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربّعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
۱۳۸۷	مهر	شیب	۳۷۷/۴	۱	۳۷۷/۴	۹/۱۶	۰/۰۲
		جهت	۵۳۷/۳	۱	۵۳۷/۳	۱۳/۰۵	۰/۰۲
		شیب×جهت	۴۲۶	۱	۴۲۶	۱۰/۳۴	۰/۰۱
		خطا	۲۴۷/۲	۸	۴۱/۲		
	آبان	شیب	۳۵۳۹/۸	۱	۳۵۳۹/۸	۲۴/۴۵	۰/۰۰۳
		جهت	۳۶۶/۳	۱	۳۶۶/۳	۲/۵۳	۰/۱۶
		شیب×جهت	۲۷۷/۴	۱	۲۷۷/۴	۱/۹۲	۰/۲۲
		خطا	۸۶۸/۲	۸	۱۴۴/۷		
	آذر	شیب	۱۴۷۶/۳	۱	۱۴۷۶/۳	۷/۹۵	۰/۰۳
		جهت	۵۲۶/۷	۱	۵۲۶/۷	۲/۸۴	۰/۱۴
		شیب×جهت	۱۱۹/۷	۱	۱۱۹/۷	۰/۶۴	۰/۴۵
		خطا	۱۱۱۳/۶	۸	۱۸۵/۶		
	دی	شیب	۳۶۹۶	۱	۳۶۹۶	۷/۸۴	۰/۰۳
		جهت	۴۱۰/۷	۱	۴۱۰/۷	۰/۹	۰/۴
		شیب×جهت	۱۱۱۳/۶	۱	۱۱۱۳/۶	۲/۴	۰/۲
		خطا	۲۸۲۷/۲	۸	۴۷۱/۲		
	بهمن	شیب	۱۲۴۸/۵	۱	۱۲۴۸/۵	۷/۶	۰/۰۳
		جهت	۹۳	۱	۹۳	۰/۶	۰/۵
		شیب×جهت	۳۰۶	۱	۳۰۶	۱/۸	۰/۲
		خطا	۸۸۵	۸	۱۴۷/۵		
	اسفند	شیب	۲۱۳۳/۳	۱	۲۱۳۳/۳	۶/۸	۰/۰۴
		جهت	۷۸	۱	۷۸	۰/۲۵	۰/۶۴
		شیب×جهت	۱۳۲	۱	۱۳۲	۰/۴۲	۰/۵۴
		خطا	۱۸۸۸/۸	۸	۳۱۴/۸		
۱۳۸۸	فروردین	شیب	۱۷۶۹	۱	۱۷۶۹	۷/۸۶	۰/۰۳
		جهت	۳۱۱/۱	۱	۳۱۱/۱	۱/۳۸	۰/۲۸
		شیب×جهت	۱۱۴/۷	۱	۱۱۴/۷	۰/۵۱	۰/۵
		خطا	۱۳۵۰/۶	۸	۲۲۵/۱		
	اردیبهشت	شیب	۴۳۵۸/۶	۱	۴۳۵۸/۶	۴۴	۰/۰۰۱
		جهت	۴۰/۷	۱	۴۰/۷	۰/۴۱۱	۰/۵
		شیب×جهت	۲/۹	۱	۲/۹	۰/۰۳	۰/۸۷
		خطا	۲۹۴	۸	۹۹		

جدول ۵- اثر شیب و جهت و متقابل شیب×جهت بر وزن رسوب در کرت‌های آزمایشی حوزهٔ آبخیز کجور

سال	ماه	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربّعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
۱۳۸۷	آبان	شیب	۱/۹	۱	۱/۹	۰/۱۵	۰/۷
		جهت	۷/۷	۱	۷/۷	۰/۶	۰/۵
		شیب×جهت	۸۳/۹	۱	۸۳/۹	۶/۴	۰/۰۵
		خطا	۷۸/۹	۸	۱۳/۱		
	آذر	شیب	۶۴/۲	۱	۶۴/۲	۲/۲	۰/۱۸
		جهت	۱۸۹/۶	۱	۱۸۹/۶	۶/۵	۰/۰۳
		شیب×جهت	۵/۰	۱	۵/۰	۰/۲	۰/۷
		خطا	۲۳۴/۴	۸	۲۹/۳		
	دی	شیب	۵/۱	۱	۵/۱	۰/۹	۰/۴
		جهت	۱۸۸/۸	۱	۱۸۸/۸	۳۴/۵	۰/۰۰
		شیب×جهت	۲/۶	۱	۲/۶	۰/۵	۰/۵
		خطا	۴۳/۶	۸	۵/۴		
	بهمن	شیب	۲۹/۴	۱	۲۹/۴	۶/۰۶	۰/۰۵
		جهت	۴/۲	۱	۴/۲	۰/۸۶	۰/۴
		شیب×جهت	۲۰/۶	۱	۲۰/۶	۴/۳	۰/۰۸
		خطا	۲۹/۱	۸	۴/۸		
۱۳۸۸	اسفند	شیب	۲۸۹/۲	۱	۲۸۹/۲	۲۳/۱۱	۰/۰۰۳
		جهت	۷۵/۵	۱	۷۵/۵	۶/۰۳	۰/۰۵
		شیب×جهت	۷/۰	۱	۷/۰	۰/۶	۰/۵
		خطا	۷۵/۱	۸	۱۲/۵		
	فروردین	شیب	۱۶۴/۲	۱	۱۶۴/۲	۱۰/۴	۰/۰۲
		جهت	۶۱/۵	۱	۶۱/۵	۳/۹	۰/۱
		شیب×جهت	۴/۶	۱	۴/۶	۰/۳	۰/۶
		خطا	۹۴/۲	۸	۱۵/۷		
	اردیبهشت	شیب	۱۳/۱	۱	۱۳/۱	۳/۹	۰/۱
		جهت	۴۹/۱	۱	۴۹/۱	۱۴/۵	۰/۰۰۹
		شیب×جهت	۲۲/۷	۱	۲۲/۷	۶/۷	۰/۰۴
		خطا	۲۰/۳	۸	۳/۳		

منابع

۱- اسدی ح.، رفاهی ح.ق.، روحی‌پور ح. و قدیری ح.و. ۱۳۸۵. بررسی فرسایش بین شیاری و ارزیابی چند معادله در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از شبیه‌سازی باران، علوم کشاورزی ایران، ۳۷(۵): ۷۸۴-۷۷۵.

۲- اداره کل منابع طبیعی نوشهر. ۱۳۸۱. طرح جنگلداری کجور، سری ۳ آغوزچال، آبخیز ۴۶، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۳۷۹ص.

۳- خیرالدّین ح. ۱۳۸۴. دانش خاک‌شناسی، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۸۵ ص.

۴- صادقی س.ح.ر. ۱۳۸۶. تحلیل ارتباط فرسایش با پدیده آب‌گریزی خاک، مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ۴ تا ۶ شهریور ۱۳۸۶: ۱۰۱۳-۱۰۱۲.

۵- صادقی س.ح.ر.، بشری سه‌قلعه م. و رنگ‌آور ع. ۱۳۸۷. مقایسه تغییرات رسوب با جهت دامنه و طول کرت در برآورد فرسایش خاک ناشی از رگبارها، مجله علوم آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۲۳۹-۲۳۰.

۶- صادقی س.ح.ر.، رضوی س.ل. و رئیسیان ر. ۱۳۸۵. مقایسه دیم‌زار و مرتع فقیر در تولید روان‌آب و رسوب در تابستان و زمستان، پژوهش کشاورزی (آب، خاک و گیاه در کشاورزی)، ۶(۴): ۲۲-۱۱.

۷- ظریف م.س.، صادقی س.ح.ر. و میرنیا س.خ. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات روان‌آب و رسوب در دو شیب مختلف در حوزهٔ آبخیز جنگلی کجور،

پنجمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان، ۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۸۸: ۲۱۲.
۸- عبّاس‌نژاد ا. ۱۳۸۴. خاکشناسی برای زمین‌شناسان، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، چاپ اوّل، ۵۳۵ ص.
۹- فرجی م.، احمدی ح.، مهدوی م.، محمدیان بهبهانی ع. و دادخواه م. ۱۳۸۵. بررسی عوامل موثر بر فرسایش و رسوب‌دهی حوزهٔ آبخیز بابا احمدی خوزستان با استفاده از مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM، منابع طبیعی ایران، ۵۹(۴): ۷۹۶-۷۸۳.
۱۰-محمّدپور ک. ۱۳۸۸. مقایسه نفوذپذیری، تولید روان‌آب و رسوب، پستی و بلندی خرد و پوشش گیاهی در مراتع ییلاقی چرا و قرق شده نوشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرّس، ۸۲ ص.
۱۱-محمّدزاده ع. ۱۳۸۴. بررسی اثر تندی و جهت شیب در فرسایش مارن‌ها با استفاده از باران‌ساز مصنوعی در حوزهٔ آبخیز گیوی‌چای در استان اردبیل، سوّمین همایش ملّی فرسایش و رسوب، تهران، ۹-۶ شهریور ۱۳۸۴: ۶۷۸-۶۷۳.
12- Agassi M., Shainberg I., and Morin J. 1990. Slope, Aspect and Phosphogypsum Effect on Runoff and Erosion. Soil Science Society of America Journal. 54: 1102-1106.
13- Arnau-Rosalén E., Calvo-Cases A., Boix-Fayos C., Lavee H., and Sarah P. 2008. Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes in alicante (Spain). Geomorphology. 102: 595-606.
14- Assouline S., and Ben-Hur M. 2006. Effect of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil Surface sealing. Catena. 66: 211-220.
15- Battany M.C., and Grismer M.E. 2000. Rainfall runoff and erosion in Napa valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. Hydrological Processes. 14: 1289-1304.
16- Biox-Fayyos C., Calvo-Cases A., Imenson A.C., and Soriano-Soto M.D. 2001. Properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation. Catena. 44: 47-67.
17- Carroll C., Merton L., and Burger P. 2000. Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion, and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines. Australian Journal of Soil Research. 38: 313-327.
18- Cerdà A., Imeson A.C., and Calvo A. 1995. Fire and aspect induced differences on the erodibility and hydrology of soils at La Costera, Valencia, southeast Spain. Catena. 24: 289-304.
19- Cerdà A., Schnabel S., Ceballos A., and Gomez-Amelia D. 1998. Soil hydrological response under simulated rainfall in the Dehesa land system (Extremadura, SW Spain) under drought conditions. Land degradation and development. 19: 502-515.
20- Chaplot V.A.M., and Bissonnais Y.L. 2003. Runoff Features for interrill erosion at different rainfall intensities, slope length and gradient in an agricultural Loessial hillslope. Soil Science Society of America Journal. 67: 844-851.
21- Cheng Q., Ma W., and Cai Q. 2008. The relative importance of soil crust and slope angle in runoff and soil loss: a case study in the hilly areas of the Loess Plateau, north China. GeoJournal. 71(2-3): 117-125.
22- Ellison W.D. 1944. Studies of raindrop erosion. Agriculture Engineer. 25(131-136), 181-182.
23- Fernández C., Vega J.V., Fonturbel T., Jiménez E., and Pérez J.R. 2008. Immediate effect of prescribed burning, chopping and clearing on runoff, infiltration and erosion in a shrubland area in Galicia (NW Spain). Land Degradation and Development. 19:502-515.
24- Heuscher S.A., Brandt C.C., and Jardine M.P. 2005. Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density. Soil Science Society of America Journal. 69: 51-56.
25- Kim J.K., Yang D.Y., Kim M.S., and Onda Y. 2009. Evaluation of interrill erosion under forest canopy. Hydrological Research Letters. 3: 36-40.
26- Miyata S., Kosugi K., Gomi T., Onda Y., and Mizuyama T. 2007. Surface runoff as affected by soil water repellency in a Japanese cypress forest. Hydrological Processes. 21: 2365-2376.
27- Nyssen J., and Vermeersch D. 2010. Slope aspect affects geomorphic dynamics of coal mining spoil heaps in Belgium. Geomorphology. 123(1-2): 109-121.
28- Ragab R., Bromley J., Roiser P., Cooper J.D., and Gash J.H.C. 2003. Experimental study of water fluxes in a residential area: 1. Rainfall, roof runoff and evaporation: the effect of slope and aspect. Hydrological Processes. 17: 2409-2422.
29- Sadeghi S.H.R., and Saeidi P. 2010. Reliability of sediment rating curves for a deciduous forest watershed in Iran. Hydrological Sciences Journal. 55(5):821-831.
30- Sidle R.C., Hirano T., Gomi T., and Terajima T. 2007. Hiortonian overland flow from Japanese forest plantations-an Aberration, the Real thing, or something in between? Hydrological Processes. 21: 3237-3247.
31- Unger P.W. 1995. Organic matter and water stable aggregate distribution in ridge-tilled surface soil. Soil Science Society of America Journal. 59(4): 1141-1145.
32- Verhagen T.H. 1984. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soil: a study based on rainfall simulation experiment. Earth Surface Processes and Landforms. 9: 499-507.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.3, Jul-Aug 2011, p. 583-592

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۰، ص. ۵۹۲-۵۸۳

Effect of Slope Steepness and Aspect on Surface Runoff and Sediment Yield from Experimental Small Plots in Kojour Watershed

S.H.R. Sadeghi[1*]- M.S. Zarif Moazam[2]- S.Kh. Mirnia[3]
Received:19-9-2010
Accepted:6-3-2011

Abstract

The proper management of a watershed depends on recognition of effective elements and investigation of their behavior in different conditions. Till date, many researches have studied the role of topographical general characteristics on hydrologic behaviors. Whereas, the changeability of hydrologic properties under different conditions, especially in Iranian watershed has been rarely taken into account. This research aimed to assess the role of slope steepness and aspect on runoff and sediment characteristics in Educational and Research Watershed of Tarbiat Modares University (Kojour) watershed located in southeastern of Nowshahr Township, Iran. Experiments were conducted by using a pressure rain simulator with an intensity of 1.6 mm min^{-1} and a plot in dimension of 30×30 cm in two slope ranges i.e. ≤ 25 and > 25% and eastern and western aspects. These experiments were done in three replications and in particular places on monthly basis from October 2008 to June 2009. The study was formulated in factorial and Latin square designs and the associated results were then analyzed with the help of SPSS 17 software package. Results showed that the affect of slope on runoff volume was significant ($p<0.04$) so that, in contrary to oft reported, the volume of runoff was lower in steeper slope. Slope steepness and aspect had also alterative significant ($p<0.05$) effects on sediment yield. Generally, the higher slope with coarse soil texture and less available sediment, the lower sediment yield with greater amounts in eastern slope.

Keywords: Kojour Watershed, Runoff Generation, Slope Aspect, Slope Steepness, Sediment Yield

1,2,3- Associate Professor, Former MSc Student and Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University (Noor), Respectively
(*- Corresponding Author Email: sadeghi@modares.ac.ir)