نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره ششم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

تغییرات زمانی فرآیندهای هیدرولوژیکی کرت‌های کوچک آزمایشی در یک حوزه آبخیز جنگلی

*سیدحمیدرضا صادقی[۱]، ملیحه‌سادات ظریف‌معظم[۲] و سیدخلاق میرنیا[۳]

[۱]استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، [۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، [۳]دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۱۵

چکیده

امروزه مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی سامانه‌های مختلف از مهم‌ترین پیش‌نیازهای مدیریت منابع آب و خاک است. حال آن‌که مطالعه تغییرات زمانی فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، این پژوهش با هدف تحلیل تغییرات زمانی فرآیندهای هیدرولوژیکی کرت‌های آزمایشی در پایین‌دست آبخیز حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس واقع در استان مازندران انجام شد. آزمایش‌ها با شدت بارش شبیه‌سازی شده حدود ۱/٦ میلی‌متر در دقیقه و کرت ۳۰×۳۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت. تغییرات زمانی ارتفاع، زمان شروع رواناب و رسوب تولیدی طی ۸ ماه از مهر ۱۳۸۷ تا اردیبهشت ۱۳۸۸ به‌صورت ماهانه بررسی شد. نتایج به‌دست آمده دلالت بر تغییرپذیری زمانی آماره‌های مورد بحث در طول دوره آزمایش داشت. ارتفاع رواناب در ماه‌های اسفند و آبان با رطوبت پیشین بالای خاک (۲۵ و ۲۳ درصد) و پوشش کم لاشبرگ سطحی، بالا و به‌ترتیب ۱۲/۵ و ۱۰/۲ میلی‌متر بوده است. همچنین در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به سبب کم بودن نسبی پوشش گیاهی، رسوب تولیدی به‌ترتیب به حدود ۲۱/۱ و ۱۸/۹ میلی‌گرم افزایش یافته است. زمان شروع رواناب در ماه‌های با پوشش کم سطح زمین تحت‌تأثیر رطوبت خاک قرار گرفته بود. در ماه مهر با کم‌ترین رطوبت پیشین (۹ درصد)، بیش‌ترین

* مسئول مکاتبه: sadeghi@modares.ac.ir

زمان تولید رواناب در حدود ٦٧ ثانیه و در اسفند با بالاترین مقدار رطوبت خاک (۲۵ درصد) پایین‌ترین زمان تولید رواناب در حدود ۳۲ ثانیه را داشته است. زمان شروع رواناب در ماه‌های دیگر با تغییر پوشش سطح زمین رفتار نامنظمی داشته که بیانگر حساسیت آن نسبت به شرایط محیطی بوده است.

واژه‌های کلیدی: فرآیندهای هیدرولوژیکی، پوشش سطح خاک، حوزه آبخیز کجور، رطوبت پیشین خاک، کرت‌های آزمایشی

مقدمه

حفظ و توسعه پایدار منابع طبیعی و مدیریت حوزه‌های آبخیز به‌منظور رسیدن به اهداف خاص اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیازمند درک و پیش‌بینی فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌باشد. از طرفی مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی در سطح حوزه‌های آبخیز کم‌تر به‌صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته است (بلام و همکاران، ۲۰۰۷). کمبود اطلاعات در ارتباط با فرآیندهای هیدرولوژیکی، پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت تغییرات اقلیمی (ات و آهلن‌بروک، ۲۰۰٤) رفتارهای غیرخطی و طبیعت متغیر آن‌ها در مکان‌ها و زمان‌های مختلف (زه و سیواپالان، ۲۰۰۹)، پیش‌بینی و کنترل آن‌ها را دشوار می‌سازد (نوربیاتو و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه‌بر آن فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی با تغییر مقیاس‌های زمانی و مکانی پاسخ‌های متفاوتی ارایه نموده که تکرارپذیری مشاهدات هیدرولوژیکی را محدود می‌نماید (زه و سیواپالان، ۲۰۰۹). از طرفی بررسی تغییرات زمانی فرآیندهای هیدرولوژیکی، فرسایشی و تولید رسوب با شرایط آب و هوایی، پوشش گیاهی، مدیریت و کاربری اراضی در زمان‌های مختلف سال و از فصلی به فصل دیگر به‌منظور مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است.

مطالعات گسترده‌ای در زمینه بررسی تغییرات زمانی و مکانی برخی متغیرهای هیدرولوژیکی انجام شده است. در این راستا شوم و لوسبی (۱۹٦۳) در شرق کلرادو تغییرات زمانی ظرفیت نفوذ و رواناب را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد در فصل بهار و تابستان سطح خاک توسط ضربه‌های قطرات باران فشرده شده، در نتیجه متوسط نفوذ کاهش و ارتفاع رواناب زیاد شده است. در فصل زمستان به‌دنبال تغییرات دمایی و یخ‌شکافتگی سطح خاک، سطوح فشرده از بین رفته، نفوذ افزایش و رواناب

کم شده است. همچنین گلیک (۱۹۸۷) در بررسی حساسیت تغییرات رواناب آبخیزی در کالیفرنیا، گزارش دادند که تغییرات دما و بارندگی بیش‌ترین تأثیر در زمان شروع رواناب و حجم آن را داشته‌اند، به‌نحوی‌که با افزایش ناگهانی دما در اواخر فصل زمستان و ذوب برف، رواناب زیاد و در تابستان به‌دلیل کاهش رطوبت خاک و افزایش نفوذ رواناب کاهش یافته است. بلک‌برن و همکاران (۱۹۹۰) نیز در مطالعات خود روی فرآیندهای هیدرولوژیکی بیان نمودند ماه‌هایی از سال که خاک سطحی یخ زده و یا از رطوبت اشباع بوده، سرعت نفوذ کاهش معنی‌داری داشته است. حال آن‌که در ماه‌های دیگر که خاک رطوبت خود را از دست داده، سرعت نفوذ افزایش و حجم رواناب کم شده است. شدت فرسایش در طی سال توسط روند تغییرات رواناب تعیین شده است. پژوهش‌های آندرسن (۲۰۰۱) هم بر تغییرات فصلی رویش و رشد میکروارگانیسم‌ها و تأثیر آن روی فرسایش‌پذیری خاک دلالت داشت. سردا (۲۰۰۲) در مطالعات خود گزارش داد که در مناطق بدون پوشش گیاهی و یا پوشش با تراکم پایین، تغییرات فصلی آب و هوا نقش کنترل‌کنندگی بالایی بر فرسایش داشته است. این تغییرات در خاک‌های رسی مشهودتر بوده، بدین صورت که در تابستان با افزایش دما و کاهش رطوبت خاک، سطح خاک دارای درز و شکاف بیش‌تری شده در نتیجه از حرکت رواناب و رسوب جلوگیری کرده است. در ایران نیز مدرس‌ثانوی و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی‌های خود روی تأثیر سیستم‌های مختلف کشت بر رواناب و فرسایش بدین نتیجه رسیدند که با تکوین مراحل رشد، متراکم شدن پوشش و سایه‌اندازی گیاه و همچنین گسترش ریشه در خاک مقدار نفوذ آب افزایش، رواناب تولیدی کاهش و بالطبع فرسایش خاک نیز کم شده است. در اوایل فصل رویش نیز به‌دلیل لخت بودن خاک، میزان فرسایش بالا بوده است. صادقی و همکاران (۲۰۰٦a) در پژوهش‌های خود بر تفاوت معنی‌دار تغییرات زمانی تولید رواناب و رسوب کاربری‌های مختلف تحت‌تأثیر شرایط مدیریتی اشاره داشته‌اند. مطالعات مساعدی و غریب (۲۰۰۷) نیز بر ویژگی‌های رودخانه قره‌چای رامیان بیانگر آن بود که سیل‌های این رودخانه ویژگی‌های فصلی متغیری داشته‌اند. به‌گونه‌ای که سیل‌های فصل تابستان، کم‌ترین زمان‌های تداوم، اوج، فروکش و بیش‌ترین دبی اوج را به خود اختصاص داده‌اند. آن‌ها این تفاوت‌ها را ناشی از ویژگی‌های بارندگی در تابستان دانسته‌اند. همچنین مارکواز و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر پوشش گیاهی روی رواناب و رسوب با استفاده از باران‌ساز را مورد مطالعه قرار داده و گزارش دادند که در سطوح بدون پوشش گیاهی به‌دلیل ایجاد سله سطحی

ناشی از ضربه قطره‌های باران در ماه‌های مرطوب، رواناب در فصل‌های خشک زیاد بوده است. مطالعات شولز و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد در کاربری زراعی بیش‌ترین هدررفت خاک در زمان آماده‌سازی بستر کاشت دیده شده، حال آن‌که در ماه‌های رشد محصول حساسیت خاک نسبت به فرسایش پایین بوده است. سرحدی و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش‌های خود منطقه جیرفت را از نظر تغییرات فصلی سیل به دو ناحیه همگن تقسیم کردند. صادقی و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعات خود در مراتع کدیر بیان داشته‌اند وزن رسوب تولیدی طی ماه‌های سرد تحت‌تأثیر کاهش پوشش تاجی و افزایش سنگ و سنگ‌ریزه افزایش داشته است. لاتورتورز و همکاران (۲۰۱۱) نیز بیان نمودند که در فصل‌های خشک با افزایش تبخیر و تعرق رطوبت خاک کاهش و در نتیجه نسبت رواناب به بارش نیز کم شده است. در مقابل فصل‌های مرطوب با توجه به کاهش تبخیر و تعرق و افزایش رطوبت خاک نسبت رواناب به بارش بیش‌تر شده است. سعیدیان و مرادی (۲۰۱۱) در تشکیلات گچساران استان خوزستان و پنا و همکاران (۲۰۱۱) در مناطق بالادست رشته‌کوه آلپ نیز در پژوهش‌های خود بر وابستگی تغییرات زمانی آستانه رواناب به رطوبت خاک، تغییرات نفوذ و بارش پیشین اشاره داشته‌اند. پژوهش‌های وانگ و همکاران (۲۰۱۲) روی تغییرات رسوبات معلق بخشی از رودخانه زرد چین نشان دادند که میزان رسوبات معلق در سال‌ها و فصل‌های مختلف تحت‌تأثیر عوامل طبیعی هم‌چون سیل و یا عوامل بشری مانند تغییر کاربری تغییرات چشم‌گیری داشته‌اند.

پیشینه‌های پژوهشی ارایه شده بر تنوع شرایط و عوامل اثرگذار روی تولید رواناب و رسوب و تغییرپذیری آن‌ها و طبعاً ضرورت مطالعات تفصیلی و منطقه‌ای در این خصوص دلالت دارد. بنابراین این پژوهش با هدف تحلیل تغییرات زمانی فرآیندهای هیدرولوژیکی کرت‌های کوچک آزمایش در یک حوزه آبخیز جنگلی به‌عنوان مطالعه موردی در استان مازندران به سبب دسترسی و وجود پیشینه پژوهشی مناسب طراحی و انجام شده است.

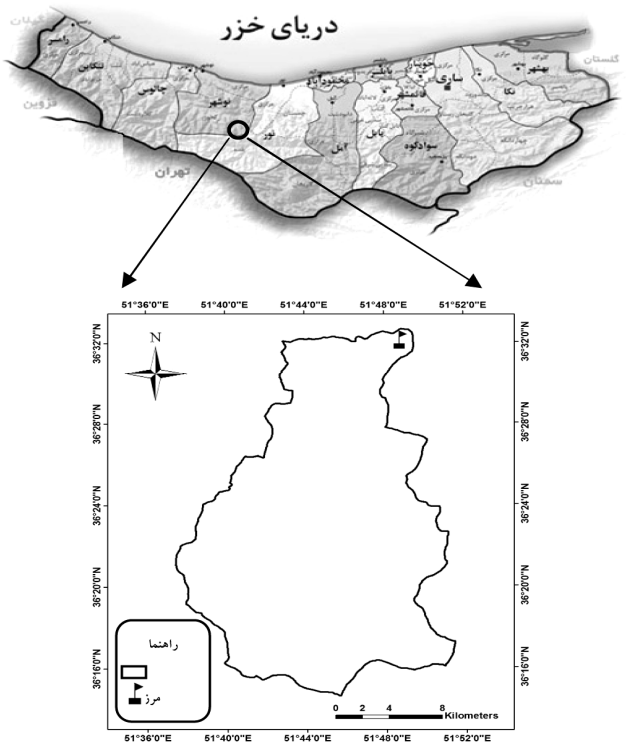
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: بخش مطالعاتی در پایین‌دست حوزه آبخیز جنگلی کجور واقع در ۳۰ کیلومتری دانشکده منابع طبیعی و دانشگاه تربیت مدرس و جنوب‌شرقی شهرستان نوشهر با مساحت حدود ۵۰ هزار هکتار قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه حدود ۲۰۰۰ متر و

به‌طور عمده در طبقات شیب ٦٠-٤٠ درصد واقع شده است. اگرچه میانگین بارندگی سالیانه ایستگاه نوشهر طی سال‌های ١٣٥٦ تا ١٣٨٦، ١٢٨٧/٨ میلی‌متر است ولی گرادیان بارندگی حوزه آبخیز مورد مطالعه به‌صورت نوسانی و در مجموع منفی بوده و در بخش ارتفاعات و در منطقه کجور به حدود ٢٤٠ میلی‌متر کاهش می‌یابد (صادقی و سعیدی، ٢٠١٠). مناطق پست آبخیز اغلب از طبقات ضخیم آهکی با شیب زیاد، پوشش جنگلی ضعیف، خاک با عمق کم، نفوذپذیری خوب و پایداری متوسط برخوردار است. خاک زیرواحدهای اراضی راندزین تکامل نیافته تا راندزین شسته شده و خاک قهوه‌ای جنگلی با pH قلیایی و خاک قهوه‌ای شسته شده تا پسدوگلی می‌باشد (اداره کل منابع طبیعی نوشهر، ٢٠٠٢).

روش پژوهش: برای بررسی تغییرات زمانی ارتفاع و زمان شروع رواناب و رسوب تولیدی، مبادرت به ایجاد بارش مصنوعی با شدت ١/٦ میلی‌متر در دقیقه و دوام ٣٠ دقیقه با استفاده از یک دستگاه باران‌ساز فشاری (می‌یاتا و همکاران، ٢٠٠٧؛ صادقی و همکاران، ٢٠١١) و متناسب با بارش‌های غالب حاکم بر منطقه و در کرت با ابعاد ٣٠×٣٠ سانتی‌متری (می‌یاتا و همکاران، ٢٠٠٧) و در سه تکرار شد. در شکل ٢ باران‌ساز فشاری و نمایی از نحوه انجام آزمایش نشان داده شده است. آزمایش‌های شبیه‌سازی هر ماه یک‌بار در محل ثابت تا زمان ثبات تولید رواناب (صادقی و همکاران، ٢٠٠٦) از مهر ١٣٨٧ تا اردیبهشت ١٣٨٨ انجام شد. زمان شروع شبیه‌سازی بارش تا زمان ورود اولین مقادیر رواناب به ظرف‌های جمع‌آوری‌کننده به‌عنوان زمان شروع رواناب اندازه‌گیری شد. برای بررسی پاسخ هیدرولوژیکی کرت‌های مورد نظر و با هدف اندازه‌گیری رواناب غالب سطحی و رسوب تولیدی، رواناب خروجی از سطح هر کرت به ظرف‌های مورد نظر هدایت و برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل شد.

اندازه‌گیری رسوب از طریق فیلتراسیون با کاغذ صافی ٤٠ انجام شد (صادقی و همکارن، ٢٠٠٦b). برای تعیین درصد رطوبت پیشین خاک از خاک سطحی عمق ٥-٠ سانتی‌متری نقاط مجاور هر یک از نقاط آزمایشی نمونه‌برداری (شکل‌آبادی و همکاران، ٢٠٠٣) و با استفاده از اختلاف وزن تر با خشک نمونه‌های تهیه شده، درصد رطوبت قبلی خاک اندازه‌گیری شد. برای بررسی تغییرات زمانی ارتفاع و زمان شروع رواناب و رسوب تولیدی از آزمون تجزیه مرکب (هاردل و سیمار، ٢٠١٢) و برای مقایسه چندگانه میانگین آماره‌های نام‌برده و رطوبت پیشین خاک از آزمون دانکن در سطح اعتماد ٩٥ درصد در محیط SPSS 18 استفاده شد.

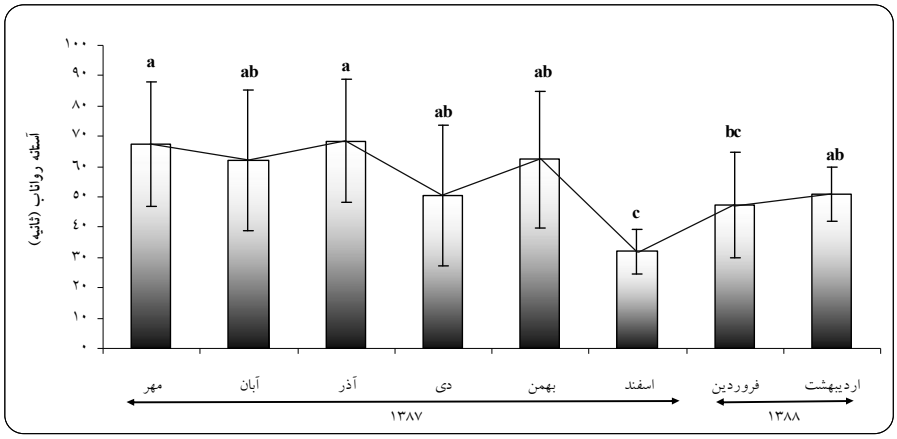


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و کرت‌های آزمایشی.

شکل ۲- باران‌ساز فشاری (راست) و نمایی از کرت‌های کوچک آزمایشی مورد استفاده (چپ).

نتایج و بحث

این پژوهش با هدف تحلیل تغییرات زمانی فرآیندهای هیدرولوژیکی از سطح کرت‌های آزمایشی واقع در پایین‌دست حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در استان مازندران انجام شد. نتایج به‌دست آمده از آزمون دانکن به‌منظور مقایسه میانگین‌های زمان شروع رواناب، رطوبت پیشین خاک، ارتفاع رواناب و رسوب تولیدی به‌ترتیب در شکل‌های ۳ تا ٦ و همچنین نتایج به‌دست آمده از آزمون تجزیه واریانس تغییرات زمانی متغیرهای مزبور به‌ترتیب در جدول‌های ۱ تا ۳ ارایه شده است.

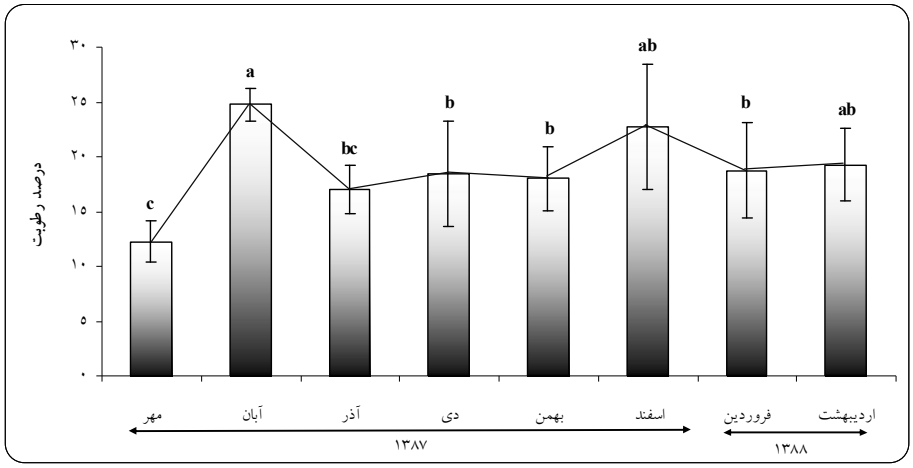


شکل ۳- مقایسه مقادیر ماهانه زمان شروع رواناب در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس.
(حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد)

جدول ۱- تجزیه مرکب تغییرات زمانی شروع رواناب در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس.

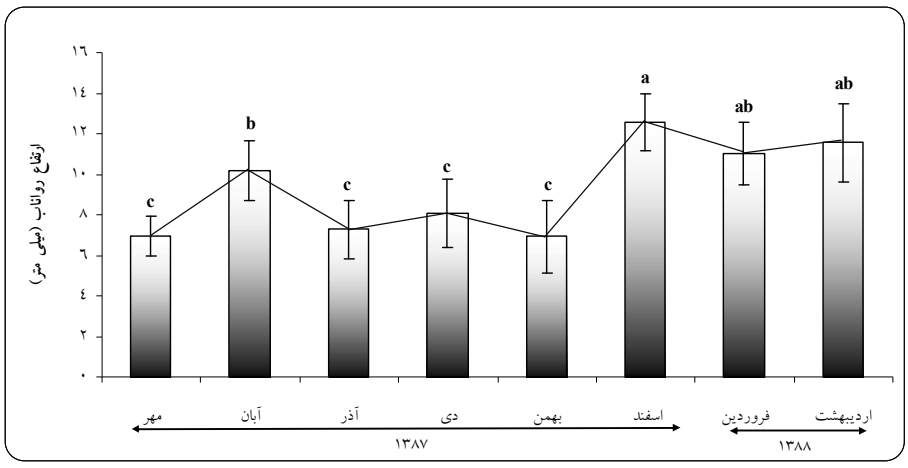
منبع تغییرات	میانگین مربعات	مقدار F محاسبه‌ای	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
ماه	۲٦۱۳/۵۷	۱/٤	۱۱	ns
ماه × تکرار	۳۹٤/۷۸	----	----	----
خطا	٤۲٤/٦٦			

ns نشانگر عدم معنی‌دار بودن منبع تغییرات است.



شکل ٤- مقایسه مقادیر ماهانه رطوبت پیشین خاک در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس.

(حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد)



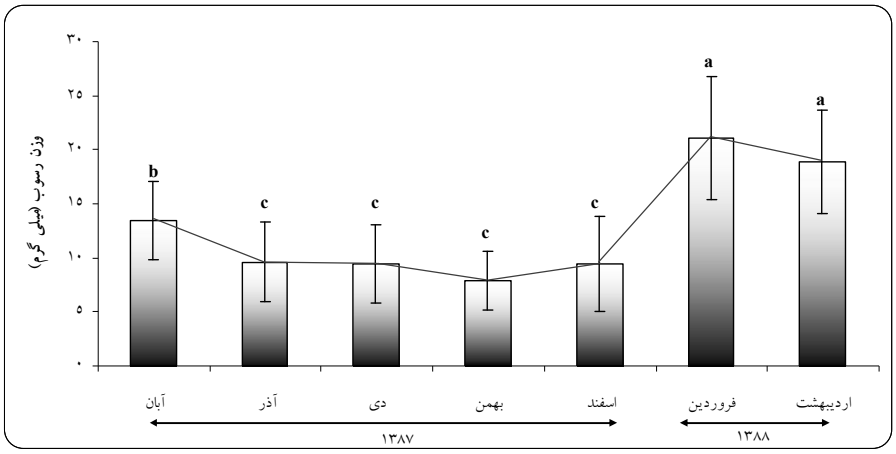
شکل ۵- مقایسه مقادیر ماهانه ارتفاع رواناب در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس.

(حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد)

جدول ۲- تجزیه مرکب تغییرات زمانی ارتفاع رواناب در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس.

منبع تغییرات	میانگین مربعات	مقدار F محاسبه‌ای	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
ماه	٦٦١٣/٨	٣٤/١٢	١١	**
ماه × تکرار	٢٥١٠/٥	----	----	----
خطا	٢٣٣/٨			

** نشانه معنی‌دار بودن منبع تغییرات در سطح احتمال ۹۹ درصد است.



شکل ٦- مقایسه مقادیر ماهانه وزن رسوب در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس.
(حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد)

جدول ۳- تجزیه مرکب تغییرات زمانی وزن رسوب در کرت‌های آزمایشی مستقر در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس.

منبع تغییرات	میانگین مربعات	مقدار F محاسبه‌ای	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
ماه	٠/٠٥٤	٦/٩٤	١١	**
ماه × تکرار	٠/٠١٦	----	----	----
خطا	٠/٠٠٢			

** نشانه معنی‌دار بودن منبع تغییرات در سطح احتمال ۹۹ درصد است.

مقایسه میانگین مقادیر ماهانه زمان شروع رواناب از سطح کرت‌های آزمایشی (شکل ۳) بیانگر تغییرات معنی‌دار آن طی دوره آزمایش می‌باشد. از طرفی نتایج به‌دست آمده از آزمون تجزیه مرکب زمان شروع رواناب (جدول ۱) در طی دوره ۸ ماهه پژوهش معنی‌دار نبوده است که می‌تواند ناشی از خطای آزمون F باشد. توجه به این نکته دارای اهمیت می‌باشد که درجه آزادی تجزیه واریانس برای منبع زمان کم بوده، از طرفی مقدار عددی آزمون F برای درجه آزادی پایین در جدول مقادیر F، بالا می‌باشد. در چنین شرایطی حتی اگر بین سطوح مختلف زمان اختلاف زیادی وجود داشته باشد آزمون این اختلاف را معنی‌دار نشان نمی‌دهد و بهتر است تفسیر از روی نتایج به‌دست آمده از مقایسه چندگانه میانگین دانکن انجام شود (هاردل و سیمار، ۲۰۱۲).

مقایسه میانگین زمان شروع رواناب (شکل ۳) با رطوبت خاک (شکل ٤) نشان می‌دهد که زمان شروع رواناب در برخی ماه‌ها از رطوبت خاک پیروی می‌نماید. در ماه مهر با کم‌ترین درصد رطوبت خاک (۹ درصد) بالاترین زمان آستانه در حدود ٦۷ ثانیه و در ماه اسفند با بیش‌ترین درصد رطوبت پیشین خاک (۲۵ درصد)، پایین‌ترین زمان شروع رواناب در حدود ۳۲ ثانیه ثبت شده است. تغییرات رطوبت خاک بر میزان سرعت نفوذ تأثیر گذاشته (لاتورتورز و همکاران، ۲۰۱۱؛ شین و همکاران، ۲۰۱۳) و باعث تاخیر و یا افزایش سرعت زمان تشکیل رواناب گردیده است. صادقی و همکاران (۲۰۰٦a)، سعیدیان و مرادی (۲۰۱۱) و پنا و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهش‌های خود بر وابستگی تغییرات زمانی آستانه رواناب به رطوبت خاک، تغییرات نفوذ و بارش پیشین اشاره داشته‌اند. در سایر ماه‌ها با تغییر پوشش لاشبرگ سطح زمین تغییرات آستانه رواناب نامنظم بوده است. این یافته بیانگر آن است که آستانه رواناب دارای رفتار غیرخطی و پیچیده در اکوسیستم‌ها می‌باشد (زه و سیواپالان، ۲۰۰۹). همچنین دقت در شکل ۳ نشان می‌دهد که خطای استاندارد میانگین برای زمان شروع رواناب نسبت به سایر متغیرهای مورد آزمایش بالا بوده که خود دلیلی بر حساسیت آماره مورد نظر نسبت به شرایط محیطی در طی ماه‌های مختلف می‌باشد.

بررسی تغییرات ماهانه ارتفاع رواناب و نتایج آزمون دانکن (شکل ۵) بیش‌ترین ارتفاع رواناب در ماه‌های اسفند ۱۳۸۷، اردیبهشت و فروردین ۱۳۸۸ به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۲/۵، ۱۱/٦ و ۱۱ میلی‌متر و کم‌ترین آن در ماه مهر با میانگین ٦/۹ میلی‌متر ثبت شده است. بعد از ماه مهر ارتفاع رواناب در ماه آبان افزایش و دوباره در ماه‌های آذر، دی و بهمن کاهش یافته است. براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۲) تغییرات زمانی ارتفاع رواناب در طی دوره پژوهش معنی‌دار بوده است. در

مقیاس‌های کوچک ارتفاع رواناب تحت‌تأثیر مقدار و شدت بارندگی و شرایط رطوبتی پیشین خاک است (بروکا و همکاران، ۲۰۰۸) و از طرفی هر گونه تغییر در عوامل کنترل‌کننده باعث تغییر در فرآیند تولید رواناب می‌شود (زه و همکارن، ۲۰۱۰). همچنین رطوبت خاک یکی از عوامل متغیر اساسی در کنترل فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌باشد (زه و همکارن، ۲۰۱۰) و بر میزان نفوذ آب به داخل خاک و تولید رواناب تأثیر مستقیم دارد (گلیک، ۱۹۸۷). همچنین تغییرات ماهانه درصد رطوبت قبلی خاک (شکل ٤) بیانگر آن است که در ماه اسفند و آبان خاک بیش‌ترین رطوبت خود را به‌ترتیب با میانگین ۲۵ و ۲۳ درصد داشته است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که رطوبت بالای خاک شدت نفوذ آب را محدود کرده و ارتفاع رواناب در این ماه‌ها افزایش یافته است. نوربیاتو و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش داده‌اند که شرایط رطوبتی خاک عامل مهمی در پیدایش سیل‌های ناگهانی[1] بوده است. در ماه مهر که رطوبت خاک پایین‌ترین مقدار خود با میانگین ۹ درصد را دارا بوده رواناب نیز کم‌ترین ارتفاع را نشان می‌دهد که می‌تواند تحت‌تأثیر پدیده آب‌گریزی خاک[2] باشد (صادقی و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج حاصل با یافته‌های شاکلا و لتن‌مایر (۲۰۱۱) مبنی بر کاهش نسبت رواناب به بارش در دوران خشکسالی تحت‌تأثیر کاهش رطوبت خاک مطابقت می‌کند. در ماه‌های آذر، دی و بهمن بر خلاف بالا بودن رطوبت خاک در قیاس با ماه مهر، ارتفاع رواناب در این ماه‌ها روندی مشابه ماه مهر دارد. لازم به ذکر است کرت‌های آزمایشی در حوزه آبخیز جنگلی واقع شده‌اند و در ماه‌های پایانی سال پوشش لاشبرگ سطح زمین را فرا می‌گیرد. از این‌رو پوشش سطح زمین نقش مهمی در کنترل رواناب ایفا می‌نماید (کانلای و همکاران، ۱۹۹۷). پوشش سطح خاک با کند کردن حرکت آب بر سطح زمین و به تاخیر انداختن آن باعث افزایش نفوذ و در نتیجه کاهش رواناب می‌شود (شولز و همکاران، ۲۰۰۸). از این‌رو افزایش پوشش لاشبرگ سطح زمین در ماه‌های آذر، دی و بهمن را می‌توان دلیلی بر کاهش ارتفاع رواناب محسوب می‌شود. حال آن‌که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بر خلاف شباهت شرایط رطوبتی با ماه‌های فوق‌الذکر، تحت‌تأثیر کاهش پوشش لاشبرگی سطح زمین ارتفاع رواناب افزایش داشته است. یافته‌های نی‌یرینگ و همکاران (۲۰۰۵) بر تأثیر پوشش سطح زمین در کاهش رواناب و ژو و شانگ‌گن (۲۰۰۸) نیز بر تغییرپذیری زمانی رواناب تولیدی تحت‌تأثیر تغییرات حجم و تراکم ریشه در خاک و پوشش تاجی گیاه دلالت می‌نماید.

1- Flash Flood
2- Hydrophobicity, Water Repellency

شکل ٦ نشان می‌دهد ماه‌های فروردین و اردیبهشت دارای بالاترین رسوب تولیدی در سطح کرت به‌ترتیب با وزن ۲۱/۱ و ۱۸/۹ و بعد از آن در ماه آبان با وزن ۱۳/۵ میلی‌گرم بوده‌اند. در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند با دامنه تغییر ۷/۹-٦/۹ میلی‌گرم کم‌ترین میزان تولید رسوب از کرت‌های آزمایشی ثبت شده است. همچنین جدول ۳ بیانگر معنی‌دار بودن تغییرات زمانی وزن رسوب طی دوره مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طورکه ذکر شد در ماه‌های پایانی سال ۱۳۸۷ سطح منطقه مورد نظر را پوشش متنابهی از لاشبرگ فرا گرفته بود. فرسایش خاک طی بارندگی، پدیده پیچیده‌ای ناشی از جداسازی ذرات خاک توسط ضربه قطرات باران، جریان سطحی و در نهایت حمل ذرات خاک توسط پاشمان قطره‌های باران و جریان سطحی می‌باشد (آسولاین و بن‌هور، ۲۰۰٦). پوشش سطح خاک آن را در برابر ضربه قطرات باران حفاظت کرده و قدرت فرسایندگی آن را کاهش می‌دهد (مدرس‌ثانوی و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین پوشش سطح زمین حرکت رواناب را کند کرده، مانع حرکت ذرات ریز خاک شده و مانند تله آن‌ها را در خود نگه می‌دارد (صادقی و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین می‌توان پوشش سطح زمین در ماه‌های پایانی سال را دلیلی بر کاهش رسوب تولیدی عنوان نمود. نتایج حاصله با مطالعات سردا (۲۰۰۲) و مولینا و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر کاهش فرسایش تحت‌تأثیر پوشش گیاهی و پوشش سطح زمین مطابقت دارد. با مقایسه تغییرات زمانی وزن رسوب (شکل ٦) با تغییرات زمانی ارتفاع رواناب (شکل ۵) مشاهده می‌شود که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت با پوشش کم لاشبرگ سطحی زمین و افزایش رواناب، رسوب تولیدی نیز بیش‌تر شده است. رواناب علاوه‌بر توانایی پراکنش و جدایی ذرات خاک، قابلیت حمل رسوب را هم دارا می‌باشد (سردا، ۲۰۰۲). وانگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش دادند رسوبات معلق در فصل‌هایی واجد سیلاب، افزایش یافته است.

این پژوهش با هدف تحلیل تغییرات زمانی فرآیندهای هیدرولوژیکی و تولید رسوب از سطح کرت‌های آزمایشی در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس (کجور) انجام گرفت. نتایج پژوهش صورت گرفته بیانگر تغییرات زمانی ارتفاع و زمان شروع رواناب و رسوب تولیدی طی دوره آزمایش بوده است. همچنین نتایج به‌دست آمده بر تأثیر درصد رطوبت پیشین خاک و پوشش سطح زمین بر فرآیندهای هیدرولوژیکی تاکید داشته‌اند. این تغییرات محیطی و فیزیکی خاک برخی اوقات اثر یکدیگر را تشدید کرده و گاهی تأثیر یکدیگر را خنثی کرده‌اند. در برخی ماه‌ها رطوبت بالای پیشین خاک در غیاب پوشش لاشبرگی سطح خاک باعث افزایش ارتفاع رواناب شده است. در مقابل افزایش پوشش لاشبرگی با وجود بالا بودن رطوبت خاک در بعضی ماه‌ها رسوب

تولیدی را کاهش داده است. علاوه‌بر آن زمان شروع رواناب نسبت به تغییرات محیطی حساس بوده است. از این‌رو کرت‌های مورد آزمایش و با تعمیم به سطوح بزرگ‌تر هم‌چون واحدهای کاری، واحدهای هیدرولوژیکی و حوزه‌های آبخیز همانند سامانه‌های پویایی بوده که نمی‌توان از آن‌ها انتظار رفتار ثابت داشت و هر گونه تغییر در شرایط سامانه باعث تغییر سایر اجزا و پاسخ آن‌ها می‌شود که در مسایل مدیریتی و تصمیم‌گیری‌ها باید مد نظر قرار گیرند. به هر تقدیر انجام پژوهش‌های مشابه با طول دوره‌های آماری بیش‌تر و مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت برای ارایه جمع‌بندی‌های نهایی ضروری می‌نماید.

منابع

1.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.

2.Andersen, T.J. 2001. Seasonal variation in erodibility of two temperate, microtidal mudflats. Coastal and Shelf Science. 53: 1. 1-12.

3.Blackburn, W.H., Pierson, F.B., and Seyfred, M.S. 1990. Spatial and temporal influence of soil frost on infiltration an erosion of sagebrush rangeland. Water Resources Research. 17: 370-376.

4.Blume, T., Zehe, E., and Bronstert, A. 2007. Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. Hydrol. Sci. J. 52: 5. 843-862.

5.Brocca, L., Melone, F., and Moramarco, T. 2008. On the estimation of antecedent wetness conditions in rainfall-runoff modeling. Hydrological Processes. 22: 629-642.

6.Cerdà, A. 2002. The effect of seasonal and parent material on water erosion highly eroded soils in eastern Spain. J. Arid Environ. 52: 319-337.

7.Connolly, R.D., Ciesiolka, C.A.A., Silburn, D.M., and Carroll, C. 1997. Distributed parameter hydrology model (answers) applied to a range of catchment scales using rainfall simulator data. IV evaluating pasture catchment hydrology. J. Hydrol. 201: 311-328.

8.Gleick, P.H. 1987. Regional hydrological consequence of increases in atmospheric CO_2 and other trace gases. Climate Change. 10: 137-161.

9.Härdle, W.H., and Simar, L. 2012. Applied multivariate statistical analysis. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. Third Edition. 513p.

10.La Torre Torres, I.B., Amatya, D.M., Sun, G., and Callahan, J. 2011. Seasonal rainfall-runoff relationship in a lowland forested watershed in the Southeastern USA. Hydrological Processes. 25: 2032-2045.

11. Marques, M.J., Bienes, R., Jiménez, L., and Pérez-Rodríguez, R. 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots. Science of the Total Environment. 378: 161-165.
12. 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.
13. Modares Sanavi, S.A., Azizi, K., Ghalavandi, A., and Heidari Sharif Abadi, H. 2003. Studying the effect of different cultivating of alfalfa, peas and fallow on surface runoff, soil erosion and soil moisture storage. Range and Desert Research. 10: 4. 429-444. (In Persian)
14. Molina, A., Govers, G., Vanacker, V., Poesen, J., Zeelmaekers, E., and Cisneros, F. 2007. Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: interaction of vegetation cover and land use. Catena. 71: 357-370.
15. Mosaedi, A., and Gharib, M. 2007. Studying the flood properties of Gharehchai River. Agricultural Sciences and Natural Resources. 14: 6. 23-45. (In Persian)
16. NowShahr Natural Resources General Office. 2002. Kojur Sivicultural Project, Aghozchal Parcel 3. Watershed 46, Jihad-e-Agriculture, Forest, Range and Watershed Organization of Iran, 379p. (In Persian)
17. Nearing, M.A., Jetten, V., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., and Hernandez, M. 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. Catena. 61: 131-154.
18. Norbiato, D., Borga, M., Merz, R., Blöschl, G., and Carton, A. 2008. A control on event runoff coefficients in the Eastern Italian Alps. J. Hydrol. 375: 312-325.
19. Ott, B., and Uhlenbrook, S. 2004. Quantifying the impact of land-use changes at the event and seasonal time scale using a process-oriented catchment model. Hydrology and Earth System Sciences. 8: 1. 62-78.
20. Penna, D., Tromp-Van Meerveld, H.J., Gobbi, A., Borga, M., and Dalla Fontana, G. 2011. The influence of soil moisture on threshold runoff generation processes in an Alpine headwater catchment. Hydrology and Earth System Sciences. 15: 689-702.
21. Sadeghi, S.H.R., MohammadPour, K., and Dianati Tilaki, G.A. 2010. Variation in sediment yield in exclosure and open grazing treatments in Kodir rangeland. Rangeland. 4: 3. 484-493. (In Persian)
22. Sadeghi, S.H.R., Najafi, D., and Vafakhah, M. 2006b. Regional analysis for estimate suspended sediment from Isfahan and Sirjan watershed. J. Water Resour. Res. 2: 3. 51-65. (In Persian)
23. Sadeghi, S.H.R., Razavi, S.L., and Raeisian, R. 2006a. Comparison between rainfall and poor rangeland land uses in rainfall and sediment yield in summer and winter. Agricultural Research (Water, Soil and Plant in Agriculture). 6: 4. 11-22. (In Persian)

24. Sadeghi, S.H.R., and Saeidi, P. 2010. Reliability of sediment rating curves for a deciduous forest watershed in Iran. Hydrol. Sci. J. 55: 5. 821-831.
25. Sadeghi, S.H.R., Zarif Moazam, M.S., and Mirnia, S.K. 2011. Effect of slope steepness and aspect on surface runoff and sediment yield from experimental small plots in Kojour watershed. J. Water Soil. 25: 3. 583-592. (In Persian)
26. Sarhadi, A., Soltani, S., and Khaje Din, S.J. 2008. Analyzing the risk of flooding by using threshold discharge model in Jiroft. Iran-Watershed Manage. Sci. Engin. J. 2: 3. 30-36. (In Persian)
27. Saeidian, H., and Moradi, H.R. 2011. Investigation on some indices and land uses in Gachsaran formation deposits using multiple variable regression. Watershed Management Research. 90: 79-86. (In Persian)
28. Scholz, G., Quinton, J.N., and Strauss, P. 2008. Soil erosion from sugar beet in central Europe in response climate change induced seasonal precipitation variations. Catena. 72: 10. 91-105.
29. Schumm, S.A., and Lusby, G.C. 1963. Seasonal variation of infiltration capacity and runoff on hillslopes in Western Colorado. J. Geophysic. Res. 68: 12. 3655-3666.
30. Shain, M.H., Won, C.H., Jang, J.R., Choi, Y.H., Shin, Y.C., and Lim, K.J., 2013. Effect of surface cover on the reduction of runoff and agricultural NPS pollution from upland fields. Paddy and Water Environment. 11: 493-501.
31. Shekl Abadi, M., Khademi, H., and Charkhabi, A.H. 2003. Runoff and soil loss generation from different parent material in GolAbad watershed, Ardestan. Agricultural and Natural Resource Technologies and Sciences. 7: 2. 85-100. (In Persian)
32. Shukla, S., and Lettenmaier, D.P. 2011. Seasonal hydrologic prediction in the United States: understanding the role of initial hydrologic condition and seasonal climate forecast skill. Hydrologic and Earth System sciences Discussions. 8: 6565-6592.
33. Wang, S., Yan, Y., and Li, Y. 2012. Spatial and temporal variations of suspended sediment deposition in the alluvial reach of the upper Yellow River from 1952 to 2007. Catena. 92: 30-37.
34. Zehe, E., Graeff, T., Morgan, M., Bauer, A., and Bronstert, A. 2010. Plot and field scale soil moisture dynamics and subsurface wetness control on runoff generation in a headwater in the Ore Mountains. Hydrology and Earth System Sciences. 14: 873-889.
35. Zehe, E., and Sivapalan, M. 2009. Threshold behavior in hydrological systems at (human) geo-ecosystems: manifestations, controls, implications. Hydrology and Earth System Sciences. 13: 1273-1297.
36. Zhou, Z.C., and Shangguan, Z.P. 2008. Effect of ryegrasses on soil runoff and sediment control. Pedosphere. 18: 1. 131-136.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(6), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Analysis of temporal variation of hydrological processes in experimental small plots in a forest watershed

***S.H.R. Sadeghi[1], M.S. Zarif Moazam[2] and S.Kh. Mirnia[3]**

[1]Professor, Dept. of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University,
[2]M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University,
[3]Associate Prof., Dept. of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University
Received: 04/08/2013; Accepted: 10/07/2013

Abstract

Studying hydrological processes is important for effective management of soil and water resources. However, it has received less attention. Therefore, the present study was conducted to analyze temporal variations of hydrological processes in each of experimental plots in a forest watershed. Experiments were carried out with simulated rainfall intensity of 1.6 mm min^{-1} and experimental plots of 30×30 cm in downstream of Educational and Research Forest Watershed of Tarbiat Modares University. The temporal variations of runoff depth, runoff commencement time and sediment yield were investigated for eight months from September 2008 to April 2009. Results indicated that the aforementioned variables have been changing over the time. Runoff depth was measured in March and November with respective value of 12.5 and 10.2 mm with the highest antecedent soil moisture of 25 and 23% and the lowest surface litter cover. Sediment yield was at the maximum rate in April and May with rate of 21.1 and 18.9 mg due to reduction in soil surface cover. In addition, runoff commencement time was highly dependent on antecedent soil moisture if the soil surface was not covered well. October with low antecedent soil moisture of 9% had the maximum time of runoff generation of about 67 seconds. Runoff generation had the minimum time of about 32 seconds with the maximum soil moisture in early March. In other months, it was hard to find a reasonable relation in this way, whereby, it could be deduced that runoff beginning time was sensitive to environmental conditions.

Keywords: Antecedent soil moisture, Experimental plots, Hydrological processes, Kojour watershed, Soil surface cover

* Corresponding Author; Email: sadeghi@modares.ac.ir