بررسی توان رسوب‌زایی و تولید رواناب در سازندهای زمین شناسی شیرکوه یزد با استفاده از شبیه‌ساز باران

فرشید جهانبخشی[1*]، محمدرضا اختصاصی[1]، علی طالبی[1] و محمود پیری[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۴)

چکیده

یکی از منابع مهم تولید رواناب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارتفاعات کوهستانی هستند که به‌طور معمول از سازندهای قبل از کواترنری تشکیل شده‌اند. از آنجا که ساخت و بافت سنگ‌شناسی سازندها متفاوت است، سازندهای مختلف می‌توانند اهمیت متفاوتی از نظر تولید رواناب و رسوب داشته باشند. پژوهش حاضر در دامنه‌های شیرکوه یزد با هدف بررسی توان رسوب‌زایی و آستانه تولید رواناب روی سه سازند گرانیت شیرکوه، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرای سنگستان و آهک تفت انجام شد. با توجه به سوابق بارندگی منطقه و توان شبیه‌ساز باران، شدت بارش ۶۰ میلی‌متر بر ساعت با تداوم ۴۰ دقیقه، به‌عنوان مبنای مطالعه انتخاب شد. عملیات میدانی شبیه‌سازی بارش در شرایط خشک برروی کرت‌هایی به مساحت یک مترمربع برروی دامنه‌های سنگی با شیب ۲۰ تا ۲۲ درصد و حداکثر ضخامت خاک ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. نتایج نشان داد حداقل بارش لازم برای ایجاد رواناب در سه سازند گرانیت، سنگستان و آهک به‌ترتیب برابر با ۱۰/۷، ۱۰ و ۱۶/۷ میلی‌متر است. بیشترین مقدار رسوب تولیدی به‌ترتیب متعلق به سازندهای سنگستان، گرانیت شیرکوه و در نهایت آهک تفت اندازه‌گیری شد. آزمون‌های آماری مرتبط با تولید رواناب و رسوب برروی هر سه سازند، اختلاف معنادار در سطح پنج درصد را تأیید کرد. از نظر زمان لازم تا شروع رواناب نیز، کمترین زمان به‌ترتیب متعلق به سازندهای سنگستان، گرانیت شیرکوه و آهک تفت بوده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نظر پتانسیل تولید رواناب و رسوب، می‌توان سازندهای سنگستان، گرانیت شیرکوه و در نهایت آهک تفت را به‌ترتیب از زیاد به کم اولویت‌بندی کرد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش، آستانه رواناب، شدت بارش، شبیه‌ساز باران، شیرکوه یزد

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
۲. سازمان برنامه‌ریزی و پشتیبانی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: farshid_jahanbakhshi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در سال‌های اخیر لزوم اندازه‌گیری فرسایش به‌منظور ارزیابی آن با استفاده از شبیه‌سازی باران و در پایه‌های کوتاه‌مدت مورد توجه قرار گرفته است (۳۱)، چرا که اغلب برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد فرسایش خاک حاصل از بارندگی براساس کرت‌های آزمایشی صحرایی مبتنی بر باران‌های طبیعی به ۲۰ یا ۲۵ سال پایش نیاز است (۳۲). این امر زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که گاهی نیاز است نتایج مطالعات و تحقیقات حتی الامکان بلافاصله بعد از تشخیص ضرورت آنها، در دسترس باشد.

فرایندهای هیدرولوژیکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند نفوذ و رواناب در زمان و مکان بسیار متغیر هستند. آگاهی از منابع و الگوهای تغییر در این فرایندها و عوامل کنترل آنها برای درک درست و مدل‌سازی عملکرد هیدرولوژیکی اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک بسیار ضروری است (۲۵). از طرفی مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز در گرو شناخت توان تولیدی بخش‌های مختلف آن در فرایند تولید رواناب و رسوب و درک صحیح بودجه رسوبی آن حوضه است (۹ و ۳۴)، چرا که تصور یکنواختی تغییرات رواناب و رسوب در یک منطقه سبب اعمال مدیریت یکسان برای مهار آن خواهد شد که این امر به نوبه خود افزایش هزینه‌ها و شاید عدم موفقیت را در پی خواهد داشت (۳، ۱۴، ۱۵ و ۳۳). از طرف دیگر در طرح‌های هیدرولوژیک نیز محاسبات حجم مرده مخازن از نظر پر شدن مواد رسوبی یا عملیات رسوب‌زدایی یا طراحی حوضچه‌های رسوب‌گیر و امثال آنها، براساس اطلاعات رسوب‌شناسی حوضه استوار است (۹). یکی از عوامل مؤثر در رسوب‌زایی حوضه‌های آبخیز، جنس سازندهای موجود در منطقه است، به‌طوری‌که سازندهای حساس به فرسایش در مقایسه با سازندهای سخت و محکم پتانسیل رسوب‌دهی بیشتری دارند (۱۳). هارگون و همکاران (۲۱)، عامل زمین‌شناسی را از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تغییرپذیری تلفات خاک می‌دانند.

بسیاری از آزمایش‌های کنترل شده تحت بارش باران شبیه‌سازی شده برای بررسی رواناب و فرسایش‌پذیری در کشورهای توسعه یافته اروپا و شمال امریکا با فناوری‌های پیشرفته و با دسترسی فراوان به سرمایه انجام شده است. این در حالی است که مطالعات مشابه از آسیا به‌خصوص نواحی خشک و نیمه‌خشک در عمل ناشناخته‌اند (۲۴). سعیدیان و مرادی (۶) به بررسی فرسایش و رسوب در سه کاربری مرتع، منطقه مسکونی و اراضی کشاورزی روی نهشته‌های آغاجاری در بخشی از حوضه آبخیز مرغای شهرستان ایذه پرداختند، پژوهش ایشان نشان داد که میزان رواناب در کاربری مسکونی بیشترین و در کاربری زراعی کمترین میزان بوده و میزان رسوب در کاربری زراعی بیشترین و در کاربری مسکونی کمترین مقدار را داشته است. ذرتی‌پور و همکاران (۴) با استفاده از شبیه‌ساز باران به بررسی آزمایشگاهی تغییرات تنش برشی و بررسی آستانه‌های زمانی و مکانی تشکیل شیار برروی سازند G_{y1} (مارن گچی و نمکی) در شدت بارندگی‌های معرف حوضه طالقان و در شیب‌های معرف سازند مذکور پرداختند. نتایج نشان داد در سازند زمین‌شناسی G_{y1}، با افزایش شدت بارندگی هدررفت خاک افزایش می‌یابد. پر همت و همکاران (۱) به بررسی ضریب جریان و آستانه رواناب در حوضه کارستی دلی بجک سپیدار با استفاده از دستگاه باران‌ساز پرداختند، نتایج ایشان دامنه وسیعی از ظرفیت نفوذ تا آستانه رواناب را نشان داد، به‌طوری‌که دامنه بارش نفوذ یافته از ۴ تا ۴۳ میلی‌متر با شدت ۵۰ تا ۳۰۳ میلی‌متر در ساعت گزارش شد. ایشان نشان دادند که سنگ آهک‌های خرد شده و برش‌ها که فاقد پوشش خاک هستند، نفوذپذیری بالایی دارند، به‌طوری‌که در بارش ۴۳ میلی‌متری و با شدت بیش از ۳۰۳ میلی‌متر در ساعت، بارشی خارج از دامنه بارش‌های حدی و نقطه‌ای منطقه، فاقد شرایط شکل‌گیری رواناب هستند. عبدی‌نژاد و همکاران (۱۰) در تحقیقی با هدف ارزیابی میزان تولید رواناب در واحدهای مارنی سازندهای زمین شناسی استان زنجان با استفاده از دستگاه باران‌ساز، نتیجه گرفتند که اثر واحدهای مارنی و شیب بر تغییرات زمان شروع رواناب معنی‌دار بوده است. همچنین، اثر

www.SID.ir

Archive of SID

واحدهای مارنی بر حجم و ضریب رواناب واحدهای کاری معنی‌دار بوده ولی اثر عامل شیب و اقلیم بر این دو ویژگی معنی‌دار نبوده است. صادقی و همکاران (۹) به بررسی تغییرپذیری رواناب و رسوب در سازندهای مختلف کواترنر با استفاده از شبیه‌ساز باران در پلات ۰/۶۲۵ مترمربعی پرداختند. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که اختلاف بین سازندهای مختلف کواترنر از نظر میزان رواناب، رسوب و غلظت رسوب معنی‌دار بوده است. نتایج به‌دست آمده همچنین مؤید تولید بیشترین مقدار رواناب توسط آبرفت‌های سخت نشده و حداکثر تولید و غلظت رسوب توسط پهنه‌های نمکی بوده است. فغفوری و همکاران (۱۲) عوامل مؤثر بر رسوب‌دهی را با روش‌های آماری بررسی کردند. ایشان با استفاده از باران‌ساز و در شدت بارش ۴۰ میلی‌متر بر ساعت، حساسیت سنگ به فرسایش را از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب گزارش کردند. ماتیاز (۲۷) در بررسی میزان رواناب و رسوب در مارن‌های فرانسه با کمک باران‌ساز به این نتیجه رسیده است که در شدت متوسط و تداوم ۳۰ دقیقه، ضریب رواناب در مارن‌ها حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد است. لی و همکاران (۲۵) به بررسی نرخ نفوذ و عوامل کنترل آن در مناطق کارستی جنوب شرق اسپانیا در سطح کرت کوچک پرداختند، نتایج ایشان نشان داد. مهم‌ترین عامل کنترل کننده ضریب رواناب خاک لخت و پوشش گیاهی به‌علاوه شدت بارش بوده است. هونگ و همکاران (۲۲) اثر سه عامل شدت بارندگی، شیب و را بر افزایش رطوبت خاک پس از اعمال بارش شبیه‌سازی شده در خاک لخت بررسی کردند. بدین منظور چهار شیب و پنج شدت در آزمایشات اعمال شد. نتایج نشان داد با افزایش شدت بارندگی ذخیره رطوبتی خاک در تمام پروفیل خاک، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. در شدت‌های بارش مختلف، تفاوتی بین میانگین افزایش میزان آب خاک مشاهده نشد. کادارتاو همکاران (۱۷) از شبیه‌سازی باران برای بررسی نقش پوشش گیاهی در سازند شیل، در ایالت یوتا آمریکا استفاده کردند. ایشان از نتایج به‌منظور واسنجی بخش رواناب و رسوب مدل هیدرولوژیکی فرسایش مراتع Rangeland Hydrology Erosion Model-RHEM استفاده کردند. دای و همکاران (۱۸) تولید رواناب و رسوب در شیب‌های فاقد پوشش سازندهای کارستی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد با افزایش شدت بارش تولید رواناب و رسوب افزایش یافت و با افزایش فقدان پوشش سطحی میزان رواناب ابتدا افزایش و سپس کاهش داشته است.

عدم انجام رتبه‌بندی سازندها از نظر حساسیت به فرسایش، یکی از مشکلات موجود در طرح‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش است (۶). در دامنه های شیرکوه استان یزد تاکنون تحقیقی به‌منظور رتبه‌بندی سازندهای منطقه از نظر میزان فرسایش و توان تولید رسوب انجام نشده است. هدف این پژوهش بررسی توان رسوب‌زایی و آستانه تولید رواناب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در دامنه‌های شیرکوه استان یزد بوده است که با استفاده از شبیه‌ساز باران انجام شده است.

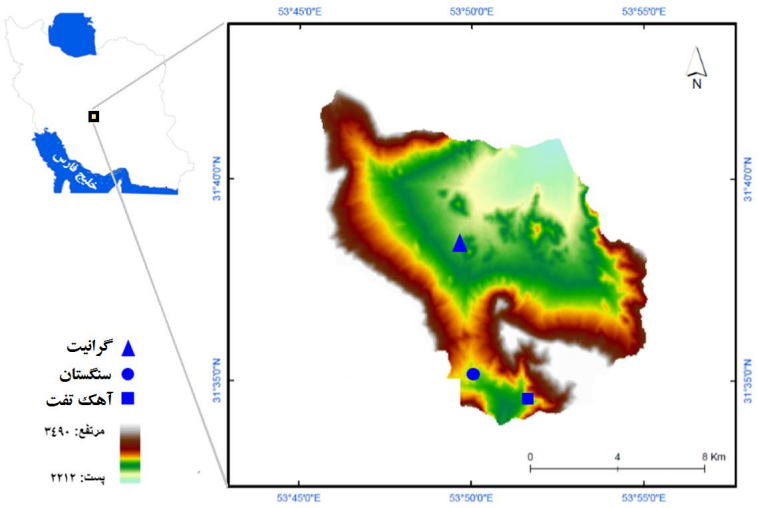
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

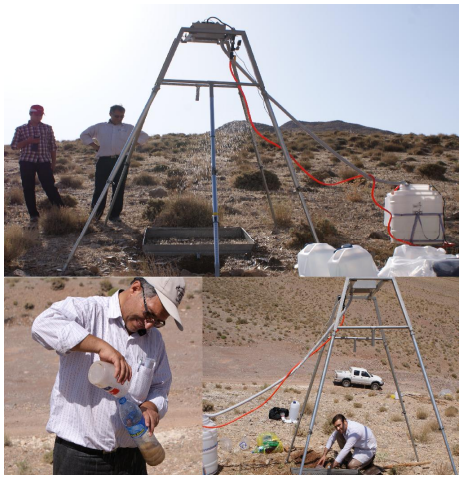
سازندهای مورد مطالعه در در دامنه‌های شیرکوه یزد بین طول شرقی ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۱ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی با میانگین بارندگی سالانه ۱۹۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد براساس ایستگاه علی‌آباد (۵۳ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی) قرار دارد. ضریب اقلیمی آمبرژه برای منطقه مورد مطالعه برابر با ۱۷/۰۳ و اقلیم منطقه براساس اقلیم نمای آمبرژه خشک سرد است. سه سازند سنگ آهک تفت (Kt) مربوط به دوره کرتاسه فوقانی، سنگستان (Ks) متشکل از ماسه سنگ و کنگلومرای خاکستری مربوط به کرتاسه میانی و سازند گرانیت (gr) شیرکوه مربوط به دوره ژوراسیک، دارای گستره قابل توجهی هستند که از این نظر بیشترین نقش را در تولید رواناب و رسوب منطقه ایفا می‌کنند. شکل (۱) موقعیت عمومی منطقه مورد مطالعه و نقاط

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. موقعیت نقاط شبیه‌سازی باران در ایران



شکل ۲. دستگاه شبیه‌ساز باران استفاده شده در پژوهش

انجام آزمایشات را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

ویژگی‌های باران‌ساز

برای انجام این پژوهش از سامانه شبیه‌ساز باران قابل حمل از نوع تحت فشار با نازل نوسانی نوع وی جت ۸۰۱۰۰ (Veejet 80100) استفاده شد. این دستگاه از قسمت‌های مختلفی از جمله موتور برق برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز دستگاه، سیستم کنترل کامپیوتری نازل‌ها، مخزن، پمپ آب و فشار سنج، سیستم پاشش قطرات باران، چارچوب دستگاه با پایه‌های قابل تنظیم ارتفاع تا ۲۴۰ سانتی‌متر و کرت آزمایش تشکیل شده است. این شبیه‌ساز بر پایه یک بازوی پاششی برای نازل است که در عرض یک کرت با سرعت‌های متفاوت به‌منظور ایجاد شدت‌های بارش مختلف نوسان می‌کند. جعبه اطراف نازل به‌منظور تنظیم پاشش در عرض کرت به‌کار گرفته شده است. بازو به یک موتور دنده‌ای متصل است که این موتور با دریافت سیگنال‌های کنترل از برنامه کامپیوتری، سرعت حرکت و زاویه نوسان بازو را ایجاد می‌کند (۲۳) (شکل ۲).

نازل نوع وی جت ۸۰۱۰۰ در فشار ۵۵ کیلو پاسکال (۰/۵۵ بار) و در ارتفاع ۲/۴۴ متر قطراتی با قطر بین ۰/۲۷۶ تا

www.SID.ir

Archive of SID

۶/۸۷ میلی‌متر و قطر میانه ۲/۸۵۷ میلی‌متر ایجاد می‌کند. در فشار بالاتر قطر قطرات کمی کوچک‌تر و سرعت قطرات کمی بیشتر می‌شود. قطرات بزرگ (۴ میلی‌متر و بیشتر) در این ارتفاع نازل، به‌سرعت حد نزدیک شده اما به این سرعت نمی‌رسند. انرژی جنبشی محاسبه شده برای توزیع قطر قطرات اندازه‌گیری شده برابر با ۲۷/۱ ژول بر متر مربع در میلی‌متر است (۲۸). شبیه‌ساز مورد استفاده قادر است شدت‌های بارش در بازه‌ای بین ۳۶/۸ تا ۱۷۵ میلی‌متر بر ساعت تولید کند. ضریب یکنواختی نیز برای شدت‌های مختلف بارش بازه‌ای بین ۷۳ تا ۸۸ درصد است (۲).

شرایط آزمایش

در این پژوهش با هدف بررسی آستانه تولید رواناب در سازندهای زمین شناسی، سازندهای زمین شناسی پایه کار در نظر گرفته شد. بنابراین موقعیت سازندهای زمین شناسی با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱ برگ خضرآباد (۵) و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار Google Earth Pro نسخه ۲۰۴۱. ۲. ۱. ۷ (سال انتشار تصاویر ۲۰۱۳) تعیین شد. سپس با انجام پیمایش صحرایی به‌کمک سامانه موقعیت‌یاب جهانی Global Positioning System-GPS موقعیت جغرافیایی هر یک از سازندها بر روی زمین مشخص شد.

با توجه به مؤثر بودن شیب دامنه در نتایج شبیه‌سازی‌های بارش در مطالعات پیشین (از جمله صادقی و همکاران (۸)، هانگ و همکاران (۲۲)، لیو و همکاران (۲۶) و الکتب و همکاران (۱۹)) به‌منظور یکسان‌سازی شرایط در تمام آزمایشات، شیب ۲۰ تا ۲۲ درصد انتخاب شد. همچنین به‌منظور خنثی کردن اثر جهت دامنه و یکسان‌سازی شرایط آزمایش دامنه‌های غربی برروی سازندهای مختلف انتخاب شد. تحقیقات روی فرایند فرسایش نشان داده است که چنانچه پوشش خاک موجود برروی مواد زمین شناسی دارای ضخامت زیاد (بیش از ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر) باشد، خصوصیات خاک است که روی فرسایش تأثیر دارد و چنانچه ضخامت خاک کم باشد (کمتر از ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر)، ویژگی‌های مواد مادری است که در خصوصیات خاک تأثیر مستقیم دارد و فرسایش منطقه تحت تأثیر مواد مادری خواهد بود (۱۱). بر این اساس قبل از شبیه‌سازی باران با حفر پروفیل ضخامت خاک بررسی و مناطقی با عمق خاک کمتر از ۳۰ سانتی‌متر به‌منظور شبیه‌سازی باران انتخاب شد. با توجه به اینکه در آزمایشات شبیه‌ساز باران به‌طور معمول از شدت‌های بالای بارندگی استفاده می‌شود، در این مطالعه نیز آزمایشات شبیه‌سازی باران با شدت بارش ۶۰ میلی‌متر بر ساعت در تداوم ۴۰ دقیقه، بسته به توان دستگاه و در محدوده بارش‌های منطقه (۸) و در سه سازند زمین‌شناسی مختلف و هر آزمایش با سه تکرار و در مجموع ۹ آزمایش انجام شد. سعی شد تا سطح پلات‌های انتخابی تا حد امکان از لحاظ پوشش سطحی یکنواخت باشد. بدین منظور اغلب سطوح فاقد پوشش گیاهی انتخاب شد و اندک پوشش گیاهی موجود نیز از سطح پلات حذف شد. مدت زمان اعمال بارندگی بسته به هدف آزمایش تعیین می‌شود و در مقایسه با پارامترهای دیگر در استفاده از باران‌سازها اهمیت کمتری دارد (۷). تمام آزمایشات در شرایط رطوبت پیشین خشک و در فصل خشک منطقه از تیر تا مردادماه انجام گرفت.

با اعمال شبیه‌سازی باران در حین آزمایش با مشاهده ایجاد رواناب و خروخ پیوسته اولین قطرات از خروجی کرت زمان آستانه تولید رواناب ثبت شد. رواناب خروجی از کرت به‌طور پیوسته در چند گام زمانی سه دقیقه و سپس شش دقیقه در ظروف جداگانه جمع‌آوری و به‌منظور بررسی حجم رواناب، وزن رسوب و گل‌آلودگی به آزمایشگاه منتقل شد.

در آزمایشگاه حجم رواناب جمع‌آوری شده اندازه‌گیری و به‌منظور جداسازی رسوب از کاغذ صافی عبور داده شد (شکل ۳). کاغذهای صافی به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و سپس وزن شد. با کم کردن وزن خشک اولیه کاغذ صافی از وزن خشک نهایی رسوب به‌علاوه کاغذ صافی، وزن رسوب به‌دست آمد. با تقسیم میزان

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۳. عبور دادن رواناب جمع‌آوری شده از کاغذ صافی به‌منظور جداسازی رسوب

شکل ۴. نتایج مقایسه میانگین رواناب در سازندهای مورد مطالعه در تداوم بارش ۴۰ دقیقه، حروف متفاوت، اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آماری براساس آزمون دانکن دارند

رسوب توزین شده به حجم رواناب مربوط به آن، گل‌آلودگی محاسبه شد. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، به‌منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون آنالیز واریانس (ANOVA) و دانکن استفاده شد (۲۰).

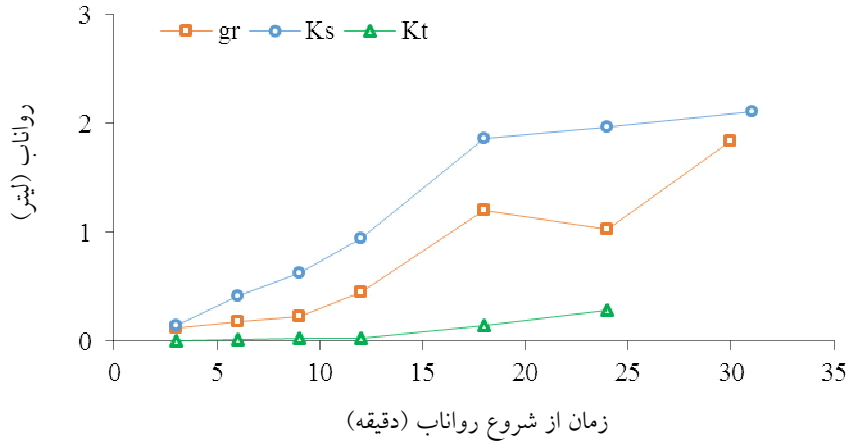
نتایج و بحث

حجم رواناب

در شکل (۴) نتایج اندازه‌گیری حجم رواناب در سازندهای مورد مطالعه و در شکل (۵) وضعیت تغییرات زمانی آن در طول وقایع بارش را نشان داده شده است. نتایج بیانگر بیشترین تولید رواناب در سازند سنگستان و کمترین میزان رواناب نیز مربوط به سازند آهک تفت است. دلیل تولید رواناب بیشتر در سازند سنگستان به مقادیر به‌نسبت زیاد ذرات ریزدانه رس و سیلت موجود در خاک مربوط است. خاک سازند سنگستان با ذرات ریزدانه نفوذپذیری کمتری دارد (۲)، از طرفی اندکی پس از شروع بارندگی ذرات ریزدانه در سطح، باعث بسته شدن خلل و فرج خاک سطحی شده و درنتیجه میزان رواناب و حجم رواناب افزایش یافته است. نتایج تحلیل‌های آماری نیز وجود اختلاف معنادار در سطح پنج درصد میان میزان رواناب تولیدی سازندهای مختلف را تأیید کرد. نتایج نشان داد که سازندهای گرانیت و سنگستان به‌ترتیب ۱۵/۸ و ۹/۹ برابر سازند آهک، رواناب تولید کرده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. تغییرات حجم رواناب از شروع رواناب در تداوم بارش ۴۰ دقیقه (gr: گرانیت، Ks: سنگستان و Kt: آهک)

شکل ۶. نتایج مقایسه میانگین رسوب تولیدی در تداوم بارش ۴۰ دقیقه، حروف متفاوت، اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آماری دارند

بررسی روند تغییرات رواناب با زمان نشان داد که با وجود بیشتر بودن میزان رواناب در سازند سنگستان نسبت به گرانیت، رواناب در این دو سازند تا دقیقه ۱۸ پس از شروع رواناب با شیب به‌نسبت یکسانی افزایش یافته است. این در حالی بود که در سازند آهک تا دقیقه ۱۳ پس از شروع رواناب، میزان رواناب بسیار ناچیز بوده و پس از این مدت رواناب افزایش یافته است. میزان رواناب تولیدی در این سه سازند طی ۴۰ دقیقه به روند ثابتی نرسیده و به زمانی بیش از این برای رسیدن به جریان ثابت رواناب (نفوذ نهایی) نیاز دارند. شکل‌آبادی و همکاران (۷) در بررسی تولید رواناب در خاک‌های با مواد مادری مختلف نشان دادند که برخی خاک‌ها به زمانی بیش از ۸۰ دقیقه برای رسیدن به نفوذ نهایی نیاز دارند. با این حال در سازند سنگستان پس از زمان ۱۸ دقیقه، شیب نمودار کاهش یافته است.

تولید رسوب

در شکل (۶) نتایج اندازه‌گیری وزن رسوب تولیدی سازندهای مورد مطالعه و شکل (۷) وضعیت تغییرات زمانی آن پس از شروع رواناب و در طول وقایع بارش را نشان داده شده است. سازندهای سنگستان و آهک به‌ترتیب حداکثر و حداقل تولید رسوب را داشته‌اند. نتایج آزمون‌های آماری نیز وجود اختلاف معنادار در سطح پنج درصد بین سازندهای مورد مطالعه را تأیید کرد. میزان ناچیز رسوب در سازند آهک را می‌توان با درشت‌دانه بودن خاک حاصل از این سازند نسبت به سازندهای سنگستان و گرانیت مرتبط دانست. به‌طوری‌که قلوه سنگ‌های

www.SID.ir

Archive of SID

درشت در خاک سازند آهک با تله‌اندازی ذرات ریزتر مانع از خروج آنها از کرت شده است. این در حالی است که در سازند سنگستان مقادیر به‌نسبت زیاد ذرات رس و سیلت به‌راحتی شسته شده و از کرت خارج شده است. در شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت میزان رسوب تولیدی در ۴۰ دقیقه در سه سازند گرانیت، سنگستان و آهک به‌ترتیب ۹/۴، ۳۹/۱ و ۰/۸ گرم در مترمربع بوده است.

بررسی تغییرات رسوب با زمان نشان می‌دهد در سازند سنگستان روند تولید رسوب در ۹ دقیقه ابتدایی پس از شروع رواناب آرام بوده و بعد از این زمان این روند به‌شدت افزایش یافته و در دقیقه ۲۴ به حداکثر خود رسیده و سپس کاهش قابل توجهی یافته است. در مورد سازند گرانیت نیز روند تغییرات در ابتدا تا زمان ۹ دقیقه بسیار آرام بوده و اندکی کاهش نیز در آن مشاهده شد اما پس از زمان ۹ دقیقه افزایش یافته و در زمان ۱۸ دقیقه به حداکثر خود رسیده است و سپس به‌طور محسوس کاهش یافته است. راموس و همکاران (۳۰) و شکل‌آبادی و همکاران (۷) نیز چنین روندی را گزارش کرده‌اند. پوسن و لاوی (۲۹) بیان داشته‌اند که در خاک‌هایی که رواناب زیادی تولید می‌کنند، ایجاد لایه رواناب روی سطح خاک مانع از برخورد مستقیم قطرات باران به سطح خاک و کاهش سرعت جدا شدن ذرات در اثر نیروی قطرات و در نتیجه کاهش مواد قابل حمل توسط رواناب می‌شود. همچنین در خاک‌هایی که رسوب زیادی ایجاد می‌کنند، حمل انتخابی ذرات باعث باقی ماندن ذرات درشت‌تر در سطح خاک شده و این ذرات درشت خود نقش حفاظتی در مقابل قطرات باران ایفا می‌کنند (۷). در مورد سازند آهک نیز باید گفت که از آنجا که در زمان کوتاه‌تری تا پایان بارش ایجاد رواناب کرده است، تنها روند کلی افزایشی در مدت ۲۴ دقیقه قابل مشاهده است.

گل‌آلودگی

در شکل (۸) نتایج بررسی غلظت رواناب تولیدی سازندهای مورد مطالعه و شکل (۹) وضعیت تغییرات زمانی آن پس از شروع رواناب و در طول وقایع بارش نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت سازند سنگستان، بیشترین میزان گل‌آلودگی را داشته است، این در حالی است که بین میزان گل‌آلودگی دو سازند گرانیت و آهک در این شدت از نظر آماری اختلاف معناداری در سطح پنج درصد وجود نداشته است. در مورد تغییرات گل‌آلودگی در طول زمان، می‌توان گفت که روند کلی در هر سه سازند کاهشی بوده است. با گذشت زمان و شسته شدن ذرات ریزدانه، میزان گل‌آلودگی به ثابت بودن میل کرده است.

آستانه رواناب

شکل (۱۰) نتایج اندازه‌گیری زمان شروع رواناب و میزان بارش لازم تا شروع رواناب در سازندهای مورد مطالعه را نشان داده است. سازند آهک بیشترین و سازندهای گرانیت و سنگستان کمترین زمان و بارش تا شروع رواناب را نیاز دارند. در مطالعه شکل‌آبادی و همکاران (۷) نیز سازند آهک کرتاسه در میان سازندهای قبل از کواترنر، بیشترین زمان تا شروع رواناب را داشته است. این در حالی است که با اینکه زمان لازم برای شروع رواناب در سازند گرانیت بیشتر از سنگستان است اما آزمون‌های آماری در سطح پنج درصد وجود اختلاف معنادار میان این دو را تأیید نکردند، اما اختلاف میان آهک و دو سازند مذکور در سطح پنج درصد آماری معنادار است.

ضریب رواناب

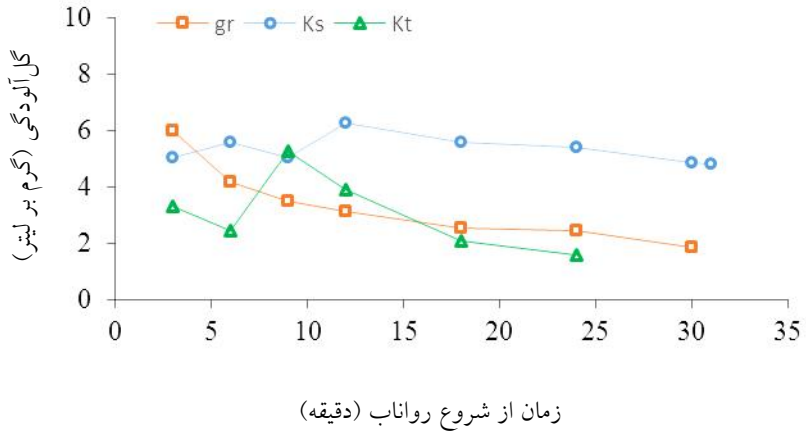
در شکل (۱۱) ضریب رواناب در سازندهای مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج نشان داد بیشترین ضریب رواناب مربوط به سازند سنگستان بوده است. نتایج تحلیل آماری نیز وجود اختلاف معنادار در سطح پنج درصد میان ضریب رواناب در سه سازند مورد مطالعه را تأیید کرد. کمترین ضریب رواناب (۱/۲۸) مربوط به خاک رویی سازند آهک بوده است. پرهمت و همکاران (۱) ضریب رواناب برای آهک‌های سازند آسماری را بین ۰/۴۵ تا ۱/۵ درصد گزارش کردند.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۷. تغییرات رسوب تولیدی از شروع رواناب در تداوم بارش ۴۰ دقیقه (gr: گرانیت، Ks: سنگستان و Kt: آهک)

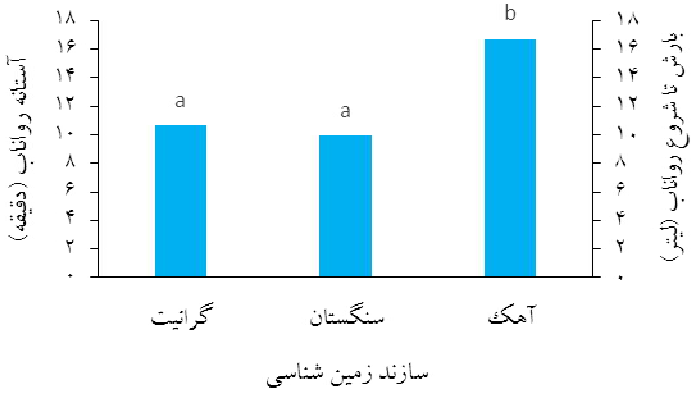
شکل ۸. نتایج مقایسه میانگین گل‌آلودگی رواناب حاصل از سازندهای مورد مطالعه در تداوم بارش ۴۰ دقیقه، حروف متفاوت، اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آماری براساس آزمون دانکن دارند



شکل ۹. تغییرات گل‌آلودگی از شروع رواناب در تداوم بارش ۴۰ دقیقه (gr: گرانیت، Ks: سنگستان و Kt: آهک)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰. مقایسه زمان شروع رواناب و میزان بارش لازم تا شروع رواناب در سازندهای مورد مطالعه، حروف متفاوت، اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آماری براساس آزمون دانکن دارند

شکل ۱۱. مقایسه ضریب رواناب در سازندهای مورد مطالعه، حروف متفاوت، اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آماری براساس آزمون دانکن دارند

رتبه‌بندی سازندهای مورد مطالعه

به‌طور معمول در آزمایشات شبیه‌سازی باران از شدت‌های بالای بارندگی و حتی غیر معمول به‌منظور رتبه بندی سازندها استفاده می‌کنند. در جدول (۱) رتبه‌بندی سازندهای مورد مطالعه از نظر تولید رسوب، زمان شروع رواناب، حجم رواناب و گل‌آلودگی در شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت نشان داده شده است. بر این اساس، سازند سنگستان دارای کمترین آستانه رواناب و عمق نفوذ و بیشترین میزان رواناب، رسوب و گل‌آلودگی بوده است. همچنین سازند آهک تفت دارای بیشترین زمان تا شروع رواناب، بیشترین عمق نفوذ و کمترین تولید رواناب، رسوب و گل‌آلودگی بوده است.

نتیجه‌گیری

یکی از منابع مهم تولید رواناب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارتفاعات کوهستانی هستند که عموماً از سازندهای قبل از کواترنری تشکیل شده‌اند. ساخت و بافت سنگ‌شناسی در سازندها متفاوت بوده و به‌همین دلیل سازندهای مختلف می‌توانند در تولید رواناب و رسوب نقش متفاوتی ایجاد کنند. این تحقیق با هدف بررسی توان رسوب‌زایی و آستانه تولید رواناب سه سازند گرانیت، سنگستان و آهک انجام شد. به‌علت خشک بودن حوضه، تفاوت در میزان تولید رواناب و رسوب در سازندهای مورد مطالعه بسیار محسوس بود. نتایج نشان داد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. رتبه‌بندی سازندهای مورد مطالعه از نظر آستانه رواناب، تولید رواناب، رسوب و گل‌آلودگی در شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت

سازند	آستانه رواناب	رواناب	وزن رسوب	گل‌آلودگی
گرانیت (gr)	۲	۲	۲	۲
سنگستان (Ks)	۱	۱	۱	۱
آهک (Kt)	۳	۳	۳	۳

رتبه یک، بیشترین تولید رواناب، عمق نفوذ، وزن رسوب و گل‌آلودگی و کمترین زمان شروع رواناب

که در بارش با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت، حداقل بارش لازم برای ایجاد رواناب در سه سازند گرانیت، سنگستان و آهک به‌ترتیب برابر با ۱۰/۷، ۱۰ و ۱۶/۷ میلی‌متر بوده است. با توجه به اینکه هنگام تولید رواناب در این پژوهش، ضخامت رواناب روی سطح خاک کمتر از دو میلی‌متر بود و جریان رواناب مشاهده شده از نوع رواناب سطحی غیر متمرکز بود، به‌طوری‌که در طول مدت آزمایشات هیچ گونه شیاری در سطح پلات یک مترمربعی ایجاد و رؤیت نشد، لذا براساس مفهوم فرسایش بین‌شیاری (جدا شدن و انتقال ذرات در اثر پاشمان قطرات باران و انتقال توسط رواناب سطحی) (۱۶) رواناب و رسوب اندازه‌گیری شده، مربوط به فرسایش بین شیاری بوده است.

منابع مورد استفاده

۱. پر همت ر.، ج. پر همت و ح. ر. ناصری. ۱۳۹۱. بررسی آستانه رواناب در زمین‌های کارستی، مطالعه موردی: حوضه کارستی دلی بجک سپیدار. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران* ۶(۱۹): ۵۸-۴۹.

۲. جهانبخشی ف. ۱۳۹۳. بررسی توان رسوبزایی و آستانه تولید رواناب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در شدت‌های متفاوت بارش با استفاده از شبیه‌ساز باران (مطالعه موردی: دامنه‌های شیرکوه یزد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، یزد.

۳. حسینی س.ه.، س. فیض نیا، ح. ر. پیروان و غ. ر. زهتابیان. ۱۳۸۸. بررسی تولید رواناب و رسوب در سازندهای ریزدانه نئوژن با کمک باران‌ساز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان). *نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران* ۶۲(۲): ۲۲۹- ۲۱۵.

۴. ذرتی پور، ا.، ع. سلاجقه و ح. احمدی. ۱۳۹۱. مدل‌سازی دینامیک فرسایش خاک در سازندهای مارنی، مبتنی بر خصوصیات بارش و عوامل فیزیکی. پایان‌نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۵. سازمان زمین شناسی ایران. ۱۹۹۳. سری نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ ایران، برگ خضر آباد (۶۷۵۳).

۶. سعیدیان ح. و ح. ر. مرادی. ۱۳۹۲. بررسی فرسایش و رسوب درکاربری‌های مختلف روی نهشته‌های آغاجاری، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک* ۱۷(۶۴): ۲۲۰-۲۰۹.

۷. شکل آبادی م.، ح. خادمی و ا. ح. چرخابی. ۱۳۸۲. تولید رواناب و رسوب در خاک‌های با مواد مادری متفاوت در حوضه آبخیز گل‌آباد اردستان. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی* ۷(۲): ۱۰۰-۸۵.

۸. صادقی، س. ح. ر.، م.س. ظریف معظم و س. خ. میرنیا. ۱۳۹۰. تأثیر تندی و جهت شیب بر رواناب سطحی و رسوب از کرت‌های کوچک آزمایشی در حوزهٔ آبخیز کجور. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)* ۲۵(۳): ۵۹۲-۵۸۳.

۹. صادقی، س. ح. ر.، ر. هدایتی‌زاده، ح. نادری و م. حسینعلیزاده. ۱۳۸۷. مقایسه تولید رواناب و رسوب در سازندهای مختلف کواترنر در مراتع سرچاه عماری بیرجند، *مجله مرتع* ۲(۴): ۴۶۳-۴۴۹.

www.SID.ir

۱۰. عبدی‌نژاد، پ.، س. فیض‌نیا، ح. ر. پیروان، ف. فیاضی و ا. ع. طباخ شعبانی. ۱۳۹۰. ارزیابی میزان تولید رواناب در واحدهای مارنی سازندهای زمین شناسی استان زنجان با استفاده از دستگاه باران‌ساز. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران* ۵(۱۷): ۴۶-۳۳.

۱۱. غضنفرپور، ن، ح. ر. مرادی، س. فیض نیا و ح. لیاقتی. ۱۳۸۵. حساسیت به فرسایش واحدهای کاری درمنطقه سجزی - کوهپایه اصفهان. سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی. قشم، سازمان نقشه برداری کشور، منطقه آزاد قشم.

۱۲. فغفوری، ز.، ن.آرمان، م. فرجی و ز خورسندی. ۱۳۹۶. تعیین عوامل مؤثر بر رسوب‌دهی با استفاده از روش‌های آماری، مطالعه موردی: حوضه سیدآباد. *مهندسی و مدیریت آبخیز* ۹(۲): ۲۰۴-۱۹۰.

۱۳. فیض نیا، س. ۱۳۷۴. مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، *مجله منابع طبیعی ایران* ۴۷: ۱۱۶-۹۷.

۱۴. کاویان‌پور، ح.، ا. اسمعلی عوری، ز. جعفریان جلودار و ع. کاویان. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات مکانی رواناب و رسوب مرتع ییلاقی نشو در استان مازندران. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران* ۷(۲۱): ۶۶-۵۹.

۱۵. واعظی، ع.، ح. بهرامی، س. ح. ر. صادقی و م. ح. مهدیان. ۱۳۸۷. تغییرات مکانی رواناب در بخشی از خاک‌های آهکی ناحیه نیمه‌خشک در شمال غربی ایران. *مجله علوم و کشاورزی منابع طبیعی* ۱۵(۵): ۲۲۵-۲۱۳.

16. Aghassi, M. and J. M. Bradford. 1999. Methodologies for interrill soil erosion studies. *Soil Tillage Research* 49: 277-287.
17. Cadaret E. M., K. C. McGwirea, S. K. Nouwakpob, M. A. Weltzc and L. Saito. 2016. Vegetation canopy cover effects on sediment erosion processes in the Upper Colorado River Basin Mancos Shale formation, Price, Utah, USA. *Catena* 334-344.
18. Dai Q., X. Pen, Z. Yang and Z. Longshan. 2017. Runoff and erosion processes on bare slopes in the Karst Rocky Desertification Area. *Catena* 152: 218-226.
19. El Kateb H., H. Zhang, P. Zhang and R. Mosandl. 2013. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: a field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena* 105-110.
20. Gary C. D. and P. R. Kinnear. 1999. SPSS for Windows Made Simple Release 10 (3rd Edition). Psychology Press Ltd.
21. Haregewegn N., J. Poesen, J. Nyssen, G. Verstraeten, J. Vente, G. Govers, S. Deckers and C. A. Igwe. 2003. Erodibility of soils of the upper rainforest zone, southeastern Nigeria. *Land Degradation and Development* 14: 323-334.
22. Huang, J., P. Wu and X. Zhao. 2013. Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. *Catena* 104: 93–102.
23. Jahanbakhshi, F., M. R. Ekhtesasi, E. Soheili and Y. Niazi. 2017. Portable rainfall simulator systems used in water and soil studies in Iran. *In:* Proceeding of the 4th International Conferences on Environmental Planning and Management, Tehran, Iran.
24. Joshi, V. U. and D. T. Tambe. 2010. Estimation of infiltration rate, run-off and sediment yield under simulated rainfall experiments in upper Pravara Basin, India: Effect of slope angle and grass-cover. *Earth System Science* 119(6): 763–773.
25. Li, X. Y., S. Contreras, A. Solé-Benet, Y. Cantón, F. Domingo, R. Lázaro and J. Puigdefábregas. 2011. Controls of infiltration–runoff processes in Mediterranean karst rangelands in SE Spain. *Catena* 86(2): 98-109.
26. Liu, D., D. She, G. Shao and D. Chen. 2015. Rainfall intensity and slope gradient effects on sediment losses and splash from a saline–sodic soil under coastal reclamation. *Catena* 128: 54-62.
27. Mathys, N. 2005. Runoff and erosion in the Black Marls of the French, Alps: observation and measurement at the plot scale, *Catena* 63: 261-281.
28. Paige, G. B., J. J. Stone, J. R. Smith and J. R. Kennedy. 2003. The Walnut Gulch rainfall simulator: a computer-controlled variable intensity rainfall simulator. *Applied Engineering in Agriculture* 20(1): 25–31.
29. Poesen, J. W. A. and H. Lavee. 1991. Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in laboratory study with simulated rainfall. *Soil Tillage Researches* 21: 209-223.
30. Ramos, M. C., S. Nacci and I. Pla. 2000. Soil sealing and its influence on erosion rates for some soils in the Mediteranean area. *Soil Sciences* 165: 398-403.
31. Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: is it possible? *Catena* 64: 162-173.
32. Sukhanovskii, Y. P. 2007. Modification of a rainfall simulation procedure at runoff plots for soil erosion investigation. *Eurasian Soil Science* 40(2): 195–202.
33. Toy, T. J., G. R. Foster and K. G. Renard. 2002. Soil Erosion, John Wiley and Sons, Inc, New York.
34. Walling, D. E. and A. L. Collins. 2008. The catchment sediment budget as a management tool. *Environmental Science and Policy* 11: 136-143.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 2, Summer 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of Sediment Production and Runoff Generation on Rock Formations of Shirkooh Slopes of Yazd by Using a Rainfall Simulator

F. Jahanbakhshi[1*], M. Reza Ekhtesasi[1], A. Talebi[1] and M. Piri[2]

(Received: June 22-2017 ; Accepted: September 5-2017)

Abstract

One of the main sources of runoff in arid and semi-arid mountainous highlands is typically composed of before Quaternary formations. Since the structure and lithology of formations are different, varying formations can have different significance in terms of runoff and sediment. The present study aimed to investigate the sediment production potential and the runoff generation threshold on three formations (Shirkooh Granite, Shale, Sandstone and Conglomerate of Sangestan and Taft Limestone) in Shirkooh mountain slopes. The 60 mm/h rainfall intensity with the 40 minute continuity, according to region rainfall records, and the ability of the rainfall simulator were selected as the basis for the study. Field experiments were conducted in dry conditions based on one square meter plot on rocky slopes with a gradient of 20 to 22 percent and a maximum thickness of 30 cm of soil. The results showed that in 60 mm/h rainfall intensity, the minimum rainfall to produce runoff on Sangestan, Shirkooh and, Taft, was 10, 10.7 and 16.7 mm, respectively. The maximum amount of the sediment was measured on Sangestan, Taft and Shirkooh, respectively. Statistical tests related to runoff and sediment production on all three formations confirmed a significant difference at the 5 % level. In terms of the time required to start runoff, the minimum time was for Sangestan, Shirkooh and Taft, respectively. According to the results, in terms of the potential for runoff generation and sediment production, Sangestan, Shirkooh and Taft can be ranked from high to low levels.

Keywords: Soil erosion, Runoff threshold, Rainfall intensity, Rainfall simulator, Shirkooh of Yazd

1. Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Yazd, Yazd, Iran.
2. Office of Natural Resources and Watershed Management, Yazd, Iran.
*: Corresponding Author, Email: farshid_jahanbakhshi@yahoo.com

www.SID.ir