

شبیه‌سازی اثر قطعات سنگی سطح خاک بر تولید رواناب و رسوب

مهدی بشری^۱، حمیدرضا مرادی^{۲*}، میرمسعود خیرخواه^۳ و مجید جعفری خالدي^۴

دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس،^۱ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس،^۲ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و^۴ استادیار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۳/۰۴

چکیده

خاک‌های دارای قطعات سنگی بخش مهمی از سطوح اراضی را تشکیل می‌دهند. حضور بخش‌های سنگی، تعیین کننده خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است و بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی نیز اثر می‌گذارد. تاکنون مطالعات فراوانی خاطر نشان کرده‌اند که اثر قطعات سنگی سطحی در فرسایش خاک و تولید رواناب و رسوب پیچیده و مبهم است، لذا لازم است این اثرات بیشتر مورد توجه قرار گیرند. در این راستا، پژوهش حاضر با استفاده از کرت‌های فرسایشی و شبیه‌ساز باران به مطالعه عکس‌العمل‌های فرسایشی خاک نسبت به سطوح مختلف نفوذناپذیر سنگی با مقادیر صفر، پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد پرداخت. نتایج حاصل از نمونه‌برداری رسوب و حجم‌سنجی رواناب طی رگباری ۳۰ دقیقه‌ای و با شدت ۷۰ میلی‌متر بر ساعت مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. تحلیل‌های آماری نشان داد که به‌طور کلی افزایش درصد سطوح سنگی اثر چندانی بر افزایش رواناب ندارد. اما مقادیر غلظت رسوب با حضور بخش‌های سنگی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) نسبت به خاک فاقد سطوح سنگی افزایش نشان می‌دهد، گرچه همگام با افزایش درصد سطوح سنگی مقادیر رسوب حاصله افزایشی خطی نشان نمی‌دهند. در مقادیر ۱۰ و ۲۰ درصد از سطوح سنگی، حجم رواناب و غلظت رسوب بالاترین میزان را در مقایسه با سایر تیمارها دارا می‌باشند. نهایتاً با افزایش سطوح سنگی به ۲۵ درصد، مقادیر رواناب و رسوب کاهش معنی‌داری می‌یابد. نتایج پژوهش، وجود مقادیر آستانه در سطوح سنگی برای افزایش رواناب و رسوب و نیز عملکرد متفاوت سطوح سنگی بسته به میزان آن را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سطوح سنگی، شبیه‌ساز باران، فرسایش خاک، کرت فرسایشی، نفوذپذیری

مقدمه

قطعات سنگی و اندازه آن، شدت فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی و تخریب خاک مانند سله سطحی^۱، نفوذ، تبخیر، تولید رواناب، تلفات انرژی رواناب و فرسایش آبی را تحت اثر قرار می‌دهد (Poesen و همکاران، ۱۹۹۸؛ Tetegan و همکاران، ۲۰۱۱). قطعات سنگی عموماً به ذرات غیرقابل انتقال اطلاق

مشخصه‌های سطحی خاک مانند زبری، ساختار و پوشش سطحی (مانند پوشش قطعات سنگی و گیاهان) اثر مهمی روی نرخ نفوذ، تولید رواناب و فرسایش دارد (Smets و همکاران، ۲۰۰۷). خاک سطحی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای مقادیر بالایی از قطعات سنگی است. پوشش

¹ Surface Sealing

روی تولید رسوب دارند. در این مناطق قطعات سنگی می‌توانند به‌عنوان تثبیت‌کننده‌های طبیعی سطح خاک لحاظ شوند. یک بخش سنگی مشخص، می‌تواند کارایی‌های متفاوتی در کاهش تولید رسوب شیاری و بین شیاری داشته باشد که وابسته به شدت‌های متفاوت زیرفرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی است (Poesen و همکاران، ۱۹۹۴). البته ارتباط بین سطوح سنگی و تولید رسوب در فرسایش بین‌شیاری پیچیده بوده و بسته به ساختار خاک رویی و موقعیت و اندازه قطعات سنگی، می‌تواند مثبت یا منفی باشد (Poesen و همکاران، ۱۹۹۹).

قطعات سنگی در سطح خاک اثرات متفاوتی بر رطوبت خاک، تولید رواناب و هیدرولیک جریان سطحی در فرسایش‌های شیاری و بین شیاری دارد (Poesen و Lavee، ۱۹۹۴). مشاهده شده است که حتی یک بخش کوچکی از قطعات سنگی در ماتریس خاک یا واقع در سطح خاک می‌تواند آورد رسوب، مقدار نفوذ و نرخ رواناب را تغییر دهد (Rieke-Zapp و همکاران، ۲۰۰۷).

در اغلب مناطق، سطح خاک و خاک رویی با حضور قطعات سنگی مشخص می‌شوند، اما این پدیده در پژوهش‌های فرسایش خاک مورد توجه قرار نگرفته است (Chen و همکاران، ۲۰۱۱). حضور قطعات سنگی در خاک خصوصیت عام بسیاری از عرصه‌هاست، لذا لازم است به اثر بخش‌های سنگی در پاسخ‌های فرسایشی و هیدرولوژیکی ناشی از بارش و تغییرات مشاهده‌ای در طول زمان توجه شود.

ارزیابی اهمیت نسبی اثر خصوصیات وابسته به بخش‌های سنگی روی فرسایش نیازمند آزمایش‌هایی است تا اجازه مشاهده دقیق تغییرات زمانی پاسخ خاک به باران‌های فرساینده را بدهد (Figueiredo و Poesen، ۱۹۹۸). در حال حاضر در مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، تاثیر پوشش سنگی به‌طور واضح در نظر گرفته نشده و یا تنها به‌صورت کیفی مورد توجه قرار گرفته است. برای اصلاح مدل‌های آرایه شده و لحاظ نمودن اثرات پوشش سنگی، لازم است مطالعات متعددی روی نقش پوشش سنگی در تغییر خصوصیات خاک از قبیل نفوذپذیری، فرونشست، سله سطحی و خواص هیدرولوژیکی سطح خاک صورت

می‌شود که به سادگی به‌وسیله جریان بین شیاری جابه‌جا نمی‌شوند (Chen و همکاران، ۲۰۱۱). حضور بخش‌های سطحی سنگی عموماً نفوذ را بهبود بخشیده و فرسایش را کاهش می‌دهد (Le Bissomais و همکاران، ۲۰۰۵)، ظرفیت نگهداری آب در خاک نیز از حضور قطعات سنگی اثر می‌پذیرد (Baetens و همکاران، ۲۰۰۹). قطعات سنگی تمایل دارند که با کاهش سطح مقطع در دسترس برای جریان و نیز با افزایش انحناء^۱ بستر جابه‌جایی آب را محدود نمایند.

پوشش سطحی قطعات سنگی بر شدت فرآیندهای مختلف تخریب خاک اثر می‌گذارد و می‌تواند اثراتی متمایز روی جریان سطحی و فرسایش خاک داشته باشد. عموماً حفاظت از خاک سطحی در مقابل عمل ضربه باران به قطعات سنگی منسوب شده است. این عمل منجر به کاهش شدت سله سطحی، افزایش نرخ نفوذ، کاهش رواناب و بنابراین کاهش تولید رسوب در خاک‌های پوشیده با قطعات سنگی می‌شود (Jomaa و همکاران، ۲۰۱۲؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۲).

پارامترهای عمده که برای تشریح میزان رواناب یا هدررفت خاک از خاک‌های دارای قطعات سنگی گزارش شده‌اند، شامل موقعیت، اندازه و درصد پوشش قطعات سنگی است که از بین آن‌ها درصد پوشش قطعات سنگی مهم‌ترین عامل می‌باشد. پوشش قطعات سنگی مقدار جدایش رسوب را تحت تاثیر قرار می‌دهد، چرا که خاک سطحی را در مقابل اثر ضربه قطرات حفاظت می‌کند (Wang و همکاران، ۲۰۱۲).

اجرای هرگونه عملیات در سطح آبخیز با ایجاد تغییر در ضریب زبری و در نتیجه تغییر نفوذپذیری خاک، موجب بروز شرایطی متفاوت در تولید رواناب می‌شود (Roghani و همکاران، ۲۰۰۴). نرخ بالای فرسایش کشاورزی نیز منجر به نمایان شدن خاک سنگی زیرین و افزایش پوشش قطعات سنگی در سطح مناطق می‌شود (Ruiz Sinoga و Martinez Murillo، ۲۰۰۹). قطعات سنگی در سطح خاک می‌توانند اثرات مثبت و منفی روی تولید رسوب داشته باشند. در اراضی مرتفع که فرسایش شیاری و بین شیاری با هم رخ می‌دهد، قطعات سنگی در سطح خاک اثر منفی

^۱ Tortuosity

که نرخ فرسایش در قطعات بسیار کم سنگی شدیداً افت می‌کند. شیارها نیز در خاک دارای قطعات سنگی، عریض‌تر و عمق جریان آن کمتر از خاک بدون سنگ است. هر چه قطعات سنگی بیشتری با خاک مخلوط شد، آورد رسوب کمتری در خروجی مشاهده شد، اما رسوب کل در خاک‌های حاوی قطعات سنگی بالاتر بود.

با استفاده از فلوم و شبیه‌ساز باران، Jomaa و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر قطعات سنگی در فرسایش خاک پرداختند. نتایج بررسی سطوح متغیر در معرض قطرات باران با قرار دادن قطعات سنگی روی سطح خاک نشان داد که برای خاک‌های با زبری سطحی ناچیز، غلظت رسوب وابسته به سطحی از خاک است که فاقد پوشش سنگی بوده و در معرض ضربات قطرات باران قرار دارد.

Wang و همکاران (۲۰۱۲) اثر پوشش قطعات سنگی روی پاسخ‌های هیدرولوژیک و هدررفت خاک را با استفاده از کرت و شبیه‌ساز باران بررسی نمودند. مطالعه خاک‌های با پوشش قطعات سنگی صفر تا ۴۰ درصد نشان داد که قطعات سنگی سطحی رواناب سطحی را کاهش، نفوذ و رواناب زیرسطحی را افزایش و غلظت رسوب و هدررفت خاک را تقلیل می‌دهد.

در داخل کشور نیز Rouhipour و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از کرت و شبیه‌سازی باران به بررسی اثر پوشش سنگی بر فرسایش پرداختند. نتایج بررسی دو نوع خاک نشان داد که تاثیر تغییرات پوشش سنگی روی خاک‌های لومی-شنی و بافت رسی-سیلتی به ترتیب از صفر تا حدود ۱۵ درصد و از صفر تا ۲۰ درصد منجر به افزایش رواناب و رسوب نسبت به تیمار شاهد شده است. همچنین، با افزایش درصد پوشش سنگی، میزان رسوب نسبت به تیمار شاهد کاهش چشم‌گیری دارد.

با استفاده از فلوم، Mirzaei و همکاران (۲۰۱۲) نیز اثر پوشش‌های مختلف سنگ‌ریزه سطحی را بر خصوصیات هیدرولیکی جریان و فرسایش خاک‌های لسی بررسی نمودند. در این مطالعه با افزایش پوشش سنگ‌ریزه از صفر به ۳۰ درصد، مقدار تلفات در جریان‌های سطحی مختلف به‌طور متوسط ۸۰ درصد کاهش یافت.

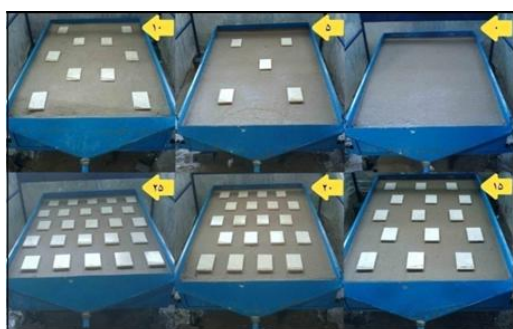
گیرد، چرا که خواص مذکور به نوبه خود می‌تواند در کاهش یا افزایش میزان رواناب و فرسایش ناشی از آن موثر باشد (Rouhipour و همکاران، ۲۰۰۵).

طی چندین دهه، به اثر مشخصه‌های سطحی خاک روی تولید رواناب، نفوذ و نرخ فرسایش خاک توجه فراوانی شده است. از میان مطالعات انجام شده در خارج از کشور به‌منظور بررسی اثر سطوح سنگی در فرآیندهای تولید رواناب و رسوب می‌توان به Poesen و همکاران (۱۹۹۴) اشاره نمود که به بررسی اثر قطعات سنگی روی فرسایش آبی در مقیاس کرت‌های کوچک، متوسط و بزرگ پرداختند. در کرت‌های متوسط با فرسایش بین شیاری، قطعات سنگی اثرات مبهمی به دو صورت مثبت و منفی روی آورد رسوب داشتند که به دلیل حفرات ریز خاک، شیب و نیز آرایش عمودی و اندازه قطعات سنگی بود. در مقیاس کرت‌های کوچک و بزرگ با فرسایش‌های شیاری و بین شیاری، قطعات سنگی اثر منفی روی آورد رسوب داشتند. در پژوهش Moustakas و همکاران (۱۹۹۵) اثر ابعاد، مقادیر و موقعیت‌های مختلف قطعات سنگی روی رواناب و فرسایش خاک درون کرت‌های فرسایشی در عرصه مطالعه شد. بالاترین مقادیر رواناب از خاک‌های لخت دارای قطعات سنگی بالا مشاهده شد و خاک‌های فاقد سنگ مقادیر پایین‌تری داشتند. همچنین، خاک‌های با قطعات سنگی درشت نسبت به خاک‌های با قطعات کوچک سنگ، مقادیر رواناب و رسوب بالاتری داشتند. با شبیه‌سازی بارش، Poesen و Figueiredo (۱۹۹۸) اثر ویژگی‌های قطعات سنگی سطح خاک را در رواناب و فرسایش درون جعبه‌های فلزی کوچک و خاک سیلتی-لومی غربال شده مطالعه نمودند. ارتباطی مثبت و نمایی بین هدررفت خاک و پوشش سطحی سنگی به‌دست آمد.

همچنین، ارتباط اندازه پوشش سنگی با عمق رواناب و هدررفت خاک مثبت بود و شکل سطوح تاثیر کمتری در مقایسه با اندازه و موقعیت سطوح در فرسایش داشت. همچنین، Rieke-Zapp و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از فلوم، اثر قطعات سنگی مخلوط در ماتریس خاک را روی فرسایش و دبی جریان بررسی نمودند. مطالعه محتوی قطعات سنگی با دامنه‌ای از صفر تا ۴۰ درصد حجمی خاک نشان داد

رواناب را به‌طور پیوسته از کرتی با رطوبت در حد ظرفیت زراعی تولید نماید (Srinivasan و همکاران، ۲۰۰۷).

برای بررسی سطوح نفوذناپذیر سنگی مقادیر صفر، پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد انتخاب شد. برای پراکنش آن‌ها در کرت از الگوی زنجیره‌ای پیوسته^۱ استفاده شد و به حالت نیمه‌پوشیده^۲ قرار گرفتند (Figueiredo و Poesen، ۱۹۹۸). جنس آن‌ها از قطعات سنگی منظم و برش یافته بوده که به دلیل کاهش عمق خاک در طول آزمایش، جلوگیری از پوشیده شدن سنگ‌ها در پایین کرت به دلیل رسوب‌گذاری و نیز جلوگیری از تداخل با رواناب زیرقشری، ضخامت دو سانتی‌متر و حالت استقرار نیمه‌پوشیده برای آن‌ها انتخاب شد. برای ایجاد این سطوح، قطعات سنگی با ابعاد ۱۵ در ۱۰ برش یافته و با الگوی نشان داده شده در شکل ۱ در سطح کرت‌ها چیده شدند. این ابعاد با توجه به مرور سوابق مطالعاتی انجام شده در مقیاس‌های مختلف، انتخاب شد.



شکل ۱- الگوی قرارگیری درصدهای مختلف سطوح سنگی درون کرت‌های آزمایشی

همچنین، هر قطعه سنگ در ابعاد مذکور برابر با یک درصد از سطح کرت فرسایشی بوده و امکان اعمال درصدهای مختلف سنگی همراه با پراکنش یکنواخت در سطح کرت را مقدور می‌سازد. نهایتاً شش تیمار ذکر شده از درصدهای مختلف سطوح سنگی، هر کدام در سه تکرار (جمعاً ۱۸ کرت فرسایشی) تحت شبیه‌سازی باران قرار گرفتند. زمان آغازین حرکت آب به سمت خروجی به‌عنوان شروع رواناب و آغاز ثبت

مرور منابع نشان می‌دهد که اثر قطعات سنگی سطحی بر فرسایش خاک پیچیده و مبهم بوده و وابسته به عوامل مختلفی مانند موقعیت، اندازه و سطح پوشش است. همچنین، مشاهده شده است که قطعات سنگی ممکن است نسبت‌های فرسایش و رواناب را کاهش یا افزایش دهد (Jomaa و همکاران، ۲۰۱۲). آشکار است که قطعات سنگی بر رفتارهای هیدرولوژیکی و فرسایشی خاک اثر قابل توجهی می‌گذارد، لذا هدف این پژوهش، بررسی نقش قطعات سنگی موجود در سطح خاک بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی ناشی از آن است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با استفاده از کرت‌های فرسایشی و شبیه‌ساز باران به‌عنوان دو روش رایج در بررسی فرسایش به‌دلیل هزینه کمتر، قابلیت کنترل و سرعت عمل بالا (Mahmoodabadi و همکاران، ۲۰۰۷) انجام گرفت. در شبیه‌سازی عرصه در آزمایشگاه، کرت‌های فرسایشی با ابعاد ۱/۵ در ۱ متر با ۷/۵ سانتی‌متر فیلتر شنی پر شده (Lal و Rimal، ۲۰۰۹) و سپس ۲۰ سانتی‌متر از خاک مورد پژوهش روی آن قرار گرفته و تسطیح شد.

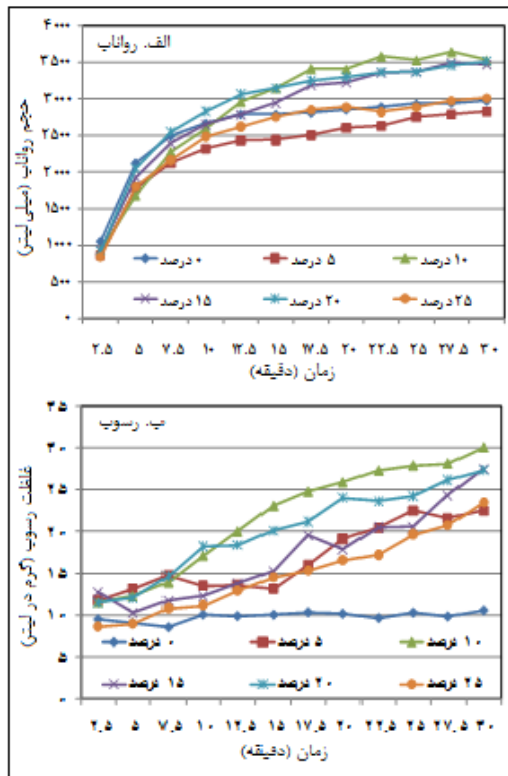
لازم به توضیح است که خاک مورد استفاده از منطقه سرخه در نزدیکی شهر سمنان تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. این خاک از نظر بافتی دارای به‌ترتیب ۵۰، ۵۰ و صفر درصد ماسه، سیلت و رس بوده و فاقد سنگ و سنگ‌ریزه می‌باشد. در ادامه کرت فرسایشی با استفاده از مجرای تحتانی تا رسیدن به ظرفیت زراعی اشباع شده و پس از ۲۴ ساعت رهاسازی مورد آزمون بارش قرار گرفت (Shekofteh و همکاران، ۲۰۰۵). پس از هر آزمایش نیز خاک قبلی برداشت، فیلتر شنی شست‌وشو و خاک جدید درون کرت ریخته شد و برای آزمایشات بعدی مهیا شد.

باران به‌وسیله یک شبیه‌ساز تک نازله با سیستم اسپری آب ایجاد شد. این شبیه‌ساز باران دارای نازلی با صفحه گردان است که توزیع خوبی از اندازه قطرات باران ایجاد می‌کند (Armfield، ۱۹۹۸). شبیه‌سازی باران در پژوهش حاضر با شدت ۷۰ میلی‌متر بر ساعت اجرا شد (Nicolaisen و همکاران، ۲۰۰۷) تا ۳۰ دقیقه

¹ Running Bond Pattern

² Half Embedded

مختلف سنگی معنی‌دار بود و برای تشخیص تفاوت‌های دو به دو بین تیمارها، از روش کمترین اختلاف معنی‌دار^۶ در گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد (Zare-Chahouki و Bihamta، ۲۰۱۰). نتایج آزمون بررسی اختلافات بین متغیرها برای داده‌های رواناب و رسوب با گروه‌بندی داده‌های میانگین رواناب و رسوب در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- تغییرات (الف) رواناب و (ب) رسوب مشاهده‌ای طی رگبار در سطوح مختلف سنگی

نمودار تغییرات داده‌های رواناب مشاهده‌ای در بازه‌های زمانی ۲/۵ دقیقه‌ای (شکل ۲) نشان داد که حضور قطعات سنگی و افزایش میزان آن در سطح کرت اثر مشخصی در کاهش یا افزایش حجم رواناب ندارد. همچنین، نتایج آنالیز واریانس رواناب در سطوح مختلف، اختلاف معنی‌داری را بین تیمار خاک لخت با سطوح مختلف پوشش سنگی نشان نداد. در سطح پنج درصد رواناب کاهش یافته ولی پس از آن با افزایش سطوح مقادیر رواناب در سایر تیمارها افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند که این افزایش نسبت به خاک

داده‌ها یادداشت شد (Seeger، ۲۰۰۷) و حجم‌سنجی رواناب و نمونه‌برداری، پس از شروع بارش و ورود رواناب به مخزن خروجی، هر ۲/۵ دقیقه و تا پایان رگبار انجام گرفت. با اندازه‌گیری حجم رواناب در واحد میلی‌لیتر، نمونه‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری برداشت شده نیز به وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲ فیلتر شده، با آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و نهایتاً توزین شد و از تقسیم میزان فرسایش بر حجم رواناب، غلظت رسوب بر حسب گرم در لیتر محاسبه شد (Rimal و Lal، ۲۰۰۹).

با جمع‌آوری و ثبت داده‌ها، برای تحلیل آماری از نرم‌افزار PASW^۱ بهره‌گیری شد. در نخستین مرحله نرمال بودن توزیع داده‌های میانگین حجم رواناب و غلظت رسوب به دست آمده در ۱۲ بازه زمانی اندازه‌گیری و در سه تکرار مطالعاتی، با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۲ انجام گرفت (Bihamta و Zare-Chahouki، ۲۰۱۰). سپس به منظور مقایسه نتایج به دست آمده در هر یک از تیمارهای مورد بررسی و ارزیابی اختلافات در رواناب و رسوب بین مقادیر مختلف پوشش سطحی سنگی از تجزیه واریانس^۳ استفاده شد (Arnaez و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

شکل ۲ تغییرات زمانی رواناب و رسوب مشاهده‌ای طی ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. جدول ۱ نیز ویژگی‌های آماری داده‌های رواناب و رسوب در سطوح مختلف سنگی را نشان می‌دهد که از اندازه‌گیری این متغیرها در ۱۲ بازه زمانی طی شبیه‌سازی و درون سه تکرار مطالعاتی حاصل شده‌اند. داده‌های با توزیع نرمال مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. در تجزیه واریانس یک‌طرفه^۴ داده‌های رواناب، مقدار آماره F برابر ۳/۶۲۴ و سطح معنی‌داری^۵ برابر ۰/۰۰۴ و در داده‌های رسوب مقدار آماره F برابر ۲۰/۶۳۶ و سطح معنی‌داری برابر ۰/۰۰۰ به دست آمد. لذا با اطمینان ۹۹ درصد اختلاف میانگین‌ها در سطوح

^۱ Predictive Analytics Software

^۲ Kolmogorov-Smirnov

^۳ Analysis of Variance

^۴ One Way ANOVA

^۵ Significance Level

^۶ Least Significant Difference (LSD)

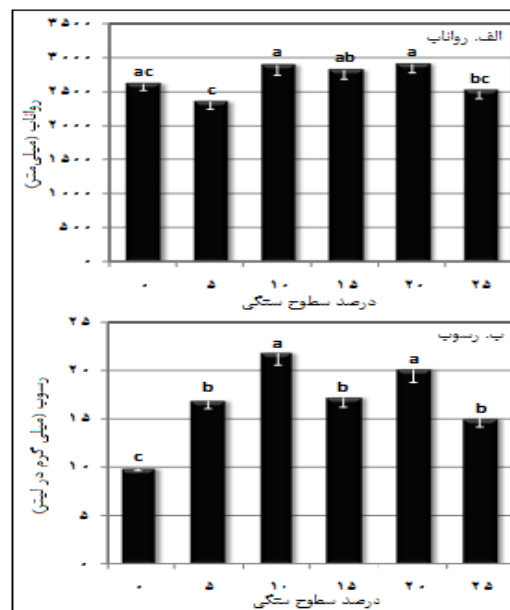
لخت معنی‌دار نبود. در حالی که Moustakas و همکاران (۱۹۹۵) نشان دادند بالاترین مقادیر رواناب از خاک‌های لخت دارای قطعات سنگی فراوان بوده و خاک‌های فاقد سنگ مقادیر پایین‌تری دارند.

جدول ۱- ویژگی‌های آماری رواناب (میلی‌لیتر) و غلظت رسوب (گرم در لیتر) مشاهده‌ای از سطوح مختلف سنگی در بازه‌های زمانی ۱۲ گانه

درصد سطوح سنگی	متغیر	میانگین	انحراف استاندارد	خطای استاندارد	حداقل	حداکثر
۰	رواناب	۲۶۱۳	۵۶۶	۹۴	۷۷۵	۳۲۳۳
۰	رسوب	۹/۸۲۰	۱/۲۱۴	۰/۲۰۲	۷/۱۳۶	۱۲/۱۴۳
۵	رواناب	۲۳۴۳	۶۰۷	۱۰۱	۷۹۰	۳۱۵۰
۵	رسوب	۱۶/۸۳۳	۴/۵۰۴	۰/۷۵۱	۸/۷۶۹	۲۶/۳۵۰
۱۰	رواناب	۲۸۸۹	۸۷۴	۱۴۵	۵۰۰	۳۷۹۵
۱۰	رسوب	۲۱/۸۰۲	۶/۹۹۷	۱/۱۶۶	۹/۴۰۴	۳۳/۶۴۶
۱۵	رواناب	۲۸۱۱	۷۶۲	۱۲۷	۹۱۰	۳۶۶۵
۱۵	رسوب	۱۷/۱۸۸	۵/۶۰۸	۰/۹۳۴	۸/۶۵۱	۳۱/۴۹۱
۲۰	رواناب	۲۹۰۱	۷۵۴	۱۲۵	۵۲۰	۳۶۳۰
۲۰	رسوب	۲۰/۱۰۳	۷/۵۴۰	۱/۲۵۶	۹/۶۴۱	۳۲/۲۷۵
۲۵	رواناب	۲۵۰۹	۶۷۶	۱۱۲	۷۲۵	۳۳۴۵
۲۵	رسوب	۱۵/۰۰۰	۵/۰۲۶	۰/۸۳۷	۶/۵۸۱	۲۴/۴۹۱

راحت‌تر نفوذ می‌کند و در راستای نرخ نفوذ بالاتر خاک‌های زیر قطعات سنگی، رواناب سطحی کاهش می‌یابد (Wang و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین، در سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد قطعات سنگی رواناب بالاترین میزان را داراست، چرا که عموماً نفوذ در خاک‌های سنگ‌دار در قطعات سنگی کم افزایش می‌یابد. اما در میزان سطوح، آستانه‌ای وجود دارد که بالای این آستانه، مقدار نفوذ به‌خاطر سطوح در دسترس کمتر برای جریان آب کاهش می‌یابد (Valentin، ۱۹۹۴). در نتیجه کاهش معنی‌دار میزان رواناب در سطوح سنگی بالای ۲۰ درصد را می‌توان ناشی از غالب شدن عامل کاهش سرعت رواناب به‌وسیله سطوح سنگی مستقر در مسیر جریان و نفوذ آب در اطراف این قطعات بر عامل افزایش سطوح نفوذناپذیر ناشی از حضور این قطعات سنگی در سطح خاک برشمرد.

نمودار تغییرات غلظت رسوب مشاهده‌ای مشخص نمود که در خاک فاقد سطوح سنگی، غلظت رسوب طی رگبار تغییر چندانی ندارد ولی با حضور سطوح سنگی افزایش چشم‌گیری در مقادیر رسوب تولیدی ایجاد می‌شود. غلظت رسوب نسبتاً ثابت در خاک فاقد سطوح سنگی طی شبیه‌سازی را می‌توان ناشی از جریان یکنواخت رواناب سطحی روی خاک دانست که



شکل ۳- میانگین مقادیر رواناب (الف) و رسوب مشاهده‌ای (ب) از سطوح مختلف سنگی همراه با گروه‌بندی آن‌ها

همچنین، Poesen و Figueiredo (۱۹۹۸) ارتباط اندازه پوشش سنگی با عمق رواناب را مثبت به‌دست آوردند، اما نشان دادند که میزان رواناب با افزایش درصد سطوح سنگی کاهش می‌یابد. دلیل نتایج به‌دست آمده می‌تواند این باشد که بارش به‌دلیل خلل و فرج بالاتر اطراف قطعات سنگی، زیر این سطوح

افزایش زبری سطح خاک افزایش می‌دهد. همچنین، Martinez-Zavala و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود با استفاده از شبیه‌ساز باران در عرصه نتیجه گرفتند با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی، مقدار تلفات خاک به صورت نمایی کاهش یافت.

در خلال بارش، از سویی سطوح سنگی باعث افزایش رواناب و به تبع آن رسوب می‌شود و از سوی دیگر با ایجاد موانعی، عمل رسوب‌گیری را نیز انجام می‌دهد که در مقادیر بالای سطوح سنگی این اثر نمایان است. همچنین، هم‌سو با گزارش Jomaa و همکاران (۲۰۱۲)، مقادیر غلظت رسوب پایین مشاهده‌ای در خاک فاقد سطوح سنگی نسبت به سایر سطوح را می‌توان به این امر مرتبط دانست که حضور قطعات سنگی در سطح خاک باعث تلاطم جریان شده و این جریان متلاطم، افزایش رسوب را به دنبال دارد.

بررسی Poesen و همکاران (۱۹۹۴) نیز نشان داد که پوشش سنگ‌ریزه‌ای منجر به آشفستگی جریان هرزآب شده و از این رو میزان رسوب به شدت افزایش می‌یابد. در مطالعه Javadi و همکاران (۲۰۰۵) غلظت رسوب در خاک لومی-شنی تا حدود پوشش سنگی ۱۵ درصد افزایش پیدا کرد و پس از آن میزان رسوب به شدت کاهش یافت. اما در خاک رسی-سیلنتی تا حد ۲۰ درصد افزایش رواناب و رسوب مشاهده شد و پس از ۲۰ درصد میزان رسوب نسبت به تیمار شاهد (بدون پوشش سنگی) کاهش چشمگیری داشت که دلیل افزایش رسوب در حضور پوشش سنگی به میزان ۱۵ و ۲۰ درصد برای هر دو نوع خاک مورد بررسی تنش برشی رواناب بوده که ناشی از برخورد جریان آب با قطعات سنگی است.

از سوی دیگر، با افزایش پوشش سنگی از حد ۱۵ تا ۲۰ درصد به بالا، میزان رسوب تولیدی کاهش شدیدی را نشان می‌دهد. لذا در اثر برخورد جریان رواناب با پوشش سنگی یک تنش برشی موضعی در اطراف سنگ ایجاد می‌شود که این تنش خود باعث تلاطم آب در اطراف سنگ شده و موجب جدا شدن ذرات خاک از بستر خود می‌شود، در نتیجه میزان رسوب را نسبت به خاکی که فاقد پوشش سنگی است به مراتب افزایش می‌دهد. اما با افزایش بیش از حد تعیین شده در پوشش سنگی، اثر برخورد قطرات باران

خود در نتیجه عدم حضور موانع سنگی است که منجر به آشفستگی جریان می‌شوند.

همچنین، به میزان توان حمل رواناب، مواد فرساینده در دسترس بوده است که به دلیل تخریب خاکدانه‌ها در اثر انتقال به آزمایشگاه و تهیه بستر کرت‌ها، درصد بالای سیلت خاک و نیز فقدان جز رس است که عامل چسبندگی خاک و سله سطحی می‌باشد. چرا که جز رس خاک می‌تواند به خاکدانه-سازی و افزایش پایداری ساختمان خاک و کاهش میزان هدررفت خاک کمک نماید (Kavian و همکاران، ۲۰۱۰).

آزمون مقادیر رسوب مشاهداتی در سطوح مختلف سنگی نشان داد که خاک بدون سطوح سنگی با کمترین میزان رسوب، اختلاف معنی‌داری را با تمامی کرت‌های دارای سطوح سنگی دارد. در این تیمارها نیز سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد سنگی بالاترین مقادیر رسوب را دارا بودند و پس از آن تیمارهای پنج، ۱۵ و ۲۵ درصد وجود دارند.

مطالعات فراوانی نشان دادند که پوششی از قطعات سنگی روی سطح خاک می‌تواند پتانسیل فرسایشی آن را در مقایسه با خاک بدون سطوح سنگی کاهش دهد (Wang و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج پژوهش Figueiredo و Poesen (۱۹۹۸) نشان داد که ارتباط مثبت و نمایی بین هدررفت خاک و پوشش سطحی سنگی وجود دارد و Poesen و همکاران (۱۹۹۹) و Wang و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان نمودند با افزایش پوشش قطعات سنگی نرخ غلظت رسوب در رواناب کاهش می‌یابد. نتایج Rouhipour و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان داد که با افزایش درصد پوشش سنگی، میزان رسوب نسبت به تیمار شاهد کاهش چشمگیری دارد. اما در راستای نتایج حاضر، Govers و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که پوشش بالای قطعات سنگی روی دامنه‌ها منجر به کاهش محلی نرخ فرسایش شیبی و بین‌شیب‌یاری خواهد شد و همچنین، نرخ فرسایش آبی کل سطح کاهش یافته و یکنواخت‌تر می‌شود. طبق یافته‌های Mirzaei و همکاران (۲۰۱۲) متوسط غلظت رسوب با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی کاهش یافت، زیرا پوشش سنگ‌ریزه سطحی مقاومت خاک را در مقابل حرکت جریان‌های سطحی با

نشان داد که حضور قطعات سنگی می‌تواند به‌طور معنی‌داری نرخ رسوب را در مقایسه با خاک لخت افزایش دهد.

همان‌گونه که Jomaa و همکاران (۲۰۱۲) تشریح نمودند، که فرسایش اولیه به‌طور مشخصی تنها به سطوح در معرض باران مرتبط نیست اما پس از زمان کوتاه اولیه، نرخ فرسایش برای دستیابی با شرایطی پایدار دچار تغییر می‌شود و تناسب آن با سطح در معرض باران نمایان می‌شود. علاوه بر سطح در معرض باران، رواناب و رسوب ممکن است به‌وسیله سله و زبری سطحی نیز اثر بپذیرند. این اختلافات نشان می‌دهد که شرایط ناهمگون اولیه سطح خاک که از خاک‌های دست‌خورده^۱ مورد استفاده در پژوهش ناشی شده، الگوی فرسایش را در کوتاه‌مدت تحت تاثیر قرار داده است. حضور قطعات سنگی سطحی، خاک را از پاشمان قطرات و سله حفاظت کرده و نرخ نفوذ اولیه را حفظ می‌کند. علاوه بر آن، در داده‌های آزمایشی منتشر شده برای خاک‌های عرصه‌ای، مشخص شد که فرسایش خاک تجمعی، متناسب با سطح در معرض نبوده است و لذا تناسب بین فرسایش خاک و سطح در معرض باران نتیجه‌ای عمومی نیست (Jomaa و همکاران، ۲۰۱۲).

پژوهش Javadi و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد در خاک دارای بافت سبک (لومی-شنی) و فاقد خاکدانه میزان نفوذ آب به‌علت دارا بودن ذرات درشت شن بسیار بالا است، در نتیجه به‌علت استقرار پوشش سنگی در سطح خاک و عدم تشکیل پدیده سله سطحی در این نوع خاک، بین میزان رسوب تولیدی تفاوت زیادی مشاهده نشد. در نتیجه در خاک‌های با بافت سنگین حضور پوشش سنگی، نقش روشن‌تری را به‌عهده دارد و پوشش سنگی در خاک‌های با بافت سنگین نسبت به خاک‌های سبک‌تر فرسایش بیشتری ایجاد می‌نماید. لذا تفاوت در بافت خاک (ذرات اولیه)، توزیع اندازه خاکدانه (ذرات ثانویه) و سایر خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک به‌ویژه بافت و سله سطحی می‌تواند عملکردهای متفاوتی در تولید رسوب با حضور پوشش سنگی و یا سنگ‌ریزه‌ای ایجاد نماید.

روی بستر خاک به‌شدت کاهش پیدا کرده و میزان انرژی دریافتی روی خاک بسیار کم می‌شود، در نتیجه رسوب تولیدی نیز کاهش می‌یابد. کاهش سرعت رواناب به‌علت بالا رفتن ضریب زبری بستر (درصد زیاد پوشش سنگی) نیز یکی دیگر از عوامل کاهش رسوب در هنگامی است که پوشش سنگی درصد نسبتاً زیادی از بستر خاک را اشغال کرده باشد.

همسو با پژوهش حاضر، Mazini و Khoshraftar (۲۰۱۱) نتیجه گرفتند با افزایش دبی بر میزان رسوب معلق افزوده می‌شود. همان‌گونه که نشان داده شد، حجم رواناب و تولید رسوب در هر بازه زمانی در خلال شبه‌سازی افزایش می‌یابد، برای رواناب عمومیت این اظهارات به‌وسیله پژوهش‌های مشابه در انواع مختلف خاک‌ها نشان داده شده است. در زمینه تولید رسوب باید خاطر نشان کرد که رفتار رسوب معلق غالباً تابعی از شرایط انرژی است، لذا رسوب در شدت کم جریان ذخیره شده و تحت شرایط دبی بالاتر حمل می‌شود (Beca, ۲۰۰۲)، علاوه بر آن، همچنان‌که رویداد بارش ادامه می‌یابد، سطح خاک مجدداً برای دستیابی به شرایطی پایدار تغییر می‌یابد و نرخ فرسایش نیز متعاقباً تعدیل می‌شود (Jomaa و همکاران، ۲۰۱۲).

در پژوهش Tailong و همکاران (۲۰۱۰) در خاک لومی نتیجه گرفته شد که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی از صفر به هشت درصد مقدار کل رسوب ۷۸ درصد کاهش یافت. اما Foster (۱۹۹۰) نتیجه گرفت در شرایطی که پوشش سنگ‌ریزه به‌صورت فرو رفته در خاک است، میزان رسوب به‌شدت افزایش پیدا می‌کند زیرا حضور سنگ‌ریزه در حالت فرو رفته منجر به کاهش نفوذ آب و در نتیجه افزایش رواناب می‌شود و افزایش رواناب نیز توأم با افزایش رسوب است.

پژوهش Poesen و Ingelmo-Sanchez (۱۹۹۲) نیز نشان داد زمانی که سنگ‌ریزه به‌صورت فرو رفته بر روی خاک قرار گیرد، رابطه مثبت یا تشدیدکننده-ای بین پوشش سنگ‌ریزه و میزان رواناب و رسوب تولیدی وجود دارد. گرچه بخشی از سطح که در معرض باران است یکی از عوامل عمده کنترل‌کننده فرسایش خاک برای کل دوره رویداد فرسایش است (Mandal و همکاران، ۲۰۰۵)، اما نرخ رسوب مشاهده-ای برای کرت‌های با پوشش قطعات سنگی مختلف،

¹ Remolded Soils

خاک در شرایطی که استقرار پوشش گیاهی امکان پذیر نمی‌باشد، همانند خاک‌های خیلی شور، قلیایی، اسیدی و خاک‌های لسی با حساسیت بالا به فرسایش، دارای اهمیت زیادی است (Mirzaei و همکاران، ۲۰۱۲).

همان‌گونه که نتایج این مطالعه و سوابق پژوهشی ارایه شده نشان داد، می‌توان جمع‌بندی نمود که قطعات سنگی سطح خاک اثر چندانی بر میزان رواناب سطحی ندارند. از سویی، سطوح سنگی مناطق نفوذناپذیری در سطح خاک ایجاد می‌کنند که رواناب را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر با ایجاد موانعی در جلوی جریان سطحی و نیز وجود خلل و فرج در اطراف این قطعات، پدیده نفوذ تسهیل می‌شود. در زمینه تولید رسوب، حضور سطوح سنگی، باعث افزایش چشمگیر آن می‌شود، چرا که این قطعات سنگی باعث تلاطم جریان شده و این جریان آشفته توان فرسایش و حمل بالاتری دارد. اما در میزان سطوح نیز آستانه‌ای وجود دارد که پس از این آستانه، به دلیل سطح کمتر در معرض قطرات باران و ایجاد مناطق رسوب گیر به وسیله سطوح سنگی، تولید رسوب کاهش می‌یابد. با توجه به آنچه ذکر شد، حضور قطعات سنگی نفوذناپذیر در سطح خاک می‌تواند اثراتی دوگانه در تولید رواناب و رسوب داشته باشد، لذا بررسی دامنه‌های گسترده‌ای از سطوح سنگی در مقیاس‌های مکانی بزرگ، حالت‌های استقرار سطحی و مخلوط با پروفیل خاک و نیز اجرای این‌گونه مطالعات در شرایط عرصه‌های طبیعی پیشنهاد می‌شود.

در بررسی Fotouhi و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه شد که تغییر کاربری به‌ویژه ایجاد آشفستگی و یا شخم اراضی سبب تغییر معنی‌داری در فرسایش‌پذیری می‌شود. این تغییر در نتیجه اختلاط خاک زیرین با سنگ‌فرش سطحی است، به نحوی که سبب از بین رفتن نقش حفاظتی پوشش سنگی در سطح خاک می‌شود. نتایج آن‌ها نشان داد که اختلاط خاک سطحی و از بین رفتن اثر سنگ‌فرش، فرسایش خاک را تا ۱۰ برابر افزایش می‌دهد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، باید مطرح نمود که گرچه سطوح سنگی خاک را از اثر ضربات قطرات باران حفاظت می‌کند اما در خلال باران، آب در الگوهای محلی نامنظم منتج از قطعات سنگی تجمع می‌یابد و منجر به افزایش نفوذ موضعی و ترسیب مجدد رسوبات معلق می‌شود که یافته‌های Heng و همکاران (۲۰۱۱) را تایید می‌نماید.

این یافته‌ها موید نتایج Jomaa و همکاران (۲۰۱۰) است که نشان داد هندسه بستر، موانع و دیواره‌هایی برای جریان آب ایجاد می‌کند که در واقع منابع و گودال‌هایی از رسوبات شسته شده و رواناب می‌باشند. افزایش پوشش سنگی سطحی در پارامترهای جریان سطحی مؤثر بوده و با افزایش آن، زبری افزایش و قدرت فرساینده‌گی جریان‌های سطحی کاهش می‌یابد. پوشش سنگی سطحی، به علت حفاظت از سطح خاک در مقابل عوامل فرساینده و کاهش سرعت و قدرت جریان‌های متمرکز سطحی، مقدار رسوب را کاهش می‌دهد. لذا، پوشش سنگی سطحی در کاهش فرسایش

منابع مورد استفاده

1. Armfield, Ltd. 1998. Instruction manual of rainfall simulator FEL3, Formerly fesissue, 8: 24 pages.
2. Arnaez, J., T. Lasanta, P. Ruiz-Flano and L. Ortigosa. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*, 93: 324-334.
3. Baetens, J.M., K. Verbist, W.M. Cornelis, D. Gabriels and G. Soto. 2009. On the influence of coarse fragments on soil water retention. *Water Resources Research*, 45(7): 1-14.
4. Beca, P. 2002. Temporal variability of suspended sediment availability during rainfall-runoff events in a small agricultural basin. ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demanovska dolina, Slovakia, 3 pages.
5. Bihamta, M.R. and M.A. Zare-Chahouki. 2010. Principles of statistics for the natural resources science. Second edition, University of Tehran Press, 300 pages (in Persian).
6. Chen, H., J. Liu, K. Wang and W. Zhang. 2011. Spatial distribution of rock fragments on steep hillslopes in karst region of northwest Guangxi, China. *Catena*, 84: 21-28.
7. Figueiredo, T. and J. Poesen. 1998. Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty-loam soil. *Soil and Tillage Research*, 46: 81-95.
8. Foster, G.R. 1990. Process-based modelling of soil erosion by water on agricultural land. In *Soil Erosion on Agricultural Land*, edited by Boardman, J., I.D.L. Foster and J.A. Dearing. John Wiley and Sons Ltd: 429-445.

9. Fotouhi, F., H.R. Azimzadeh, A. Talebi and M.R. Ekhtesasi. 2011. Effect of pavement cover variation on erodibility factor of USLE model using geostatistics technique (Case study: Yazd-Ardakan plain). *Watershed Management Science and Engineering*, 5(16): 1-12 (in Persian).
10. Govers, G., K. Van Oost and J. Poesen. 2006. Responses of a semi-arid landscape to human disturbance: A simulation study of the interaction between rock fragment cover, soil erosion and land use change. *Geoderma*, 133: 19–31.
11. Heng, B.C.P., G.C. Sander, A. Armstrong, J.N. Quinton, J.H. Chandler and C.F. Scott. 2011. Modeling the dynamics of soil erosion and size-selective sediment transport over non-uniform topography in flume-scale experiments. *Water Resources Research*, 47(2): W02513, 11 pages.
12. Javadi, P., H. Rouhipour and A.A. Mahboubi. 2005. Effect of rock fragments cover on erosion and overland flow using flume and rainfall simulator. *Rangeland and Desert Researches*, 3(12): 279–287 (in Persian).
13. Jomaa, S., D.A. Barry, A. Brovelli, B.C.P. Heng, G.C. Sander, J.Y. Parlange and C.W. Rose. 2012. Rain splash soil erosion estimation in the presence of rock fragments. *Catena*, 92: 38–48.
14. Jomaa, S., D.A. Barry, A. Brovelli, G.C. Sander, J.Y. Parlange, B.C.P. Heng and H.J. Tromp-van Meerveld. 2010. Effect of raindrop splash and transversal width on soil erosion: Laboratory flume experiments and analysis with the Hairsine–Rose model. *Journal of Hydrology*, 395: 117-132.
15. Kaviani, A., A. Azmodeh, K. Soleimani and Gh. Vahabzadeh. 2010. Effect of soil properties on runoff and soil erosion in forest lands. *Journal of Range and Watershed Management*, 63(1): 89-104 (in Persian).
16. Khoshraftar, R. and F. Mazini. 2011. Study of discharge and sediment data in Qare-Soo watershed (Golestan province). *Geographic Space Journal*, 11(33): 101-121 (in Persian).
17. Le Bissomais, Y.O. Cerdan, V. Lecomte, H. Benkhadra, V. Souchere and P. Martin. 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena*, 62: 111– 124.
18. Mahmoodabadi, M., H. Rouhipour, M. Arabkhedri and H.G. Refahi. 2007. Calibration, spatial distribution and rain characteristics of rainfall simulation, Case study: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute rainfall simulator. *Watershed Management Science and Engineering*, 1(1): 40-50 (in Persian).
19. Mandal, U.K., K.V. Rao, P.K. Mishra, K.P.R. Vittal, K.L. Sharma, B. Narsimlu and K. Venkanna. 2005. Soil infiltration, runoff and sediment yield from a shallow soil with varied stone cover and intensity of rain. *European Journal of Soil Science*, 56: 435-443.
20. Martinez-Zavala, L., A. Jordan, N. Bellinfante and J. Gil. 2010. Relationships between rock fragment cover and soil hydrological response in a Mediterranean environment. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56: 95-104.
21. Mirzaei, S., M. Gorji and A. Jafari-Ardakani. 2012. Effect of surface rock fragment cover on soil erosion and sediment using simulated runoff. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 2(1): 141-154 (in Persian).
22. Moustakas, N.C., C.S. Kosmas, N.G. Danalatos and N. Yassogiou. 1995. Rock fragments, their effect on runoff, erosion and soil properties under field conditions. *Soil Use and Management*, 11(3): 115-120.
23. Nicolaisen, J.E., J.E. Gilley, B. Eghball and D.B. Marx. 2007. Crop residue effects on runoff nutrient concentrations following manure application. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3): 939–944.
24. Poesen, J., E. De Luna, A. Franca, J. Nachtergaele and G. Govers. 1999. Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content. *Catena*, 36: 315–329.
25. Poesen, J. and F. Ingelmo-Sanchez. 1992. Runoff and sediment yield from topsoil with different porosity and affected by rock fragment cover and position. *Catena*, 19: 451-474.
26. Poesen, J. and H. Lavee. 1994. Rock fragments in topsoils: significance and processes. *Catena*, 23: 1-28.
27. Poesen, J.W., D. Torri and K. Bunte. 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena*, 23(1–2): 141-166.
28. Poesen, J.W., B.V. Wesemael, B. Bunte and A.S. Benet. 1998. Variation of rock fragment cover and size along semiarid hillslopes: A case-study from southeast Spain. *Geomorphology*, 23: 323–335.
29. Rieke-Zapp, D., J. Poesen and M.A. Nearing. 2007. Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 1063-1076.
30. Rimal, B.K. and R. Lal. 2009. Soil and carbon losses from five different land management areas under simulated rainfall. *Soil and Tillage Research*, 106: 62-70.

31. Roghani, M., M. Mahdavi and A.M. Gafouri. 2004. Introducing a method in site selection of areas influencing to flood control programming and decreasing flood damages in Iran watersheds, Case study in Rodak basin. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 61: 18-27 (in Persian).
32. Rouhipour, H., P. Javadi and A.A. Mahboubi. 2005. Effect of rock fragments cover on erosion and sediment of two soil types using flume and rainfall simulator. 3rd Sediment National Conference, Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 6 pages (in Persian).
33. Ruiz Sinoga, J.D. and J.F. Martinez Murillo. 2009. Hydrological response of abandoned agricultural soils along a climatological gradient on metamorphic parent material in southern Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 2047-2056.
34. Seeger, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.
35. Shekofteh, H., H. Rafahi and M. Gorji. 2005. A study of the effects of polyacrylamide on soil erosion and runoff. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 36(1): 177-186 (in Persian).
36. Smets, T., J. Poesen, M.A. Fullen and C.A. Booth. 2007. Effectiveness of palm and simulated geotextiles in reducing runoff and interrill erosion on medium and steep slopes. *Soil Use and Management*, 23: 306-316.
37. Srinivasan, M.S., P.J.A. Kleinman, A.N. Sharpley, T. Buob and W.J. Gburek. 2007. Hydrology of small field plots used to study phosphorus runoff under simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality*, 36: 1833-1842.
38. Tailong, G., W.D. Qianjiu and J.Z. Li. 2010. Effect of surface stone cover on sediment and solute transport on the slope of fallow land in the semi-arid loess region of northwestern China. *Soils Sediments*, 10: 1200-1208.
39. Tetegan, M., B. Nicoullaud, D. Baize, A. Bouthier and I. Cousin. 2011. The contribution of rock fragments to the available water content of stony soils: proposition of new pedotransfer functions. *Geoderma*, 165(1): 40-45.
40. Valentin, C. 1994. Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West Africa. *Catena*, 23: 87-97.
41. Wang, X., Z. Li, C. Cai, Z. Shi, Q. Xu, Z. Fu and Z. Guo. 2012. Effects of rock fragment cover on hydrological response and soil loss from Regosols in a semi-humid environment in South-West China. *Geomorphology*, 151-152: 234-242.

Simulation of the effect of soil surface rock fragments on runoff and sediment yield

Mehdi Bashari¹, Hamid Reza Moradi^{*2}, Mir Masuod Kheirkhah³ and Majid Jafari Khaledi⁴

¹ Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran, ² Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran, ³ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, ⁴ Assistant Professor, Faculty of Mathematical Sciences, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 30 December 2012 Accepted: 25 May 2013

Abstract

Soils containing rock fragments are covering major parts of land surfaces. Physical and chemical properties of soil are affected by rock fragments as they also affect on the hydrological and erosional processes. So far, many studies have shown the effect of surface rock fragments on soil erosion and runoff. Sediment production is a complex and ambiguous process and a notice to these effects is necessity. Hence this study examines the soil erosion reactions in different impermeable coverage of rocks with erosion plots and rainfall simulator. For this purpose, plots were covered with 0, 5, 10, 15, 20 and 25 percent of rocks, respectively. The results of sediment sampling and measuring the volume of runoff during 30 minutes of rainfall with an intensity of 70 mm/h were analyzed and the results showed that increasing of rock fragment coverage had no effect on runoff volume. But, the amount of sediment increased significantly ($p < 0/05$) in soils containing rock fragments compared to soils without rock fragments. Although, results did not show a linear relationship between sediment values and rock fragment coverage percentage. The highest value of runoff and sediment concentrations observed in soils containing 10 and 20 percent of rock fragment coverage in comparison to other treatments. Finally, by increasing of surface rock fragments to 25 percent, the value of runoff and sediment decreased significantly. The results of this study confirmed the threshold levels in surface rock fragments to increase runoff and sediment values and also their dual roles at different levels.

Key words: Erosion plot, Infiltration, Rainfall simulator, Soil erosion, Surface rock fragments

* Corresponding Author: hrmoradi@modares.ac.ir