

اثر الگوی استقرار قطعات سنگی سطحی بر فرایندهای فرسایش خاک در شرایط شبیه‌سازی شده

فاطمه حجابی جردوی: کارشناس ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تربیت‌حیدریه

مهدی بشیری*: استادیار گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تربیت‌حیدریه

نوع مقاله: پژوهشی

مریم آذرخشی: استادیار گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تربیت‌حیدریه

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۱)

چکیده

سطوح وسیعی از خاک حوزه‌های آبخیز با مقدار قابل ملاحظه‌ای از سنگ و سنگ‌ریزه پوشیده شده‌است که این پوشش می‌تواند در زمان وقوع بارش و رواناب، اثر مهمی بر فرایندهای فرسایش خاک، تولید رسوب و نفوذ داشته باشد. اما اثر الگوی قرارگیری این سطوح نفوذناپذیر بر پدیده‌ی فرسایش خاک چندان شناخته شده نیست. در پژوهش حاضر با استفاده از پلات‌های فرسایشی و شبیه‌ساز باران مستقر در آزمایشگاه دانشگاه تربیت‌حیدریه، اثر سطوح نفوذناپذیر سنگی شامل شاهد ۰، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پوشش سطح پلات بررسی شد. این امر در سه حالت قرارگیری سطحی، نیمه‌مدفون و مدفون شده و در سه تکرار (در مجموع ۳۰ پلات) صورت گرفت. پلات‌ها با شیب ثابت ۹ درصد، به مدت ۱۰ دقیقه در معرض بارشی با شدت ۱/۴ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفت و پس از هر رخداد بارش، مقادیر حجم رواناب، وزن رسوب، غلظت رسوب، ضریب رواناب و میزان نفوذ به دست آمد. تغییرات مکانی رسوب در سطح پلات‌ها نیز توسط زبری‌سنج لیزری، قبل و پس از هر شبیه‌سازی در مقاطع مختلف برداشت و مقایسه شد. نتایج نشان داد با افزایش درصد قطعات سنگی در حالت سطحی، میزان رسوب تولید و میزان نفوذ، افزایش و میزان حجم رواناب تولیدی کاهش می‌یابد. در صورتی که قطعات سنگی به صورت مدفون قرار گرفته باشند، میزان رسوب و حجم رواناب تولیدی، افزایش و میزان نفوذ کاهش می‌یابد، اما اثرات اصلی و متقابل تیمارها بر فرایندهای فرسایش خاک معنادار نبود. در نهایت، طبق نتایج آزمون مقایسه‌ی داده‌های قبل و بعد - که توسط زبری‌سنج صورت گرفت - در هر تیمار، بین این دو گروه اختلاف معناداری به دست آمد که این اختلاف، با توجه به بررسی تغییرات نیمرخ سطحی تهیه شده توسط زبری‌سنج لیزری از پلات‌ها، ناشی از دو عامل افت سطح پلات یا جابه‌جایی مقطعی رسوبات در سطح پلات بود.

واژگان کلیدی: پلات فرسایشی، رسوب، رواناب، زبری‌سنج لیزری، شبیه‌ساز باران.

۱- مقدمه

از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت منابع آب و خاک، شناخت فرآیندهای مؤثر بر فرسایش است (Akbari et al, 2017). فرسایش آبی، جداسدن خاک سطحی به وسیله‌ی آب ناشی از بارش، رواناب، ذوب برف و آبیاری است (Blanco-Canqui and Lal, 2010). فرآیند نفوذ در خاک، با چندین عامل شامل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، بافت خاک، قطعات سنگی خاک، محتوی رطوبتی خاک، کاربری و پوشش گیاهی کنترل می‌شود (Wu et al, 2021). در ایران نیز مانند بسیاری از نقاط دنیا، سطوح وسیعی از خاک‌ها با مقدار قابل ملاحظه‌ای از سنگ و سنگ‌ریزه پوشیده شده‌است؛ بنابراین، بررسی میزان فرسایش‌پذیری، تولید رواناب و میزان رسوب در این مناطق اهمیت دارد. وجود سنگ و سنگ‌ریزه‌ی سطحی به عنوان یکی از عوامل زبری سطح خاک، می‌تواند در کنترل نفوذ آب به خاک، شروع رواناب و میزان فرسایش و رسوب تولیدی اهمیت زیادی داشته باشد (Auzet et al, 1995). بسیاری از خاک‌ها در نتیجه‌ی فرآیندهای طبیعی تشکیل خاک و فعالیت‌های انسانی، حاوی مقادیری از قطعات سنگی است که توجه به این خاک‌ها را در پی داشته (Jiang et al, 2020) و سبب شده به تأثیر قطعات سنگی در فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش خاک توجه زیادی شود (Cerda, 2001). در بعضی مناطق، سطح خاک به طور معمول حاوی مقادیر زیادی سنگ و سنگ‌ریزه است که سطح پوشش و نحوه‌ی قرار گرفتن آنها در بستر خاک، در مناطق مختلف متفاوت است. زمان وقوع رواناب و پوشش سنگ و سنگ‌ریزه‌ای می‌تواند به افزایش یا کاهش فرسایش خاک منجر شود و حتی قطعات سنگی سطحی تشکیل شیار را به حداقل برساند (Yakupoglu et al, 2021 & Lv et al, 2019). تأثیر پوشش سنگ و سنگ‌ریزه بر کنترل فرسایش خاک، از سه بعد قابل بررسی است: حفاظت سطح خاک از برخورد قطرات باران و جداسدن ذرات خاک، کاهش تخریب فیزیکی و کند کردن سرعت جریان سطحی (Abrahams et al, 2001 & Poesen and Lavee, 1994).

پژوهشگران در مورد تأثیر پوشش سنگ‌ریزه‌ای و ارتباط آن با افزایش یا کاهش میزان رواناب و رسوب به عنوان مؤلفه‌ی کلیدی سیستم خاک (Sekucia et al, 2020)، مطالعات مختلفی انجام داده‌اند. بررسی اثر پوشش سنگی بر فرسایش خاک با استفاده از پلات و شبیه‌ساز باران، توسط Rouhipour و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که تغییرات پوشش سنگی بر خاک‌های لومی - شنی، به افزایش رواناب و رسوب منجر می‌شود. Mirzaei و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر پوشش‌های مختلف سنگ‌ریزه‌ی سطحی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان و فرسایش خاک با استفاده از پلات، نشان دادند که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه از صفر به ۳۰ درصد، مقدار تلفات در جریان‌های سطحی مختلف به‌طور متوسط کاهش می‌یابد. Asadzadeh و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی آزمایشگاهی اثر پوشش سنگ‌ریزه سطحی در چهار تیمار، بر میزان تلفات خاک و خصوصیات هیدرولیکی جریان با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پوشش سنگ‌ریزه در کنترل نفوذ آب به خاک، رواناب و فرسایش خاک اهمیت زیادی دارد و با افزایش درصد این پوشش، سرعت نسبی جریان کاهش می‌یابد. مطالعه‌ی پوشش سنگ‌ریزه‌ای توسط Azartaj و همکاران (۲۰۱۷) در شیب‌های مختلف بر روی رواناب و هدرفت خاک، نشان داد که بیشترین حجم رواناب، مقادیر خاک هدرفته، غلظت رسوب و ضریب رواناب، در خاک‌های فاقد پوشش سنگی به دست می‌آید. همچنین بررسی پوشش‌های مختلف سنگ‌ریزه‌ی سطحی بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان‌های سطحی توسط kalbali و همکاران

(۲۰۱۷) نیز نشان داد که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ای سطحی، ویژگی‌های هیدرولیکی جریان شامل عمق، ضریب زبری و تنش برشی به صورت خطی و به طور معنی‌داری افزایش، و سرعت جریان سطحی کاهش می‌یابد. در نهایت، پژوهش kalbali و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی چهار سطح پوشش سنگ‌ریزه (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) و سه شدت جریان سطحی نشان داد که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ای سطحی، میزان رواناب و رسوب به ترتیب به صورت خطی و نمایی کاهش می‌یابد.

در پژوهش‌های خارج از کشور، Abrahams و Parsons (۱۹۹۱) به بررسی رابطه بین نفوذ و پوشش قطعات سنگی پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ی سطحی، نفوذپذیری خاک کاهش و مقدار رواناب و فرسایش خاک افزایش می‌یابد؛ چون سنگ‌ریزه‌ها در خنثی کردن انرژی جنبشی رگبار اثر چندانی نداشتند. بنابراین، سه سطحی افزایش و نفوذ کاهش می‌یابد. در نهایت، فرسایش پاشمانی نیز رسوب بالایی را در دسترس رواناب قرار می‌دهد. Cerda (۲۰۰۱) به بررسی اثر قطعات سنگی بر نفوذپذیری خاک، رواناب و فرسایش در شرایط شبیه‌سازی پرداخت و نشان داد که تلفات آب و خاک توسط قطعات سنگی کاهش می‌یابد. همچنین پس از حذف قطعات سنگی، میزان نفوذپذیری کاهش و میزان رواناب و رسوب و فرسایش افزایش می‌یابد. بررسی اثر پوشش سنگی بر فرسایش خاک در شرایط شبیه‌سازی شده توسط Martinez-zavala و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد که قطعات سنگی روی سطح خاک می‌توانند نفوذ را افزایش دهند و از خاک در برابر فرسایش ناشی از باران محافظت کنند. همچنین میزان رسوب با افزایش قطعات سنگی کاهش می‌یابد. پژوهش Tailong و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که درصد پوشش سنگ و تأثیر آن بر میزان رسوب و غلظت محلول در رواناب قابل توجه است و پوشش سنگی سطحی به کاهش سرعت رواناب، کاهش رسوب در رواناب و در نتیجه کاهش مقدار تلفات سطح خاک منجر می‌شود. طبق بررسی Zhang و همکاران (۲۰۱۶)، با توجه به هدایت هیدرولیکی خاک، قطعات سنگی تأثیرات متفاوتی دارند و می‌توانند با محدود کردن مقطع عرضی در دسترس، جریان آب را کاهش و فرسایش مسیرهای جریان آب‌ها را افزایش دهند. نتایج Von-Bennewitz و Aladro (۲۰۱۷) نشان داد که پوشش قطعات سنگی، زمان شروع رواناب سطحی به تأخیر می‌اندازد، به کاهش رواناب منجر می‌شود و میزان نفوذ را افزایش می‌دهد. در مطالعه‌ی آزمایشگاهی، Li و همکاران (۲۰۱۸) پژوهشی بر روی اثر پوشش قطعات سنگی در از دست دادن مواد مغذی موجود در خاک انجام دادند. نتایج نشان داد که قطعات سنگی سطحی به کاهش میزان تولید رواناب، فرسایش خاک و مواد مغذی منجر می‌شود. در واقع، پوشش قطعات سنگی روشی مؤثر برای کاهش تخریب زمین و بهبود شرایط محیطی است. همچنین در پژوهش Li و همکاران (۲۰۲۰)، بین میزان تلفات و پوشش سنگی همبستگی معناداری مشاهده شد. بررسی Sekucia و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که محتوی سنگ‌ریزه‌ی درشت، با ظرفیت زراعی و ظرفیت آب در دسترس گیاه ارتباط معکوسی دارد، اما بر حجم منافذ درشت خاک و ظرفیت نفوذپذیری آن و در نتیجه بر کاهش رواناب سطحی و فرسایش خاک تأثیر مثبتی دارد. Wu و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که میزان و اندازه‌ی قطعات سنگی و اثر ترکیبی آنها بر فرآیند نفوذ معنادار است. همچنین با افزایش محتوی قطعات سنگی، هدایت هیدرولیکی اشباع تا حد ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. در نتیجه، باید در زمان بررسی اثر قطعات سنگی بر فرایندهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی، اندازه، شکل و توزیع مکانی قطعات سنگی در خاک قابل توجه قرار گیرد (Shtober-Zisu and Wittenberg, 2020). اگرچه پوشش سطح خاک به‌ویژه

قطعات سنگی بر فرسایش خاک اثر می‌گذارد، با این وجود به نظر می‌رسد بررسی تأثیر قطعات سنگی بر کمیت و کیفیت فرآیند تولید رواناب و فرسایش خاک کمتر قابل توجه بوده‌است. توجه به اثر پوشش سنگی در تغییر ویژگی‌های خاک، میزان نفوذ و رواناب و تلفات خاک دارای اهمیت است و پوشش سنگی سطحی، عاملی مهم در کنترل مقدار فرسایش خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود، اما مدل‌سازی نقش آن در فرسایش خاک، پیچیدگی‌های فراوانی دارد و به مطالعاتی از این دست نیازمند است. در پژوهش حاضر، دست‌یابی به دو هدف مدنظر است: نخست، بررسی تأثیر پوشش‌های مختلف سنگی و الگوی قرارگیری قطعات سنگی بر تولید رواناب و رسوب و دوم، بررسی توزیع مکانی رسوبات در سطح پلات‌های فرسایش خاک طی فرسایش آبی ناشی از رگبار. طی مرور منابع مشاهده شد که بررسی اثر موقعیت قرارگیری قطعات سنگی در سطح خاک بر فرآیند فرسایش، چندان مطالعه نشده‌است. در نتیجه، بررسی الگوی استقرار همزمان با سطوح مختلف و تغییرات مکانی رسوب را می‌توان نوآوری این پژوهش دانست.

۲- مواد و روش

پژوهش حاضر با استفاده از پلات فرسایشی ۰/۵ در یک متر و شبیه‌ساز باران به عنوان دو روش رایج در بررسی فرسایش به دلیل هزینه‌ی کمتر، قابلیت کنترل و سرعت عمل بالا (Kamali et al, 2015) انجام شد. ابتدا برای ایجاد سطوح، قطعات سنگی منظم با ابعاد پنج در ۱۰ و ضخامت دو سانتی‌متری برش داده شد. ابعاد هر قطعه، برابر با یک درصد از سطح پلات فرسایشی است که این قطعات با پراکنش منظم در سطح پلات قرار گرفت. برای آماده‌سازی پلات‌های فرسایشی، ابتدا خاک مورد نظر از اراضی مرتعی تحت قرق دانشگاه تربت‌حیدریه جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشگاه انتقال یافت، سپس با استفاده از شن و گراول فیلتری به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف پلات‌ها ایجاد شد. پلات‌ها به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر با خاک مورد نظر پر و برای اجرای آزمایش، هموار شد. باران نیز به وسیله‌ی یک شبیه‌ساز باران مدل FI شبیه‌سازی شد. در این دستگاه با ارتفاع بارش به چهار متر، آب تحت فشارهای ۰/۵ تا یک بار قابل تنظیم قرار می‌گیرد و می‌تواند شدت‌های ۵۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر بر ساعت ایجاد کند. برای مطالعه‌ی دقیق فرسایش خاک، بارانی که توسط دستگاه شبیه‌ساز باران تولید می‌شود، باید مشخصاتی شبیه به باران‌های طبیعی داشته باشد که از مهم‌ترین این مشخصات، یکنواختی در ایجاد شدت‌های مختلف بارش است (Maroufpoor et al, 2010). در این راستا از ضریب یکنواختی کریستینسن^۱ استفاده شد.

شدت بارش مبنا در این پژوهش، برابر با ۱/۴ میلی‌متر بر دقیقه است و به بارندگی با دوره بازگشت‌های ۱۰۰ ساله بازمی‌گردد که بر اساس منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی^۲ منطقه و پیش‌آزمون‌های منجر به رواناب انتخاب شد (Anonymous, 2007). خاک مورد بررسی، جزء گروه اریدی‌سول و مربوط به پادگانه‌های آبرفتی کواترنری است که پس از تجزیه‌ی شیمیایی، بافت خاک لومی - رسی، PH آن برابر با ۸/۰۱ و هدایت الکتریکی (EC) آن ۸/۱۹ میلی‌موس بر سانتی‌متر بود (Moosavi, 2016).

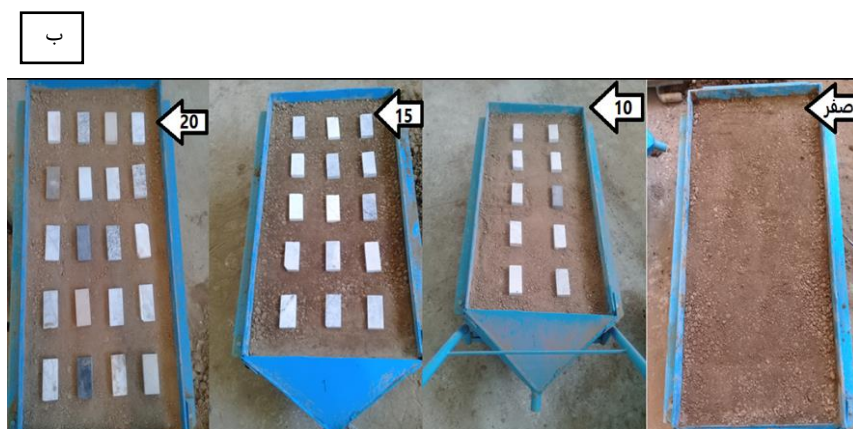
برای اجرای آزمون‌ها، از پلات‌های فرسایشی دارای تیمارهای قطعات سنگی شامل صفر درصد (شاهد)، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد (شکل ۱) استفاده شد که در سه وضعیت سطحی، نیمه‌مدفون^۳ و مدفون شده در سطح خاک قرار داشتند. این

^۱ Christiansen's coefficient of uniformity

^۲ Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves

^۳ Semi-embedded

مقادیر، با هدف امکان ایجاد پراکنش منظم سطوح سنگی در سطح پلات‌ها انتخاب شد که با حدود متوسط درصد سنگ‌ریزه‌ی سطحی خاک‌ها منطبق است (Kern, 1995). پلات‌ها با شیب ثابت نه درصد - که با پلات‌های استاندارد منطبق است - (Wischmeier and Smith, 1978) در مدت زمان ۱۰ دقیقه در معرض شبیه‌سازی باران قرار گرفت. آزمایش‌ها برای هر درصد و وضعیت سطوح سنگی نیز سه تکرار داشت و در مجموع ۳۰ پلات را شامل شد. برای بررسی تغییرات مکانی رسوب در سطح پلات‌ها، سطح هر پلات قبل و بعد از هر شبیه‌سازی توسط دستگاه زبری‌سنج لیزری اتوماتیک^۱ با دقت یک میلی‌متر اسکن شد. زبری‌سنج اتوماتیک لیزری سطح خاک، دستگاهی است که پستی و بلندی سطح خاک را با استفاده از سیستم فاصله‌یابی لیزری، اندازه‌گیری و اطلاعات هر نقطه از سطح را ذخیره می‌کند. از اطلاعات ذخیره شده، برای ترسیم نیم‌رخ دو بعدی مقطع خاک استفاده می‌شود.



شکل ۱: نمایی از شبیه‌ساز باران (الف)، پلات‌های فرسایشی و تیمارهای سنگی مورد بررسی (ب)

^۱ Automatic Soil Roughness Meter

پس از هر رخداد بارش، حجم رواناب تولیدی با اندازه‌گیری مستقیم توسط استوانه‌ی مدرج تعیین شد. رسوب تولیدی پس از عبور رواناب از کاغذ صافی واتمن^۱ ۴۲، به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک و وزن شد (Bashari et al, 2014). ضریب رواناب نیز از تقسیم میزان هدررفت خاک بر حجم رواناب، غلظت رسوب بر حسب گرم بر لیتر و از نسبت حجم رواناب جمع‌آوری شده به حجم کل بارش تولیدی محاسبه شد. در نهایت، میزان نفوذ هم از اختلاف میزان حجم کل بارش تولیدی و حجم رواناب جمع‌آوری شده به دست آمد. برای به دست آوردن داده‌های تغییرات سطح پلات‌ها، از دو مقطع سطح خاک فاقد قطعات سنگی و دارای قطعات سنگی در هر پلات استفاده شد که این دو مقطع، در تمامی آزمایش‌های زبری‌سنجی یکسان بود. قبل از شروع شبیه‌سازی و پس از آن، پلات‌های فرسایشی در زیر دستگاه زبری‌سنج قرار گرفت و داده‌های پروفیل تغییرات سطح هر یک از آنها، در مقاطع مذکور ذخیره شد. در نهایت پس از جمع‌آوری، ثبت داده‌ها و ایجاد بانک داده، برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. با توجه به وجود دو تیمار درصد سنگ‌ریزه و حالت قرارگیری سنگ‌ریزه بر سطح خاک، برای تحلیل آماری از آنالیز واریانس دوطرفه^۲ استفاده شد تا تأثیر متقابل^۳ دو تیمار نیز بررسی شود. در نهایت، با توجه به غیرنرمال بودن داده‌های مقاطع سطح خاک، از آزمون ناپارامتری فریدمن^۴ برای بررسی اختلاف کلی بین گروه‌ها استفاده شد. سپس در صورت معنی‌دار بودن اختلاف‌ها، از آزمون ویلکاکسون^۵ برای شناسایی منشأ اختلافات استفاده شد (Bihamta and Zare-Chahooki, 2011).

۳- یافته‌ها (نتایج)

نتایج ارزیابی شدت بارش مورد مطالعه، ضریب یکنواختی را برابر با ۷۸ درصد نشان داد که پراکنش مناسب بارش در سطح پلات‌ها را تأیید می‌کند. میانگین وزنی قطر قطرات با روش گلوله‌آردی^۶ و طبق روش Mahmoudabadi و همکاران (۱۳۸۶)، ۰/۷ میلی‌متر و سرعت حد قطرات باران طبق روش Atlas و Ulbrich (۱۹۷۷)، سه متر بر ثانیه به دست آمد. پس از اجرای آزمایش در چهار تیمار سطوح سنگی که در سه حالت در خاک سطحی قرار گرفتند، شاخص‌های آماری میانگین^۷، میانگین^۸، واریانس^۹، انحراف معیار^{۱۰}، حداقل^{۱۱}، حداکثر^{۱۲}، دامنه تغییرات^{۱۳}، چولگی^{۱۴} و کشیدگی^{۱۵} برای متغیرهای وابسته در جدول ۱ محاسبه شد. همچنین برای آزمون نرمال بودن داده‌ها، با توجه به تعداد آنها از آزمون

¹ Whatman

² Two-way ANOVA

³ Interaction effect

⁴ Friedman test

⁵ Wilcoxon test

⁶ Flour pellet method

⁷ Mean

⁸ Median

⁹ Variance

¹⁰ Std. Deviation

¹¹ Minimum

¹² Maximum

¹³ Range

¹⁴ Skewness

¹⁵ Kurtosis

شاپیروویلیک^۱ استفاده شد که با توجه به نرمال نبودن داده‌ها با استفاده از روش‌های لگاریتمی و جذرگیری، نرمال و آنالیز واریانس شدند.

جدول ۱: شاخص‌های آماری متغیرهای مورد بررسی

متغیر	حجم رواناب (L)	وزن رسوب (g)	غلظت رسوب (g/L)	ضریب رواناب	میزان نفوذ (L)
میانگین	۰/۵۳	۱۰/۲۳	۲۷/۴۸	۰/۰۸	۶/۴۷
میانه	۰/۲۸	۷/۲۳	۱۶/۷۵	۰/۰۴	۶/۷۲
واریانس	۰/۲۹	۸۹/۰۸	۱۴۴۵/۲۱	۰/۰۱	۰/۲۹
انحراف معیار	۰/۵۴	۹/۴۴	۳۸/۰۲	۰/۰۸	۰/۵۴
کمترین	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۰۱	۴/۹۰
بیشترین	۲/۱۰	۳۲/۸۷	۱۶۵/۵۵	۰/۳۰	۶/۹۳
دامنه تغییرات	۲/۰۳	۳۲/۷۵	۱۶۵/۱۰	۰/۲۹	۲/۰۳
چولگی	۱/۵۷	۰/۸۳	۲/۷۳	۱/۵۷	-۱/۵۷
کشیدگی	۱/۷۱	-۰/۳۲	۷/۲۲	۱/۷۱	۱/۷۱

در آنالیز واریانس دو طرفه، به بررسی اثر اصلی و متقابل دو شاخص درصد قطعات سنگی و حالت قرارگیری قطعات در روی سطح خاک بر متغیرهای وابسته‌ی حجم رواناب، وزن رسوب، غلظت رسوب، ضریب رواناب و میزان نفوذ پرداخته شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده‌است.

¹ Shapiro-Wilk

جدول ۲: نتایج آنالیز اثرات اصلی و متقابل دو فاکتور درصد قطعات سنگی و حالت قرارگیری آن بر متغیر فرسایش خاک

متغیر	عامل	مجموع مربعات	درجه آزادی	آماره	سطح معناداری
حجم رواناب	درصد قطعات سنگی	۰/۱۵۴	۲	۰/۳۴۱	۰/۷۱۵ ^{ns}
	حالت قرارگیری قطعات	۰/۰۸۵	۲	۰/۱۸۸	۰/۸۳۰ ^{ns}
	درصد قطعات سنگی * حالت قرارگیری قطعات	۰/۲۶۴	۴	۰/۲۹۲	۰/۸۸۰ ^{ns}
وزن رسوب	درصد قطعات سنگی	۲/۴۴۰	۲	۰/۴۱۱	۰/۶۶۸ ^{ns}
	حالت قرارگیری قطعات	۵/۰۶۵	۲	۰/۸۵۳	۰/۴۴۱ ^{ns}
	درصد قطعات سنگی * حالت قرارگیری قطعات	۶/۶۸۷	۴	۰/۵۶۳	۰/۶۹۲ ^{ns}
غلظت رسوب	درصد قطعات سنگی	۰/۲۰۶	۲	۰/۴۰۴	۰/۶۷۳ ^{ns}
	حالت قرارگیری قطعات	۰/۹۲۶	۲	۱/۸۱۶	۰/۱۸۹ ^{ns}
	درصد قطعات سنگی * حالت قرارگیری قطعات	۱/۹۳۶	۴	۱/۹۰۰	۰/۱۵۰ ^{ns}
ضریب رواناب	درصد قطعات سنگی	۰/۱۵۴	۲	۰/۳۴۱	۰/۷۱۵ ^{ns}
	حالت قرارگیری قطعات	۰/۰۸۵	۲	۰/۱۸۸	۰/۸۳۰ ^{ns}
	درصد قطعات سنگی * حالت قرارگیری قطعات	۰/۲۶۴	۴	۰/۲۹۲	۰/۸۸۰ ^{ns}
میزان نفوذ	درصد قطعات سنگی	۰/۰۱۲	۲	۰/۵۵۶	۰/۵۸۲ ^{ns}
	حالت قرارگیری قطعات	۰/۰۰۲	۲	۰/۰۸۷	۰/۹۱۷ ^{ns}
	درصد قطعات سنگی * حالت قرارگیری قطعات	۰/۰۱۱	۴	۰/۲۷۵	۰/۸۹۱ ^{ns}

ns: عدم معناداری

برای اجرای آزمون‌های مقایسه‌ای دو گروه داده‌های زبری سنج قبل و بعد از هر شبیه‌سازی در هر تیمار، ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون نرمالیته بررسی شد. سپس با توجه به عدم نرمال بودن داده‌ها، از آزمون ویلکا کسون استفاده شد که نتایج آنها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج مقایسه‌ای دو گروه داده‌های زبری سنج قبل و بعد در هر تیمار

متغیر	صفر درصد	۱۰ درصد	۱۵ درصد	۲۰ درصد
آماره Z	-۱۵/۳۴۸	-۱۹/۲۵۴	-۶/۷۴۵	-۹/۹۹۰
معناداری	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**

*: معناداری با اعتماد ۹۹ درصد

برای اجرای آزمون‌های مقایسه‌ای بیش از دو گروه از میانگین داده‌های زبری سنج در سه حالت سطحی، نیمه‌مدفون و مدفون، ابتدا آزمون نرمالیته گرفته شد. سپس با توجه به غیرنرمال بودن توزیع تمامی گروه‌ها (سطح معناداری ۰/۰۰۰)، برای ارزیابی اختلاف کلی بین گروه‌های داده‌های زبری سنج به دلیل نرمال نبودن داده‌ها، از آزمون فریدمن استفاده شد. نتایج نشان داد که بین گروه‌ها اختلاف کلی وجود دارد. در نتیجه با استفاده از آزمون ویلکا کسون، گروه‌ها به صورت دو به دو با هم مقایسه شدند. نتایج به دست آمده به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۵: نتایج مقایسه‌ای گروه داده‌های زبری سنج در حالت سطحی، نیمه‌مدفون و مدفون

متغیر	پوشش ۱۰ درصد	پوشش ۱۵ درصد	پوشش ۲۰ درصد
	سطحی - نیمه‌مدفون - مدفون	سطحی - نیمه‌مدفون - مدفون	سطحی - نیمه‌مدفون - مدفون
کای اسکور	۱۰۸۲/۰۰۴	۳۰۷/۸۱۳	۲۱۸/۳۸۵
معناداری	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**

** معناداری با اعتماد ۹۹ درصد

جدول ۶: نتایج آزمون مقایسه‌ی جفتی میانگین داده‌های زبری سنج در هر تیمار

متغیر	سطحی * نیمه‌مدفون		سطحی * مدفون		نیمه‌مدفون * مدفون	
	۱۰ درصد	۱۵ درصد	۲۰ درصد	۱۵ درصد	۱۰ درصد	۲۰ درصد
آماره Z	-۲۶/۳۵۶	-۳/۷۱۴	-۱۶/۹۳۵	-۲۵/۹۸۶	-۱۹/۸۴۴	-۶/۲۲۴
معناداری	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**

** معناداری با اعتماد ۹۹ درصد

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های پژوهش، بین درصد قطعات سنگی و حالت قرارگیری آنها و اثر ترکیبی درصد قطعات سنگی و حالت قرارگیری آنها نسبت به متغیرهای وابسته، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و آنالیز واریانس دوطرفه‌ی اثر دو شاخص بر متغیرهای وابسته نیز غیرمعنادار است. با افزایش میزان درصد قطعات سنگی در سطح پلات و افزایش میزان فرورفتگی آن درون خاک، میزان حجم رواناب روند صعودی می‌یابد. در واقع، قطعات سنگی مدفون شده مانع از نفوذ رواناب به درون خاک می‌شود. همچنین قطعات سنگی که در حالت سطحی در سطح پلات قرار دارند، همانند سدی در مقابل جریان رواناب قرار می‌گیرند و نفوذ را افزایش می‌دهند. در راستای نتایج حاضر، پژوهش Rayisian (۱۹۹۸) نشان داد افزایش میزان پوشش قطعات سنگی بر روی سطح خاک به افزایش ضریب زبری این سطح منجر می‌شود. در نتیجه، در مقابل جریان رواناب سطحی مقاومت نشان می‌دهد و به کاهش سرعت جریان و کاهش میزان رواناب می‌انجامد. پژوهش Sotoodehnia-korrani (۲۰۱۵) نشان داد با افزایش درصد پوشش قطعات سنگی سطحی، عمق جریان و تنش برشی افزایش و سرعت جریان و قدرت جریان کاهش می‌یابد و در نتیجه، به کاهش حجم رواناب منجر می‌شود. پژوهش Wang و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که افزایش قطعات سنگی سطحی، به کاهش رواناب سطحی و افزایش نفوذ منجر می‌شود. بارش به دلیل خلل و فرج بالاتر اطراف قطعات سنگی، زیر این سطوح راحت‌تر نفوذ می‌کند و در راستای میزان نفوذ بالاتر خاک‌های زیر قطعات سنگی، رواناب سطحی کاهش می‌یابد.

افزایش درصد قطعات سنگی در سطح خاک و افزایش میزان فرورفتگی آن درون خاک، به افزایش میزان وزن رسوب منجر می‌شود. پژوهش Abrahams و Parsons (۱۹۹۱) نشان داد با افزایش پوشش قطعات سنگی سطحی، نفوذپذیری خاک کاهش و مقدار رواناب و رسوب افزایش می‌یابد. اما یافته‌های پژوهش Xia و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد با افزایش پوشش قطعات سنگی در سطح خاک، میزان نفوذ افزایش ولی میزان رواناب و رسوب کاهش می‌یابد.

دلیل افزایش رسوب در حضور پوشش قطعات سنگی در حالت سطحی بودن، به احتمال زیاد ناشی از تنش برشی رواناب است که به علت برخورد جریان آب با قطعات سنگی به وجود می‌آید. این نتایج به دست آمده با پژوهش Martinez-Zavala و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد که با افزایش قطعات سنگی، عملکرد رسوب افزایش می‌یابد. در اثر برخورد جریان رواناب با پوشش قطعات سنگی، یک فشار برشی موضعی در اطراف سنگ ایجاد می‌شود. این تنش برشی خود به تلاطم آب در اطراف قطعات سنگی و جدا شدن ذرات خاک از بستر خود منجر می‌شود. در نتیجه، میزان رسوب را نسبت به خاکی که فاقد پوشش قطعات سنگی است، به مراتب افزایش می‌دهد. همچنین مغایر با پژوهش‌های Martinez-Zavala و Jordán (۲۰۰۸) و kalbali و همکاران (۲۰۲۰) است که نشان دادند با افزایش قطعات سنگی، نفوذ افزایش می‌یابد و این قطعات به محافظت سطح خاک در برابر فرسایش ناشی از باران می‌پردازند، در نتیجه میزان رسوب کاهش می‌یابد. در پژوهش Tailong و همکاران (۲۰۱۰)، درصد پوشش قطعات سنگی بر میزان رسوب تأثیر قابل توجهی داشت و افزایش ضریب زبری سطح خاک به کاهش رسوب در رواناب منجر شد. در پژوهش Rouhipour و همکاران (۲۰۰۵) نیز با افزایش درصد قطعات سنگی، میزان رسوب نسبت به تیمار شاهد کاهش چشم‌گیری داشت. Asadzadeh و همکاران (۲۰۱۷) هم نتیجه گرفتند که با افزایش درصد قطعات سنگی، میزان رسوب کاهش و با افزایش پوشش قطعات سنگی، زبری سطح خاک افزایش می‌یابد. در نتیجه، سرعت جریان و قدرت فرساینده‌گی نیز کاهش می‌یابد و به کاهش میزان رسوب تولیدی منجر می‌شود.

میزان رواناب با افزایش درصد سطوح سنگی در حالت سطحی بودن کاهش می‌یابد. دلیل این نتایج می‌تواند این باشد که به دلیل خلل و فرج بالاتر اطراف قطعات سنگی، بارش به صورت راحت‌تر در زیر این سطوح نفوذ می‌کند و در راستای میزان نفوذ بالاتر خاک‌های زیر قطعات سنگی، رواناب سطحی کاهش می‌یابد. این نتایج با نتایج پژوهش Rayisian و همکاران (۲۰۰۵) و Azartaj و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد که با افزایش پوشش قطعات سنگی سطحی، زبری سطح خاک افزایش، سرعت نسبی جریان کاهش و در پی آن، قدرت فرساینده‌گی جریان و حجم رواناب کاهش می‌یابد. پژوهش Zhang و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد قطعات سنگی با محدود کردن مقطع عرضی جریان در دسترس، حجم رواناب را کاهش می‌دهد و میزان نفوذ در خاک‌های دارای سطوح سنگی بیشتر می‌شود (Gong et al, 2018). همچنین در حالت‌های نیمه‌مدفون و مدفون‌شده، با افزایش درصد قطعات سنگی است که رواناب بالاترین میزان را دارد؛ چرا که عموماً نفوذ به دلیل سطوح در دسترس کمتر برای جریان آب، کاهش می‌یابد. در نتیجه، کاهش میزان رواناب در حالت سطحی بودن قطعات سنگی را می‌توان ناشی از غالب شدن عامل کاهش سرعت رواناب به وسیله‌ی قطعات سنگی مستقر در مسیر جریان و نفوذ آب در اطراف این قطعات سنگی بر عامل افزایش سطوح نفوذناپذیر ناشی از حضور این قطعات سنگی در سطح خاک برشمرد.

در صورتی که حالت قرارگیری قطعات سنگی به صورت سطحی باشد، سطح خاک در برابر تراکم ناشی از برخورد مستقیم قطرات باران حفاظت می‌شود و رواناب تولید شده می‌تواند به آسانی در فضای انسداد نیافته‌ی زیر سنگ‌ها نفوذ کند. از طرف دیگر، اگر قطعات سنگی به صورت مدفون شده قرار داشته باشند، افزایش پوشش قطعات سنگی، سطح نفوذناپذیر لایه سطحی خاک را افزایش می‌دهد و به افزایش رواناب و در نتیجه افزایش سرعت و ضریب رواناب منجر می‌شود.

متوسط غلظت رسوب نیز با افزایش پوشش قطعات سنگی در حالت سطحی بودن کاهش یافت که این نتایج با پژوهش Mandel و همکاران (۲۰۰۵) و Tailong و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد؛ زیرا پوشش قطعات سنگی، مقاومت خاک را در مقابل حرکت جریان‌های سطحی با افزایش ضریب زبری سطح خاک افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش درصد قطعات سنگی، تغییراتی در سطح پلات ایجاد شد که بیانگر افزایش میزان فرسایش در سطح خاک است که این نتایج با پژوهش Rayisian (۱۹۹۸) و Sotoodehnia-korrani (۲۰۱۵) مغایر است که نشان دادند قطعات سنگی به افزایش زبری سطح خاک منجر می‌شوند و در برابر جریان رواناب مقاومت نشان می‌دهند که نتیجه‌ی آن، کاهش قدرت فرسایش آن و کاهش فرسایش خاک است. همچنین با پژوهش Martinez-Zavala و همکاران (۲۰۱۰)، Asadzadeh و همکاران (2017) و Li و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد؛ زیرا عملکرد رواناب و رسوب در خاک‌هایی که پوشش قطعات سنگی بیشتری دارند، افزایش می‌یابد. همچنین میزان افت خاک نیز به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد که این نشان می‌دهد فرسایش خاک تا حدی در نواحی اطراف قطعات سنگی است.

از آنجایی که در کشور ما، بسیاری از عرصه‌های آبخیز و اراضی کشاورزی با پوشش‌های سنگی وسیع وجود دارد، همچنین در بسیاری از مراتع سنگلاخی، پوشش سنگی بخش زیادی از این عرصه‌ها را می‌پوشاند، لازم است نقش پوشش سنگی برای تخمین رواناب و برآورد میزان فرسایش و رسوب در نظر گرفته شود. از طرفی، لازم است آزمایش‌های متعددی در مورد اندازه‌های مختلف قطعات سنگی و تأثیر آنها بر بستر خاک صورت گیرد.

گرچه نتایج حاصل از این بررسی در پلات‌های آزمایشگاهی و با استفاده از شبیه‌ساز باران انجام شد، لازم است تأثیر پوشش سنگی و قطعات سنگی را در خاک‌های دست‌نخورده در عرصه‌های سنگلاخی و اراضی دارای پوشش سنگی نیز بررسی کرد تا بدین ترتیب، درباره‌ی مسائل مربوط به مدیریت فرسایش خاک گامی اساسی برداشته شود.

منابع

1. Abrahams, A. D.; Li, G.; Krishnan, C.; & J. F. Atkinson, 2001. A sediment transport equation for interrill overland flow on rough surfaces, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1443-1459.
2. Abrahams, A. D., & A. J. Parsons, (1991). Relation between infiltration and stone cover on a semiarid hillslope, southern Arizona. *Journal of Hydrology*. 122(1-4), 49-59.
3. Akbari, M.; Bashiri, M.; & A. Rangavar, 2017. Application of data-mining algorithms in the sensitivity analysis and zoning of areas prone to gully erosion in the indicator watersheds of Khorasan Razavi province, *Environmental Erosion Research Journal*, 7 (2), 16-42. (in Persian)
4. Anonymous., 2007. Statistical yearbook of Torbat-Heydariyeh county, Natural Resources Department of Torbat-Heydariyeh county. (in Persian)
5. Asadzadeh, F.; Feghhe-Hasan-Agha, M.; & H. Khodaverdiloo, 2017. Application of the central composite design for predicting the effects of surface rock fragments on soil loss and surface flow velocity, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(1), 165-176. (in Persian)
6. Asadzadeh, F.; Mirzaee, S.; Gorji, M.; & A. Jafari-Ardakani, 2014. Laboratory investigation of surface rock fragment cover effects on roughness coefficient, shear stress and soil loss, *Applied Soil Research*, 2(1), 15-25. (in Persian)
7. Atlas, D., & C. W. Ulbrich., (1977). Path-and area-integrated rainfall measurement by microwave attenuation in the 1–3 cm band. *Journal of Applied Meteorology*. 16(12), 1322-1331.
8. Auzet. A. V.; Boiffin, J.; & B. Ludwig, 1995. Concentrated flow erosion in cultivated catchments: influence of soil surface state, *Earth Surface Processes and Landforms*, 20(8), 759-767.

9. Azartaj, E.; Rasoulzadeh, A.; Asghari, A.; & A. Esmali, 2017. Investigation of gravel fragment effect on runoff yield and soil erosion using rainfall simulation (Case study: watershed of Almas bridge, Ardabil), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(1), 105-111. (in Persian)
10. Bashari, M.; Moradi, H.; Kheirkhah, M.; & M. Jafari-Khaledi, 2014. Variations of runoff and sediment in soils containing different clay contents under two successive events, *Watershed Engineering and Management*, 5(4), 299-309. (in Persian)
11. Bihamta, M. R., & M. A. Zare-Chahooki., (2011). Principal of statistics for the natural resources science. 1st ed. Tehran: Tehran University Publication. 302 p. (in Persian)
12. Blanco-Canqui, H., & R. Lal., (2010). Water erosion. In: Principles of soil conservation and management. Springer, Dordrecht: 21-53.
13. Cerdà, A., 2001. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion, *European Journal of Soil Science*, 52(1), 59-68.
14. Gong, T.; Zhu, Y.; & M. Shao, 2018. Effect of embedded-rock fragments on slope soil erosion during rainfall events under simulated laboratory conditions, *Journal of Hydrology*, 563, 811-817.
15. Jiang, Z. D.; Wang, Q. B.; Adhikari, K.; Brye, K. R.; Sun, Z. X.; Sun, F. J.; & P. R. Owens, 2020. A vertical profile imaging method for quantifying rock fragments in gravelly soil, *Catena*, 193, 104590.
16. kalbali, S.; Ghorbani-Dashtaki, S.; Naderi, M.; & S. Mirzaee, 2017. Effect of rock fragment cover on hydraulics properties of surface flows and rill initiation with simulating runoff under natural conditions, *Water and Soil*, 31(1), 75-85. (in Persian)
17. 18. Kamali, K.; Jafari-Ardakani, A.; & M. Eslami, 2015. The relationship determine between measured soil erodibility using simulator and wischmeier nomograph and bisal method, *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)*, 28(107), 66-72. (in Persian)
19. Kern, J. S., 1995. Geographic patterns of soil water-holding capacity in the contiguous USA, *Soil Science Society of America Journal*, 59, 1126-1133.
20. Li, H.; Fan, D.; Niu, J.; Jia, G.; Sun, J.; Yu, X.; & L. Zhang, 2018. Effect of rock fragment cover on nutrient loss under varied rainfall intensities: a laboratory study, *Hydrology Research*, 49(2), 390-406.
21. Li, L.; Nearing, M. A.; Polyakov, V. O.; Nichols, M. H.; Pierson, F. B.; & M. L. Cavanaugh, 2020. Evolution of rock cover, surface roughness, and its effect on soil erosion under simulated rainfall, *Geoderma*, 379. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114622.
22. Lv, J.; Luo, H.; & Y. Xie, 2019. Effects of rock fragment content, size and cover on soil erosion dynamics of spoil heaps through multiple rainfall events, *Catena*, 172, 179-189.
23. Mahmoudabadi, M.; Rouhipour, H.; Arabkhedri, M.; & H. GH. Refahi, 2007. Calibration, spatial distribution and rain characteristics of rainfall simulation case study: soil conservation & watershed management research institute -rainfall simulator, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 1(1), 39-50. (in Persian)
24. Mandel, U. K.; Rao, K. V.; Mishra, P. K.; Vittal, K. P. R.; Sharma, K. L.; Narsimlu, B.; & 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(4), 35-443.
25. Maroufpoor, E.; Faryabi, A.; Ghamarnia, H.; & G. Y. Moshrefi, 2010. Evaluation of uniformity coefficients for sprinkler irrigation systems under different field conditions in Kurdistan Province (northwest of Iran), *Soil and Water Research*, 5(4), 139-145.
26. Martinez-Zavala, L.; Jordan, A.; Bellinfante, N.; & J. Gil, 2010. Relationships between rock fragment cover and soil hydrological response in a Mediterranean environment, *Soil Science and Plant Nutrition*, 56(1), 95-104.

27. Martínez, Zavala, L., & A. Jordán., (2008). Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion from bare soils in Western Andalusia, Spain. *Soil Use and Management*. 24(1), 108-117.
28. Mirzaei, S.; Gorji, M.; & 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)
29. Moosavi, S. Z., 2016. Study the effect of vermicompost and drought stress on quantitative and qualitative characteristics of garlic medicinal plant. Master Thesis. Ministry of Science, Research and Technology. Faculty of Agriculture and Natural Resources. University of Torbat-Heydarieh. (in Persian)
30. Poesen, J., & H. Lavee., (1994). Rock fragments in tops soils: signification and processes, *Catena*, 23(1), 1-28.
31. Rayisian, R., 2005. Effect of pebbles in soil surface on soil loss rate, 9th Iranian Soil Science Congress. National Soil Conservation and Watershed Management Research Center. 28 August. Tehran. 3p. (in Persian)
32. Rayisian, R., 1998. Study of erosion and sedimentation in Gorgak area using rainfall simulator. Technical report. Soil and Water Resources Management Research Institute. Chahar Mahal Bakhtiari. Iran. 156 p. (in Persian)
33. Rouhipour, H.; Javadi, P.; & A. A. Mahboobi, 2005. Effect of surface pebble coating on erosion and sedimentation in two soil types using flume and rainfall simulator. Third Sediment Conference. Tehran. Watershed Management and Soil Conservation Research Institute. 6 p. (in Persian)
34. Sekucia, F.; Dlapa, P.; Kollár, J.; Cerdá, A.; Hrabovský, A.; & L. Svobodová, 2020. Land-use impact on porosity and water retention of soils rich in rock fragments, *Catena*, 195, 104807.
35. Shtober-Zisu, N., & L. Wittenberg., (2021). Long-term effects of wildfire on rock weathering and soil stoniness in the Mediterranean landscapes. *Science of The Total Environment*. 762.Id:143125.
36. Sotoudehnia-korrani, A., 2015. The effect of surface pebble coating on rainfall erosion processes caused by rainfall. Master Thesis, Ministry of Science, Research and Technology, Shahid-Bahonar University of Kerman. (in Persian)
37. Tailong, G.; Qianjiu, W. D.; & 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, *Journal of Soils and Sediments*, 10(6), 1200-1208.
38. Von-Bennwitz, E., & J. Aladro., (2017). The effects of rainfall intensity and rock fragment cover on soil hydrological responses in Central Chile. *Journal of soil science and plant nutrition*. 17(3), 781-793.
39. Wang, X.; Li, Z.; Cai, C.; Shi, Z.; Xu, Q.; Fu, Z.; & 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, 234-242.
40. Wischmeier, W. H., & D. D. Smith., (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook. No. 537. US Department of Agriculture, Washington DC.
41. Wu, X.; Meng, Z.; Dang, X.; & J. Wang, 2021. Effects of rock fragments on the water infiltration and hydraulic conductivity in the soils of the desert steppes of Inner Mongolia, China, *Soil and Water Research*, 16 (2), 1-13.
42. Xia, L.; Song, X.; Fu, N.; Cui, S.; Li, L.; Li, H.; & Y. Li, 2018. Effects of rock fragment cover on hydrological processes under rainfall simulation in a semi-arid region of China, *Hydrological Processes*, 32(6), 792-804.
43. Yakupoglu, T.; Gundogan, R.; Dindaroglu, T.; Kusvuran, K.; Gokmen, V.; Rodrigo-Comino, J.; Gyasi-Agyei, Y.; & A. Cerdà, 2021. Tillage impacts on initial soil erosion in wheat and sainfoin fields under simulated extreme rainfall treatments, *Sustainability*, 13, 789.

44. Zhang, Y.; Zhang, M.; Niu, J.; Li, H.; Xiao, R.; Zheng, H.; & J. Bech, 2016. Rock fragments and soil hydrological processes: Significance and progress, *Catena*, 147, 153-166.

The effect of surface rock fragments deployment pattern on soil erosion processes under simulated conditions

Fateme Hejabi-Jordovey: *M.Sc. in Watershed Management, Department of Nature Engineering and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Torbat-Heydarieh*

Mehdi Bashiri¹: *Assistant Professor, Department of Nature Engineering and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Torbat-Heydarieh*

Maryam Azarakhshi: *Assistant Professor, Department of Nature Engineering and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Torbat-Heydarieh*

Article History (Received: 2021/02/09 Accepted: 2021/05/11)

Extended abstract

1- Introduction

The Soil surface characteristics have significant effects on the erosion process. The wide areas of watershed soil surfaces are covered with considerable amounts of rocks and pebbles. Surface rock fragments, resulting in water connectivity, change during the erosion process. Rock fragments on the soil surface may increase the infiltration and reduce soil losses because they can act as protective covers. When rainfall and runoff occur, this coating can have an important effect on soil erosion, sediment production, and infiltration processes. Surface rock fragments can protect the soil surface from raindrop impact, which further decreases the overland flow and its transport capacity, thus reducing erosion. But the effect of deployment pattern for these impermeable surfaces on the soil erosion phenomenon is not well known.

2- Methodology

In the present study, using a rainfall simulator and soil erosion plots, the effect of impermeable rock surfaces include control (zero), 10, 15 and 20 percent of plot surface coverage, in three surface, semi-embedded and embedded situations and in three replications (30 plots in total) were studied. The experiments were performed in the rainfall and erosion simulation laboratory of the university of Torbat-Heydarieh. The erosion plots were similar to a rectangular with a length of 1 m and a width of 0.5 m. The plots with a constant gradient of 9% for 10 minutes were exposed to rainfall with an intensity of 1.4 mm/min and after each rainfall event, the runoff volume, sediment production, sediment concentration, runoff coefficient, and infiltration rate were sampled and calculated at the plot's outlet. Also, the spatial variations of sediment at the surface of plots were measured and compared using Laser roughness meter in different sections before and after each simulation.

3- Results

The results showed that by increasing the percentage of rocks in the surface situation, the amount of sediment production increases, the volume of produced runoff volume decreases, and the infiltration rate increases. However, if the rock fragments are embedded, the sediment load and volume of produced runoff increase but the infiltration rate decreases. However, the main and interactive effects of treatments on soil erosion processes were not significant. Finally, according to the results of the comparison between pre-and post-roughness data in each treatment, there was a significant difference between the two groups. That, the difference between the groups, were caused by two factors: plot-level drop or the sectional transportation of sediments at the plot area.

¹ Corresponding Author: m.bashiri@torbath.ac.ir

4- Discussion & Conclusions

In the current simulation study, the runoff and sediment yields were measured in soils with the different surface rock fragments in the laboratory utilizing a rainfall simulator and erosion plots. The most commonly utilized method for studying the influence of rock fragment cover on hydrological processes is to simulate rainfall on disturbed soils under laboratory conditions. The results showed that the difference between soil erosion and sediment production at the erosion plot's level is also very considerable. So, the sediment delivery ratio should be seriously considered in erosion studies. It should be noted that the evidence of such differences between sediment analysis results and spatial changes of sediment, presents a new challenge for the erosion modeling and all of these inter-relationships should be perceived well enough that it would be possible to make them into effective erosion models.

Key Words: Laser roughness meter, Rainfall simulator, Runoff, Sediment.