

بررسی تأثیر شیب و پوشش سنگریزه بر تولید رواناب و فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز پل الماس، اردبیل)

الناز آذرتاج^۱، علی رسول‌زاده^{۲*}، علی اصغری^۳، اباذر اسمعیلی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۴. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۵/۱۹)

چکیده

فرسایش خاک یکی از مشکلات اساسی زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران می‌باشد و می‌تواند آثار مخربی بر اکوسیستم داشته باشد. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر پوشش سنگریزه‌ای در شیب‌های مختلف بر روی رواناب و هدررفت خاک، در مراتع تخریب یافته‌ی بالادست سد انحرافی الماس در حوزه آبخیز پل الماس اردبیل صورت گرفت. بدین منظور بعد از بررسی‌های میدانی در منطقه مورد پژوهش، سه طبقه شیب (شش، ۱۵ و ۲۲ درصد) در منطقه شناسایی شد. در هر طبقه شیب، تیمارهایی با پوشش سنگریزه صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد مد نظر قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. نتایج نشان داد بیشترین حجم رواناب، مقادیر خاک هدررفته، غلظت رسوب و ضریب رواناب مربوط به تیمار شاهد (بدون پوشش سنگی) در شیب ۲۲ درصد و کمترین آن‌ها مربوط به تیمار ۳۰ درصد پوشش سنگی در شیب شش درصد می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد با به کار بردن ۳۰ درصد سنگریزه، حجم رواناب تولیدی نسبت به تیمار شاهد (بدون پوشش سنگی) ۹۶ درصد و هدررفت خاک ۵۱۹ درصد کاهش یافت. از طرفی بر اساس یافته‌های پژوهش، حجم رواناب تولیدی در شیب ۲۲ درصد، حدود ۳۷ درصد نسبت به شیب ۱۵ درصد و ۱۰۷ درصد نسبت به شیب شش درصد بیشتر بود. در مجموع پوشش ۲۰ تا ۳۰ درصدی سنگریزه و در شیب‌های کمتر از ۱۵ درصد بیشترین تأثیر در کاهش هدررفت خاک، غلظت رسوب و حجم رواناب را داشت.

واژه‌های کلیدی: تولید رسوب، ضریب رواناب، پوشش سنگریزه، هدررفت خاک

مقدمه

پوشش سنگریزه سطحی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش گیاهی کمتر، یک عامل مهم در کنترل فرسایش خاک می‌باشد. پژوهشگران، مطالعات مختلفی در مورد تأثیر پوشش سنگریزه‌ای و ارتباط آن با افزایش یا کاهش میزان رسوب انجام داده‌اند. گروهی از این پژوهشگران با آزمایش‌های متعددی نشان دادند که وجود پوشش سنگریزه‌ای بر روی سطح خاک منجر به افزایش فرسایش می‌شود که مبین وجود رابطه مثبت بین پوشش سنگی در سطح خاک و افزایش رواناب و فرسایش است. اندازه و نحوه استقرار سنگریزه چه به صورت آزاد و یا فرورفته در خاک روی میزان نفوذپذیری و رسوب تولیدی موثر می‌باشد.

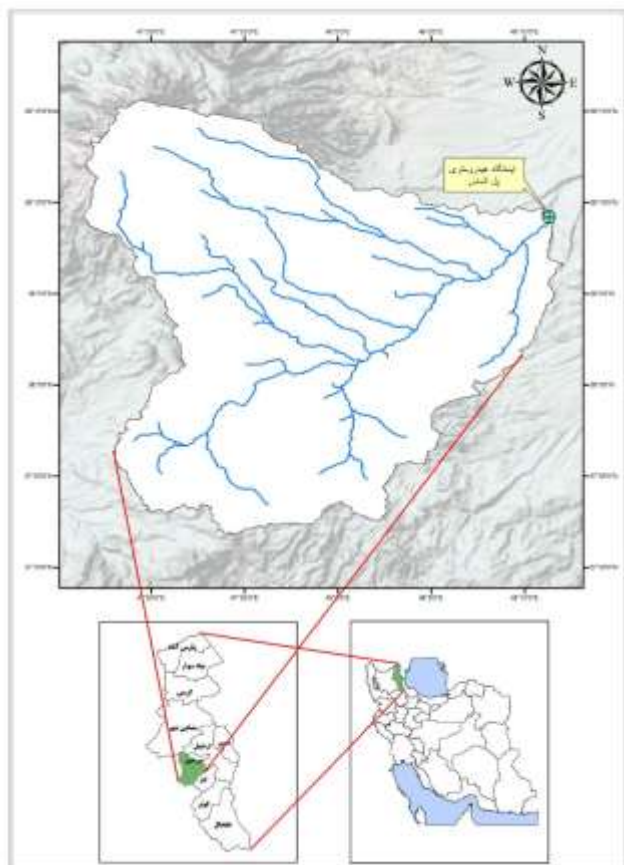
در مناطقی که سنگریزه‌های درشت (قطر متوسط بیشتر از ۱۱۲ میلی‌متر) به صورت فرو رفته در خاک قرار دارند، میزان نفوذپذیری کاهش و تولید رواناب و فرسایش افزایش می‌یابد (Valentin and Casenave, 1992). Poesen *et al.* (1994)، در پژوهشی نشان دادند که در زمان وقوع رواناب، پوشش سنگ-ریزه‌ای می‌تواند منجر به افزایش یا کاهش رواناب گردد. وجود سنگریزه در سطح خاک می‌تواند از برخورد مستقیم قطرات باران بر روی خاک جلوگیری نموده و از این طریق موجب کاهش فرسایش گردد. از طرف دیگر اگر میزان پوشش سنگ-ریزه‌ای، از حد معینی کمتر شود، فشار برشی ناشی از رواناب در اطراف سنگریزه‌ها به طور موضعی افزایش یافته و فرسایش را تشدید می‌کند. در حالی که محققان دیگری بر این باورند که در صورت وجود پوشش سنگریزه‌ای در سطح خاک، فرسایش کاهش می‌یابد (Poesen and Lavee, 1994; Rieke-Zapp *et al.*)

al., 2012). اگرچه اثر سنگریزه در کاهش فرسایش بدیعی به نظر می‌رسد اما مقدار و شدت تأثیر آن و همچنین اثر متقابل شیب و سنگریزه بر روی رواناب و فرسایش، در مناطق مختلف ایران، هنوز کمی نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر پوشش سنگریزه‌ای در شیب‌های مختلف و اثر متقابل آنها بر روی رواناب و هدررفت خاک می‌باشد. همچنین ضریب رواناب پوشش‌های مختلف سنگریزه در سه طبقه شیب مختلف، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد پژوهش

این پژوهش، در بالادست سد انحرافی الماس در حوزه آبخیز پل الماس اردبیل، واقع در مناطق مرکزی استان اردبیل با ارتفاع ۱۳۹۱ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی " ۱۸/۹۷ ۴۸°۱۱ و عرض جغرافیایی " ۱۱/۹۶ ۳۸°۰۹ اجرا شد. محل مورد آزمایش از نظر طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه جزو مناطق نیمه-خشک سرد محسوب می‌شود. متوسط بارش سالیانه بر اساس آمار ۳۰ ساله هواشناسی ۳۰۵ میلی‌متر بوده و بارش‌ها بیشتر به صورت برف و در زمستان صورت می‌گیرد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

al., 2007; Guo et al., 2010). اختلاف در نتایج این مطالعات احتمالاً به علت تفاوت در شرایط اولیه سطح خاک مانند درصد سنگریزه، اندازه و نحوه استقرار سنگریزه، شکل هندسی آن و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (رطوبت، ساختمان خاک، ماده آلی و...) است که همه آن‌ها در شروع رواناب، تلفات خاک و نفوذپذیری مؤثر می‌باشند.

Mirzaee et al. (2012)، با بررسی تأثیر پوشش سنگ-

ریزه سطحی بر فرسایش خاک و رسوب با استفاده از شبیه‌سازی رواناب گزارش کردند که با افزایش سنگریزه، سرعت جریان ۶۹/۲ درصد کاهش، ضریب زبری مانینگ از ۰/۱۲ به ۰/۱۱۵ افزایش و عدد فرود که بیانگر قدرت فرساینده‌گی جریان‌های سطحی می‌باشد از ۲/۲۴ به ۰/۲۸ کاهش یافت. علاوه بر این با افزایش پوشش سنگریزه، مقدار تلفات خاک به طور متوسط ۸۰/۱ درصد کاهش یافت. Jomma et al. (2012)، در تحقیق دیگری تأثیر پوشش سنگریزه را روی فرسایش خاک و واکنش-های هیدرولوژیکی با استفاده از فلوم آزمایشگاهی و مدل‌سازی بررسی کردند. نتایج نشان داد پوشش سنگریزه‌ای باعث حفظ ذرات خاک در برابر جدا شدن بوسیله قطرات باران و کُند شدن جریان سطحی و در نهایت کاهش ظرفیت انتقال رسوب شد. پوشش سنگریزه‌ای، در موقع رگبار همانند یک عامل حفاظتی عمل کرده، فرسایش آبی را کاهش می‌دهد (Wang et al., 2012). Fang et al. (2015)، در یک دوره ۵ ساله، انتقال رسوب معلق را در یک حوزه‌ی کوهستانی کوچک و حاوی ذرات سنگی در نواحی نیمه‌گرمسیری چین مورد مطالعه قرار دادند. ضریب رواناب متوسط این حوزه ۰/۶۵ گزارش گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که وجود سنگریزه در سطح خاک به طور معنی‌داری روی فرآیندهای هیدرولوژیکی مؤثر بوده و میزان نفوذپذیری را افزایش داد.

پوشش سنگریزه سطحی در کاهش فرسایش خاک در شرایطی که استقرار پوشش گیاهی امکان‌پذیر نمی‌باشد مانند خاک‌های مشکل‌دار (خیلی شور، قلیایی، اسیدی و...) و خاک‌های لسی با حساسیت بالا به فرسایش، دارای اهمیت زیادی است (Mirzaee et al., 2012). فرسایش خاک یکی از مشکلات اساسی زیست‌محیطی و کشاورزی است. بنابراین، پژوهش در زمینه جلوگیری از فرسایش خاک، ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌های مؤثر در این خصوص، استفاده از پوشش سنگریزه‌ای است. مقدار تأثیر پوشش سنگریزه، بستگی به موقعیت، مقدار پوشش، ضخامت، اندازه ذرات، منشاء سنگریزه و بافت خاک دارد (Ma and Li, 2012; Eynatten et al., 2012).

۱۵ سانتی متری خاک با به کارگیری استوانه‌های نمونه‌برداری (با حجم ۱۰۰ سانتی متر مکعب) و تهیه نمونه دست نخورده و خشک کردن آنها در دمای 105°C در آون به دست آمد. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک از روش پیکنومتر استفاده شد (Dane and Topp, 2002). بافت خاک شامل درصد رس (کوچک‌تر از $0/002$ میلی‌متر)، سیلت ($0/002-0/05$ میلی‌متر) و شن ($2-0/05$ میلی‌متر) به روش هیدرومتری (Dane and Topp, 2002) و درصد کربن آلی به روش والکی بلاک (Duiker et al, 2001) تعیین شد.

پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها برای تحلیل آماری از نرم-افزار SPSS16 استفاده گردید. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنف^۱ سنجیده شد. در نهایت تجزیه داده‌های آزمایش با در نظر گرفتن چهار درصد سنگریزه و سه طبقه شیب به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. در صورت معنی‌داری، برای مقایسه‌ی میانگین‌ها، از روش توکی^۲ در سطح احتمال یک درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی خاک

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی خاک در طبقات مختلف شیب در جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است مقادیر ارائه شده، متوسط تکرارها می‌باشد. نتایج نشان داد که مقاومت سطحی خاک و جرم مخصوص ظاهری با افزایش شیب، کاهش یافت. به طوری که، مقاومت خاک و جرم مخصوص ظاهری در شیب ۲۲ درصد، کمتر از سایر طبقات شیب بود. همچنین، شیب شش درصد بیشترین کربن آلی و کمترین جرم مخصوص حقیقی را به خود اختصاص داد (جدول ۱). جرم مخصوص حقیقی به اجزای تشکیل دهنده‌ی خاک وابسته است (Dane and Topp, 2002). ماده آلی باعث کاهش در وزن ذرات جامد خاک شده و جرم مخصوص حقیقی را کاهش می‌دهد.

تغییرات تولید رواناب، هدررفت خاک، غلظت رسوب و ضریب رواناب

در این پژوهش، طبقات شیب شش، ۱۵ و ۲۲ درصد از نظر پتانسیل تولید رواناب و رسوب مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در منطقه مورد پژوهش بین طبقات

ویژگی باران‌ساز مورد استفاده و اطلاعات بارندگی

باران‌ساز مورد استفاده، باران‌ساز صحرایی مدل شرکت Eijkelkamp بود که با پلات $0/09$ مترمربع به راحتی قابل حمل است حداکثر شدت بارندگی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله از روی منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی ایستگاه اردبیل $1/5$ میلی‌متر بر دقیقه استخراج شد (Jenabi, 2011). بنابراین، شدت و مدت بارندگی برای تمام شبیه‌سازی‌های انجام شده، ثابت و برابر $1/5$ میلی‌متر بر دقیقه، با مدت زمان ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد.

انتخاب محل و فرآیند نمونه‌برداری

برای بررسی اثر شیب و پوشش سنگریزه‌ای بر روی رواناب و رسوب، تیمارها شامل پوشش سنگریزه‌ای (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) با قطر متوسط دو تا ۲۰ میلی‌متر و سه طبقه شیب (شش، ۱۵ و ۲۲ درصد) بودند. سنگریزه‌ها از نزدیک‌ترین معادن شن و ماسه تهیه شد. بعد از بررسی‌های میدانی در منطقه مورد مطالعه، سه طبقه شیب شامل شش، ۱۵ و ۲۲ درصد در یک راستا در منطقه مشخص گردید. سپس در هر طبقه شیب، بلوک‌هایی با ۱۲ کرت (چهار نوع پوشش سنگی با سه تکرار) ایجاد شد. تیمارها (درصد‌های مختلف پوشش سنگ-ریزه‌ای) به طور کاملاً تصادفی اعمال و آزمایش با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در کرت‌هایی با طول و عرض دو در $1/5$ متر و در مجموع ۳۶ کرت (۱۲ کرت در هر یک از شیب‌های شش، ۱۵ و ۲۲ درصد) اجرا شد. شایان ذکر است پوشش سنگریزه، به صورت کاملاً یکنواخت در سطح کرت‌ها اعمال گردید. سپس، در هر کرت بارشی به مدت ۱۵ دقیقه و با شدت $1/5$ میلی‌متر بر دقیقه ایجاد شد. هم‌زمان در هر پلات، مقاومت سطحی خاک در نقاط مختلف، با استفاده از مقاومت‌سنج قابل حمل و با ۱۰ تکرار اندازه‌گیری شد (Arnaez et al., 2007).

عملیات آزمایشگاهی

حجم رواناب تولیدی پس از هر شبیه‌سازی بارش، با استفاده از استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری شد (Marques et al, 2007). میزان هدررفت خاک پس از عبور از کاغذ صافی واتمن ۴۰ به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار گرفت و در دمای 105°C ، خشک و توزین شد (Seeger, 2007). همچنین، از تقسیم میزان هدررفت خاک بر حجم رواناب، غلظت رسوب بر حسب گرم در لیتر محاسبه گردید و در نهایت ضریب رواناب از تقسیم حجم رواناب به حجم بارش محاسبه شد. رطوبت اولیه خاک به روش وزنی (Jin et al, 2008)، جرم مخصوص ظاهری از عمق صفر تا

1. Kolmogorov– Smirnov test
2. Tukey

شیب نشان داد حجم رواناب تولیدی در شیب ۲۲ درصد، حدود ۳۷ درصد نسبت به شیب ۱۵ درصد و ۱۰۷ درصد نسبت به شیب شش درصد بیشتر بود. با افزایش شیب، سرعت جریان آب روی دامنه افزایش می‌یابد و آب فرصت کافی برای نفوذ را از دست می‌دهد و در نتیجه انرژی جنبشی و قدرت فرساینده‌گی آن بیشتر می‌شود. Navas (1993) نیز به این موضوع اشاره کرد و بیان داشت که بیشترین میزان رواناب و فرسایش در کرت‌های با شیب تند ایجاد شد. هم‌چنین، نتایج حاکی از آن است که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ای، حجم رواناب تولیدی و ضریب رواناب کاهش یافت. به طوری که، استفاده از ۳۰ درصد سنگ‌ریزه، حجم رواناب را نسبت به شاهد ۹۶ درصد کاهش داد. این نتایج با یافته‌های Poesen و Lavee (1994) و Abrahams *et al* (2001) مبنی بر نقش پوشش سنگ‌ریزه بر کنترل فرسایش خاک از سه بعد شامل حفاظت سطح خاک از برخورد قطرات باران و جدا شدن ذرات خاک، کاهش تخریب فیزیکی و کند کردن سرعت جریان سطحی مطابقت دارد. بنابراین، تیمار ۳۰ درصد سنگ‌ریزه به طور معنی‌داری بیشترین نقش را در کاهش رواناب ایجاد شده داشت (جدول ۳). در نتیجه پوشش سنگ‌ریزه سطحی با جلوگیری از برخورد قطرات باران به سطح خاک سبب کاهش تشکیل سله و افزایش نفوذ آب به خاک می‌شود (Martinez-Zavala and Jordan, 2008).

ضریب رواناب برای چهار تیمار سنگ‌ریزه و سه طبقه شیب در جدول ۵ ارائه شده است. جدول ۵ نشان می‌دهد که در هر طبقه شیب، افزایش درصد سنگ‌ریزه منجر به کاهش ضریب رواناب شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده

منابع تغییر	درجه آزادی	حجم رواناب (ml)	هدررفت خاک (g)	غلظت رسوب (g.l ⁻¹)	ضریب رواناب
شیب	۲	۱۳۳۷۰۴۲/۵۳**	۱۴۲۷۵/۷**	۸۷۲۴۰/۰۱**	۰/۳۲۵**
سنگ‌ریزه	۳	۷۲۸۲۳۱/۴۱**	۷۰۲۹/۳۸**	۴۶۱۶۰/۰۴**	۰/۱۷۷**
شیب × سنگ‌ریزه	۶	۷۲۶۷/۱۶ ^{ns}	۱۰۳۹/۰۵**	۲۷۳۹/۷۸**	۰/۰۰۲ ^{ns}
خطا	۲۴	۴۸۲۸/۶۷	۱۰/۱	۲۵۴/۲۵	۰/۰۰۱

ns و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین شیب‌های مختلف از نظر حجم رواناب و ضریب

ضریب رواناب	حجم رواناب (ml)	شیب (درصد)
۰/۳۱ ^a	۶۲۹/۰۸ ^a	۶
۰/۴۷ ^b	۹۴۲/۰ ^b	۱۵
۰/۶۴ ^c	۱۲۹۶/۲ ^c	۲۲

اعداد دارای حروف متفاوت در یک ستون دارای تفاوت معنی دار می‌باشند.

مختلف شیب و درصد‌های مختلف سنگ‌ریزه از نظر مولفه‌های حجم رواناب، هدررفت خاک، غلظت رسوب و ضریب رواناب در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲). این بدین معنی است که شیب و پوشش سنگ‌ریزه‌ای از عوامل موثر در ایجاد رواناب و رسوب در این مطالعه هستند. اثر متقابل سنگ‌ریزه با شیب بر روی هدررفت خاک و غلظت رسوب معنی‌دار و حجم رواناب و ضریب رواناب غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). به علت عدم معنی‌داری اثر متقابل دو عامل شیب و سنگ‌ریزه روی حجم رواناب و ضریب رواناب، لذا دو عامل شیب و پوشش سنگ‌ریزه‌ای به طور جداگانه از نظر حجم رواناب تولیدی و ضریب رواناب به روش توکی مقایسه شدند (جدول های ۳ و ۴).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک در طبقات مختلف شیب و درصد‌های مختلف پوشش گیاهی در منطقه مورد پژوهش

خصوصیت	شیب ۶٪	شیب ۱۵٪	شیب ۲۲٪
مقاومت سطحی خاک (Mpa)	۱/۳۳	۱/۱۵	۰/۸۳
جرم مخصوص ظاهری (g.cm ⁻³)	۱/۲۳	۱/۰۶	۰/۹۶
جرم مخصوص حقیقی (g.cm ⁻³)	۲/۵۳	۲/۶۲	۲/۷۵
رطوبت وزنی (درصد)	۶/۱۳	۷/۰۲	۶/۲۲
کربن آلی (درصد)	۱/۰۱	۰/۸۳	۰/۸۱
بافت خاک	رسی	رسی	رسی

تولید رواناب و ضریب رواناب

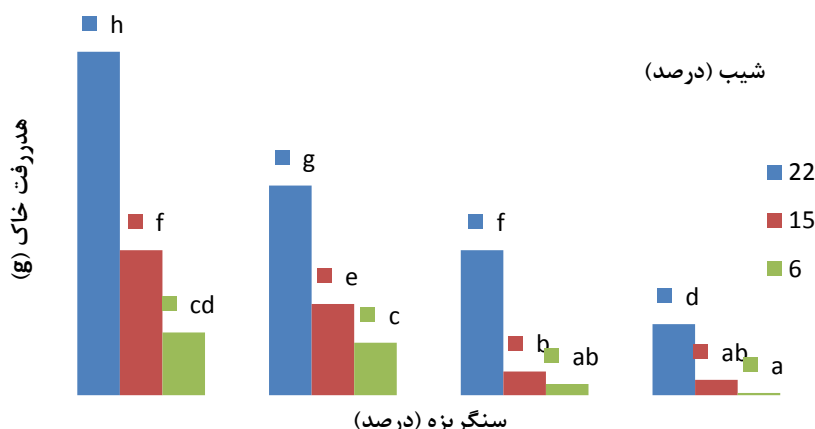
براساس مقایسه میانگین‌ها به روش توکی، حداقل حجم و ضریب رواناب، در شیب شش درصد و پوشش سنگی ۳۰ درصد و حداکثر آنها در شیب ۲۲ درصد و تیمار شاهد (بدون پوشش سنگی) مشاهده شد (جدول‌های ۳ و ۴). نتایج مقایسه سه سطح

جدول ۳- مقایسه میانگین درصد مختلف پوشش سنگی از نظر حجم رواناب

سنگ‌ریزه (درصد)	حجم رواناب (ml)	ضریب رواناب
۰	۱۲۵۲/۲ ^d	۰/۶۲ ^d
۱۰	۱۱۱۳/۱ ^c	۰/۵۶ ^c
۲۰	۸۰۰/۰ ^b	۰/۳۹ ^b
۳۰	۶۳۹/۷۸ ^a	۰/۳۲ ^a

اعداد دارای حروف متفاوت در یک ستون دارای تفاوت معنی دار می‌باشند.

درصد پوشش سنگی و شیب شش درصد بود که دارای مقادیر ناچیز هدررفت خاک بود (شکل ۲). با به کار بردن ۳۰ درصد سنگریزه، هدررفت خاک نسبت به تیمار شاهد (بدون پوشش سنگی) ۵۱۹ درصد کاهش یافت. بنابراین، وجود سنگ و سنگ-ریزه در سطح خاک می‌تواند از برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک جلوگیری نموده و از این طریق موجب کاهش فرسایش شود. در مجموع، در هر طبقه شیب با افزایش درصد پوشش سنگریزه در منطقه، میزان هدررفت خاک کاهش یافت اما این کاهش در مواردی معنی‌دار نبود. اختلاف بین دو تیمار ۲۰ و ۳۰ درصد پوشش سنگریزه در دو سطح شیب شش و ۱۵ درصد از نظر میزان هدررفت خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نشد (شکل ۲). بنابراین، می‌توان به منظور کاهش هدررفت خاک در منطقه مورد پژوهش، از ۲۰ درصد پوشش سنگریزه‌ای استفاده نمود. در مجموع با افزایش شیب، میزان هدررفت خاک نیز افزایش یافت. با افزایش شیب، پایداری خاک کاهش و فرسایش‌پذیری آن افزایش می‌یابد. رسوب تولیدی در شیب ۲۲ درصد، حدود ۱۷۸ درصد نسبت به شیب ۱۵ درصد و ۴۹۶ درصد نسبت به شیب شش درصد افزایش یافت. با افزایش شیب، رواناب نقش به‌سزایی را در تولید رسوب داشته و بدین ترتیب میزان رسوب تولیدی به‌طور چشمگیری افزایش یافت. محققان بر این اعتقادند که با افزایش پوشش سنگریزه سطحی، زبری سطح خاک افزایش، سرعت جریان سطحی کاهش و به دنبال آن قدرت فرساینده‌ی جریان سطحی کاهش می‌یابد (Guo *et al*, 2010).



شکل ۲- اثر متقابل شیب و سنگریزه بر روی هدررفت خاک

شش درصد و پوشش سنگریزه‌ای ۳۰ درصد بود (شکل ۳). با اعمال ۳۰ درصد سنگریزه، غلظت رسوب نسبت به تیمار شاهد ۳۰۸ درصد کاهش یافت. Guo *et al*. (2010)، به ترتیب در شرایط آزمایشگاهی و صحرایی نشان دادند که با افزایش پوشش

جدول ۵- ضریب رواناب برای درصدهای مختلف سنگریزه‌ای و طبقات شیب

متفاوت		
سنگریزه (درصد)	شیب (درصد)	ضریب رواناب
تیمار شاهد	۶	۰/۴۶
	۱۵	۰/۵۹
	۲۲	۰/۸۱
۱۰	۶	۰/۴۰
	۱۵	۰/۵۷
	۲۲	۰/۷۰
۲۰	۶	۰/۲۲
	۱۵	۰/۳۸
	۲۲	۰/۵۸
۳۰	۶	۰/۱۶
	۱۵	۰/۳۲
	۲۲	۰/۴۶

هدررفت خاک

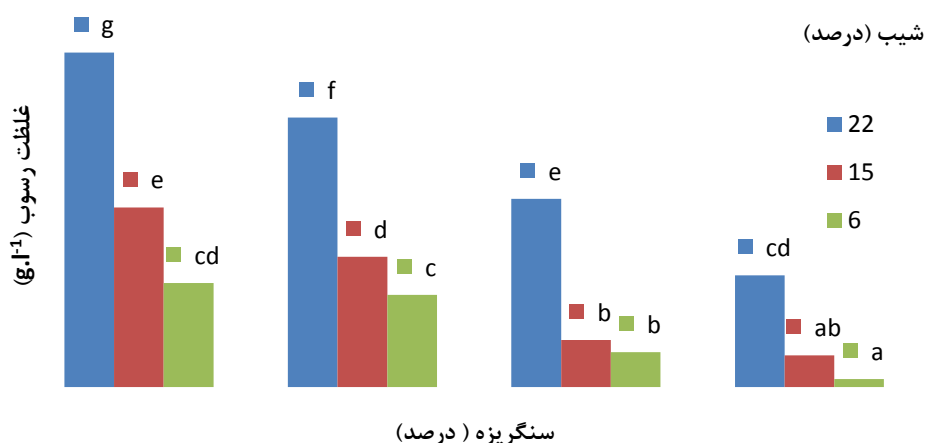
از نظر هدررفت خاک، اثر متقابل دو عامل شیب و پوشش سنگی معنی‌دار شد (جدول ۲). بنابراین، به جای مقایسه میانگین‌های این دو عامل به‌طور مجزا، تأثیر هم‌زمان این دو عامل بر روی هدررفت خاک تولیدی بررسی شد. نتایج نشان داد بیشترین هدررفت خاک مربوط به تیمار شاهد فاقد پوشش سنگی در شیب ۲۲ درصد و کمترین آن مربوط به تیمار با ۳۰

غلظت رسوب

اثر متقابل سه طبقه شیب و چهار سطح پوشش سنگریزه از نظر غلظت رسوب نشان داد، بیشترین غلظت رسوب مربوط به تیمار شاهد در شیب ۲۲ درصد و کمترین آن مربوط به شیب

ترتیب برابر ۱۲۲ و ۳۶۰ درصد بود. Ekwue *et al.* (2009) و Cheng *et al.* (2008) نیز گزارش کردند که با افزایش شیب پایداری خاک کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر، نیروی انتقال ذرات به طرف پایین افزایش می‌یابد و منجر به افزایش هدررفت خاک می‌گردد. Mirzaee *et al.* (2012)، با بررسی تأثیر پوشش سنگریزه سطحی بر فرسایش خاک و رسوب با استفاده از شبیه‌سازی رواناب گزارش کردند که پوشش سنگریزه سطحی، به علت حفاظت از سطح خاک در مقابل عوامل فرساینده، کاهش سرعت و قدرت جریان‌های متمرکز سطحی، مقدار رسوب را به صورت نمایی کاهش می‌دهد.

سنگریزه سطحی قدرت فرساینده‌گی جریان‌های سطحی و مقدار تلفات خاک کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، در هر طبقه شیب، با افزایش درصد سنگریزه، غلظت رسوب کاهش یافت، اما این کاهش، در شیب ۱۵ درصد بین دو تیمار سنگریزه ۲۰ و ۳۰ درصد، و در شیب شش درصد بین دو تیمار شاهد و ۱۰ درصد سنگریزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نبود (شکل ۳). ولی غلظت رسوب در شیب ۲۲ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو طبقه شیب ۶ و ۱۵ درصد شد (شکل ۳). با افزایش شیب، سرعت جریان و قدرت فرساینده‌گی آن افزایش می‌یابد و در نتیجه رواناب و هدررفت خاک بیشتر می‌شود. به گونه‌ای که، در این پژوهش میزان گل آلودگی و غلظت رسوب در شیب ۲۲ درصد نسبت به دو شیب ۱۵ و شش درصد به



شکل ۳- اثر متقابل شیب و سنگریزه بر روی غلظت رسوب

پوشش‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سنگریزه نسبت به شاهد (خاک لخت) به ترتیب ۳۶/۹۷، ۸۳/۴۵ و ۸۹/۳۲ درصد کاهش یافت. همچنین هدررفت خاک در شیب شش درصد و با پوشش‌های سنگریزه‌ای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد، نسبت به شاهد، به ترتیب ۱۶/۳۷، ۸۲/۲۲ و ۹۶/۵۲ درصد کاهش یافت. لذا در منطقه مورد مطالعه، برای این گونه شیب‌ها، به جای ۳۰ درصد، از ۲۰ درصد سنگریزه به منظور کاهش هدررفت خاک می‌توان استفاده کرد. اما در شیب ۲۲ درصد، تفاوت بین پوشش‌های مختلف معنی‌دار ($P < 0.01$) شد. در این شیب در پوشش‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سنگریزه نسبت به شاهد، مقدار هدررفت خاک به ترتیب ۳۸/۹۳، ۵۷/۷۹ و ۷۹/۲۳ درصد کاهش یافت. افزایش پوشش سنگریزه‌ای از ۱۰ به ۲۰ درصد در شیب‌های ۱۵ و شش درصد، تأثیر بیشتری در کاهش هدررفت خاک نسبت به شیب ۲۲ درصد نشان داد. بنابراین با توجه به نتایج حاصله، در منطقه مورد مطالعه، به منظور کاهش رسوب‌گذاری

نتیجه‌گیری

هدررفت خاک به عنوان یک مشکل جدی زیست‌محیطی شناخته شده است (Ekwue *et al.*, 2009) که، ظرفیت نگهداری آب را در اثر ایجاد رواناب و کاهش ماده آلی خاک، کم می‌کند (Duran Zuazo and Rodriguez Pleguezuelo, 2008). وجود سنگ و سنگریزه در سطح خاک می‌تواند از برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک جلوگیری نموده و از این طریق موجب کاهش فرسایش گردد. در این پژوهش، چهار سطح متفاوت سنگریزه شامل صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و سه طبقه شیب (شش، ۱۵ و ۲۲ درصد) به منظور تعیین تأثیر پوشش سنگریزه و شیب روی رواناب و هدررفت خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش درصد سنگریزه، میزان رواناب و رسوب سیر نزولی نشان داد، اما این تفاوت بین دو تیمار سنگریزه ۲۰ و ۳۰ درصد در شیب‌های شش و ۱۵ درصد معنی‌دار ($P < 0.01$) نبود. از طرفی هدررفت خاک در شیب ۱۵ درصد و با

اندازه‌های مختلف سنگریزه، شیب‌های متفاوت و مدت بارندگی بیشتر، مطالعه‌ای مشابه برای اقلیم‌های دیگر، برای ارتقاء حفاظت و مدیریت بهینه اراضی انجام گیرد.

REFERENCES

- Abrahams, A.D. Li, G. Krishnan, C. and Atkinson, J.F. (2001). A sediment transport equation for interrill overland flow on rough surfaces. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1443-1459.
- Arnaez, J. Lasanta, T. Ruiz-Flaño, P. and Ortigosa, L. (2007). Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil Tillage Research*, 93, 324-334.
- Cheng, Q. Ma, W. and Cai, Q. (2008). The relative importance of soil crust and slope angle in runoff and soil loss: A case study in the hilly areas of the Loess Plateau, North China. *GeoJournal*, 71, 117-125.
- Dane, J.H. and Topp, G.C. (2002). Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method. *Soil Science Society of America Journal*, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 1692 p.
- Duiker, S.W. Flanagan, D.C. and Lal, R. (2001). Erodibility and filtration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45, 103-121.
- Duran Zuazo, V.H. and Rodriguez Pleguezuelo, C.R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 65-86.
- Ekwue, E.I. Bharat, C. and Samaroo, K. (2009). Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 102, 236-243.
- Eynatten, H.V. Delgado, R.T. and Karius V. (2012). Sediment generation in modern glacial settings: Grain-size and source-rock control on sediment composition. *Sedimentary Geology*, 280, 80-92.
- Fang, N.F. Shi, Z.H. Chen, F.X. Zhang, H.Y. and Wang, Y.X. (2015). Discharge and suspended sediment patterns in a small mountainous watershed with widely distributed rock fragments. *Journal of Hydrology*, 528, 238-248.
- Guo, T. Wang, Q. Li, D. and Zhuang, J. (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, 1200-1208.
- Jenabi, A. (2011). Flooding assessment of atashgah watershed in Ardabil province using HEC-HMS mathematical model, statistical analysis and GIS techniques, Master thesis watershed management. Mohagheghe Ardabili University. (In Farsi).
- Jin, K. Cornelis, W.M. Gabriels, D. Schiettecatte, W. Neve, S.D. Lu, J. Buysse, T. Wu, H. Cai, D. Jin, J. and Hartmann, R. (2008). Soil management effects on runoff and soil loss from field rainfall simulation. *Catena*, 75, 191-199.
- Jomma, S. Barry A.D. Heng, B.C.P. Brovelli, A. Sander, G.C. and Parlange, J.Y. (2012). Influence of rock fragment coverage on soil erosion and hydrological response: Laboratory flume experiments and modeling. *Water resources research*, 48, 1- 21.
- Ma, X.J. and Li, X.Y. (2011). Water accumulation in soil by gravel and sand mulches: Influence of textural composition and thickness of mulch layers. *Journal of Arid Environments*, 75, 432-437.
- Marques, M.J. Bienes, R. Jimenez, L. and Perez-Rodriguez, R. (2007). Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots. *Science of the Total Environment*, 378, 161-165.
- Martinez-Zavala, L. and Jordan, A. (2008). Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion from bare soils in Western Andalusia, Spain. *Soil Use and Management*, 24, 108-117.
- Mirzaee, S. Gorji, M. Jafari Ardakani, A. (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 Farsi).
- Navas, N. (1993). Soil losses under simulated rainfall in semi-arid shrublands of the Ebro Valley, Spain. *Soil Use and Management*, 9(4), 152-157.
- Poesen, J. W. and Lavee, H. (1994). Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*, 23, 1-28.
- Poesen, J.W. Torri, D. and Bunte, K. (1994). Effect of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales review, supplement, *Catena*, 23, 141-166.
- Rieke-Zapp, D. Poesen, J. and Nearing, M.A. (2007). Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 1063-1076.
- Seeger, M. (2007). Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71, 56-67.
- Valentin, C. and Casenave, A. (1992). Infiltration into sealed soils as influenced by gravel cover. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1667-1673.
- Wang, X. Li, ZH. Cai, C.H.. Shi, Z.H. Xu, Q. Fu, Z.H. and Guo, Z.H. (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.