

بررسی نقش پوسته‌های بیولوژیک (خزه‌ها) در حفاظت از خاک سطحی در مقابل فرسایش آبی (مطالعه موردی: مراتع اطراف سد طرق در استان خراسان رضوی)

- ❖ فریبا علوی زاده*؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
- ❖ کمال‌الدین ناصری؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
- ❖ علی گلکاریان؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
- ❖ علی طوبلی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

فرسایش خاک در اکثر نقاط کشور، به‌ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک، معضلی بزرگ به‌شمار می‌رود و به علت رسوب‌گذاری، آلودگی، تشدید سیلاب‌ها، و آثار مخرب بر حاصل‌خیزی خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. وجود پوشش گیاهی پراکنده از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است و معمولاً فضای خالی بین این گیاهان با پوسته‌های بیولوژیک یا کریپتوگام، مانند خزه‌ها، پوشیده می‌شود. این پوسته‌ها در یک اکوسیستم از جهات گوناگون اهمیت دارند و تأثیرات متعددی بر خصوصیات خاک و گیاهان آوندی می‌گذارند. در تحقیق حاضر تأثیرگذاری خزه‌ها، به عنوان بخش مهمی از پوسته‌های بیولوژیک، بر فرسایش آبی مراتع حوزه سد طرق واقع در استان خراسان رضوی بررسی شده است. به منظور بررسی تأثیر خزه‌ها بر فرسایش آبی، رواناب مصنوعی به مدت ۳۰ دقیقه در پلات‌های مستقر در عرصه با دو شدت کم و زیاد جاری گشت. خزه‌ها تحت چهار تراکم زیاد (۶۰-۷۵٪ پلات)، متوسط (۳۵-۵۰٪)، کم (۱۰-۲۰٪ پلات)، و شاهد (۰٪) مطالعه شد تا اثر هر یک در میزان غلظت رسوب تولیدشده و فرسایش ویژه تحت شرایط آزمایشی یکسان بررسی شود. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز واریانس و آزمون توکی با استفاده از نرم‌افزار Minitab نشان داد که، با کاهش تراکم گیاهان خزه‌ای، تولید رسوب و، به دنبال آن، فرسایش ویژه نیز افزایش می‌یابد و بین چهار تراکم خزه و دو شدت آب در سطح ۹۵٪ تفاوت معنی‌دار وجود دارد، اما در خصوص میزان نفوذپذیری بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

واژگان کلیدی: پوسته بیولوژیک، خزه، رسوب‌گذاری، فرسایش آبی، نفوذپذیری.

مقدمه

لخت نبوده، بلکه به وسیله جامعه به خصوصی از گیاهان، به نام پوسته‌های بیولوژیک (شامل خزه‌ها، گل‌سنگ‌ها، جگرواش‌ها، قارچ‌ها، و سیانوباکتری‌ها)، پوشیده می‌شود [۱۹] که با عنوان کریپتوگام نیز شناخته می‌شوند. به رغم اهمیت خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها از دیدگاه تأثیرگذاری بر ویژگی‌های مختلف اکوسیستم و همچنین پراکنش وسیع این دسته از گیاهان، مطالعات انجام‌شده در زمینه اکولوژی آن‌ها بسیار محدود است، به طوری که عملکرد و اکولوژی این بخش مهم از اکوسیستم تا حدی ناشناخته مانده است [۲۳].

از جمله آثاری که کریپتوگام‌ها بر اکوسیستم اعمال می‌کنند می‌توان اشاره نمود به تأثیر بر جریان رواناب و نفوذپذیری [۵]، تنفس خاک [۱۶]، استقرار و عملکرد گیاهان آوندی [۱۴]، شکل‌گیری و حاصل‌خیزی خاک، کاهش قابل توجه فرسایش‌های ناشی از نیروی آب و باد، و تثبیت تپه‌های شنی [۴، ۶].

با توجه به اهمیت منحصر به فرد هر یک از اجزای پوسته‌های بیولوژیک در کنترل رواناب و فرسایش، در این تحقیق سعی شده به بررسی نقش و اهمیت خزه‌ها در زمینه فرسایش آبی پرداخته شود.

گیاهان بریوفیت (خزه‌ها و جگرواش‌ها) با حدود ۹۶۰ جنس و ۲۴۰۰۰ گونه در حال حاضر ابتدایی‌ترین گروه از گیاهان کروموفیت هستند که در اغلب بخش‌های زمین و بیشتر در مناطق مرطوب حضور دارند [۲۰]. دستگاه رویشی و زایشی خزه‌ها تا حدود زیادی تفکیک یافته است، ولی دارای ساختار بافتی مشخص، گل، برگ، ساقه، و ریشه واقعی نیستند [۱۴، ۲۱]. در واقع، این گیاهان دارای تارهای ریشه‌مانندی به نام ریزوئید هستند که عمل جذب مواد، تثبیت گیاه در بستر، و همچنین نگهداشت خاک‌دانه‌ها توسط این ساختمان‌های رشته‌ای انجام می‌شود [۲۲]. بر این اساس، خزه‌ها

وقوع فرسایش آبی بر کره خاکی هر ساله مقادیر عظیمی خاک پُرارزش را در مسیر قهقراپی سوق می‌دهد. به همین دلیل، امروزه، حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقدامات زیربنایی در هر کشور است. اما برای موفقیت در مهار فرسایش خاک و تولید رسوب شناخت و آگاهی از عوامل مؤثر بر فرسایش، دامنه، و شدت تأثیر آن‌ها ضروری است [۹]. فرسایش یعنی کنده‌شدن و انتقال ذرات خاک از محلی به محل دیگر که این عمل ممکن است به وسیله آب یا باد صورت گیرد. در صورتی که عامل جداکننده ذرات از بستر و انتقال آن‌ها آب باشد به آن فرسایش آبی گفته می‌شود [۱]. عوامل مختلفی همچون خصوصیات خاک، پوشش سطح خاک، توپوگرافی، و پوشش گیاهی از عوامل مؤثر در کنترل فرسایش خاک به شمار می‌روند [۲۴]. برخی دیگر از محققان، با بررسی عوامل مختلف محیطی، عامل‌های شیب، جهت، و بافت خاک را از عوامل مهم مؤثر در فرسایش خاک قلمداد می‌کنند [۷]. همان‌گونه که اشاره شد، یکی از فاکتورهای بسیار مهم تعیین‌کننده میزان فرسایش و هدررفت خاک فاکتورهای مربوط به پوشش گیاهی در سطح خاک است. پوشش گیاهی از جهات مختلف می‌تواند باعث کاهش میزان فرسایش شود [۲۸]. گیاهانی که با سطح خاک در تماس هستند با کاهش سرعت جریان به افزایش عمق جریان، افزایش فرصت نفوذ، و کاهش جداشدن ذرات خاک به وسیله قطرات باران منجر خواهند شد. همچنین، نگهداشت آب توسط تاج پوشش سبب تقلیل حجم آبدوی و، در نتیجه، میزان فرسایش آبی می‌شود [۱۸]. در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان پوشش گیاهی به صورت تنک و پراکنده است. در بخش‌هایی از چنین مناطقی، خاک موجود در فضای خالی بین گیاهان به کلی

در کنترل فرسایش آبی سطح خاک تأثیر داشته باشند
آزمون شود.

روش‌شناسی

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعه مراتع اطراف حوضه سد طرق از توابع شهرستان طرقبه- شاندیز در ۳۰ کیلومتری شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی، است. اقلیم منطقه مورد نظر نیمه‌خشک و دارای متوسط بارندگی ۲۳۰ میلی‌متر است. منطقه، از لحاظ توپوگرافی، دارای تپه‌ماهورهای کوتاه با الگوهای تکرار شونده است و پوشش گیاهی غالب آن در جهت شمال و غرب تیپ علفزار با غالبیت گراس‌هاست و در جهت جنوب و شرق از نوع بوته‌ای خاردار با غالبیت درمنه و گون خاردار است.

روش تحقیق

در این مطالعه به منظور بررسی میزان تأثیر خزه‌ها در فرسایش آبی خاک اقدام به تولید رواناب مصنوعی گردید. در این زمینه از تعدادی لوله آبد، که هر یک در دبی ۲۵۰ سی سی در دقیقه تنظیم شده بود، بر روی یک کرت فرسایشی استفاده گردید. همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، این وسیله از دو ورق فلزی به قطر دو میلی‌متر و به ابعاد ۸۰×۲۰ سانتی‌متر مربع تشکیل شده است. آب در مدت زمان ۳۰ دقیقه به درون کرت جاری می‌شود، سپس، رسوب و آب مازاد از طریق خروجی به درون ظروف مشخص هدایت می‌شوند. این مجموعه با فاصله‌ای در حدود ۲ متر (بسته به توپوگرافی دامنه) به مخزن آب اتصال دارد. در این راستا دو شدت آب (شدت زیاد با استفاده از دو لوله آبد و شدت کم با استفاده از یک لوله آبد) مد نظر قرار داده شد.

می‌توانند در کاهش فرسایش نقش چشمگیری داشته باشند. فاکتور گیاهی مورد بررسی در این مطالعه تراکم پوشش گیاهی (تراکم خزه‌ها) و تأثیر تراکم‌های مختلف آن در میزان کاهش فرسایش آبی است. فاکتور درصد تراکم پوشش گیاهی در سطح خاک از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در میزان فرسایش حاصل از بارندگی و آبدوی است [۲۸]. در یک بررسی میزان رواناب و فرسایش در کرت‌های کوچک آزمایشی دارای پوشش گیاهی تنک و با تراکم پایین به مراتب بیشتر از کرت‌های پوشیده از گیاه به صورت متراکم به‌دست آمد [۱۷]. در مطالعه‌ای دیگر، درصد تراکم پوشش گیاهی اصلی‌ترین فاکتور محدودکننده میزان فرسایش خاک اعلام شد [۳]. از آنجا که هدررفت خاک حاصل‌خیز سطحی تهدیدی بسیار مهم برای معیشت کشاورزان و ساکنان روستاها محسوب می‌شود، نقش و اهمیت کریپتوگام‌ها در سیستم‌های کشاورزی نیز مطالعه شده است. مطالعه بر روی سه قطعه ذرت، ذرت و علف‌هرز، و ذرت و کریپتوگام و استفاده از پلات‌های فرسایشی نشان داد که میانگین رواناب و هدررفت خاک در قطعه دارای ذرت و کریپتوگام نسبت به دو قسمت دیگر کمتر و دارای تفاوت معنی‌دار است [۱۰].

صورت‌بندی کلی این پژوهش ارائه طرحی برای بررسی نقش تراکم پوسته‌های خزه‌ای در حفاظت از خاک سطحی در مقابل فرسایش آبی است. ذکر این نکته ضروری است که اگرچه پیش از این نقش پوسته‌های بیولوژیک در حفاظت از خاک سطحی در مقابل فرسایش آبی مطالعه شده است، تا کنون از منظر تحقیق حاضر و بر مبنای روش مورد استفاده در این پژوهش به این موضوع پرداخته نشده است. بنابراین، ضروری به نظر رسید تا بر مبنای یک مطالعه موردی و با تولید رواناب مصنوعی در پلات‌های مستقر شده در عرصه این فرض که خزه‌ها می‌توانند



شکل ۱. وسیله طراحی شده جهت تولید رواناب

برای بررسی روند تغییر غلظت رسوبات جمع‌آوری شده، ظروف جمع‌آوری رواناب از ابتدای آزمایش تا انتها به ترتیب شماره‌گذاری شد. آب و رسوب جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل شد. سپس، وزن خشک رسوبات محاسبه گردید.

در نهایت، به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و تعیین ارتباط و همبستگی بین حضور و تراکم گیاهان خزهای با میزان تولید رسوب یا فرسایش ویژه، از آنالیز واریانس و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار از آزمون توکی با به‌کارگیری نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

نتایج

در منطقه مورد مطالعه دو گونه گیاه خزهای شناسایی شد: ۱. گونه *Syntrichia sinensis*; ۲. *Syntrichia princeps*; این هر دو گونه متعلق به خانواده *Pottiaceae* هستند. خانواده *Pottiaceae* با ۸۰ جنس، خانواده بسیار بزرگی از خزهاست که اکثر گونه‌های آن دارای ویژگی‌های مقاومت به خشکی هستند. به طور کلی، محدوده مورد مطالعه دارای خاک لومی بوده و همه آزمایش‌ها در بخش‌هایی از دامنه، که دارای شیب ۱۵ تا ۲۰ درجه بودند، اجرا شد.

از آنجا که درصد تراکم گیاهی در حفظ و نگهداشت خاک سطحی بسیار اهمیت دارد، چهار تراکم از گیاهان خزهای با دو شدت آب مقایسه شد که به ترتیب ۰٪ (تراکم شاهد)، ۱۰-۲۰٪ پلات (تراکم کم)، ۳۵-۵۰٪ پلات (تراکم متوسط)، و ۶۰-۷۵٪ پلات (تراکم زیاد) است. با ۳ بار تکرار از هر تیمار آب در مدت زمان یادشده از مخزن بالادست به درون هر پلات جاری شد (بنابراین، در مجموع هشت تیمار هر یک با سه تکرار آزمون شدند) و بسته به میزان تراکم خز مقدار آب جذب خاک و جذب خزها شد. سپس، رواناب جاری در انتهای هر پلات به همراه رسوبات جداشده از سطح خاک از طریق خروجی تعبیه‌شده به درون ظروف جمع‌آوری شد. این نکته شایان ذکر است که در همه آزمایش‌ها جنس سازند، شیب و جهت آن، طول دامنه، و درصد پوشش گیاهان آوندی همراه در محل استقرار پلات ثابت و یکسان است. در کلیه آزمایش‌ها مخزن آب به میزان ۲۰ لیتر پُر شد و، بر اساس آن، در پایان هر نوبت میزان آب باقی‌مانده، مصرف شده، جمع‌آوری شده و، در نهایت، میزان آب نفوذیافته به دست آمد. بر این مبنای، دو عامل میزان نفوذپذیری خاک و مقدار رسوب تولیدشده در اثر جریان در انتهای هر پلات ارزیابی شد.

جدول ۱ می‌توان تراکم‌های به‌کار رفته از خزه‌ها را در دو شدت آب مقایسه کرد.

در پایان هر آزمایش، بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از میزان آب نفوذیافته و رسوبات جمع‌آوری‌شده، غلظت رسوب محاسبه شد. بر اساس

جدول ۱. غلظت رسوب و فرسایش ویژه در حضور و عدم حضور خزه‌ها

تراکم کریپتوگام	شدت جریان	شماره تکرار	نفوذ (لیتر)	وزن رسوبات جمع شده در انتهای هر پلات (گرم)	غلظت رسوب (لیتر / گرم)	فرسایش ویژه (متر مربع / گرم)
زیاد	زیاد	۱	۴٫۷	۱٫۵۹	۰٫۲۱	۱۵٫۹
زیاد	زیاد	۲	۴٫۹	۱٫۵۷	۰٫۲۲	۱۵٫۷
زیاد	زیاد	۳	۵٫۷	۱٫۵۲	۰٫۲	۱۵٫۲
زیاد	کم	۱	۱٫۵	۰٫۷۳	۰٫۱۳	۷٫۳
زیاد	کم	۲	۰٫۸	۰٫۸۱	۰٫۱۶	۸٫۱
زیاد	کم	۳	۳٫۳	۰٫۷۱	۰٫۱۵	۷٫۱
متوسط	زیاد	۱	۶	۲٫۶۹	۰٫۳۸	۲۶٫۹
متوسط	زیاد	۲	۴٫۷	۲٫۴۲	۰٫۳۳	۲۴٫۲
متوسط	زیاد	۳	۵٫۳	۲٫۳۹	۰٫۳۳	۲۳٫۶۹
متوسط	کم	۱	۲٫۵	۱٫۰۱	۰٫۲	۱۰٫۱
متوسط	کم	۲	۲٫۵	۱٫۵۹	۰٫۲۴	۱۵٫۹
متوسط	کم	۳	۱	۱٫۲۵	۰٫۲۵	۱۲٫۵
کم	زیاد	۱	۵	۴٫۳۴	۰٫۶۲	۴۳٫۴
کم	زیاد	۲	۵٫۸	۴٫۰۸	۰٫۵۶	۴۰٫۸
کم	زیاد	۳	۶٫۷	۴٫۵۹	۰٫۶۷	۴۵٫۶۹
کم	کم	۱	۴٫۵	۲٫۴۱	۰٫۴۳	۲۴٫۱
کم	کم	۲	۴٫۵	۲٫۴۸	۰٫۴۵	۲۴٫۸
کم	کم	۳	۴٫۸	۲٫۶	۰٫۵	۲۶
شاهد	زیاد	۱	۴	۱۰٫۱۶	۱٫۴۵	۱۰۱٫۶
شاهد	زیاد	۲	۵٫۷	۱۱٫۱	۱٫۵۲	۱۱۱
شاهد	زیاد	۳	۶٫۲	۱۳٫۹۷	۱٫۹۱	۱۳۹٫۷
شاهد	کم	۱	۲٫۵	۵٫۵۱	۰٫۸۴	۵۵٫۱
شاهد	کم	۲	۳٫۸	۵٫۴۳	۱٫۰۴	۵۴٫۳
شاهد	کم	۳	۵	۶٫۲	۱٫۲۴	۶۲

جدول ۲. نتایج آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون توکی

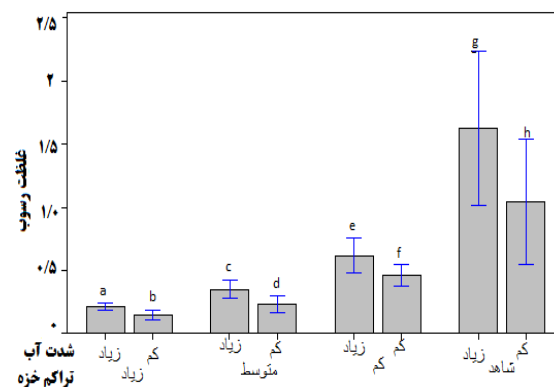
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P
تراکم خزه	۳	۰٫۸۴	۳۳۰٫۶۲	۰
شدت آب	۱	۰٫۱۶	۶۴٫۰۴	۰
خطا	۱۶	۰٫۰۰۲۵		
کل	۲۳			

در خصوص دو شدت آب به کاررفته نیز قابل مشاهده است. بر اساس اطلاعات به دست آمده از آنالیز داده‌ها، میزان رسوب جمع‌آوری شده در ظروف شماره یک در همه تیمارهای مربوط به تراکم خزه‌ها و در هر دو شدت آب دارای تفاوت معنی‌دار بود و، طبق شکل ۳، میزان رسوب از تراکم زیاد خزه به سمت تیمار شاهد افزایش می‌یابد و این عامل در خصوص هر دو شدت آب قابل ملاحظه است. نتایج به دست آمده از ظروف شماره دو، سه، و چهار نیز روندی مشابه ظروف شماره یک نشان داد. با این تفاوت که در ظروف شماره چهار فقط رسوب تولید شده در تراکم زیاد خزه‌ها با سایر تراکم‌ها دارای تفاوت معنی‌دار بود و تراکم‌های متوسط، کم، و شاهد تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در شدت زیاد آب طی مدت زمان ۳۰ دقیقه ۵ ظرف آب و در شدت کم فقط چهار ظرف آب در محل خروجی پُر شدند که میزان رسوب موجود در اکثر آن‌ها بسیار ناچیز و در حد صفر به دست آمد.

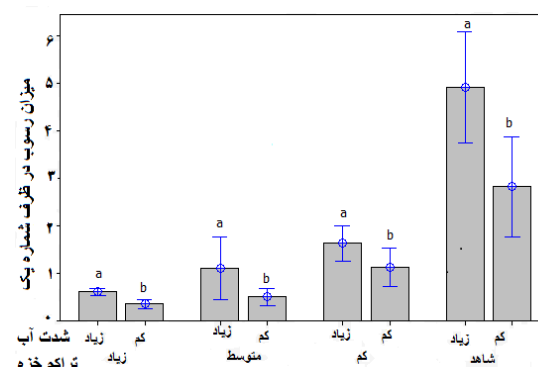
بحث و نتیجه‌گیری

مراعات، که از مهم‌ترین منابع تولید رسوب به‌شمار می‌روند، بخش وسیعی از حوضه‌های آبخیز کشور ما را تشکیل می‌دهند. بنابراین، مطالعه عوامل تأثیرگذار در فرایند فرسایش خاک در جهت به حداقل رساندن هدررفت خاک در این بخش‌ها امری ضروری است. به همین منظور، در این مطالعه، که در مراتع اطراف حوضه سد طرق در استان خراسان رضوی صورت گرفته است، سعی شده تا میزان اثربخشی حضور گیاهان خزه‌ای، که درصد بالایی از پوشش گیاهی این منطقه را تشکیل می‌دهند، بر کنترل فرسایش آبی بررسی شود. در هر یک از آزمایش‌های این مطالعه دو شدت متفاوت آب به کار گرفته شد. با اینکه در شدت زیاد آب به دنبال اعمال انرژی جنبشی بیشتر بر

به علت کثرت داده‌ها از ذکر داده‌های مربوط به ظروف شماره‌گذاری شده در جدول خودداری می‌شود و فقط به نموداری از میزان رسوبات جمع‌آوری شده در ظروف شماره یک بسنده می‌شود. در راستای تبیین اطلاعات جدول ۱، شکل‌های ۲ و ۳ برای مقایسه ارائه می‌شود.



شکل ۲. تغییر میزان غلظت رسوب در تراکم‌های مختلف خزه



شکل ۳. تغییر میزان غلظت رسوب در ظروف شماره ۱

شکل ۲ تغییرات غلظت رسوب و فرسایش ویژه در مقابل تراکم‌های مختلف به کاررفته از خزه و شدت‌های آب را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس و آزمون توکی حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین چهار تراکم خزه و دو شدت آب جاری در سطح ۹۵٪ است. در راستای تفسیر اطلاعات حاصل از شکل ۲، این مطلب حاصل می‌شود که کاهش تراکم گیاهان خزه‌ای با افزایش تولید رسوب و، به دنبال آن، فرسایش ویژه همراه است و این روند

می‌توانند موجب بروز اختلاف معنی‌داری در میزان نفوذپذیری بشوند و آن را افزایش دهند [۲۷]. این نتایج متناقض ممکن است به دلیل ترکیب متفاوت پوسته‌های بیولوژیک، تفاوت در میزان رطوبت پوسته‌ها، و تفاوت در ویژگی‌های محل مطالعه، به‌ویژه بافت خاک و خصوصیات شیمیایی آن، باشد. در بارندگی‌ها و جریان‌ات کوچک، پوسته‌های بیولوژیک با افزایش پستی و بلندی‌های کوچک خاک و افزایش نگهداشت سطحی می‌توانند سبب افزایش نفوذپذیری شوند [۱۱]. از طرف دیگر، به دلیل ارتباط نزدیک این پوسته‌ها با ذرات سطح خاک، تا حدی می‌توانند سبب بسته‌شدن خلل و فرج سطحی نیز شوند و، بدین طریق، نفوذ آب به درون خاک محدود می‌شود [۱۳].

همان‌طور که از نتایج این پژوهش نیز به نظر می‌رسد، پوسته‌های کریپتوگامیک، با به هم چسباندن ذرات حاصل از فرسایش‌های آبی و بادی، سبب افزایش پستی و بلندی‌های کوچک خاک یا زبری خاک می‌شوند [۲]. این افزایش زبری سطح جریان سطحی را به تأخیر می‌اندازد یا کند می‌کند، بنابراین، زمان برای نگهداشت آب و حفظ خاک‌دانه‌ها افزایش می‌یابد [۲۷]. در مطالعات بسیاری افزایش مقاومت خاک در مقابل فرسایش آبی و بادی به دنبال زبری ایجادشده توسط پوسته‌های بیولوژیک به اثبات رسیده است [۲۵، ۲۶]. همان‌طور که در قسمت نتایج نیز ذکر شد، تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های مربوط به غلظت رسوب و فرسایش ویژه حاکی از کاهش معنی‌دار پارامترهای نام‌برده با افزایش تراکم خزه‌ها و افزایش شدت آب است. علل مختلفی به این امر نسبت داده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به توانایی بالای خزه‌ها در جذب و نگهداشت آب و حفظ خاک‌دانه‌ها توسط ریزوئید خزه‌ها اشاره کرد. به‌طور خاص، خزه‌ها با داشتن تارهای ریشه‌مانندی

خاک‌دانه‌ها، پُرسدن سریع‌تر خلل و فرج خاک از آب و کاهش نفوذپذیری خاک سطحی بیشتری شسته می‌شود و هدر می‌رود، مطابق شکل ۲، در شدت زیاد آب نیز روند کاهش میزان تولید رسوب و فرسایش ویژه با افزایش تراکم خزه‌ها همانند به‌کارگیری شدت کم آب قابل مشاهده است. شماره‌گذاری ظروف جمع‌آوری آب و رسوب در محل خروجی وسیله طراحی شده نیز این موضوع را به اثبات می‌رساند. علت این امر آن است که در شروع آزمایش در سطح خاک درصد موادی که توسط عوامل محیطی مثل آب و هوا، گیاهان، و میکروارگانیسم‌های خاک آماده حمل شده‌اند بیشتر است. بنابراین، این ذرات به‌سرعت به همراه جریان آب خارج می‌شوند. پس از خروج این مواد، جریان آب باید مواد جدید را بکند و حمل نماید که این موضوع سبب کاهش غلظت رسوب در ادامه آزمایش می‌شود.

اطلاعات حاصل از جدول ۱ و نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل‌های آماری این مطالعه، با استفاده از تجزیه واریانس و آزمون توکی و در سطح اطمینان ۹۵٪، حاکی از این است که میزان نفوذپذیری خاک در دو شدت آب به‌کارگرفته‌شده در طول آزمایش دارای تفاوت معنی‌داری است. در صورتی که، برخلاف آنچه انتظار می‌رفت، تراکم‌های مختلف خزه تأثیر درخور توجهی در میزان نفوذپذیری خاک اعمال نمودند و تراکم‌های زیاد، کم، و متوسط با یکدیگر و با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. به‌طور کلی، نقش کریپتوگام‌ها در نفوذپذیری هنوز به‌خوبی شناخته نشده است و نتایج گزارش‌شده بسیار متضاد است. در مثالی دیگر محققان طی بررسی‌های خود با استفاده از باران مصنوعی اظهار کردند که حضور پوسته‌های بیولوژیک سبب کاهش نفوذپذیری آب در خاک می‌شود یا بر آن اثر نمی‌گذارد [۱۵، ۲۵]. اما مطالعه‌ای دیگر نشان داد که پوسته‌های بیولوژیک

علت اسفنجی بودن بافت خزها) جذب می شود و بدین طریق نیز حرکت ذرات ناشی از فرسایش کاهش می یابد [۱۲].

در پایان ذکر این نکته ضروری است که اطلاعات موجود در خصوص پوسته های بیولوژیک محدود به تحقیقات بسیار کمی است که بخش عمده آنها در اکوسیستم های خشک و نیمه خشک صورت گرفته است. بنابراین، نیاز است که، به منظور دریافت اطلاعات کامل تر، این مطالعات به تعداد بیشتر و در اقلیم هایی با تنوع بیشتر انجام شود. همچنین، کریپتوگام ها می بایست، مانند سایر گیاهان، کاملاً در استراتژی های حفاظتی و برنامه های مدیریتی مسئولان حوزه های آبخیز در نظر گرفته شوند.

به نام ریزوئید از مهم ترین عوامل پایداری خاک محسوب می شوند. به این دلیل که ذرات خاک به این تارها می چسبند و در مقابل آب و باد در محل خود حفظ می شوند [۲۴]. گزارش های زیادی در خصوص کاهش فرسایش آبی به دلیل وجود پوسته های بیولوژیک وجود دارد [۱۰، ۱۱، ۱۳]. بنابراین، کریپتوگام ها سطح خاک را در مقابل انرژی جنبشی قطرات باران مقاوم تر می کنند و سبب حفظ میکروتوپوگرافی خاک و ذخایر چاله ای و حفظ و نگهداشت آب سطحی [۵] و، به طور کلی، کاهش فرسایش خاک می شوند. همچنین، برگ های خز از تأثیر فشار قطرات باران جلوگیری می کنند. با ریزش قطرات باران، آب خیلی سریع توسط بافت خز (به

References

- [1] Ahmadi, H. (2007). Applied geomorphology (Water erosion), 5ed Edition, University of Tehran press.
- [2] Anderson, D.C., Harper, K.T. and Rushforth, S.R. (1982). Recovery of cryptogamic soil crusts from grazing on Utah winter ranges. *Journal of Range Management*, 35, 355-359.
- [3] Battany, M.C. and Grismer, M.E. (2000). Rainfall Runoff and Erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. *Hydrological Processes*, 14, 1289-1304.
- [4] Belnap, J. (2003). The world at your feet: desert biological soil crusts. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, 181-189.
- [5] Belnap, J. (2006). The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes*, 20, 3159-3178.
- [6] Belnap, J. and Eldridge, D.J. (2001). Disturbance and recovery of biological soil crusts. In: Belnap, J. and Lange, O.L. (Eds.), *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Springer, Berlin, pp. 363-384.
- [7] Bodoque, J.M. and Díez-Herrero, A. (2005). Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain. *Catena*, 64, 81-102.
- [8] Cerdan, O. (2003). Long-term Soil Erosion Plot Data to evaluate the PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) Approach. *Geophysical Research Abstracts*. European Geophysical Society.
- [9] Ebrahimi, M. and Ghodosi, J. (2001). The evaluation of four empirical model for estimating the sediment in Ghanbarlu valley basin – Pars abad Moghan. *Managing lands natural conferece – Soil erosion and sustainable development*, Arak, Iran.
- [10] Eldridge, D.J. (1993). Cryptogams, vascular plants and soil hydrological relations: some preliminary results from the semi-arid woodlands of eastern Australia. *Great Basin Naturalist*, 53, 48-58.
- [11] Eldridge, D.J. and Greene, R.S.B. (1994)a. Microbiotic Soil Crusts: A Review of their Roles in Soil and Ecological Processes in the Rangelands of Australia. *Aust. J. Soil Res*, 32, 389-415.
- [12] Eldridge, D.J., Bowker, M.A., Maestre, F.T., Alonso, P., Mau, R.L. and Papadopolous, J. (2010). Interactive effects of three ecosystem engineers on infiltration in a semiarid Mediterranean grassland. *Ecosystems*, 13, 499-510.
- [13] Eldridge, D.J. and Greene, R.S.B. (1994)b. Assessment of sediment yield by splash erosion on a semi-arid soil with varying cryptogam cover. *Journal of arid environments*, 26, 221-232.
- [14] Escudero, A., Martínez, I., de la Cruz, A., Otálora, M.A.G. and Maestre, F.T. (2007). Soil lichens have species-specific effects on the seedling emergence of three gypsophile plant species. *Journal of Arid Environments*, 70, 18-28.
- [15] Graetz, R.E. and Tongway, D.J. (1986). Influence of grazing management on vegetation, soil structure and nutrient distribution and the infiltration of applied rainfall in a semiarid chenopod shrubland. *Australian Journal of Ecology*, 11, 347-360.
- [16] Maestre, F.T. and Cortina, J. (2003). Small-scale spatial variation in soil CO₂ efflux in a Mediterranean semiarid steppe. *Applied Soil Ecology*, 23, 199-209.
- [17] Morin J. and Kosovsky A. (1995). The surface infiltration model. *Journal of Soil and Water Conservation*, 50, 470-476.
- [18] Refahi, H. (2006). Soil erosion by water and conservation. 5ed Edition, University of Tehran press.

- [19] Rodríguez-Caballero, E., Canto'n, Y., Chamizo, S., La'zaro, R. and Escudero, A. (2012). Soil Loss and Runoff in Semiarid Ecosystems: A Complex Interaction Between Biological Soil Crusts, Micro-topography, and Hydrological Drivers. *Ecosystems*, DOI: 10.1007/s10021-012-9626-z.
- [20] Singh., Pande., Jain. (2009). A text book of Botany2 (Bryophyta, Pteridophyta and Gymnosperms). Translated by: Jafari., A. and Monem Khorasani., B, 1ed Edition, Jdm press.
- [21] Smith, A.J.E. (2004). The moss flora of Britain and Ireland. 2ed Edition, Cambridge press.
- [22] Tavili, A. (2004). Study of the influence of some moss and lichen species on soil and rangeplants features. (Case study: Ghare ghir rangelands of Golestan province) .Ph.d. thesis.
- [23] Tavili, A. and Jafari, M. (2007). Effects of Cryptogams on soil chemical properties. *Journal of range land*, 2, 199-208.
- [24] Van Rompaey, A.J.J., Vieillefont, V., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Verstraeten, G., Bazzoffi, P., Dostal, T., Krasa, J. De Vente, J. and Poesen, J. (2003). Validation of soil erosion estimates at European scale. EUR 20827 EN, 26pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- [25] Williams, J.D., Dobrowolski, J.P. and West, N.E. (1995). Microphytic crust influence on interrill erosion and infiltration capacity. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 38,139-146.
- [26] Williams, J.D., Dobrowolski, J.P., West, N.E. and Gillette, D.A. (1995). Microphytic crust influence on wind erosion. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 38,131-137.
- [27] Yair, A. (1990). Runoff generation in a sandy area –the Nizzana sands, western Negev, Israel. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 597-609.
- [28] Zangi Abadi, M., Rangavar, A., Rafahi, H. Gh., Shorafa, M. and Bihamta, M. R. (2010). Investigation of the most Important Factors Affecting on Soil Erosion in Kalat Semi-Arid Rangelands. *Journal of Water and Soil*, 4, 737-744.