

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این پژوهش، از لایه سطحی (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) خاک لسی اراضی مرتعی منطقه قزقان دره شهرستان درگز و حساس به فرسایش جمع آور شد. پس از انتقال به آزمایشگاه برای حفظ پایداری نسبی خاکدانه‌ها از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد. برای انجام پژوهش حاضر از کرت‌هایی با عرض، طول و ارتفاع یک، دو و ۰/۲۵ متر استفاده شد. شیب مورد نظر نه درصد و حدوداً متناسب با شرایط عمومی منطقه استفاده شد. سپس برای ایجاد لایه نفوذناپذیر، تا عمق ۱۵ سانتی‌متری کرت‌ها از پوکه معدنی پر شد. برای انجام پژوهش حاضر از تیمار زغال زیستی به‌عنوان افزودنی آلی خاک و از پلی‌آکریل‌آمید و پلی‌وینیل‌استات به‌عنوان افزودنی غیرآلی خاک استفاده شد. تیمارهای حفاظتی در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از شبیه‌ساز باران با شدت بارندگی ۸۴ میلی‌متر بر ساعت و با تداوم نیم ساعته و پلات‌های ۱×۲ متر با شیب نه درصد به کار برده شد. در بررسی منابع از پژوهش‌های صورت گرفته، از پلی‌آکریل‌آمید آبیونی به میزان شش گرم بر مترمربع و به صورت پودری به سبب تأثیر آن در کاهش رواناب و رسوب و نیز از پلی‌وینیل‌استات به میزان شش گرم بر مترمربع استفاده می‌شود. زغال زیستی مورد استفاده در پژوهش حاضر نیز حاصل از چوب درختان جنگلی به مقدار ۷۰۰ گرم در مترمربع استفاده شد.

نتایج و بحث

استفاده از تیمارهای حفاظتی از ایجاد رواناب در سطح خاک لسی جلوگیری نموده در نتیجه باعث افزایش زمان شروع رواناب و کاهش حجم رواناب شده و در نهایت منجر به کاهش ضریب رواناب می‌شود. نتایج بررسی تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که استفاده از ترکیبات آلی و غیرآلی بر خصوصیت زیستی مورد اندازه‌گیری نیز تأثیرگذار بوده و این تأثیرات هم کاهشی و هم افزایشی بود. استفاده از ترکیباتی مانند زغال زیستی به دلیل دارا بودن میزان ماده آلی بالا بر خصوصیات زیستی خاک اثر مثبتی داشته و باعث افزایش فعالیت ریزجانداران و به تبع آن افزایش پارامترهایی مانند کربن بیومس میکروبی می‌شود. ترکیب زغال زیستی می‌تواند منجر به بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک شود. نتایج نشان داد که استفاده از افزودنی‌های آلی و غیرآلی به صورت جداگانه و ترکیبی توانست باعث کاهش غلظت رسوب تا ۹۴/۶۹ درصد، کاهش ضریب رواناب تا ۵۹/۲ درصد و کاهش فرسایش خاک تا ۸۹/۶ درصد، افزایش میزان نفوذپذیری آب تا ۵/۳ درصد، افزایش pH تا ۷/۹ درصد و افزایش مقدار کربن آلی تا

بررسی اثر کاربرد ترکیبی و جداگانه افزودنی‌های آلی و غیرآلی خاک بر کاهش رواناب - رسوب نهشته‌های لسی

آیلین پورآزاد^۱، علی نجفی‌نژاد^{۲*}، مریم آذرخشی^۳، علی محمدیان بهبهانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

<https://doi.org/10.22034/18.66.11>

چکیده مبسوط

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تهدید کمیت و کیفیت خاک محسوب می‌شود که پیامدهای ناخواسته آن را می‌توان به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات امروزی زیست‌بوم‌های مختلف تلقی نمود. با توجه به رشد جمعیت و نیاز به امنیت غذایی، فرسایش خاک به عنوان یک مشکل جهانی قلمداد شده و در کشورهای در حال توسعه این مشکل حادتر است. لذا، اعمال روش‌های مدیریتی مناسب برای مهار فرسایش خاک از اهمیت بالایی در مدیریت و حفظ منابع طبیعی برخوردار است. از آنجایی که مهار زیستی، مدیریتی فرسایش خاک و استفاده از پوشش گیاهی بومی و یا غیربومی در شرایط بحرانی و به ویژه مناطق مستعد به فرسایش بسیار سخت و یا غیرممکن است، از میان اقدامات مختلف مدیریتی موجود، لازم است روش‌هایی به کار گرفته شوند که بتوان خاک را در محل خود و در اولین گام‌های تأثیر عوامل فرساینده حفاظت نمود. یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده رواناب و فرسایش خاک، کاربرد افزودنی‌های خاک است. باید به این نکته نیز توجه نمود که این افزودنی‌ها تأثیر مخربی بر خاک نداشته باشند. بنابراین پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی عملکرد جداگانه و ترکیبی از تأثیر افزودنی‌های آلی (زغال زیستی) و غیرآلی (پلی‌آکریل‌آمید و پلی‌وینیل‌استات) بر تغییرات رواناب و فرسایش بر روی خاک‌های لسی در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک انجام شد.

- ۱- دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- ۲- نویسنده مسئول و استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
najafinejad@gau.ac.ir
- ۳- استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربت حیدریه
- ۴- دانشیار، گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲/۹ درصد می‌شود. میزان هدررفت سه عنصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ویژه در تیمارهای آلی نسبت به شاهد افزایش داشت. براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، بهترین تیمار استفاده همزمان پلی وینیل استات و زغال زیستی بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی تیمارهای مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد که به طور کلی به کار بردن افزودنی‌های آلی و غیرآلی به صورت جداگانه و هم‌زمان باعث کاهش میزان رسوب شدند. به طور کلی در مورد تأثیر تیمارهای به کار برده شده در این مطالعه بر میزان هدررفت خاک این گونه می‌توان گفت که اصلاح خصوصیات فیزیکی و حتی شیمیایی خاک باعث افزایش مقاومت آن در برابر فرسایش و عوامل فرساینده می‌شود. در مورد اهمیت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز می‌توان گفت که خصوصیات فیزیکی بوده و اصلاح آن‌ها اهمیت بیشتری در کاهش میزان فرسایش داشته؛ با این وجود تغییر و اصلاح خصوصیات شیمیایی خاک که توسط انواع افزودنی‌های آلی صورت می‌پذیرد نیز می‌تواند با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی نقش خود را در کاهش میزان فرسایش ایفا کند. در مجموع می‌توان اظهار داشت که استفاده از زغال زیستی، پلی‌وینیل استات و پلی‌آکریل‌امید آبیونی به صورت جداگانه و ترکیبی با هدف بررسی اثر آن‌ها در حفاظت خاک و آب و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، می‌تواند راهکاری مفید، کارا و مؤثر باشد. در نهایت استفاده از افزودنی‌های دیگر و سطوح مختلف برای اراضی لسی و بررسی کیفیت و عناصر رواناب بعد از افزودن تیمارها در عرصه پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: افزودنی‌های خاک، حفاظت خاک، رواناب، فرسایش، فزقان دره.

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تهدید کمیت و کیفیت خاک محسوب می‌شود که پیامدهای ناخواسته آن را می‌توان به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات امروزی زیست‌بوم‌های مختلف تلقی نمود [۴۸]. با توجه به رشد جمعیت و نیاز به امنیت غذایی، فرسایش خاک به عنوان یک مشکل جهانی قلمداد شده و در کشورهای در حال توسعه این مشکل حادتر است. لذا، اعمال روش‌های مدیریتی مناسب برای مهار فرسایش خاک از اهمیت بالایی در مدیریت و حفظ منابع طبیعی برخوردار است. یکی از راه‌کارها و فناوری‌های جدید برای مهار فرسایش خاک، استفاده از اصلاح‌کننده‌های اقتصادی و دوست‌دار محیط‌زیست است. مدیریت و حفاظت منابع آب و خاک برای رفاه انسان بسیار حیاتی بوده و در حال حاضر استفاده عاقلانه و همچنین مدیریت درست آن‌ها پیش از مواجهه با تقاضاهای بالا برای تولید مواد غذایی و برآورده کردن نیازهای ازدیاد جمعیت، مهم‌تر از هر زمان دیگری است [۶]. از آنجایی که مهار زیستی، مدیریتی فرسایش خاک و استفاده از پوشش گیاهی بومی و یا غیر بومی در شرایط بحرانی و به ویژه مناطق مستعد به فرسایش بسیار سخت و است، از میان اقدامات مختلف مدیریتی

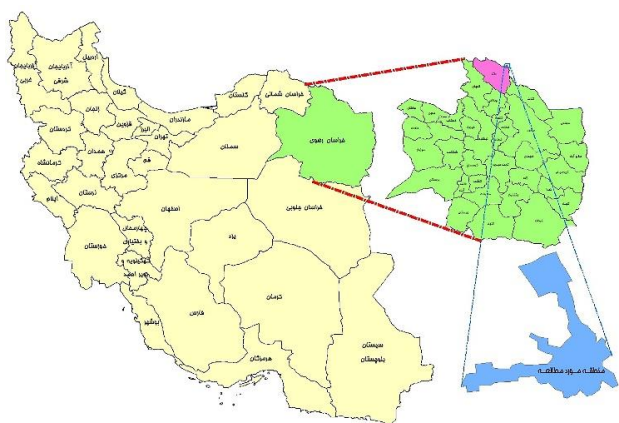
موجود، لازم است روش‌هایی به کار گرفته شوند که بتوان خاک را در محل خود و در اولین گام‌های تأثیر عوامل فرساینده حفاظت نمود. لذا استفاده از مواد تثبیت‌کننده و یا مقاوم‌کننده خاک یکی از راه‌حل‌های حفاظت خاک تلقی می‌شود. استفاده از افزودنی‌های خاک با داشتن محاسنی از جمله منبع مواد غذایی و ماده آلی برای خاک [۱۷ و ۴۴]، پایدار نمودن خاک‌دانه‌ها و جلوگیری از جدا شدن آن‌ها، افزایش خلل و فرج خاک و نفوذپذیری [۱۸]، ایجاد یک لایه محافظ در برابر قطرات باران [۲۵، ۵۰ و ۵۶] و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک [۴۵] می‌تواند فرآیند فرسایش را کنترل کرده و موجب کاهش آن شوند [۵۲]. در همین زمینه شناخت انواع افزودنی‌ها و انتخاب مناسب آن‌ها اهمیتی به سزا دارد. بررسی‌ها نشان داده که افزودنی‌های آلی توانایی زیادی برای مهار رواناب و فرسایش خاک در مناطق تخریب یافته دارند [۱۸]. از طرفی افزایش مقاومت سطحی خاک و پایداری خاک با کاربرد افزودنی‌های غیرآلی مانند پلی وینیل استات و پلی‌آکریل‌امید [۱۷]. باعث کاهش فرسایش شده و به خصوص پلی‌وینیل استات در طبیعت کاملاً تجزیه شده [۳۸]. و هم‌چنین می‌تواند نقش زیادی در کاهش آلودگی منابع آبی داشته باشد [۵۱].

از سویی دیگر باید به این نکته نیز توجه نمود که این افزودنی‌ها تأثیر مخربی بر خاک نداشته باشند. بنابراین می‌توان از آن دسته ویژگی‌های خاک که حساس به تغییرات مدیریتی هستند به عنوان شاخص کیفیت خاک بهره جست و نهایتاً به سلامت خاک پی برد. شاخص‌های سلامت خاک یک مجموعه ترکیبی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی قابل اندازه‌گیری است که مربوط به فرایندهای عملکردی خاک است و می‌تواند برای ارزیابی وضعیت سلامت خاک، مورد استفاده قرار گیرند. برخی شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک عبارتند از: بافت، میزان نفوذ و زهکشی آب، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، سطح نیتروژن و فسفر، پایداری خاک‌دانه‌ها، هدایت الکتریکی، چگالی، محتوای ماده آلی خاک و بیوماس میکروبی. توازن پایدار فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی باعث بهبود سلامت خاک می‌شود [۲ و ۴].

این پژوهش بر روی خاک لسی انجام گرفته است. لس‌ها یکی از مهم‌ترین واحدهای رسوبی کواترنر قلمداد می‌شوند. به نظر می‌رسد خصوصیات شیمیایی، فیزیکی، عوامل توپوگرافی و آب و هوایی نقش تعیین‌کننده‌ای در شدت رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری این نهشته‌ها داشته باشند [۲۲]. بالوایه و همکاران [۵]. در زمینه ترکیب افزودنی‌ها اثرات جداگانه و ترکیبی بقایای لوبیای روغنی به عنوان افزودنی آلی و پلی وینیل استات به عنوان افزودنی غیرآلی بر رفتار هدررفت خاک و رواناب سطحی در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد استفاده از هر دو افزودنی به صورت جداگانه و ترکیبی باعث افزایش زمان شروع و خاتمه رواناب و کاهش ضریب رواناب، فرسایش خاک و غلظت رسوب شده است. صادقی و همکاران از ترکیب پلی‌آکریل‌امید (شش گرم

واقع در استان خراسان رضوی (شمال شرقی ایران) با مساحت در حدود ۳۵۶۴۲۰ هکتار و مختصات ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی و ۲۰ درجه و شش دقیقه طول شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا ۴۸۹ متر بوده، دارای اقلیم نیمه خشک و حداکثر بارندگی ۵۲۹ میلی‌متر و حداقل ۳۹۹ میلی‌متر و جهت وزش باد غالب از سمت غرب به شرق است.

رسوبات لسی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که دارند بسیار مورد توجه قرار دارند. از یک سو، سیلت زیاد در این رسوبات باعث حساسیت بالای آن‌ها به فرسایش شده است و فرسایش آبی در مناطق لسی یکی از عوامل تخریب و کاهش کیفیت خاک است. از سویی دیگر، این رسوبات در طول دوران زمین‌شناسی و به ویژه در کواترنر و هماهنگ با تغییرات اقلیمی تشکیل شده‌اند و به همین دلیل شاخص مناسبی از تغییرات اقلیمی هستند [۱۰ و ۶۳].



شکل ۱- موقعیت منطقه خاک جمع آوری شده در ایران

Fig 1. Area location of collected soil in Iran

به منظور آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، آزمایش‌های لازم از جمله اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط EC سنج، اسیدیته با pH سنج، کربن آلی توسط روش والکی بلک، بافت خاک به روش هیدرومتری، نیتروژن با دستگاه کج‌دال، فسفر قابل جذب با روش اولسن و به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم محلول در عصاره توسط دستگاه فلیم فتومتر انجام شد. نتایج آنالیز اولیه خاک در جدول (۱) آورده شده است.

تهیه و آماده‌سازی کرت‌های آزمایشی

به منظور آماده‌سازی خاک از روش پیشنهادی کوکال و سرکار [۳۰] و مشابه با پژوهش‌های موفق پیشین [۱۰ و ۴۸] استفاده شد. به همین منظور ابتدا نمونه‌های خاک در هوای محیط خشک و جهت حفظ پایداری نسبی خاکدانه‌ها از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد. برای انجام پژوهش حاضر از کرت‌هایی با عرض، طول و ارتفاع یک، دو و ۰/۲۵ متر استفاده شد. شیب مورد نظر نه درصد

بر مترمربع) و ورمی‌کمپوست (۲۴ گرم بر مترمربع) در مهار رواناب و فرسایش خاک بر روی خاک لومی رسی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که کلیه تیمارها اثر معنی‌داری بر کاهش رواناب، هدر رفت خاک و غلظت رسوب خروجی داشتند. همچنین تأثیر افزودن این مواد بر هدررفت خاک و غلظت رسوب بیش از اثر آن بر رواناب بود [۴۹]. پژوهش‌گران فواید استفاده از زغال زیستی را در برابر افزودنی‌های کودگاو، ورمی‌کمپوست را با و بدون کودهای غیرآلی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن کود گاو، ورمی‌کمپوست و زغال زیستی باعث کاهش تلفات نیتروژن و فسفر شد. نتایج نشان داد که استفاده از زغال زیستی برای کشاورزان مقرون به صرفه است و باعث افزایش کربن آلی، نیتروژن، فسفر و فعالیت آنزیمی خاک و کاهش نرخ هدررفت خاک شده بود [۲۴، ۳۴، ۳۵، ۳۷، ۵۴، ۶۱ و ۶۵].

کبده و همکاران اثر پلی‌آکریل‌آمید ترکیب شده با دیگر افزودنی‌ها را بر هدررفت آب و خاک در شمال غربی اتیوپی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بیشترین کاهش رواناب از تیمارهای پلی‌آکریل‌آمید به همراه زغال زیستی و پلی‌آکریل‌آمید آنیونی مشاهده شد. در حالی که بیشترین کاهش در هدررفت خاک از تیمارهای پلی‌آکریل‌آمید به همراه آهک و پلی‌آکریل‌آمید آنیونی مشاهده شد. ادغام پلی‌آکریل‌آمید با سایر افزودنی‌ها، پایداری ساختار خاک، محتوای رطوبت، pH خاک (پلی‌آکریل‌آمید به همراه آهک) و مواد آلی (پلی‌آکریل‌آمید به همراه زغال زیستی) را بهبود بخشید، که منجر به محیط مساعد برای رشد محصول (بازده زیست توده) و کاهش رواناب و فرسایش خاک شد [۲۸]. وو و همکاران اثر کاربرد زغال زیستی را در اراضی شیب‌دار لسی بررسی نمودند. در این مطالعه، ۱۲ بارش شبیه‌سازی شده توسط سه سطح زغال‌زیستی (صفر، سه و شش درصد)، دو حالت کاشت (کاشت مسطح معمولی، متقاطع) و دو سطح زیرین (لخت، چمن) طراحی شدند. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد سه و شش درصد زغال‌زیستی می‌تواند فرسایش خاک را در شیب لخت تشدید کند، اما کاشت چمن در سطوح زغال‌زیستی سه درصد، اثرات کاهشی خوبی بر اتلاف رسوب و نیتروژن دارد [۶۵].

با توجه به منابع مورد نظر می‌توان اظهار نمود که کاربرد افزودنی‌های آلی و غیرآلی بصورت جداگانه و ترکیبی برای حفاظت آب و خاک می‌تواند راهکار مفیدی باشد. پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی عملکرد جداگانه و ترکیبی از تأثیر افزودنی‌های آلی (زغال زیستی) و غیرآلی (پلی‌آکریل‌آمید و پلی‌وینیل استات) بر تغییرات رواناب و فرسایش بر روی خاک‌های لسی در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

انتخاب خاک و شدت بارندگی

پژوهش حاضر روی یک نمونه خاک لسی تهیه شده از لایه سطحی (صفر تا ده سانتی‌متر) منطقه لطف‌آباد شهرستان درگز و حساس به فرسایش انجام شد. منطقه مورد مطالعه شهرستان درگز

Table 1. Used loess soil characteristics for present study

مقدار Value	واحد Unit	پارامتر Parameter
17	(%) درصد	رس Clay
41	(%) درصد	سیلت Silt
42	(%) درصد	شن Sand
1.38	(mg/kg) میلی گرم بر کیلوگرم	(C) کربن
0.114	(mg/kg) میلی گرم بر کیلوگرم	(N) نیتروژن
16.8	(mg/kg) میلی گرم بر کیلوگرم	Lime آهک
11.42	(mg/kg) میلی گرم بر کیلوگرم	(P) فسفر
257	(mg/kg) میلی گرم بر کیلوگرم	(K) پتاسیم
7.95		pH اسیدیته
0.81	(dS/m) دسی زیمنس بر متر	(Ec) هدایت الکتریکی
1.4	(meq/L) میلی اکی والان در لیتر	(Na) سدیم محلول

اضافی نمونه‌ها تا حد امکان با استفاده از روش تخلیه حذف شده و باقیمانده رسوب از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شده و به داخل ظروف آلومینیومی با وزن مشخص انتقال داده شده و سپس در هوای محیط خشک شد. در نهایت اختلاف وزن نمونه‌های خشک شده با وزن اولیه ظرف آلومینیومی حاوی آن، با کمک ترازوی دقیق به عنوان وزن رسوب در نظر گرفته شده و از تقسیم میزان رسوب تولیدی به حجم رواناب، میزان غلظت رسوب محاسبه شد [۴۷، ۴۹ و ۴۹].

محاسبه مقدار افزودنی‌ها

در بررسی منابع از پژوهش‌های صورت گرفته، از پلی‌آکریل‌آمید آنیونی به میزان شش گرم بر مترمربع و به صورت پودری به سبب تأثیر آن در کاهش رواناب و رسوب [۱۹، ۲۶، ۳۱، ۴۲، ۴۹ و ۵۷] و همچنین، تأثیر معنی‌دار آن در مهار تشکیل سله و کاهش فرسایش خاک و رواناب [۲۱ و ۵۵] و نیز از پلی‌وینیل استات به میزان شش گرم بر مترمربع استفاده می‌شود. زغال زیستی حاصل از چوب درختان جنگلی به مقدار ۷۰۰ گرم در مترمربع [۱۳، ۱۴ و ۳۳]. استفاده شد.

اعمال بارندگی (شبیه‌سازی باران)

بعد از گذشت ۲۴ ساعت از زمان استفاده از ماده افزودنی متناسب با شرایط کاربرد آن در طبیعت و برقراری ارتباط مناسب آن با خاک، بارش باران مصنوعی متناسب با شدت بارندگی ۸۴ میلی‌متر بر ساعت و با تداوم نیم ساعته که بیشترین همبستگی را با میزان فرسایش خاک دارد [۴۶]. با استفاده از شبیه‌ساز باران از نوع F_1 روی کرت‌ها اجرا و نمونه‌برداری‌های لازم انجام شد. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

و حدوداً متناسب با شرایط عمومی منطقه استفاده شد. سپس برای ایجاد لایه نفوذناپذیر، تا عمق ۱۵ سانتی‌متری کرت‌ها از پوکه معدنی پر شد [۱۱، ۱۲ و ۲۷]. در ادامه خاک به ضخامت حدود ده سانتی‌متر در بخش بالایی کرت‌ها، قرار داده شد. به‌طوری‌که سطح نمونه خاک با سطح سرریز کرت‌ها یکسان باشد. سپس کوبیدگی لازم به وسیله غلطک تا رسیدن به جرم مخصوص ظاهری نمونه دست نخورده مورد مطالعه انجام گرفت [۱۸ و ۵۰].

ویژگی باران‌ساز مورد استفاده

تیمارهای حفاظتی در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از شبیه‌ساز باران بعد از گذشت ۲۴ ساعت از زمان استفاده از ماده افزودنی متناسب با شرایط کاربرد آن در طبیعت و برقراری ارتباط مناسب آن با خاک، بارش باران مصنوعی با استفاده از شبیه‌ساز باران از نوع F_1 متناسب با شدت بارندگی ۸۴ میلی‌متر بر ساعت و با تداوم نیم ساعته و کرت‌های ۱×۲ متر با شیب نه درصد به کار برده شد.

پس از هر رخداد بارش، حجم رواناب تولیدی با اندازه‌گیری مستقیم توسط استوانه مدرج تعیین شد. سپس نمونه‌های برداشت شده، رأس زمان در نظر گرفته شده از خروجی سطوح مطالعاتی به درون ظروف پلاستیکی جمع‌آوری شد. برای بدست آوردن ضریب رواناب ابتدا حجم کل بارش تولیدی در سطح کرت محاسبه و سپس از نسبت حجم رواناب خارج شده از هر کرت به کل ورودی، ضریب رواناب محاسبه شد. همچنین از اختلاف حجم کل بارش تولیدی و حجم رواناب خارج شده از هر کرت میزان نفوذ بدست آمد [۳ و ۲۳] مقدار هدر رفت خاک نیز از طریق روش برجاگذاری محاسبه شد [۴۷]. به این صورت که ظرف پلاستیکی حاوی رواناب و رسوب به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده می‌شود تا رسوب داخل آن به طور کامل ته‌نشین شود، سپس مقدار آب

تیمارهای پژوهش

تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق به صورت خلاصه در جدول (۲) آورده شده‌اند.

جدول ۲- تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش

Table 2. The treatments used in this research

حروف اختصاری	تیمار
Abbreviation	Treatment
AM+BIO	پلی آکریل آمید+ زغال زیستی
AM	پلی آکریل آمید
PV+BIO	پلی وینیل استات+ زغال زیستی
BIO	زغال زیستی
PV	پلی وینیل استات
NON	تیمار شاهد

تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات

به منظور تجزیه و تحلیل آماری، ابتدا بانک اطلاعاتی حاصل از نمونه برداری از رواناب و رسوب حاصل از کرت‌ها در نرم‌افزار Excel تشکیل و نمودارهای مورد نیاز رسم و روابط بین متغیرها بررسی شد. مقایسه‌های آماری با استفاده از آزمون ANOVA یا

کروسکال والیس، با توجه به سرشت نرمال یا غیرنرمال بودن داده‌ها در نرم‌افزار SPSS23 انجام شد. به همین منظور، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro Wilk به دلیل کمتر بودن داده‌های هر گروه از تیمارها از حد پنجاه داده آزمایش شد. داده‌های غیرنرمال از طریق یکی از روش‌های متداول تبدیل داده‌ها (لگاریتم، جذر و لگاریتم طبیعی) تبدیل و نرمال بودن آن‌ها مجدداً آزمایش شد. همچنین از آزمون همگنی واریانس Levene به منظور همگنی واریانس تیمارهای مختلف استفاده شد. در نهایت، پس از اخذ نتایج نهایی، تأثیر پذیری هر تیمار بررسی شد [۱۷ و ۲۷].

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک جهت تعیین سلامت خاک، از جمله پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر [۲۹]، pH [۶۰]، بافت خاک به روش هیدرومتری [۷]، کربن آلی به روش والکی بلک [۶۴]، نیتروژن به روش کج‌دال [۸]، فسفر به روش اولسن [۴۱]، پتاسیم به روش استات آمونیوم نرمال [۵۸] و بیوماس میکروبی به روش انکوباسیون نمونه تدخین شده با کلروفرم [۹] اندازه‌گیری شدند.

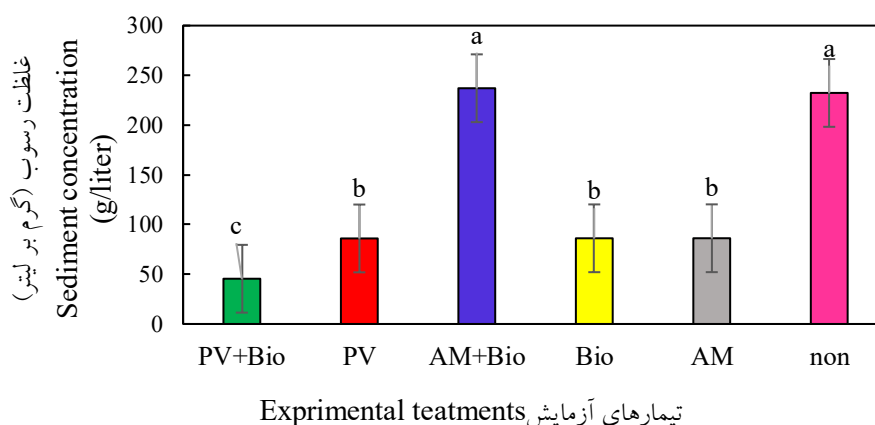
نتایج

نتایج آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت رسوب در جدول ۳ و شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه برای غلظت رسوب

Table 3. The results of One-way analysis of variance test for sediment concentration

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره	سطح معنی‌داری
(SOV)	(SS)	(df)	(MS)	(F)	
بین تیمارها (Treatment)	102899.86	5	20579.972	197.29	000
خطا (درون تیمارها) (Error)	1251.7366	12	104.31138		
کل (Total)	104151.59	17			



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت رسوب در سطح ۵ درصد

Fig 2. Results of the average comparison of effect of experimental treatments on sediment concentration

نتایج شکل (۲) حاکی از این است که تیمار زغال زیستی+پلی آکریل آمید اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد با شاهد نداشت. کاربرد تیمارهای مورد استفاده به صورت تنها باعث کاهش میزان غلظت رسوب شده است. میزان کاهش غلظت رسوب در سه تیمار زغال زیستی، پلی آکریل آمید و پلی وینیل استات در مقایسه با شاهد به ترتیب ۶۲/۸، ۶۲/۹ و ۶۲/۸ درصد بوده و این سه تیمار اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد از لحاظ آماری با یکدیگر نداشتند. بیشترین کاهش مقدار رسوب در تیمار ترکیبی پلی وینیل استات و زغال زیستی مشاهده شده است. نتایج نشان دهنده این است که با کاربرد تیمارهای حفاظتی غلظت رسوب کاهش یافته است.

ضریب رواناب

نتایج آزمون تجزیه واریانس و بررسی تأثیر تیمارهای آزمایشی بر ضریب رواناب در جدول ۴ و شکل ۳ نشان داده شده است. بر طبق این نتایج تمام تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق باعث کاهش میزان ضریب رواناب شده که این کاهش در مقایسه با شاهد (بدون افزودنی) اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد

داشت. اثر کاربرد جداگانه و هم چنین کاربرد دوتایی تیمارها تقریباً اثر مشابهی بر کاهش میزان ضریب رواناب داشته است. در بین کاربرد جداگانه تیمارها زغال زیستی بیشترین تأثیرگذاری بر کاهش این پارامتر داشته است (شکل ۳). بنابراین استفاده از تیمارهای حفاظتی از جریان یافتن رواناب در سطح خاک لسی جلوگیری نموده در نتیجه باعث افزایش زمان شروع رواناب و کاهش حجم رواناب شده و در نهایت منجر به کاهش ضریب رواناب می شود [۱۷ و ۲۸]. کاربرد هم زمان پلی وینیل استات و زغال زیستی هم توانست بیشترین تأثیر را بر کاهش ضریب رواناب داشته باشد. این تیمار، خاصیت چسبندگی و مقاومت سطحی خاک را افزایش داده در نتیجه حجم رواناب را کاهش داد که با نتایج غلامی و همکاران [۱۹] و واعظی و همکاران [۶۲] و بالوایه و همکاران [۵] مبنی بر افزایش مقاومت سطحی و پایداری خاکدانه ها مطابقت دارد.

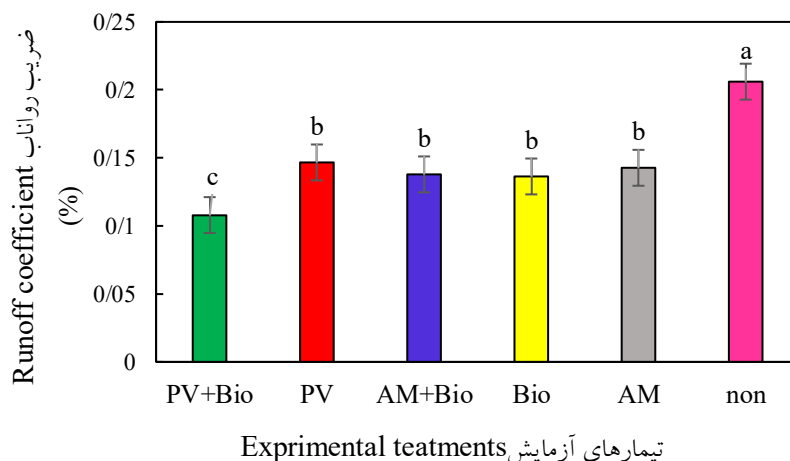
نفوذ آب در خاک

نتایج آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر نفوذپذیری در جدول ۵ و شکل ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه برای ضریب رواناب

Table 4. The results of One-way analysis of variance test for runoff coefficient

منابع تغییرات (SOV)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	آماره (F)	سطح معنی داری
بین تیمارها (Treatment)	0.015669	5	0.003134	41.341	000
خطا (درون تیمارها) (Error)	0.00091	12	7.58E-05		
کل (Total)	0.016579	17			



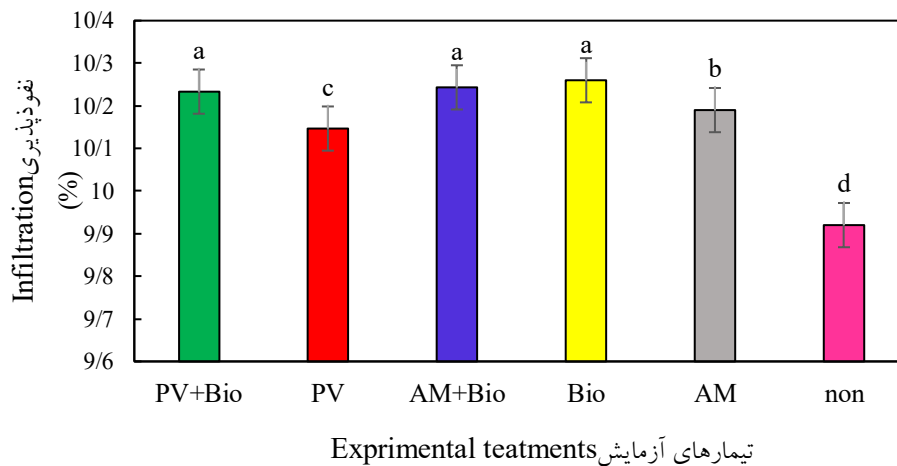
شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر ضریب رواناب در سطح ۵ درصد

Fig 3. Results of the average comparison of effect of experimental treatments on Runoff coefficient

جدول ۵- نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه برای نفوذپذیری

Table 5. The results of One-way analysis of variance test for permeability

منابع تغییرات (SOV)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	آماره (F)	سطح معنی داری
بین تیمارها (Treatment)	0.242444	5	0.04848	23.46237	000
خطا (درون تیمارها) (Error)	0.0248	12	0.00206		
کل (Total)	0.267244	17			



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر نفوذ در سطح ۵ درصد

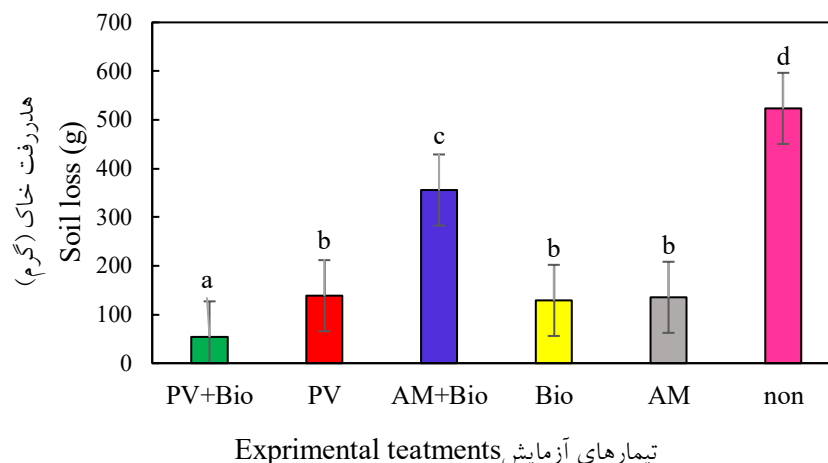
Fig 4. Results of the average comparison of effect of experimental treatments on penetration

مثبت استفاده از زغال زیستی بر کاهش رواناب، افزایش نفوذپذیری و هدررفت خاک را گزارش نموده و دلیل این امر را افزایش اندازه ذرات خاک در پی استفاده از این ترکیب بیان کردند.

فرسایش خاک

نتایج آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر هدررفت خاک در جدول ۶ و شکل ۵ ارائه شده است.

بررسی نتایج اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان نفوذ آب در خاک اندازه گیری شده در این تحقیق نشان داد که تمام تیمارهای به کار رفته در این مطالعه توانستند اثر مثبتی بر میزان نفوذ آب در خاک داشته باشند که این افزایش در زمان کاربرد هم زمان این تیمارها بیشتر بود. در بین کاربرد جداگانه تیمارها بیشترین تأثیر مربوط به زغال زیستی با میزان ۳/۴ درصد افزایش بود (شکل ۴). ژانگ و همکاران [۶۸] اثر



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر هدررفت خاک در سطح ۵ درصد

Fig 5. Results of the average comparison of effect of experimental treatments on soil loss

جدول ۶- نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه برای هدررفت خاک

Table 6. The results of One-way analysis of variance test for soil loss

منابع تغییرات (SOV)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	آماره (F)	سطح معنی داری
بین تیمارها (Treatment)	479983.3	5	95996.6	1937.152	000
خطا (درون تیمارها) (Error)	594.6667	12	49.5555		
کل (Total)	480578	17			

بحث و نتیجه گیری

نتایج بررسی تیمارهای مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد که به طور کلی به کار بردن افزودنی‌های آلی و غیرآلی به صورت جداگانه و هم‌زمان باعث کاهش میزان رسوب شدند. به طور کلی در مورد تأثیر تیمارهای به کار برده شده در این مطالعه بر میزان هدررفت خاک این گونه می‌توان گفت که اصلاح خصوصیات فیزیکی و حتی شیمیایی خاک باعث افزایش مقاومت آن در برابر فرسایش و عوامل فرساینده می‌شود. در مورد اهمیت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز می‌توان گفت که خصوصیات فیزیکی در درجه اول بوده و اصلاح آن‌ها اهمیت بیشتری در کاهش میزان فرسایش داشته؛ با این وجود تغییر و اصلاح خصوصیات شیمیایی خاک که توسط انواع افزودنی‌های آلی صورت می‌پذیرد نیز می‌تواند با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی نقش خود را در کاهش میزان فرسایش ایفا کند. اصلاح پارامترهای شیمیایی خاک ممکن است شرایط فیزیکی و فرسایش‌پذیری خاک را با تأثیر بر فرآیندهای مهم برای فرسایش، از جمله پراکندگی و تجمع، انسجام، کنده شدن، تورم و سله‌بندی سطح تغییر دهد. جدا شدن خاکدانه‌ها توسط قطرات باران یا آب جاری عمده‌تاً فیزیکی است. با این حال، شرایط خاک و رفتار آن نسبت به آب باران تا حد زیادی فیزیکوشیمیایی و وابسته به شیمی خاک و محلول خاک است [۴۰].

لی و همکاران [۳۲]، اثر پلی‌آکریل‌آمید را بر فرسایش خاک و رواناب آب در خاک‌های شیب‌دار مطالعه کرده و گزارش کردند که مقادیر بالاتر PAM به طور قابل توجهی باعث کاهش رسوبات و از دست دادن آب شد. اثربخشی و دوام پلی‌آکریل‌آمید برای کنترل فرسایش ورقه‌ای، کاهش رواناب و بهبود پایداری خاکدانه نیز گزارش شده است [۳۶]. در گزارش دیگری بیان شده که پلی‌آکریل‌آمید خاک‌های سیلتی و رسی را با پیوند زنجیره‌های پلیمری بلند رس با ذرات خاک تثبیت می‌کند [۵۹]. لی و همکاران [۳۳]، نشان دادند که استفاده هم‌زمان از زغال زیستی به همراه پلی‌آکریل‌آمید باعث افزایش میزان ذخیره آب و در نهایت کاهش میزان رسوب شده است. این محققین دلیل این امر را افزایش سطح در اثر افزودن زغال زیستی و همچنین ظرفیت بالای جذب آب پلی‌آکریل‌آمید بیان کردند. همچنین محققین کاهش میزان رواناب و رسوب را در زمان کاربرد زغال زیستی به

تنهایی و یا همراه با پلی‌آکریل‌آمید گزارش نمودند [۱ و ۵۳]. کبده و همکاران [۲۸]، تأثیر پلی‌آکریل‌آمید به همراه سایر افزودنی‌های آلی و غیرآلی بر میزان رواناب حاصل از باران را بررسی کرده و گزارش نمودند که بیشترین کاهش رواناب در تیمارهای پلی‌آکریل‌آمید به همراه زغال زیستی مشاهده شد در حالیکه بیشترین کاهش در هدررفت خاک از تیمار پلی‌آکریل‌آمید به همراه آهک مشاهده شد. این محققین همچنین گزارش کردند که استفاده جداگانه از زغال زیستی کاهش کمتری در رواناب و از دست دادن خاک به همراه داشت و دلیل این امر را این‌گونه بیان نمودند که ذرات زغال زیستی بزرگ‌تر به ویژه در آغاز فصل بارانی پس از خاک‌ورزی و کاربرد زغال زیستی به دلیل انسجام ضعیف‌تر با ذرات خاک و دوره کمون کوتاه‌تر، توسط رواناب حذف می‌شوند. نتایج پژوهش حاضر نیز با این پژوهش‌ها مطابقت دارد.

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های شیمیایی رسوب

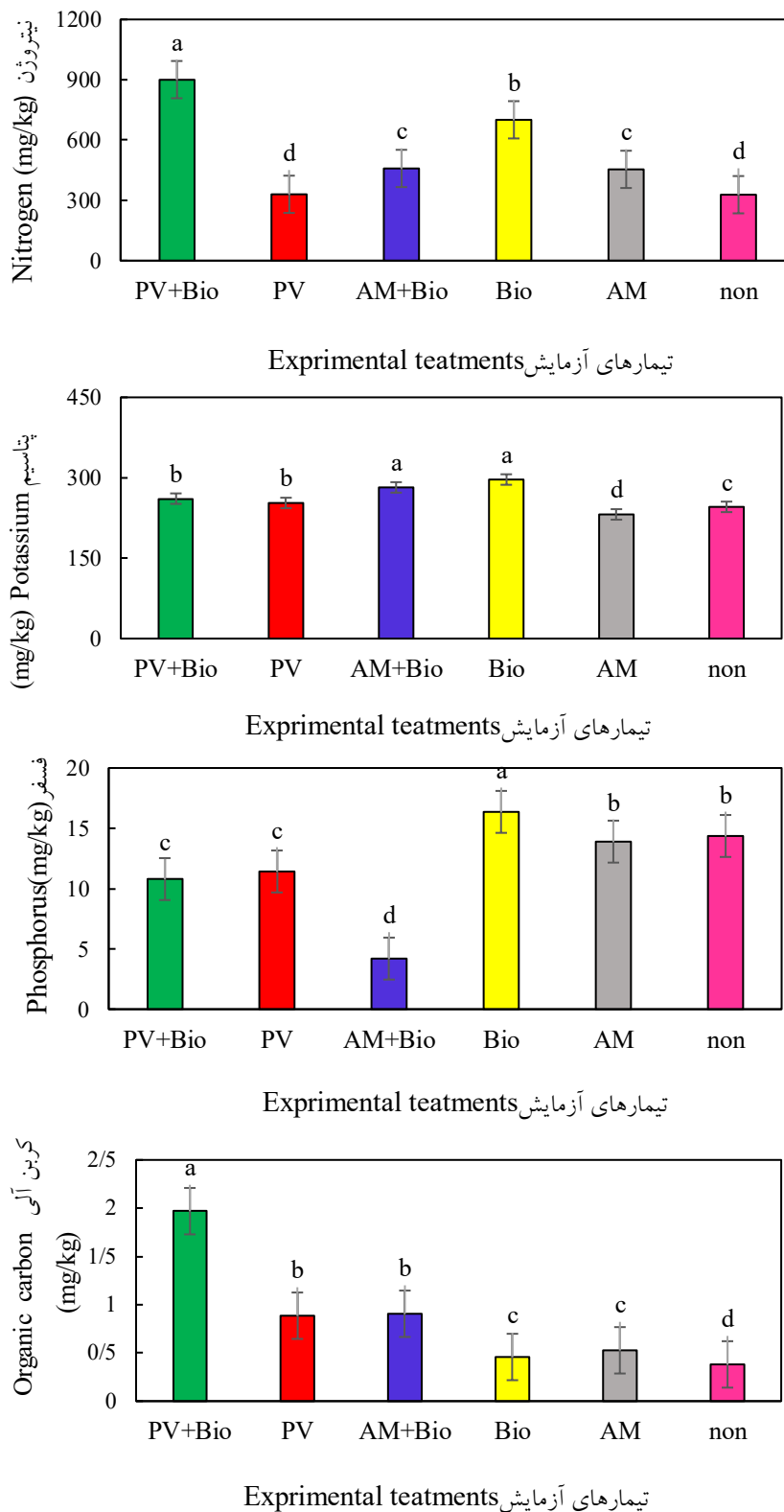
در شکل (۶)، تأثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات شیمیایی رسوب حاصله شامل کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و pH بررسی شده است.

به طور کلی تیمارهای مورد بررسی باعث افزایش میزان کربن آلی در رسوب حاصله شده‌اند که البته این افزایش در دو تیمار پلی‌آکریل‌آمید و پلی‌وینیل‌استات در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت. استفاده از افزودنی آلی تأثیر بیشتری در مقایسه با افزودنی‌های غیرآلی، بر میزان کربن آلی رسوبات داشت. کاربرد تیمار آلی (زغال زیستی) باعث افزایش چشم‌گیر مقدار کربن آلی در رسوب حاصله شده است. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد هم‌زمان ترکیبات به کار برده در این مطالعه تأثیر بیشتری بر میزان کربن آلی رسوبات داشت.

تیمارهای به کار برده شده در این مطالعه باعث افزایش مقدار نیتروژن کل رسوب شده‌اند و این افزایش در تیمار پلی‌وینیل‌استات اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با شاهد نداشت. تیمار آلی به کار برده شده باعث افزایش میزان نیتروژن اندازه‌گیری شده در رسوب شد. چهار تیمار پلی‌آکریل‌آمید (سه درصد کاهش)، پلی‌وینیل استات (۲۰ درصد کاهش)، کاربرد هم‌زمان پلی‌آکریل‌آمید+زغال زیستی (۲۴/۸ درصد کاهش) و زغال زیستی+پلی‌وینیل استات (۱۸/۱

پتاسیم قابل دسترس در رسوبات حاصله شده‌اند که البته این افزایش در تیمار پلی‌وینیل استات در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد نداشت. کاربرد تیمار آلی (زغال زیستی) باعث افزایش چشم‌گیر مقدار کربن آلی در رسوبات حاصله شده است (شکل ۶).

درصد کاهش) باعث کاهش مقدار فسفر قابل دسترس در مقایسه با شاهد شدند که این مقدار کاهش در تیمار پلی‌آکریل‌آمید در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نداشت. به طور کلی تیمارهای مورد بررسی (به جز پلی‌آکریل‌آمید) باعث افزایش میزان



شکل ۶- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات شیمیایی رسوب در سطح ۵ درصد
Fig ۶. The effect of experimental treatments on chemical properties of sediment

میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت الک تر

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه در جدول ۷ و شکل ۷ ارائه شده است. تیمارهای مورد مطالعه بر میانگین وزنی قطر خاکدانه با الک تر نیز تأثیرگذار بودند و تمام تیمارهای مورد مطالعه باعث افزایش این پارامتر شدند. کاربرد جداگانه دو نوع افزودنی آلی و غیرآلی در این تحقیق باعث افزایش میزان این پارامتر در مقایسه با شاهد شده که به طور کلی این افزایش در حضور افزودنی آلی بیشتر بود. از بین افزودنی‌های مورد استفاده، زغال زیستی (۲۵/۶ درصد افزایش) و پلی‌وینیل استات (۲۱/۸ درصد افزایش) بیشترین تأثیر را در بین کاربرد جداگانه تیمارها داشتند و این در حالی بود که تیمار پلی‌آکریل‌آمید تأثیر معنی‌دار در مقایسه با شاهد نداشت (۱۶/۳ درصد افزایش) و اختلاف آن با این تیمار از لحاظ آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود. استفاده هم‌زمان تیمارهای آلی و غیرآلی باعث افزایش بیش‌تر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شدند. بهبود میانگین وزنی قطر

خاکدانه‌ها در زمان استفاده از ترکیبات آلی و غیرآلی توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است [۱۶] که سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و پلی‌آکریل‌آمید بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی و گزارش شد که با افزایش سطوح این دو ترکیب در خاک پایداری خاکدانه‌ها افزایش قابل‌توجهی در مقایسه با شاهد یافت. مطالعات زیادی به بررسی تأثیر مواد آلی به ویژه زغال زیستی بر خاک پرداخته و گزارش نمودند که افزودن این مواد آلی باعث افزایش حاصل‌خیزی، بهبود خصوصیات فیزیکی، افزایش محصول و در نهایت افزایش مقاومت در برابر فرسایش می‌شوند [۱۵ و ۶۰]. نتایج این پژوهش نیز با نتایج پژوهش‌های انجام شده مطابقت دارد.

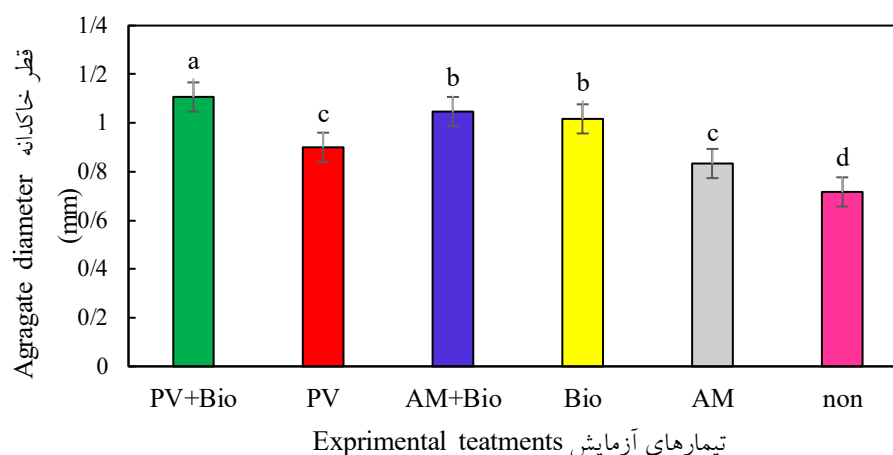
کربن بیوماس میکروبی

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر کربن بیوماس میکروبی خاک در جدول ۸ و شکل ۸ ارائه شده است.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس یکطرفه برای قطر خاکدانه

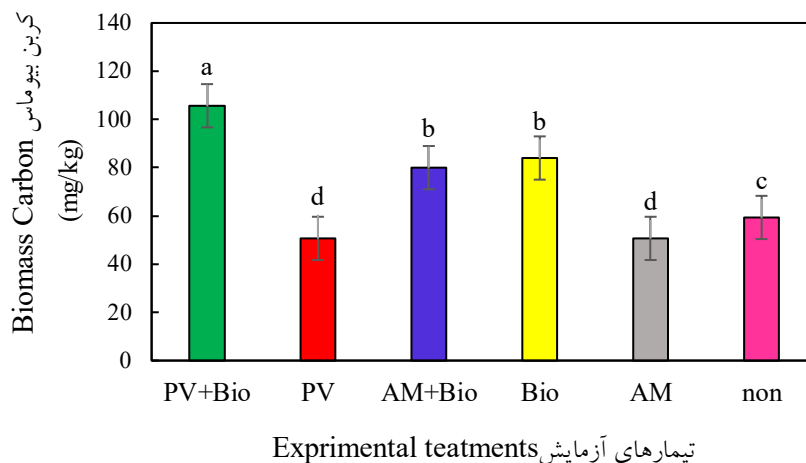
Table 7. The results of One-way analysis of variance test for Mean weight diameter

منابع تغییرات (SOV)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	آماره (F)	سطح معنی‌داری
بین تیمارها (Treatment)	1.435	5	0.287	31.89	.000
خطا (درون تیمارها) (Error)	0.116	12	0.009		
کل (Total)	1.551	17			



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه در سطح ۵ درصد

Fig 7. Results of the average comparison of effect of experimental treatments on Mean weight diameter



شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر کربن بیوماس میکروبی خاک در سطح ۵ درصد
Fig 8. Results of the average comparison of effect of experimental treatments on soil microbial biomass carbon

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس یک طرفه برای کربن بیوماس میکروبی

Table 8. The results of One-way analysis of variance test for soil microbial biomass carbon

منابع تغییرات (SOV)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	آماره (F)	سطح معنی داری
بین تیمارها Treatment	16666.66	5	3333.3	79.782	0.00
خطا (درون تیمارها) Error	501.333	12	41.78		
کل Total	17168.00	17			

همبستگی

بررسی نتایج همبستگی بین پارامترهای اندازه گیری شده در رسوبات حاصله در جدول ۹ گزارش شده است. بر طبق این نتایج بیشترین میزان همبستگی مثبت و معنی دار بین کربن آلی و نیتروژن رسوبات مشاهده شد. بیشترین میزان همبستگی منفی نیز بین هدر رفت خاک و کربن آلی و نیتروژن بود. هدر رفت خاک با دو پارامتر فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس رسوب همبستگی معنی دار نداشت و این در حالی بود که با چهار پارامتر نیتروژن کل (۰/۵۵)، کربن آلی (۰/۵)، بیومس میکروبی (۰/۴۲) و پایداری خاکدانه (۰/۴) همبستگی منفی و معنی داری داشت.

به طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از افزودنی های آلی و غیر آلی به صورت جداگانه و ترکیبی توانست باعث کاهش غلظت رسوب تا ۹۴/۶۹ درصد، کاهش ضریب رواناب تا ۵۹/۲ درصد و کاهش فرسایش خاک تا ۸۹/۶ درصد، افزایش میزان نفوذپذیری آب تا ۵/۳ درصد، افزایش pH تا ۷/۹ درصد و افزایش مقدار کربن آلی تا ۲/۹ درصد می شود. میزان هدررفت سه عنصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ویژه در تیمارهای آلی نسبت به شاهد افزایش داشت. براساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، بهترین تیمار استفاده همزمان پلی وینیل استات و زغال زیستی بوده است. در مجموع می توان اظهار داشت که استفاده از زغال زیستی،

نتایج حاکی از این مطلب بود که کاربرد جداگانه و همزمان این ترکیبات باعث تغییر در میزان کربن بیوماس میکروبی شده که این تغییر در دو تیمار پلی آکریل آمید و پلی وینیل استات کاهش و در سایر تیمارها افزایشی بود (شکل ۸). حضور زغال زیستی چه به صورت تنها و چه به صورت کاربرد همزمان با سایر تیمارها باعث افزایش بیشتر میزان کربن بیوماس میکروبی در رسوبات شد. نتایج بررسی تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که استفاده از ترکیبات آلی و غیر آلی بر خصوصیت زیستی مورد اندازه گیری نیز تأثیرگذار بوده و این تأثیرات هم کاهش و هم افزایشی بود. استفاده از ترکیباتی مانند زغال زیستی به دلیل دارا بودن میزان ماده آلی بالا بر خصوصیات زیستی خاک اثر مثبتی داشته و باعث افزایش فعالیت ریزجانداران و به تبع آن افزایش پارامترهایی مانند کربن بیومس میکروبی می شود. در سایر مطالعات، گزارشات انجام شده توسط سایر محققین نیز نشان از اثر مثبت این ترکیبات بود. محققین گزارش کردند که اصلاح خاک با زغال زیستی می تواند خواص فیزیکی و شیمیایی زیستگاه ریزجانداران را تغییر دهد و بنابراین بر فعالیت میکروبی خاک و ساختار جامعه تأثیر می گذارد [۴۳ و ۶۶]. دگرگونی جوامع میکروبی می تواند با تغییر گردش عناصر غذایی و استفاده آن ها پس از افزودن زغال زیستی همراه باشد [۳۹]. ترکیب زغال زیستی می تواند منجر به بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک شود [۵۴ و ۶۱].

جدول ۹- نتایج همبستگی بین پارامترهای اندازه گیری شده در رسوبات حاصله

Table 9. Results of Correlation between parameters measured in sediment

بیومس میکروبی	پایداری خاکدانه Aggregate Stability	پتاسیم (K)	فسفر (P)	نیتروژن (N)	کربن آلی (C)	هدر رفت خاک Soil loss	
-0.42**	-0.4**	-0.04ns	-0.03 ^{ns}	-0.55**	-0.5**	1	هدر رفت خاک
0.8**	0.72**	0.53**	0.08 ^{ns}	0.96**	1		کربن آلی
0.8**	0.7**	0.53**	0.15 ^{ns}	1			نیتروژن
0.15 ^{ns}	0.2 ^{ns}	0.58**	1				فسفر
0.64**	0.71**	1					پتاسیم
0.81**	1						پایداری خاکدانه
1							بیومس میکروبی

rainfall simulation experiment. Journal of Soils and Sediments, 16(12): 2709-2719.

2. Allen, D. E. Singh, B. P. and Dalal, R. C. 2011. Soil health indicators under climate change: a review of current knowledge. Soil health and climate change. 25-45.

3. Ashgevar Heydari M., Sadeghi, S. H.R and Jafarpoor, A. 2023. Hydrological properties of rill erosion on a soil from a drought-prone area during successive rainfalls as a result of microorganism inoculation. Sustainability, 15(19), 14379.

4. Awale, R. Emeson, M. A. and Machado, S. 2017. Soil organic carbon pools as early indicators for soil organic matter stock changes under different tillage practices in Inland Pacific Northwest. Frontiers in ecology and evolution. 5, 96.

5. Balvaieh, A. Gholami, L. Shokrian, F. and Kavian, A. 2022. Effects Study of Individually and Combinied of Soil Conditioners on Response of Soil Loss and Surface Runoff. Journal of Watershed Management Research, 13(25): 21-29. (In Persian)

6. Blanco, H. and Lal, R. 2008. Principles of soil conservation and management (Vol. 167169). New York. Springer.

7. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal, 54(5), 464-465.

8. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1983). Nitrogen—total. Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties, 9, 595-624.

9. Brookes, P. C., Landman, A., Pruden, G., and Jenkinson, D. S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass

پلی وینیل استات و پلی آکریل آمید آبیونی به صورت جداگانه و ترکیبی با هدف بررسی اثر آن‌ها در حفاظت خاک و آب و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، می‌تواند راهکاری مفید، کارا و مؤثر باشد. در نهایت استفاده از افزودنی‌های دیگر و سطوح مختلف در اراضی در حال فرسایش و یا فرسایش یافته و در عرصه پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه تربت حیدریه به سبب همکاری در انجام آزمایشات شبیه سازی در آزمایشگاه حفاظت خاک سپاسگزاریم.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

ایلین پورآزاد: انجام آزمایشات شبیه سازی، تحلیل‌های نرم افزاری و آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله

علی نجفی نژاد: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله و ویرایش نهایی و کنترل نتایج

مریم آذرخشی: راهنمایی و کمک در انجام آزمایشات شبیه سازی و بازبینی مقاله

علی محمدیان بهبهانی: مشاوره در هنگام آزمایشات و بررسی و بازبینی مقاله

منابع مورد استفاده

1. Abrol, V. Ben-Hur, M. Verheijen, F. G. Keizer, J. J. Martins, M. A. Tenaw, H. and Graber, E. R. 2016. Biochar effects on soil water infiltration and erosion under seal formation conditions:

Using polyacrylamide to mitigate post-fire soil erosion. *Geoderma*. 239: 107-114.

22. Jafari Hanar, A. Kiyani, F. and Khormali, F. 2015. The effect of different climates on the change of loamy soil erodibility indices in Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation Research*. 22(1): 49-70 (In Persian)

23. Jafarpour, A. Sadeghi, S. H.R ZareiDarki, B. and Homae, M. 2022. Changes in morphologic, hydraulic, and hydrodynamic properties of rill erosion due to surface inoculation of endemic soil cyanobacteria. *Catena*, 208, 105782.

24. Jing, F. Chen, X. Wen, X. Liu, W. Hu, S. Yang, Z. and Xu, Y. 2020. Biochar effects on soil chemical properties and mobilization of cadmium (Cd) and lead (Pb) in paddy soil. *Soil Use and Management*. 36(2): 320-327.

25. Kalehoei, M. Kavian, A. Gholami, L. and Jafarian Z. 2019. Affectability of time to runoff and runoff coefficient in small laboratory plots to application of organic mulch. *Jwmseir*. 13 (47): 9-17(In Persian)

26. Karimi, Z. Sadeghi, S.H.R. and Bahrani, H. A. 2014. Changes in the production of runoff during rain due to the application of powder and solution of different levels of polyacrylamide. *Iran water and soil research*. 46(3): 453-443. (In Persian)

27. Kavian, A. L. Gholami, M. Mohammadi, V. Spalevic and M. Falah Soraki. 2018. Impact of wheat residue on soil erosion processes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2): 553-562.

28. Kebede, B. Tsunekawa, A. Haregeweyn, N. Tsubo, M. Muluallem, T. Mamedov, A. I. and Masunaga, T. 2022. Effect of Polyacrylamide integrated with other soil amendments on runoff and soil loss: Case study from northwest Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*. 10(3): 487-496.

29. Kember, W.D. and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425-442. In A. Klute (ed). *Methods of soil analysis*. ASA and SSSA,

30. Madison. W127. Kukal, S. and Sarkar, M. 2011. Laboratory simulation studies on splash erosion and crusting in relation to surface roughness and raindrop size. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 59: 87-93.

31. Laughlin, Mc. and Richard, A. 2006. Evaluation of erosion control products with and without added polyacrylamide. *Journal of the American Water Resources Association*. 10 p.

32. Lee, S. S. Gantzer, C. J. Thompson, A. L. and Anderson, S. H. 2011. Polyacrylamide efficacy for reducing soil erosion and runoff as influenced by slope. *Journal of soil and water conservation*.

nitrogen in soil. *Soil biology and biochemistry*, 17(6), 837-842.

10. Chen, J. Liu, X. Zheng, J. Zhang, B. Lu, H. Chi, Z. and Yu, X. 2013. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology*. 71: 33-44.

11. Darboux, F. Davy, Ph. GascuelOdoux, C. and Hung, C. 2001. Evolution of soil surface roughness and flowpath connectivity in overland flow experiments. *Catena*. 46: 125-139.

12. Defersha, M.B. and Melesse, A.M. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*. 90: 47-52.

13. Doan, T. T. Henry-des-Tureaux, T. Rumpel, C. Janeau, J. L. and Jouquet, P. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*. 514: 147-154.

14. Farhoudi, M.H. Bazarafshan, O. Aghabeigi Amin, S. Holisaz, A. and Esmailpour, Y. 2018. The effect of organic amendments (biochar and sheep manure) in reducing runoff and soil erosion. *Watershed Management Research*, 31(4): 20-30. (In Persian)

15. Ferreras, L. Gomez, E. Toresani, S. Firpo, I. and Rotondo, R. 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource technology*. 97(4): 635-640.

16. G El-Alsayed, S. and M Ismail, S. 2017. Impact of soil amendments and irrigation water on growth and flowering of Rosa plant grown in sandy soil *Rosa hybrida*. *Alexandria Science Exchange Journal*. 38(July-September): 626-641.

17. Gholami, L. Sadeghi, S.H.R. and Homae, M. 2014. The effect of rice straw on running time and rainfall runoff coefficient. *Iranian Water Research Journal*. 8(15): 33-40 (In Persian).

18. Gholami, L. Khaledi Darvishan, A. and Kavian, A. 2016. Wood chips as soil conservation in field conditions. *Arabian Journal of Geosciences*. 9(19):1-11.

19. Gholami, L. Z. Haghjoo, A. Kavian and S.R. Mosavi. 2019. Effect of Polyvinyle Acetate polymer on soil surface resistance variations. *Watershed Management Research*. (121): 84-93 (In Persian).

20. Hazbavi, Z. Sadeghi, S.H.R. and Younesi, H. 2012. Analysis and assessing effectability of runoff components from different levels of polyacrylamide. *Water and Soil Resources Conservation Journal*, ISSN 2251-7480. 2(2): 1-13. (In Persian)

21. Inbar, A. Ben-Hur, M. Sternberg, M. and Lado, M. 2015.

2014. Impact of biochar on mineralisation of C and N from soil and willow litter and its relationship with microbial community biomass and structure. *Biology and Fertility of Soils*. 50(4): 695-702.
44. Ramos, M. C. Quinton, J. N. and Tyrrel, S. F. 2006. Effects of cattle manure on erosion rates and runoff water pollution by faecal coliforms. *Journal of Environmental Management*. 78(1): 97-101.
45. Rasoulzadeh, A. and Yaghoubi, A. 2010. Effect of cattle manure on soil physical properties on a sandy clay loam soil in North-West Iran. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 8(2): 976-979.
46. Refahi, H. 2014. Water erosion and its control hydrology (7th Ed.). The Tehran University Press, Tehran, 674p. (In Persian)
47. Sadeghi, S.H.R. and Saeidi, P. 2010. Reliability of sediment rating curves for a deciduous forest watershed in Iran, *Hydrological Sciences Journal*. 55(5): 821-831.
48. Sadeghi S.H.R. Hazbavi, Z. Younesi, H. and Behzadfar, M. 2013. Trend of soil loss and sediment concentration changeability due to application of polyacrylamide. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*. 2(4): 53-67. (In Persian)
49. Sadeghi, S.H.R. Karimi, Z. and Hashemi Arian, Z. 2014. The combined use of polyacrylamide and vermicompost to control runoff and soil erosion. *Journal of watershed engineering and management*. 9(1): 1-10. (In Persian)
50. Sadeghi, S. H. R. Gholami, L. Homaei, M. and Khaledi Darvishan, A. 2015. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Solid Earth*. 6(2): 445-455.
51. Sadeghi, S. H. Kheirfam, H. Homaei, M. Darki, B. Z. and Vafakhah, M. 2017. Improving runoff behavior resulting from direct inoculation of soil micro-organisms. *Soil and Tillage Research*. 171: 35-41.
52. Sadeghi, S.H.R. Hazbavi, Z. Gholami, L. and Khaledi Darvishan, A. 2017. Soil and water conservation using amendments (1th Ed.). Tarbiat Modares University Press. 467p. (in Persian)
53. Saffari, N. Hajabbasi, M. A. Shirani, H. Mosaddeghi, M. R. and Mamedov, A. I. 2020. Biochar type and pyrolysis temperature effects on soil quality indicators and structural stability. *Journal of environmental management*. 261, 110190.
54. Scotti, R. Bonanomi, G. Scelza, R. Zoina, A. and Rao, M. A. 2015. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of soil science and plant nutrition*. 15(2): 333-352.
55. Shainberg, I. Warrington, D. N. and Rengasamy, P. 1990. Water quality and PAM interactions in reducing surface sealing. *Soil Science and Society of America Journal*. 54(3): 172-177.
33. Lee, S. S. Shah, H. S. Awad, Y. M. Kumar, S. and Ok, Y. S. 2015. Synergy effects of biochar and polyacrylamide on plants growth and soil erosion control. *Environmental Earth Sciences*. 74(3): 2463-2473.
34. Li, Y. Feng, G. Tewolde, H. Yang, M. and Zhang, F. 2020. Soil, biochar, and nitrogen loss to runoff from loess soil amended with biochar under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*. 591: 125318.
35. Lu, S. Wang, Z. Hu, Y., Liu, B. and Liu, J. E. 2018. Effectiveness and durability of polyacrylamide (PAM) and polysaccharide (Jag C 162) in reducing soil erosion under simulated rainfalls. *Water*. 10(3): 257.
36. Mahmoudian Choplou, A. Niknahad Gharmakher, H. and Yousefi, H. 2019. Production of biochar from pruned peach tree branches and leaves and its quality characteristics at different temperatures. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 27(3): 105-124. doi: 10.22069/jwsc.2020.17476.3294. (In Persian)
37. Menesi, A. M., & Hussien, M. S. 2023. Biochar Ash and Manure Mixture Impacts on some Soil Physical Properties and Landscape Quality. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 14(9), 247-254.
38. Movahedan, M. Abbasi, N. and Keramati, M. 2011. Laboratory investigation of the effect of polyvinyl acetate polymer on soil wind erosion control. *Journal of Water and Soil*. 25(3):606-616. (In Persian)
39. Nielsen, S. Minchin, T. Kimber, S. van Zwieten, L. Gilbert, J. Munroe, P. and Thomas, T. 2014. Comparative analysis of the microbial communities in agricultural soil amended with enhanced biochars or traditional fertilisers. *Agriculture, ecosystems & environment*. 191: 73-82.
40. Norton, D. Shainberg, I. Cihacek, L. and Edwards, J. H. 2018. Erosion and soil chemical properties. *Soil quality and soil erosion*. 39-56.
41. Olsen, Y., Reinertsen, H., Sommer, U., and Vadstein, O. 2014. Responses of biological and chemical components in North East Atlantic coastal water to experimental nitrogen and phosphorus addition—A full scale ecosystem study and its relevance for management. *Science of the total environment*, 473, 262-274.
42. Prats, S. A. Martins, M. A. Malvar, M. C. Ben-Hur, M. and Keizer, J.J. 2014. Polyacrylamide application versus forest residue mulching for reducing post-fire runoff and soil erosion. *Science of the Total Environment*. 468-469(15):464-474.
43. Prayogo, C. Jones, J. E. Baeyens, J. and Bending, G. D.

63. Verachtert, E. Van Den Eeckhaut, M. Poesen, J. and Deckers, J. 2010. Factors controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess-derived soils: A case study from central Belgium. *Geomorphology*. 118 (3): 339-348.
64. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
65. Wu, L. Liu, X. Yu, Y. and Ma, X. 2022. Biochar, grass, and cross-ridge reshaped the surface runoff nitrogen under consecutive rainstorms in loessial sloping lands. *Agricultural Water Management*. 261, 107354.
66. Xu, H. J. Wang, X. H. Li, H. Yao, H. Y. Su, J. Q. and Zhu, Y. G. 2014. Biochar impacts soil microbial community composition and nitrogen cycling in an acidic soil planted with rape. *Environmental science & technology*. 48(16): 9391-9399.
67. Yadav, V. Karak, T. Singh, S. Singh, A. K. and Khare, P. 2019. Benefits of biochar over other organic amendments: responses for plant productivity (*Pelargonium graveolens* L.) and nitrogen and phosphorus losses. *Industrial Crops and Products*. 131: 96-105.
68. Zhang, F. Huang, C. Yang, M. Zhang, J. and Shi, W. 2019. Rainfall simulation experiments indicate that biochar addition enhances erosion of loess-derived soils. *Land Degradation & Development*. 30(18): 2272-2286.
- Soil Science. 149: 301-307.
56. Shi, Z.H. Yue, B.J. Wang, L. Fang, N.F. Wang, D. and Wu, F.Z. 2013. Effects of mulch cover rate on interrill erosion processes and the size selectivity of eroded sediment on steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*. 77: 257-267.
57. Sojka, R. E. Bjorneberg, D. L. Entry, J. A. Lentz, R. D. and Orts, W. J. 2007. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Advances in agronomy*. 92: 75-162.
58. Stefan, C. P., Zhang, N., Sokabe, T., Rivetta, A., Slayman, C. L., Montell, C., & Cunningham, K. W. 2013. Activation of an essential calcium signaling pathway in *Saccharomyces cerevisiae* by Kch1 and Kch2, putative low-affinity potassium transporters. *Eukaryotic Cell*, 12(2), 204-214.
59. Thiele-Bruhn, S. Bloem, J. de Vries, F. T. Kalbitz, K. and Wagg, C. 2012. Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 4(5): 523-528.
60. Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*, 5, 475-490.
61. Trupiano, D. Coccozza, C. Baronti, S. Amendola, C. Vaccari, F. P. Lustrato, G. and Scippa, G. S. 2017. The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. *International Journal of Agronomy*. 2017(1): 3158207.
62. Vaezi, A, and Heydari, M. 2019. Investigating the Effect of Wheat Straw on Soil Loss by Rill Erosion in Furrows in Different Growth Stages of Rainfed Wheat. *Soil and water sciences*. 33(2): 127-139. (in persian)

Investigating the Effect of Combined and Separate Application of Organic and Inorganic Soil Amendments on Reducing Soil Erosion and Runoff in Loess Deposits

Aylin Pourazad¹, Ali Najafinejad^{2*}, Maryam Azarakhshi³ and Ali Mohammadian Behbahani⁴

Received: 4-12-2023 Accepted: 13-02-2024

Extended Abstract

Introduction

Soil erosion is one of the most important threats to soil quantity and quality that unwanted consequences can be considered as one of the biggest problems of different ecosystems today. Due to population growth and the need for food security, soil erosion is considered a global problem and this problem is more acute in developing countries. Therefore, applying appropriate management methods to control soil erosion is of great importance in managing and preserving natural resources. Since the biological and managerial containment of soil erosion and the use of native or non-native vegetation in critical conditions and especially in areas prone to erosion are very difficult or impossible to control, it is necessary to use methods among the various management measures available. to be able to protect the soil in its place and in the first steps of the effect of erosive factors on the soil matrix. One of the most important factors controlling runoff and soil erosion is the use of soil amendments. It should also be noted that these amendments do not have a destructive effect on the soil. Therefore, the present research was conducted with the aim of evaluating the separate and combined performance of organic (biochar) and inorganic amendments (polyacrylamide and polyvinyl acetate) on the changes in runoff and erosion on loess soils in the rain and erosion simulation laboratory.

Materials and methods

The soil used in this research was collected from the surface layer (zero to 10 cm) of the loess soil of the pasture lands of Ghozghan Valley, Daregaz city which is sensitive to erosion. After being transferred to the laboratory, to maintain the relative stability of the soil grains, they were passed through a 4 mm sieve. Plots with width, length and height of one, two and 0.25 meters were used for this research. The desired slope of 9% was used, which is roughly proportional to the general conditions of the region. Then, to create an impermeable layer, the plots were filled with mineral pumice to a depth of 15 cm. In order to carry out the present research, biochar treatment was used as an organic soil amendments, and polyacrylamide and polyvinyl acetate were used as inorganic soil amendments. Protective treatments were applied in laboratory conditions using a rain simulator with a rainfall intensity of 84 mm/h and with a duration of half an hour and plots of 1*2 m with a slope of 9%. In the review of sources from the researches, anionic polyacrylamide is used in the amount of six grams per square meter and in powder form due to its

1. Ph.D. Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

2. Corresponding author and Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University, Iran. najafinejad@gau.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Torbat Heydarieh University, Iran

4. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University, Iran.

effect in reducing runoff and sediment, as well as polyvinyl acetate in the amount of six grams per square meter. Biochar obtained from forest trees was used in the amount of 700 grams per square meter.

Results and Discussion

The use of protective treatments prevents runoff from flowing on the loess soil surface, as a result, it increases the start time of runoff and decreases the volume of runoff, and ultimately leads to a decrease in the runoff coefficient. The results of the studied treatments showed that the use of organic and inorganic compounds had an effect on the measured biological properties and these effects were both decreasing and increasing. The use of compounds such as biochar has a positive effect on the biological properties of soil due to its high organic matter content and increases the activity of microorganisms and consequently increases parameters such as microbial biomass carbon. The composition of biochar can lead to the improvement of the physicochemical and microbiological properties of the soil. The results showed that the use of organic and inorganic soil amendments separately and in combination was able to reduce the sediment concentration up to 94.69%, reduce the runoff coefficient up to 59.2% and reduce soil erosion up to 89.6%, increasing the Water permeability increases to 5.3%, pH increases to 7.9%, and organic carbon increases to 2.9%. The rate of loss of three food elements nitrogen, phosphorus and potassium increased, especially in organic treatments compared to the control. Based on the results obtained from this research, the best treatment is the combination use of polyvinyl acetate and biochar.

Conclusion

The results of examining the treatments studied in this research showed that, in general, using organic and inorganic amendments separately and in combination, reduced the amount of erosion. In general, regarding the effect of the treatments used in this study on the amount of soil loss, it can be said that modifying the physical and even chemical properties of the soil increases its resistance to erosion and erosive factors. Regarding the importance of the physical and chemical properties of the soil, it can be said that the physical properties are in the first place and their modification is more important in reducing the amount of erosion; Nevertheless, changing and modifying the chemical properties of the soil, which is done by various organic additives, can also play its role in reducing the erosion rate by affecting the physical properties. In general, it can be stated that the use of organic and inorganic soil amendments separately and in combination to protect water and soil can be a useful solution. Finally, it is suggested the use of other soil amendments and different levels in loess lands and check the quality and elements of runoff after adding treatments in the field.

Keywords: Soil amendments, Soil conservation, Runoff, Erosion, Ghazghan Valley.

Acknowledgement

We are grateful to Torbat Heydarieh University for providing a platform to conduct simulation experiments in the soil protection laboratory.



Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Aylin pourazad: Conducting simulation tests, software and statistical analysis, writing the first version of the article

Ali Najafinejad: Guiding, editing and revising the article, controlling the results

Maryam Azarakhshi: Guiding, helping in conducting simulation experiments and revising the article

Ali Mohammadian Behbahani: Counseling during tests and reviewing and revising the article