

کلیدواژه‌ها: حفاظت خاک، شبیه‌ساز باران، فرسایش خاک، نانورس مونت‌موریلونیت، زغال‌زیستی.

مقدمه

خاک بخش بسیار حیاتی محیط‌زیست است که هر ساله به دلیل افزایش جمعیت، محدودیت منابع، توسعه صنعتی و افزایش دخالت انسان در طبیعت از دست رفته و باعث اثرات مخرب درون و برون منطقه‌ای مانند سیل، رسوب‌زایی، افزایش خسارات جانی و مالی، کاهش بهره‌وری کشاورزی و اقتصادی و در نهایت مشکلات اجتماعی شده است [۶۲]. هدررفت خاک^۵ و رسوب تولیدی ناشی از آن از مشکلات پیچیده و کم شناخته‌شده محیط‌زیستی در سراسر جهان است و هر ساله ۷۵ میلیارد تن خاک از اراضی کشاورزی فرسایش می‌یابد [۱۰، ۱۴ و ۳۶]. باین‌حال مطالعه هدررفت خاک و نیز جلوگیری از هدررفت غیراصولی خاک در نتیجه برنامه‌ریزی برای حفاظت از منابع طبیعی امری بسیار مهم بوده و حفاظت از خاک گامی مهم در راستای توسعه پایدار است [۵۰ و ۵۲]. هدررفت خاک ناشی از فرسایش آبی می‌تواند با استفاده از پوشش مناسب در سطح خاک به‌طور موفقیت‌آمیزی کنترل شود [۶۹]. با توجه به نقش مخرب هدررفت خاک در کاهش تولیدات کشاورزی و منابع طبیعی [۵۵ و ۵۹] و پیامدهای محیط‌زیستی آن [۷ و ۶۶] انجام فعالیت‌های گسترده روی جنبه‌های تحقیقاتی و اجرایی ضروری است. امروزه حفاظت خاک^۶ و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقداماتی است که در هر کشوری بایستی به آن توجه خاصی مبذول داشت [۵۳ و ۵۵]. بررسی‌ها نشان داده است که پوشش گیاهی موجود در یک منطقه می‌تواند نقش مهمی در افزایش رواناب زیرقشری داشته باشد. تخمین جریان زیرقشری دامنه‌های حوزه‌های آبخیز به علت اینکه این جریان تابعی از مشخصات خاک، پوشش گیاهی، رطوبت اولیه و شدت نفوذ بارندگی به داخل خاک و عمق خاک می‌باشد از پیچیدگی خاصی برخوردار است. با توجه به منطقه خشکی که ایران در آن قرار دارد، تخمین مقدار نفوذ رواناب ناشی از بارندگی‌ها در پیش‌بینی سرعت تغذیه منابع زیرزمینی و برنامه‌ریزی هدفمند برای بهره‌برداری از آن از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد [۶۰]. در زمینه نفوذ و جریان زیرقشری حوزه‌های آبخیز، تحقیقات وسیعی به‌وسیله بون، فیوری و همکاران، مونتگومری و دیتریچ و موربیدلی همکاران انجام شده

بررسی تغییرات هدررفت خاک زیرقشری با کاربرد نانورس محلول و زغال‌زیستی در مقیاس کرت

نگار حسن‌زاده^۱، لایلا غلامی^۲، عبدالواحد خالدی درویشان^۳ و حبیب‌اله یونسی^۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۸

چکیده

خاک جهت تولید محصولات زراعی و مواد غذایی دارای اهمیت زیادی است. از مهم‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی در رابطه با خاک پدیده هدررفت خاک بوده و حفاظت از آن بسیار مهم می‌باشد. در شرایطی که امکان استقرار پوشش گیاهی وجود ندارد استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک می‌تواند در کنترل هدررفت خاک مفید باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب با استفاده از نانورس محلول مونت‌موریلونیت با مقادیر سه، شش و نه گرم بر مترمربع و زغال‌زیستی با مقدار ۱۶۰ گرم بر مترمربع روی خاک لومی-شنی انجام شد. آزمایش‌ها تحت شرایط آزمایشگاهی با استفاده از شبیه‌ساز باران با شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت در دانشگاه تربیت مدرس انجام شدند. نتایج نشان داد که نانورس محلول با مقدار نه گرم در مترمربع و زغال‌زیستی اثرات بیش‌تری بر تغییرات هدررفت خاک داشتند. تیمار موفق‌تر نانورس محلول توانست مؤلفه‌های هدررفت خاک سطحی، غلظت رسوب سطحی، هدررفت خاک زیرقشری و غلظت رسوب زیرقشری را به ترتیب ۸۹/۱۷، ۸۷/۴۱، ۱۳/۶۴ و ۸۷/۳۱ درصد کاهش دهد. همچنین زغال‌زیستی توانست مؤلفه‌های هدررفت خاک سطحی، غلظت رسوب سطحی، هدررفت خاک زیرقشری و غلظت رسوب زیرقشری را با مقادیر به ترتیب ۸۵/۲۷، ۶۳/۶۴، ۴۵/۲۰ و ۹۲/۸۸ درصد کاهش دهد.

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- ۲- نویسنده مسئول و استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. پست الکترونیک: Email: l.gholami@sanru.ac.ir
- ۳- دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.
- ۴- استاد، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.

5. Soil Loss

6. Soil Conservation

است [۱۲، ۲۲، ۴۵ و ۴۶]. از طرفی نیز کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک^۱ یکی از روش‌هایی هستند که می‌تواند در کنترل فرسایش خاک و افزایش نفوذپذیری موثر باشند. اولین اصلاح‌کننده خاکدانه‌های خاک در سال ۱۹۵۱ تولید شد و در قالب مقاله ویژه‌ای در مجله علوم خاک گزارش داده شد [۷۵]. بعد از سال ۱۹۹۰ اصلاح‌کننده‌های خاک روی نفوذ آب، فرسایش خاک و شکل پوشش مورد بررسی قرار گرفتند [۱۱، ۱۳ و ۲۵]. اخیراً روش‌های نوینی در تولید اصلاح‌کننده‌های خاک به‌کاربرده می‌شود که از طریق فناوری نانو به‌دست می‌آید. از جمله نانومواد که به‌طور گسترده در مواد مرکب پایه پلیمری مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به نانوذرات سیلیکا، نانورس، نانوالیاف پلیمری Electro-spun اشاره نمود. نانورس به‌دلیل قیمت پایین و همچنین ساخت ساده‌تر کاربرد فراوانی دارند [۵۶]. سطح مخصوص و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، دو خصوصیت مهم برای نانورس‌ها به‌شمار می‌رود. فناوری نانو می‌تواند در علم خاک کاربرد زیادی داشته باشد [۳۷]. نانورس‌ها، پودرهای رسی هستند [۷۰] که استفاده از آن‌ها می‌تواند راه‌کاری برای کاهش هدررفت خاک باشد [۴۲]. از میان انواع مختلف نانورس، نانورس مونت‌موریلونیت به‌دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی و تخلخل بیشتر کاربرد بیشتری دارد [۴۰]. تأثیر این افزودنی بر ویژگی‌های خاک از جمله انقباض و حجم کلی خاک [۷۳]، مقاومت فشاری خاک [۴۱]، نفوذ [۲۱]، تراکم‌پذیری خاک [۷۱]، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک [۶۱]، هدایت هیدرولیکی خاک [۶]، خواص ژئوتکنیکی خاک [۵]، قدرت خاک طی دوره انجماد [۹]، پایداری خاک شنی در برابر هدررفت بادی و کنترل هدررفت بادی [۲۹ و ۴۸] و پتانسیل پراکندگی خاک [۱] مورد بررسی قرار گرفته است. از طرف دیگر به‌منظور مدیریت و کاهش پسماندها می‌توان از آن‌ها در جهت تولید زغال‌زیستی برای اصلاح و بهبود خاک استفاده نمود. از بین افزودنی‌های آلی، زغال‌زیستی^۲ نیز شکل تغییر یافته حاصل از پیرولیز مواد آلی کربنی مختلف در شرایط بدون اکسیژن است که منجر تغییر ویژگی‌ها و بعضاً رفتار آن‌ها می‌شود. بنابراین، زغال‌زیستی می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی آلی خاک به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای [۳، ۱۹، ۲۳ و ۳۹]، نگهداری طولانی‌مدت محتویات کربن آلی خاک، حاصل‌خیزی خاک [۲۳]، تهویه خاک، بهبود باروری، افزایش بازدهی مواد مغذی و به‌حد اکثر رساندن بهره‌وری از محصولات زراعی [۸ و ۱۸] استفاده شود. در زمینه زغال‌زیستی نیز بررسی‌هایی بر ویژگی‌های خاک از جمله ویژگی‌های هیدرولیکی خاک [۹]، هدررفت خاک [۹ و ۴۹]، ویژگی‌های خاک [۷۴]، هدررفت مواد مغذی [۷۴] و آب‌نمود و رسوب‌نمود در رطوبت‌های وزنی مختلف [۳۱] مورد ارزیابی قرار گرفته است.

بررسی سوابق تحقیق در زمینه کاربرد افزودنی نانورس و زغال‌زیستی نشان می‌دهد استفاده از نانورس و زغال‌زیستی به‌عنوان

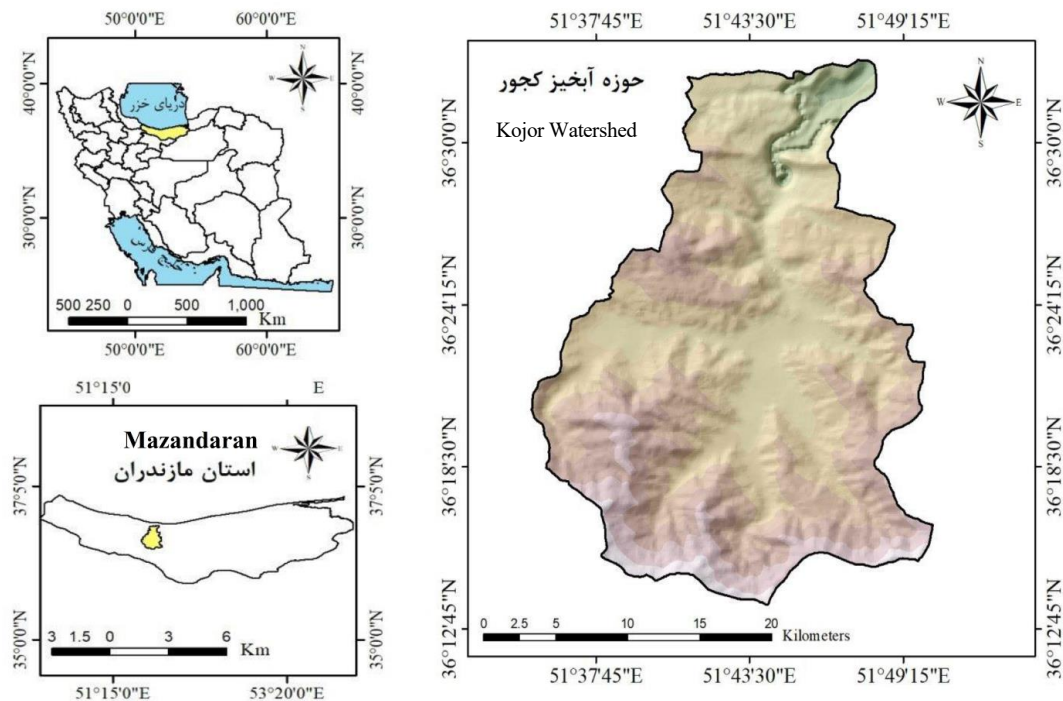
1. Soil Ammendments
2. Biochar

اصلاح‌کننده ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نوپا بوده و نانورس یک افزودنی نوظهور در جهت حفاظت خاک می‌باشد. از سویی دیگر بررسی‌ها نشان داد که بررسی جریان زیرقشری در حوزه‌های آبخیز دارای اهمیت زیادی است. اما تاکنون بررسی که اثر اصلاح‌کننده‌های خاک بر جریان زیرقشری را ارزیابی نماید ثبت نشده است. پژوهش حاضر به‌منظور مقایسه اثرات نانورس مونت‌موریلونیت با مقادیر سه، شش و نه گرم در مترمربع و زغال‌زیستی با مقدار ۱۶۰ گرم در مترمربع در شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت و در مقیاس کرت ۲۵×۵۰ سانتی‌متر بر حفاظت خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

- ویژگی‌های خاک مورد آزمایش و نحوه آماده‌سازی آن
پژوهش حاضر با استفاده از شبیه‌ساز باران در دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. خاک مورد آزمایش پس از جمع‌آوری از عمق ۲۰ سانتی‌متری به آزمایشگاه جهت آماده‌سازی انتقال داده شد. خاک مورد مطالعه از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری از منطقه ییلاقی کجور که از نظر موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه و ۴ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۴۴ دقیقه و ۹ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه و ۱۹ ثانیه شمالی و با ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد که در جنوب‌شرقی شهرستان نوشهر برداشت شد (شکل ۱) براساس منطقه‌بندی کوپن، پایین‌دست و بالادست حوزه آبخیز کجور از اقلیم مرطوب و معتدل خزری و مدیترانه‌ای برخوردار می‌باشد. هم‌چنین پوشش گیاهی دامنه مورد بررسی حاصل تبدیل جنگل‌های تنک بوده است. متوسط دمای سالانه منطقه، مربوط به نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (کجور) و طول دوره آمار ۲۰ ساله، ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد با بارندگی سالانه ۴۳۲ میلی‌متر و اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد می‌باشد.

- مشخصات و نحوه آماده‌سازی کرت‌های آزمایشگاهی
روش‌های متعددی برای آماده‌سازی خاک برای شرایط آزمایشگاهی پیشنهاد شده است [۳۰ و ۵۸]. برای همگن نمودن خاک از روش کوکال و سرکار [۳۲] به‌عنوان روش مینا استفاده شد. پس از هوا خشک کردن خاک تا حد رطوبت بهینه با حفظ پایداری نسبی خاکدانه‌ها، خاک از الک هشت میلی‌متر برای حذف بقایای گیاهی و سنگ و سنگ‌ریزه [۲۴] در نظر گرفتن مقادیر و دانه‌بندی خاکدانه برای افزایش تشابه با شرایط طبیعی خاک عبور داده شد [۲، ۱۷ و ۲۶]. سپس خاک در کرت‌ها بعد از قرارگیری پوکه معدنی در زیر خاک و با رعایت شرایط دانه‌بندی مناسب (برای شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی خاک) قرار گرفت. به‌منظور انجام این پژوهش از کرت‌های آزمایشی به طول، عرض و عمق به ترتیب ۰/۵ متر، ۰/۲۵ متر و ۰/۲ متر استفاده شد. به‌منظور شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی [۱۷ و ۲۵] کرت‌ها تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری با پوکه معدنی پر شده [۱۶ و ۱۷] سپس سطح پوکه‌ها با گونی کفنی پوشانده و اقدام استقرار خاک در کرت‌ها شد و طی سه مرحله اقدام به استقرار خاک در کرت‌ها شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه خاک جمع آوری شده در ایران، استان مازندران و شهرستان نوشهر
 Fig 1. Area location of collected soil in Iran, Mazandran province and Noshahr city

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مورداستفاده جهت پژوهش حاضر

Table 1. Used soil characteristics for present study

ماده آلی (درصد) Organic matter (Percent)	کربن (درصد) Carbon (Percent)	هدایت الکتریکی (μSm) Electrical conductivity (μSm)	pH	توزیع اندازه ذرات Particulate size distribution	بافت خاک Soil texture	
0.92	0.54	523	7.41	شن (درصد) Sand (Percent)	لومی-شنی Sandy-Lomay	
				سیلت (درصد) Silt (Percent)	رس (درصد) Loam (Percent)	
				60	22	18

زمینه فرآیند حفاظت خاک است، از سه مقدار سه، شش و نه گرم در مترمربع استفاده شد و برای آماده کردن نانورس محلول در مقدار مساوی به ترتیب ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ سی سی آب حل شده و پس از آن در سطح خاک اسپری شد. پس از آن کرت‌ها در شرایط اشباع به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند [۳۴]. نمونه‌های نانورس محلول با نمونه‌های تیمار شاهد در سه تکرار و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شدند.

– زغال زیستی

در پژوهش حاضر از زغال زیستی تهیه شده توسط پژوهشگران پیشین استفاده گردید [۳۱]. بدین منظور فاضلاب پس از خشک شدن در هوای آزاد، جهت تهیه زغال‌زیستی برای مدت سه ساعت و ۳۰ دقیقه در داخل کوره با دمای ۳۵۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. به منظور انجام آزمایش‌ها توسط زغال‌زیستی سطح کرت‌ها با زغال‌زیستی با مقدار ۱۶۰ گرم در مترمربع [۳۱] توسط الک دستی کوچک (یک میلی‌متر) پوشیده شد و سپس کرت‌ها در شرایط اشباع به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند [۶۱]. آزمایش‌ها برای مقدار زغال‌زیستی انتخابی در سه تکرار انجام شد. شکل (۲) نمایی

سپس در هر مرحله با ضربه‌های آرام توسط چکش اقدام به هواگیری خاک کرده و هم‌چنین سطح کرت‌ها برای رساندن به جرم مخصوص ظاهری نمونه دست‌نخورده با غلطک‌های مخصوص کوبیده شد [۲۶] و پس از این مرحله، به منظور تأمین شرایط رطوبت پیشین خاک و متناسب با شرایط طبیعی، حدود ۲۴ ساعت کرت‌های آماده‌شده تحت شرایط اشباع از کف قرار گرفت. سپس به مدت ۲۴ ساعت رها شد تا به حالت نزدیک به رطوبت ظرفیت زراعی برسد [۳۴]. جدول (۱) ویژگی‌های خاک مورد استفاده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

– نانورس مونت‌موریلونیت

در پژوهش حاضر از نانورس مونت‌موریلونیت (تهیه شده از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان) با چگالی، رنگ، مساحت سطح ویژه، اندازه و ضریب تبادل یونی به ترتیب ۰/۷-۰/۵ گرم بر سانتی‌متر مربع، زرد کم رنگ، ۲۷۰-۲۲۰ مترمربع بر گرم، ۱-۲ نانومتر، ۴۸ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰۰ گرم استفاده شد. به منظور انتخاب سطح بهینه نانورس مونت‌موریلونیت با توجه به اینکه یک افزودنی نوظهور در

از کرت‌های حفاظت‌شده توسط زغال‌زیستی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمایی از کرت‌های حفاظت‌شده با زغال‌زیستی با مقدار ۱۶۰ گرم بر مترمربع

Fig 2. View from conserved plots with biochar with rate of 160 g m^{-2}

شبه‌ساز باران و اجرای آزمایش‌ها

در پژوهش حاضر از شبه‌ساز باران قابل حمل استفاده شد [۳۳] که سامانه موردنظر دارای دو عدد نازل باران BEX: 3/8 S24W با ارتفاع حداکثر تا ۴/۵ متر است و به علت تحت فشار بودن سامانه، قطرات پس از خروج از نازل‌ها از ارتفاع ۴/۵ متری به صورت مخروطی کاملی از باران، قابلیت پوشش یک کرت با مساحت 1×2 مترمربع در سطح زمین را دارد [۳۲ و ۳۳]. شبه‌ساز باران موردنظر با تغییر ارتفاع و یا تعداد نازل‌های فعال، تنظیم فشار آب، شدت‌های مختلف بارندگی در دامنه ۳۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت قابل شبه‌سازی است [۳۳]. جهت انجام آزمایش‌ها در پژوهش حاضر کرت‌های آماده‌شده در معرض بارانی با شدت ۴۰ میلی‌متر در ساعت (با میانگین قطر قطرات $1/04$ میلی‌متر و ضریب یکنواختی ۸۹ درصد) به مدت ۲۰ دقیقه و با توجه به برآورد شیب طبیعی و متوسط منطقه (۱۸ درصد) [۲۶]، قرار گرفتند و نمونه‌های رسوب در انتهای کرت‌ها جمع‌آوری شدند.

اندازه‌گیری مولفه‌های آزمایشی

نمونه‌برداری رسوب سطحی^۱ (مقدار رسوبات موجود در رواناب سطحی که با استفاده از خروجی‌های قرار گرفته در انتهای کرت‌ها جهت نمونه‌برداری رواناب و رسوب سطحی تعبیه شده است) و زیرقشری^۲ (مقدار رسوبات موجود در آب زهکش شده که با استفاده از خروجی‌های قرار گرفته در زیرکرت‌ها جهت نمونه‌برداری رواناب و رسوب حاصل از زهکش تعبیه شده است) خروجی برای هر کرت (شاهد و حفاظت‌شده توسط نانورس مونت‌موریلونیت محلول و

1. Surface Sediment
2. Sub-surface Sediment

زغال‌زیستی) جمع‌آوری و به مدت زمان ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شد، پس از طی مدت‌زمان مذکور مقدار آب اضافی نمونه‌ها با استفاده از روش تخلیه [۳۶، ۳۱ و ۳۲] از نمونه‌ها حذف‌شده و مابقی آب و رسوب به داخل ظروف تهیه‌شده با وزن مشخص تخلیه و سپس به آون منتقل گردید. در این روش دما و مدت‌زمان خشک‌کردن نمونه‌ها به ترتیب ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد [۶۳]. در نهایت مقدار رسوب باقی‌مانده سطحی و زیرقشری با استفاده از ترازو با دقت $0/01$ گرم وزن گردید [۲۶، ۳۲ و ۶۲]. مقادیر وزن شده در این روش به‌عنوان هدررفت خاک در نظر گرفته می‌شود و از حاصل ضرب هدررفت خاک در رواناب غلظت رسوب محاسبه می‌گردد [۳۶، ۳۱ و ۳۲]. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمارهای شاهد، تیمارهای حفاظتی با نانورس محلول و زغال‌زیستی ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS23، تجزیه واریانس برای مقایسه میانگین‌ها و آزمون دانکن برای مشخص کردن اختلاف معنی‌داری زیرگروه‌ها بین پارامترها انجام شد [۴]. هم‌چنین از این نرم‌افزار جهت انجام آزمون GLM برای شناسایی اثرات تیمارهای نانورس مونت‌موریلونیت با مقادیر مختلف و زغال‌زیستی بر متغیرهای مورد بررسی استفاده شد.

نتایج

جدول ۲ مقادیر اندازه‌گیری شده هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی و زیرقشری در تیمار شاهد و تیمار حفاظت‌شده توسط نانورس مونت‌موریلونیت محلول با مقادیر استفاده‌شده و هم‌چنین زغال‌زیستی را نشان می‌دهند. هم‌چنین نتایج آزمون GLM^۲ برای شناسایی اثرات تیمارهای نانورس مونت‌موریلونیت با مقادیر مختلف و هم‌چنین زغال‌زیستی بر متغیرهای موردبررسی در جدول ۳ نشان داده‌شده است. شکل ۳ میانگین هدررفت خاک سطحی (بالا) و غلظت رسوب سطحی (پایین) و شکل ۴ نیز میانگین هدررفت خاک زیرقشری (بالا) و غلظت رسوب زیرقشری (پایین) در کرت شاهد و کرت‌های نانورس محلول مونت‌موریلونیت محلول و زغال‌زیستی را نشان می‌دهند.

نتایج جدول ۲ حاکی از آن است که مقادیر درصد حفاظتی هدررفت خاک سطحی در نانورس محلول با مقادیر سه، شش و نه گرم بر مترمربع به ترتیب $78/35$ ، $74/75$ و $82/10$ و $87/41$ درصد بود که نقش موثر این رسوب سطحی $74/75$ ، $82/10$ و $87/41$ درصد بود که نقش موثر این افزودنی بر تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب را نشان می‌دهد. درصد حفاظتی هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی بعد از کاربرد تیمار زغال‌زیستی به ترتیب $85/27$ و $45/20$ درصد بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که درصد تغییرات هدررفت خاک زیرقشری بعد از کاربرد نانورس محلول به سه مقدار سه، شش و نه گرم بر مترمربع نسبت به تیمار شاهد به ترتیب $20/45$ ، $15/91$ ، $13/64$ درصد و غلظت رسوب زیرقشری نیز به ترتیب $84/38$ ، $83/07$ ، $87/31$ درصد بود.

3. General Linear Model

هدررفت خاک و غلظت رسوب زیرقشری نیز در تیمار زغال‌زیستی نسبت تیمار شاهد به ترتیب ۶۳/۶۴ و ۹۲/۸۸ درصد بود. نتایج نانورس محلول در مقادیر به کار برده شده و زغال‌زیستی بر تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب نشان داد که این اصلاح‌کننده‌ها اثرات متفاوتی را بر مولفه‌های مورد نظر داشته است (جدول ۲). میانگین هدررفت خاک سطحی در تیمار شاهد، نانورس محلول با مقادیر سه، شش و نه گرم در مترمربع و زغال‌زیستی با مقدار ۱۶۰ گرم در مترمربع به ترتیب ۳/۷۶، ۰/۸۱، ۱/۱۲، ۰/۴۱ و ۰/۵۵ گرم (شکل ۳ بالا) و

میانگین هدررفت خاک زیرقشری به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۱۲، ۰/۱۲، ۰/۱۳ و ۰/۰۵ گرم بود. هم‌چنین میانگین غلظت رسوب سطحی در تیمارهای به کار برده شده نیز به ترتیب ۵/۸۴، ۱/۰۵، ۱/۴۸، ۰/۷۴، ۳/۲۰ گرم بر لیتر (شکل ۳ پایین) و میانگین غلظت رسوب زیرقشری در تیمارهای به کار برده شده نیز به ترتیب ۱/۷۱، ۰/۲۷، ۰/۲۹، ۰/۲۲، ۰/۱۲ گرم بر لیتر بود. هم‌چنین اصلاح‌کننده‌های مورد نظر تأثیر معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد بر تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی و زیرقشری داشتند (جدول ۳).

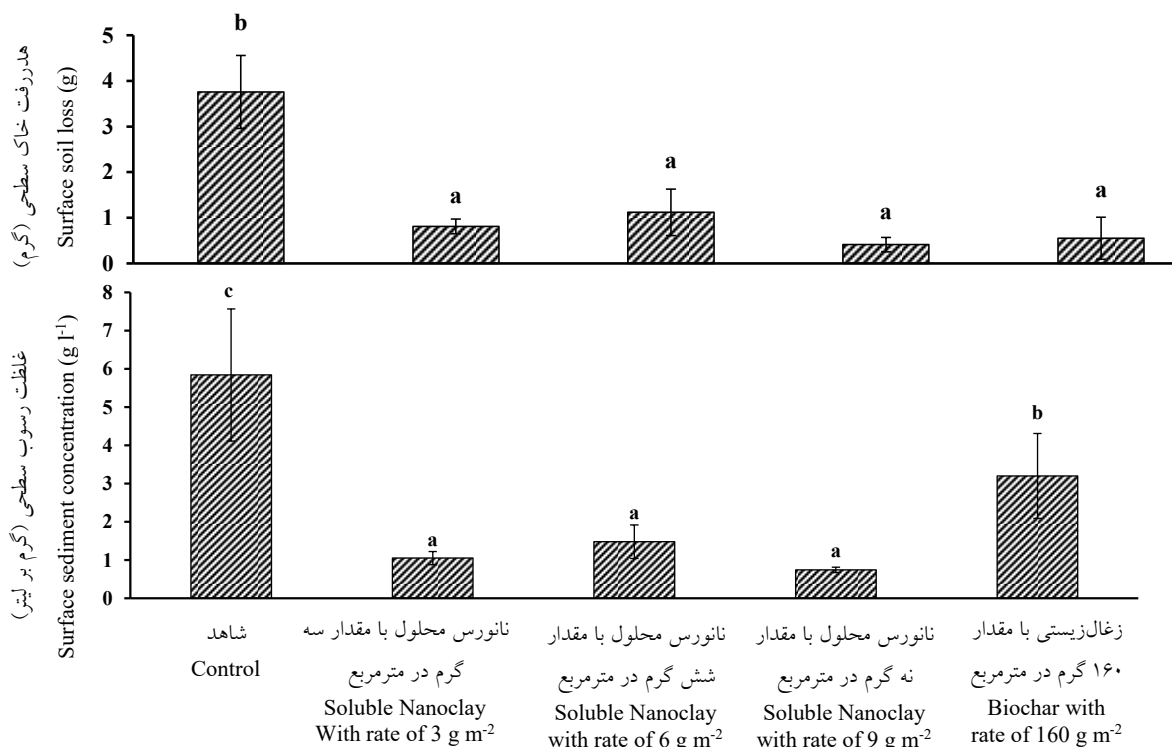
جدول ۲- هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمار شاهد و تیمارهای حفاظت‌شده با نانورس مونت‌موریلونیت محلول در مقادیر مختلف و زغال‌زیستی

Table 2. Soil loss and sediment concentration in control treatment and conserved treatments with montmorillonite soluble nanoclay with various rates and biochar

غلظت رسوب زیرقشری (گرم بر لیتر) Sub-surface sediment concentration (g l ⁻¹)	غلظت رسوب سطحی (گرم بر لیتر) Surface sediment concentration (g l ⁻¹)	هدررفت خاک زیرقشری (گرم) Sub-surface soil loss (g)	هدررفت خاک سطحی (گرم) Surface soil loss (g)	کرت Plot	تیمار Treatment
2.86	5.44	0.20	4.68	1	شاهد Control
1.10	7.74	0.11	3.33	2	
1.18	4.35	0.13	3.26	3	
1.71	5.84	0.15	3.75		میانگین Mean
57.89	29.67	32.22	21.31		ضریب تغییرات CV
0.24	0.85	0.12	0.69	1	نانورس محلول با مقدار سه گرم در مترمربع Nanocaly with rate of 3 g m ⁻²
0.16	1.14	0.10	0.75	2	
0.39	1.15	0.13	1.00	3	
0.27	1.05	0.12	0.81		میانگین Mean
43.60	16.08	13.09	20.22		ضریب تغییرات CV
84.38	82.10	20.45	78.35		درصد حفاظتی Conservation percent
0.24	1.20	0.07	0.78	1	نانورس محلول با مقدار شش گرم در مترمربع Nanocaly with rate of 6 g m ⁻²
0.22	1.24	0.11	0.88	2	
0.40	1.99	0.19	1.71	3	
0.29	1.48	0.12	1.12		میانگین Mean
34.23	30.10	49.54	45.45		ضریب تغییرات CV
83.07	74.75	15.91	70.10		درصد حفاظتی Conservation percent
0.22	0.80	0.15	0.28	1	نانورس محلول با مقدار نه گرم در مترمربع Nanocaly with rate of 9 g m ⁻²
0.16	0.75	0.08	0.58	2	
0.28	0.65	0.15	0.36	3	
0.22	0.74	0.13	0.41		میانگین Mean
27.82	10.09	31.91	38.20		ضریب تغییرات CV
87.31	87.41	13.64	89.17		درصد حفاظتی Conservation percent
0.16	2.21	0.05	0.53	1	زغال‌زیستی با مقدار ۱۶۰ گرم بر مترمربع Biochae with rate of 160 g m ⁻²
0.15	4.40	0.08	0.11	2	
0.06	3.00	0.03	1.02	3	
0.12	3.20	0.05	0.55		میانگین Mean
46.74	34.65	47.19	82.31		ضریب تغییرات CV
92.88	45.20	63.64	85.27		درصد حفاظتی Conservation percent

Table 3. Results of GLM test for effect of conservation treatments on variables of soil loss and sediment concentration

سطح معنی داری Significant level	مقدار F F amount	میانگین مربعات Average of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات نوع سوم Sum of squares of the third type	متغیر وابسته Dependent variable
0.00	24.74	5.74	4	22.96	هدررفت خاک سطحی (گرم) Surface soil loss (g)
0.00	2.21	0.01		0.02	هدررفت خاک زیرقشری (گرم) Sub-surface soil loss (g)
0.00	15.05	13.45		53.83	غلظت رسوب سطحی (گرم در لیتر) Surface sediment concentration (g l ⁻¹)
0.00	6.60	1.34		5.37	غلظت رسوب زیرقشری (گرم در لیتر) Sub-surface sediment concentration (g l ⁻¹)



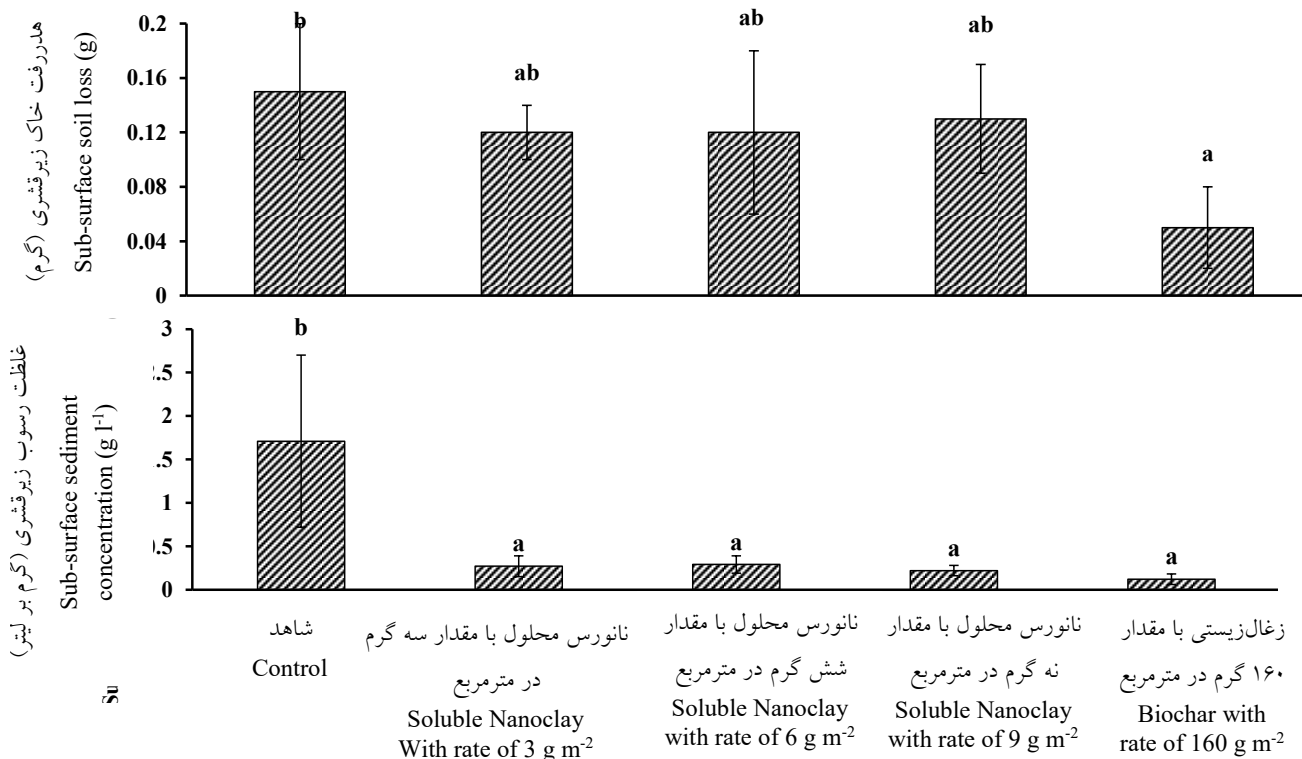
شکل ۳- مقایسه میانگین هدررفت خاک سطحی و غلظت رسوب سطحی در کرت شاهد، کرت‌های نانورس مونت‌موریلونیت محلول و زغال‌زیستی

Fig 3. Average comparison of surface soil loss and surface sediment concentration in control plot, soluble montmorillonite nanoclay and biochar plots

داد که اثر افزودنی نانورس بر تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی و زیرقشری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر معنی‌دار زغال‌زیستی بر هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی با نتایج صادقی و همکاران [۶۳] مبنی بر کاهش معنی‌دار هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی در کرت‌های کوچک از تیمار زغال‌زیستی مطابقت داشت. نتایج حاصل از کاربرد نانورس و زغال‌زیستی با نتایج هاتف و همکاران و پدیدار و همکاران [۲۹ و ۴۷] مبنی بر تأثیر معنی‌دار نانورس بر کاهش هدررفت خاک در برابر هدررفت بادی و نیز با نتایج چن و همکاران، صادقی و همکاران و زی‌گووا و همکاران [۱۵، ۵۸ و ۷۶] مبنی بر تأثیر معنی‌دار زغال‌زیستی در کاهش هدررفت خاک و غلظت رسوب

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که نانورس محلول و زغال‌زیستی تأثیر مؤثر در تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی و زیرقشری داشتند و این تیمارهای حفاظتی توانستند هدررفت خاک و غلظت رسوب را در مقایسه با تیمار شاهد کنترل نمایند. مقایسه نتایج مقادیر به‌کاربرده شده نانورس و هم‌چنین زغال‌زیستی نشان داد که در بین تیمارهای حفاظتی، تیمار نانورس محلول با مقدار نه گرم بر متر مربع بیش‌ترین تأثیرات را بر هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی داشتند. درحالی‌که بیش‌ترین تأثیر تیمار نانورس بر هدررفت خاک و غلظت رسوب زیرقشری به‌ترتیب در مقادیر سه و نه گرم بر مترمربع مشاهده گردید. هم‌چنین نتایج نشان



شکل ۴- مقایسه میانگین هدررفت خاک زیرقشری و غلظت رسوب زیرقشری در کرت شاهد، کرت‌های نانورس مونت‌موریلونیت محلول و زغال‌زیستی

Fig 4. Average comparison of sub-surface soil loss and sub-surface sediment concentration in control plot, soluble montmorillonite nanoclay and biochar plots

هم‌چنین بررسی‌ها نشان داد که زغال‌زیستی با اتصال ذرات خاک مانع از جدا شدن خاکدانه‌های خاک شده (به علت مقدار بالای کربن) [۶۳] و در نتیجه هدررفت خاک را کاهش می‌دهد که با نتایج بابایی و همکاران، گیثینجی و همکاران، کریمی و همکاران، پنگ و همکاران، صادقی و همکاران، اسمتانووا و همکاران و ژی گووا و همکاران [۹، ۲۷، ۲۱، ۵۰، ۶۱، ۶۷ و ۷۷] مطابقت داشت. پژوهشگران بیان نمودند که زغال زیستی باعث افزایش ظرفیت کاتیونی خاک شده که این پدیده منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک شده و در نهایت باعث کاهش غلظت رسوب می‌گردد [۳۱ و ۶۱]. هم‌چنین با نتایج لهما و همکاران [۳۷] مبنی بر تأثیر زغال زیستی بر کنترل فرسایش خاک مطابقت داشت. از دلایل کاهش هدررفت خاک توسط اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر این است که نانورس و زغال‌زیستی مانع جدا شدن ذرات خاک به‌خاطر نقشی که آن‌ها در اتصال ذرات خاک به هم داشته، می‌شوند [۸، ۲۳، ۳۱، ۳۹، ۴۹ و ۶۱] و در نتیجه مقدار ذرات جدا شده و انتقال یافته در مقیاس مورد نظر کاهش می‌یابد. میانگین هدررفت خاک سطحی در کرت‌های شاهد و افزودنی‌های مختلف استفاده شده از ۰/۴۱ تا ۳/۷۶ گرم بود. کم‌ترین و بیش‌ترین هدررفت خاک سطحی در بین تمام تیمارهای حفاظتی مربوط به تیمار نانورس محلول نه گرم در مترمربع (۰/۴۱ گرم) و تیمار شاهد (۳/۷۶ گرم) ثبت گردید (شکل ۳ بالا). میانگین غلظت رسوب سطحی در کرت‌های شاهد و افزودنی‌های مختلف

سطحی مطابقت دارد. پژوهش‌گران نشان دادند که نانورس می‌تواند هدررفت خاک سطحی را کاهش دهد و نقش مهمی در مهار هدررفت خاک خاک داشته باشد [۴۴ و ۴۹]. یکی از دلایل کاهش هدررفت خاک این است که نانورس با افزایش میانگین قطر خاکدانه‌های خاک [۲۹] نقش مهمی در کنترل هدررفت خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک دارد. از طرفی نانورس می‌تواند مقدار فرسایش پاشمانی را کاهش دهد [۱]. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان این‌گونه بیان نمود که نانورس باعث بهبود خواص هیدرولیکی خاک [۲۰]، اتصال ذرات ریز خاک [۳۸]، افزایش تخلخل خاک و افزایش نفوذ شد [۲۱ و ۴۳]. یکی از دلایل آن این می‌باشد که نانورس با سطح ویژه بالایی [۷۲] (که ناشی از ریز بودن ذرات آن است)، ظرفیت تبادل کاتیونی و توانایی جذب آب بالایی که دارد [۵۸] باعث افزایش رطوبت حجمی [۴۹] به‌مرور زمان (با جذب رواناب سطحی) در خاک شده و در نتیجه حجم و ضریب رواناب سطحی را کاهش و رواناب زیرقشری را افزایش می‌دهد. از طرفی دیگر نیز مقدار هدررفت خاک و غلظت رسوب زیرقشری با کاربرد نانورس و زغال‌زیستی کاهش یافت. از دلایل این فرآیند می‌تواند این باشد که ذرات نانورس [۲۸ و ۴۸] و زغال‌زیستی [۱۴، ۵۹، ۷۶ و ۷۷] از جدا شدن ذرات خاک (به‌خاطر نقشی که در اتصال ذرات خاک به هم داشته) جلوگیری نموده و در نتیجه مقدار ذرات جدا شده از سطح خاک و مقدار ذرات انتقال یافته در پروفیل خاک کاهش می‌یابد.

4. Arnaez, J. Lasanta, T. Ruiz-Flano, P. and Ortigosa L. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean Vineyards. *Soil and Tillage Research*. 93: 324-334.

5. Bahari, M. Emadi, A.R. and Shahnazari, A. 2016. Experimental and numerical study of adding nanoclay on reducing seepage loss of Ab-Bandan. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 6(22): 75-62. (In Persian)

6. Bahari, M. Emadi, A.R. and Shahnazari, A. 2015. Experimental study of the fine-grained earthen bed stabilization using nanoclay. *Journal of Hydrology and Soil Science*. 19(2): 107-113. (In Persian)

7. Bajracharya, R.M. Elliot, W.J. and Lal, R. 1992. Interrill erodibility of some Ohio soils based on field rainfall simulation. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 267-272.

8. Baronti, S. Vaccari, F.P. Miglietta, F. Calzolari, C. Lugato, E. Orlandini, S. Pini, R. Zulian, C. and Genesio, L. 2014. Impact of biochar application on plant water relations in *Vitis vinifera* (L.). *European Journal of Agronomy*. 53: 38-44.

9. Bayabil, H.K. Stoof, C.R. Lehmann, J.C. Yitafaru, B. and Steenhuis, T.S. 2015. Assessing the potential of biochar and charcoal to improve soil hydraulic properties in the humid Ethiopian Highlands: The Anjeni watershed. *Geoderma*. 244: 115-123.

10. Bayramin, I.O. Baskan, D. and Parlak, M. 2003. Soil erosion assessment with CONA model: case study Bepazri area. *Turk Journal of Agriculture*. (27): 105-116.

11. Ben-Hur, M. and Keren, R. 1997. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*. 61: 565-570.

12. Beven, K.J. 2012. *Rainfall-runoff modelling: the primer*. Wiley-Blackwell, 488p

13. Brandasma, R.T. 1997. Soil conditioner effects on soil erosion, soil structure and crop performance. Ph.D. thesis, University of Wolverhampton. UK, 143 p.

14. Brown, A.G. and Quine, T.A. 1999. *Fluvial processes and environmental change*, John Wiley and Sons Publications, 413 p.

15. Chen, J. Zhu, D. and Sun, C. 2007. Effect of heavy metals on the sorption of hydrophobic organic compounds

استفاده شده نیز بین ۰/۷۴ تا ۵/۸۴ گرم بر لیتر بود. کمترین و بیشترین غلظت رسوب سطحی به ترتیب مربوط به تیمار نانورس محلول نه گرم در مترمربع (۰/۷۴ گرم بر لیتر) و تیمار شاهد (۵/۸۴ گرم بر لیتر) بود (شکل ۳ پایین). میانگین هدررفت خاک زیرقشری در کرت‌های شاهد و افزودنی‌های مختلف استفاده شده بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ گرم بود، که در این بین کمترین و بیشترین هدررفت خاک زیرقشری به ترتیب مربوط به زغال‌زیستی (۰/۰۵ گرم) و تیمار شاهد (۰/۱۵ گرم) بود (شکل ۴ بالا). همچنین میانگین غلظت رسوب زیرقشری در کرت‌های شاهد و افزودنی‌های مختلف استفاده شده از ۰/۱۲ تا ۱/۷۱ گرم بر لیتر بود. کمترین و بیشترین غلظت رسوب زیرقشری در بین تمام تیمارهای حفاظتی مربوط به زغال‌زیستی (۰/۱۲ گرم بر لیتر) و تیمار شاهد (۱/۷۱ گرم بر لیتر) مشاهده شد (شکل ۴ پایین). افزودنی‌های مورد استفاده نشان دادند که در کاهش هدررفت خاک و غلظت رسوب سطحی بیشترین تأثیر در نانورس مونت‌موریلونیت محلول به مقدار نه گرم در مترمربع بود و در کاهش هدررفت خاک و غلظت رسوب زیرقشری بیشترین تأثیر مربوط به زغال‌زیستی بود.

در نهایت می‌توان بیان نمود که استفاده از افزودنی‌ها مورد استفاده در پژوهش حاضر به‌طور معنی‌داری باعث کاهش مولفه‌های هدررفت خاک و غلظت رسوب ($p < 0.01$) شد. نانورس محلول و زغال‌زیستی بر هدررفت خاک و غلظت رسوب تأثیر مثبت و کاهش را نشان دادند که تأثیر نانورس محلول نسبت به زغال‌زیستی در کاهش هدررفت خاک سطحی و غلظت رسوب سطحی بیش‌تر بود. در نهایت با توجه به اینکه کاربرد اصلاح‌کننده‌ها به‌ویژه در مقیاس نانو برای مهار هدررفت خاک در ایران سابقه طولانی ندارد. با توجه به پژوهش‌های انجام شده که بیان می‌دارند، امروزه هدررفت خاک بسیار ویرانگرتر از هر زمان دیگر است. از طرفی نیز نانورس مونت‌موریلونیت و زغال‌زیستی اثرات سوء محیط‌زیستی نداشته بنابراین این دو نوع اصلاح‌کننده با توجه به شرایط و منطقه مورد استفاده می‌توانند برای مهار هدررفت خاک و کاهش اثرات درون و برون منطقه‌ای آن مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

1. Abbasi, N. Farjad, A. and Sepehri, s. 2017. The use of nanoclay particles for stabilization of dispersive clayey soils. *Geotechnical and Geological Engineering*. 36(1): 327-335.

2. Agassi, M. and Bradford, J.M., 1999. Methodologies for interrill soil erosion studies. *Soil and Tillage Research*. 49: 277-287.

3. Ahmed, M. Lee, S. Dou, X. Mohan, D. Sung, J. and Yang, J.E. 2012. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresource Technology*.

- sediment yield from eroded plots. *Soil Science Society of America Journal*. 77: 268-278.
26. Gholami, L. Sadeghi, S.H.R. and Homae, M. 2016b. Different effects of sheep manure conditioner on runoff and soil loss components in eroded soil. *Catena*. 139: 99-104.
27. Githinji, L. 2013. Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 4: 1-14.
28. Grainger, A. 2014. Is land degradation neutrality feasible in dry areas?. *Journal of Arid Environments*. 112 (Part A): 14-24.
29. Hatefi, O. Jalalian, A. Padidar, M. and Fallahzade, J. 2016. Effect of nanoclay on wind erosion a sandy loam soil in Segzi region (Isfahan, Iran). *Journal of Environmental Science and Technology*. 9(3): 296.
30. Hawke, R.M. Price A.G. and Bryan, R.B. 2006. The Effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity: a laboratory investigation. *Catena*. 65: 237-246.
31. Karimi, N. Gholami, L. and Kavian, A. 2019. Hydrograph and sediment graph changes of small experimental plots affected by application of biochar conservation treatment in different soil moisture. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*. 12(43): 98-107. (In Persian)
32. Khaledi Darvishan, A. Banasik, K. Sadeghi, S.H.R. Gholami, L. and Hejduk, L. 2015. Effects of rain intensity and initial soil moisture on hydrological responses in laboratory conditions. *International Agrophysics*. 29: 165-173.
33. Khaledi Darvishan, A. Homayonfar, V. and Sadeghi, S.H.R. 2016. Designing, construction and calibration of a portable rainfall simulator for field runoff and soil erosion studies. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*. 10(34): 105-112. (In Persian)
34. Kheirfam, H. Sadeghi, S.H.R. Homae, M. and Zarei Darki, B. 2014. Role of soil microorganisms in soil and water loss control. *Extension and Development of Watershed Management*. 2(5): 19-26. (In Persian).
35. Kukal, S.S. and Sarkar, M. 2010. Splash erosion and infiltration in relation to mulching and polyvinyl alcohol application in semi-arid tropics. *Archives of Agronomy* to wood charcoal. *Environmental Science of Technology*. 41: 2536-3541.
16. Darboux, F. Davy, Ph. Odoux, G. and Hung, C. 2001. Evolution of soil surface roughness and flowpath connectivity in overland flow experiments. *Catena*. 46(2-3): 125-139.
17. Defersha, M.B. and Melesse, A.M. 2011. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*. 90: 47-52.
18. Dela Rosa, J.M. Paneque, M. Miller, A.Z. and Knicker, H. 2014. Relating physical and chemical properties of four different biochars and their application rate to biomass production of *lolium perenne* on a calcic cambisol during a pot experiment of 79 days. *Science of the Total Environment*. 499: 175-184.
19. Denik, J. Diarra, A. Uehara, G. Campbell, S. Sumiyoshi, Y. and Antal, J.M. 2011. Charcoalash and volatile matter effects on soil properties and plant growth in an acid Ultisol. *Soil Science*. 176: 336-345.
20. Fakhri, Z. Pourhosseini Ardekani, R. and Ebadi, T. 2016. Improvement in the hydraulic properties of kaolinite with adding nanoclay. *Amircibir Journal of Civil Engineering*. 47(3): 39-46. (In Persian)
21. Ebrahimi, M. Nazarpour, H. and Janalizadeh, A. 2014. Effect study of nanoclay on soil infiltration of sand. 8th National Conference of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology. Iran. 105p. (In Persian)
22. Fiori, A. Romanelli, M. Cavalliani, D.J. and Russo, J. 2007. Numerical experiments of streamflow generation in steep catchments. *Journal of Hydrology*. 339: 183-192.
23. Ghani, W. Mohd, A. De Silva, G. Bachmann, T. Taufiq-Yap, H. Rashid, U. and Muhtaseb, H. 2013. Biochar production from waste rubber-wood-sawdust and its potential use in C sequestration: chemical and physical characterization. *Industrial Crops and Products*. 44: 18-24.
24. Gholami, L. Khaledi Darvishan, A. and Kavian, A. 2016a. Wood chips as soil conservation in field conditions. *Arabian Journal of Geosciences*. 9: 729.
25. Gholami, L. Sadeghi, S.H.R. and Homae, M. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and

evidence and implications for infiltration modeling. *Journal of Hydrology*. 523: 79-85.

47. Ouhadi, V.R. and Amiri, M. 2011. Geo-environmental Behaviour of nanoclays in interaction with heavy metals contaminant. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 42(3): 29-36.

48. Padidar, M. Jalalian, A. Abdouss, M. Najafi, P. Honarjoo, N. and Fallahzade, J. 2014. Effect of nanoclay on soil erosion control. 5th-7th, Brno, Czech Republic, 1-4p.

49. Padidar, M. Jalalian, A. Abdouss, M. Najafi, P. Honarjoo, N. and Fallahzade, J. 2016. Effects of nanoclay on some physical properties of sandy soil and wind erosion. *International Journal of Soil Science*. , 11: 9-13.

50. Pajuohesh, M. Refahi, H. Zehtabian, G.H. Salehpour Jam, A. and Kianian, M.K. 2008. Effects of various super absorbent concentrations on runoff volume in slopes and various intensity of simulated rainfall in Shahrekord plain. *Desert*. 12(2): 121-128.

51. Peng, X. Zhu, Q.H. Xie, Z.B. Darboux, F. and Holden, N.M. 2016. The impact of manure, straw and biochar amendments on aggregation and erosion in a hillslope Ultisol. *Catena*. 138: 30-39.

52. Petersen, A.L. Thompson, A.M. Baxter, C.A. Norman, J.M. Roa-Espinosa, A. 2007. A new polyacrylamide (PAM) formulation for reducing erosion and phosphorus loss in rainfed agriculture. *TASABE*. 50(6): 2091-2101.

53. Pimentel, D. and C. Harvey. 1999. Ecological effects of erosion. In: Walker, L.R(ed), *Ecosystems of Disturbed Ground*. 123-135p.

54. Pimentel, D. and Kounang, N. 1998. Ecology of soil erosion in ecosystem, ecosystems of disturbed ground. 1: 416-426.

55. Pla, S.I. 2003. Erosion research in Latin America. In: Gabriel, D. and W. Cornelis. (Eds.), *Proceeding of International Symp., 25 Year of Assessment of Erosion*. Ghent, Belgium. 19-27.

56. Pol, M.H. Liaghat, Gh.H. Mehrabani Yeganeh, E. and Afrouzian, A. 2014. Experimental investigation of nanoclay and nanosilica particles effects on mechanical properties of glass epoxy composites. *Modares Mechanical Engineering*. 14(16): 76-82. (In Persian)

and *Soil Science*. 56(46): 697-705.

36. Lafen, J.M. and Roose, E.J. 1998. Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion. In: Law R. Balum, W.E. and Valentine, C. (Eds.), *Soil degrading*, CRC press, Bo Ca Ration, 320p.

37. Lal, R. 2008. Promise and limitations of soils to minimize climate change. *Journal of Soil and Water Conservation*. 63(4): 113-118.

38. Lan, T. and Kaviratna, P.D. 1995. Mechanism of clay tactoid exfoliation in epoxy-clay nanocomposites. *Chem Master*. 7(11): 2144-2150.

39. Lehmann, J. Rillig, M.C. Thies, J. Masiello, C.A. Hockaday, W.C. and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota-a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 43: 1812-1836.

40. Liu, P. and Zhang, L. 2007. Adsorption of dyes from aqueous solutions or suspensions with clay nano-adsorbents. *Separation and Purification Technology*. 58(1): 32-39.

41. Majeed, Z.H. and Taha, M.R. 2012. Effect of nanomaterial treatment on geotechnical properties of a Penang soil. *Journal of Asian Scientific Research*. 2(11): 587-592.

42. Miller, R.M. 2002. The function of mycorrhizal fungi in soil restoration. *International Workshop-Microbial Function in Revegetation Process of Degraded Terrestrial Environments: From Gene to Ecosystem*, November 29, 26p.

43. Mohammadi, M. and Niazian, M. 2013. Investigation of nano-clay effect on geotechnical properties of Rasht clay. *Journal of Advanced Science and Technology*, 3(3): 37-46.

44. Mohammadzadeh Sani, A. Oriani, M. Khodaparast Haghi, A. and Jamshidi Chenari, R. 2009. Nanoclay effect on geotechnic characteristics of Lomy-Sand. 4th International Conference of Geotechnic Engineering and Iran Soil Mechanics, Tehran, 39p. (In Persian)

45. Montgomery, D.R. and Dietrich, W. E. 2002. Runoff generation in a steep, soil-mantled landscape. *Water Resources Research*. 38(9): 1168-1186.

46. Morbidelli, R. Saltalippi, C. Flammini, A. Cifrodelli, M. Corradiniand, C. and Govindaraju, R.S. 2015. Infiltration on sloping surfaces: Laboratory experimental

32: 2172-2179.

67. Shoemaker, A.E. 2009. Evaluation of anionic polyacrylamide as an erosion control measure using intermediate-scale experimental procedures. Auburn University MSc Thesis, USA, 220p.

68. Smetanova, A. Dotterweich, M. Diehl, D. and Ulrich, U. 2013. Influence of biochar and terrapreta substrates on wettability and erodibility of soils. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementary Issues*. 57: 111-134.

69. Smets, T. Poesen, J. and Bochet, E. 2008. Impact of plot length on the effectiveness of different soil-surface covers in reducing runoff and soil loss by water. *Progress in Physical Geography*. 32(6): 654-677.

70. Spedding, I. 2005. Nanoclay- a new beginning for old products. Director, Acme Nano Products Pty.

71. Taha, M.R. and Taha, O.M.E. 2012. Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior. *Journal of Nanoparticle Research*. 14(10): 1190.

72. Tassi, E. Pini, R. Gorini, F. Valadao, I. and de Castro, J.A. 2012. Chemical and physical properties of soil influencing Tio₂ nanoparticles availability in terrestrial ecosystems. *Journal of Environmental Research and Development*. 6(4): 1034-1038.

73. Taipodia, J. Dutta, J. and Dey, A.K. 2011. Effect of nano-particles on properties of soil. *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference*. Dec. 15-17. Kochi.

74. Tripathi, R.P. and Singh, H.P. 2001. Soil erosion and conservation, New Delhi: New Age International Limited Publication, India, 210p.

75. Yue, Y. Cui, L. Lin, Q. Li, G. and Zhao, X. 2017. Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. *Chemosphere*. 173: 551-556.

76. Zahedi, M. Sharifipour, M. Jahanbakhshi, F. and Bayai, R. 2014. Nanoclay Performance on resistance of clay under freezing cycles. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 18(3): 427-434.

77. Zhi-guoa, L. Chi-minga, G. Run-huab, Z. Mohameda, I. Guo-shia, Z. Li, W. Run-qina, Z. Fanga, C. and Yia, L. 2017. The benefic effect induced by biochar on soil erosion and nutrient loss of slopping land under natural rainfall conditions in central China. *Agricultural Water Management*. 185: 145-150.

57. Quang, T. Nguyen, T. and Baird, D.G. 2007. An improved technique for exfoliating and dispersing nanoclay particles into polymer matrices using supercritical carbon dioxide. *Polymer*. 48: 6923- 6933.

58. Romkens, M.J.M. Helming, K. and Prasad, S.N. 2001. Soil Erosion under Different Rainfall Intensities, Surface Roughness and Soil Water Regimes. *Catena*. 46: 103-123.

59. Roose, E. 2003. Soil erosion research in Africa: A review. In: Gabriel, D. and W. Cornelis. (Eds.), *Proceeding of International Symp, 25 Year of Assessment of Erosion*. Ghent, Belgium. 29-43.

60. Sabzevari, T. Mokhberi, M. and Hosseini khotbehsara, S. 2018. Investigation of surface and subsurface runoff of catchment's hillslopes with loamy sand soil, case study: Estahban Watershed atershed *Engineering and Manageme* 10(2): 182-192. (In persian)

61. Sadeghi, S.H.R. Ghavimi Panah, M.H. and Younesi, H. 2017. Feasibility of reducing soil loss using biochar produced from dairy factory waste. *Journal of Water and Soil Conservation*. 4(24): 211-226. (In Persian)

62. Sadeghi, S.H.R. Gholami, L. Homaeae, M. and Khaledi Darvishan, A.V. 2015. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Solid Earth*. 6: 445-455.

63. Sadeghi, S.H.R. Pourghasemi H.R. Mohammdi, M. and Agharazi, H.A. 2008. Applicability of rainfall and runoff variables in estimation of storm-wise sediment yield from experimental plots with different landuses. *Agricultural Science Technology Journal Ferdowsi University of Mashhad*. 22(1): 113-122. (In Persian)

64. Schjønning, P. Munkholm, L.J. and Elmholt, S. 2004. Soil quality in organic farming—effects of crop rotation, animal manure and soil compaction. *Book of abstracts Eurosoil*. (http://www.bodenkunde2.uni-freiburg.de/eurosoil/abstracts/id236_Schjønning).

65. Sharifnasab, H. and Abbasi A. 2016. Effect of nanoclay particles on some physical and mechanical properties of soils. *Journal of Agricultural Machinery*. 6(1): 250-258. (In Persian)

66. Sharpley, A. and P. Kleinman. 2003. Effect of rainfall simulator and plot scale on overland flow and phosphorus transport. *Journal of Environmental Quality*.

Changes Study of Subsurface Soil Loss with Application of Soluble Nanoclay and Biochar in Plot Scale

N. Hasanzadeh¹, L. Gholami², A. Khaledi Darvishan³ and H. Younesi⁴

Received: 01-09-2019 Accepted: 20-10-2019

Abstract

Soil is very important for the production of crops and foodstuffs. One of the most important environmental crises in the relationship with soil is the phenomenon of soil loss and therefore the soil conservation is very important. In conditions that, there is not the possibility of establishing vegetation, the use of soil conditioners can be useful in controlling soil loss. The present study was conducted with study objective of changing soil loss and sediment concentration using soluble montmorillonite nanoclay with rates of 3, 6 and 9 g m⁻², and biochar with rate of 160 g m⁻² on soil of loam-sandy. The experiments evaluated under laboratory conditions using rainfall simulation with rainfall intensity of 40 mm h⁻¹ in Tarbiat Modares University. The results showed that the soluble nanoclay with rate of 9 g m⁻² and biochar had the more effects on the variations of soil loss. The soluble nanoclay reduced the surface soil loss, surface sediment concentration, subsurface soil loss and subsurface sediment concentration variables with rates of 89.17, 87.41, 13.64 and 87.31 percent, respectively. Also, biochar could decrease the surface soil loss, surface sediment concentration, subsurface soil loss and subsurface sediment concentration with rates of 85.27, 63.64, 45.20 and 92.88 percent, respectively.

Keywords: *Biochar, Montmorillonite nanoclay, Rainfall simulation, Soil conservation, Soil erosion.*

1. Master Graduated, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari.

2. Corresponding author and Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari. Email: l.gholami@sanru.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor.

4. Professor, Department of Environment Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor.