تغییرپذیری مؤلفه‌های رسوب با کاربرد ورمی‌کمپوست و نانوکود در سطوح رطوبتی مختلف

لیلا غلامی[1*]، عبدالواحد خالدی دروبشان[2] و نبیه کریمی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱)

چکیده

هدررفت خاک می‌تواند مشکلات درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای زیادی را ایجاد کند، از سویی دیگر اثر رطوبت خاک بر فرایندهای هدررفت خاک و تولید رسوب در جهت شناخت و شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژیکی خاک ضروری است. بنابراین استفاده از افزودنی‌های خاک به‌منظور حفاظت آب و خاک امری ضروری است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر افزودنی‌های خاک ورمی‌کمپوست و نانوکود بر مؤلفه‌های هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد و شدت‌های ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت بر تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب انجام شد. نتایج به‌دست آمده ضمن تأیید اثر معنی‌دار هر تیمار حفاظتی در سطح ۹۹ درصد بر مؤلفه‌های مورد نظر نشان داد که تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار نانوکود تأثیر بیشتری بر مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده داشت. همچنین تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست توانست هدررفت خاک را در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۷۲/۵۱، ۶۶/۶۳ و ۷۸/۷۶ درصد (۵۰ میلی‌متر بر ساعت) و ۴۵/۰۱، ۳۵/۵۷ و ۱۰/۴۵ درصد (۹۰ میلی‌متر بر ساعت) کاهش دهد. اثر جداگانه تیمارهای حفاظتی، رطوبت‌های خاک و شدت‌های بارندگی و نیز اثر متقابل تیمارهای حفاظتی × شدت بارندگی و شدت بارندگی×رطوبت خاک روی تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد استفاده از ورمی‌کمپوست و نانوکودها نتایج قابل قبولی را روی مؤلفه‌های مورد بررسی داشته اما تأثیر ورمی‌کمپوست بر مؤلفه‌های مورد بررسی بیشتر از نانوکود بود. بنابراین با توجه به استفاده گسترده از انواع مختلف افزودنی‌ها امروزه بایستی به‌سمت امکان‌سنجی کاربرد افزودنی‌هایی مانند ورمی‌کمپوست و نانوکود پیش رفت که اثر سوء محیط زیستی نداشته باشند.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده‌های خاک، فرسایش خاک، رطوبت پیشین خاک، غلظت رسوب، کرت آزمایشگاهی

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Email:l.gholami@sanru.ac.ir

مقدمه

هدررفت خاک یکی از معضلات جهانی بوده که علاوه بر از بین رفتن حاصلخیزی خاک، منجر به آلودگی‌های محیط زیستی در رودخانه‌ها نیز می‌شود (۷). ذرات جدا شده از سطح خاک، تخلخل خاک را کاهش داده که در نتیجه آن کاهش نفوذ، افزایش رواناب و رسوب تولیدی را به‌دنبال خواهد داشت (۸). رواناب و هدررفت خاک ایجاد شده در فرسایش آبی می‌توانند با استفاده از پوشش سطح خاک به‌طور موفقیت‌آمیزی کنترل شوند (۹). اما گاهی امکان ایجاد پوشش گیاهی در مناطق تخریب شده وجود ندارد، در این زمینه استفاده از انواع خاک‌پوش‌ها، منسوجات زمینی، مواد آلی، تراشه‌های چوب، کاه و کلش، پلیمرها، کود دامی، لجن فاضلاب، زغال‌زیستی، نانوکودها، کمپوست، و ورمی‌کمپوست‌ها پیشنهاد شده است (۱۰، ۱۴، ۱۵ و ۲۱). افزودنی‌های خاک می‌توانند میزان رواناب و هدررفت خاک را با استفاده از حفظ خاک سطحی، کنترل کنند (۱۰). فرایند تولید ورمی‌کمپوست با استفاده از کرم‌های خاکی، به‌عنوان یک فناوری آسان و دوست‌دار طبیعت برای تولید کود آلی از مواد زائد و تثبیت این گونه مواد مورد توجه قرار گرفته است (۶ و ۲۴). ورمی‌کمپوست علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک بر خواص شیمیایی خاک نظیر هدایت الکتریکی، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل، pH و همچنین بر خواص فیزیکی خاک و هدررفت خاک نیز تأثیر می‌گذارد، همچنین به‌عنوان یک افزودنی آلی دارای ویژگی‌هایی مانند تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب، قدرت جذب و نگهداری زیاد رطوبت، همچنین سطح جذب آب و مواد غذایی بالایی است. در واقع برتری ورمی‌کمپوست نسبت به کودهای آلی این است که به‌خوبی تغییر ساختار داده و تعداد موجودات ریز بیماری‌زای گیاهی در آن به‌شدت کاهش می‌یابد. در زمینه کاربرد ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک افزودنی در خاک، پژوهشگران مختلف اثر ورمی‌کمپوست بر رواناب و هدررفت خاک (۲۱ و۲۶) حاصلخیزی خاک (۲۷)، بهبود خواص فیزیکی خاک (۲، ۵ و ۲۷) را بررسی کرده‌اند. همچنین افزودنی‌های نانو می‌توانند به‌عنوان یک افزودنی جدید محسوب شده و هنوز مطالعات گسترده‌ای در رابطه با آنها صورت نگرفته است (۳۱). با به‌کارگیری نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم در زمینه کشاورزی، عناصر غذایی کود به‌تدریج و به‌صورت کنترل شده در خاک آزاد و از آلودگی آب آشامیدنی جلوگیری به‌عمل خواهد آمد. از آنجایی‌که این علم بسیار نوظهور بوده و هنوز آگاهی اندکی نسبت به آن وجود دارد، انجام پژوهش‌های گسترده پیرامون اثر این فناوری‌ها بر محیط و جایگاه واقعی آن برای رسیدن به کشاورزی و توسعه پایدار، امری ضروری است. در زمینه کاربرد نانوکود پژوهش‌هایی در زمینه اثر آن روی رشد و عملکرد فیزیولوژیکی و بیولوزیکی گیاهان انجام شده است (۲۲). همچنین پژوهش‌هایی در زمینه تأثیر نانوذرات بر ویژگی‌های خاک انجام شده است از جمله نوواک و مولر (۲۰) گزارش کردند که نانوذرات به‌سبب برخورداری از نسبت سطح به حجم و قابلیت جذب زیاد، امکان اتصال حداکثری ذرات خاک را با حداقل مقدار افزودنی فراهم می‌کنند. از سوی دیگر بررسی‌ها نشان داده است که تغییرات در شدت بارندگی می‌تواند اثر انرژی قطرات باران را به‌خصوص در شدت‌های زیاد افزایش دهد و مقدار پاشمان ذرات خاک سطی را افزایش دهد (۱۶ و ۱۷). از این‌رو روش‌های متکی بر شاخص شدت بارندگی اهمیت زیادتری نسبت به سایر خصوصیات باران می‌توانند داشته باشند. افزایش شدت بارندگی باعث می‌شود قطرات درشت‌تر با انرژی بیشتر به ذرات خاک برخورد کنند و درنتیجه میزان فرسایش به مراتب بیشتر خواهد بود که درنهایت مقدار هدررفت خاک و غلظت رسوب را افزایش خواهد داد (۱۰ و ۱۶). پژوهشگران

متعددی نظیر غلامی و همکاران (۹) و خالدی درویشان و همکاران (۱۶) تأثیر شدت بارندگی بر فرسایش خاک را بررسی کردند. همچنین رطوبت پیشین خاک یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل فرایندهای هیدرولوژیکی و هدررفتی است که می‌تواند نقش عمده‌ای در تغییرات رواناب و رسوب داشته باشد. رطوبت پیشین خاک یکی از عوامل مؤثر در ایجاد رواناب، رسوب و هدررفت خاک است (۱۷ و ۲۳). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که رطوبت خاک میزان رواناب، نفوذ و درنتیجه هدررفت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۳). پویایی رژیم آب در خاک ممکن است با رواناب و رسوب در ارتباط باشد. همچنین خاک هواخشک مانند یک سطح بدون پوشش در فصل خشک بوده که به محض شروع بارش خاکدانه‌ها به‌دلیل خشک بودن و عدم چسبندگی فروپاشی سریع‌تری دارند و خاک با رطوبت ۳۰ درصد نسبت به خاک با رطوبت ۱۵ زودتر اشباع شده و فرایند شروع رواناب و به‌تبع آن هدررفت خاک سریع‌تر اتفاق می‌افتد، به‌نظر می‌رسد استفاده از افزودنی‌های آلی مانند ورمی‌کمپوست و نانوکود منجر به بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شده و درنتیجه مقدار مؤلفه‌های رسوب را در رطوبت‌های مختلف خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی پژوهشگران اثر رطوبت خاک بر تغییرات رواناب و هدررفت خاک (۱۰ و ۱۶)، ثبات خاکدانه‌ها و هدررفت‌پذیری خاک، هدررفت شیاری و توزیع اندازه رسوبات (۲۹) را ارزیابی کرده‌اند. با بررسی منابع موجود مشخص شد که پژوهش‌های محدوی در زمینه اثر ترکیبی افزودنی‌ها و رطوبت خاک از جمله کاه و کلش جو (۹)، زغال‌زیستی (۱۰ و ۱۵) و کاه و کلش کلزا (۱۴) ثبت شده است. علاوه بر این تاکنون پژوهشی که اثر نانوکودها را بر تغییرات مؤلفه‌های رسوب به‌خصوص در رطوبت‌های مختلف ارزیابی کند ثبت نشده بود. همچنین پژوهشی که به بررسی اثرات مقایسه‌ای دو نوع افزودنی متفاوت در رطوبت‌های مختلف را ارزیابی کنند، ثبت نشده است. در پژوهش‌های پیشین به‌منظور حذف اثر شدت تنها از یک شدت بارندگی استفاده شده است. درحالی که در پژوهش حاضر اثر شدت بارندگی نیز بر تغییرات مؤلفه‌های هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمارهای حفاظتی و رطوبتی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی مقایسه‌ای اثرات ورمی‌کمپوست و نانوکود بر هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت‌های خاک هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد و شدت‌های بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در خاک اراضی مرتعی فرسایش یافته و در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. در پژوهش حاضر می‌توان انتظار داشت که اثر ورمی‌کمپوست و نانوکود بر تغییرات مؤلفه‌های رسوب در سطوح رطوبتی هواخشک ، ۱۵ و ۳۰ درصد معنی‌دار خواهد شد زیرا با توجه به تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست و نانوکود بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزودنی‌های مذکور تأثیر قابل توجهی بر کاهش هدررفت خاک و غلظت رسوب نسبت به تیمار شاهد خواهند داشت.

مواد و روش

- تهیه و آماده‌سازی خاک

آزمایش‌های مربوط به بخش جمع‌آوری رسوب در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی تربیت مدرس نور انجام شد. به‌منظور انجام آزمایش‌ها نیاز بود که خاک از شرایط صحرایی به شرایط آزمایشگاهی انتقال داده شود. بنابراین خاک سطحی با عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر (۱۹) از اراضی فرسایش یافته جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. خاک مورد بررسی با بافت لومی- شنی و وزن مخصوص ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. به‌منظور انجام این پژوهش کرت‌های آزمایشی به‌طول، عرض و عمق به‌ترتیب ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۲ متر استفاده شد. شیب کرت‌ها نیز با توجه به شیب متوسط

منطقه جمع‌آوری خاک شیب ۱۷ درصد انتخاب شد. خاک تهیه شده ابتدا به آزمایشگاه منتقل و سپس هواخشک شده، در مرحله بعدی بقایای سنگ و کلوخه‌های آن حذف و در مرحله آخر از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد (۹). سپس به‌منظور ایجاد شرایط مشابه موجود در طبیعت و زهکشی بهتر (۴) در پنج سانتی‌متر اول عمق کرت‌ها از پوکه معدنی در اندازه‌های مختلف استفاده شد (۴). پس از استقرار خاک در کرت‌ها با استفاده از غلتک برای دستیابی به وزن مخصوص ظاهری خاک منطقه (۱۶) مورد مطالعه رسانده شد. شکل ۱ مراحل آماده‌سازی خاک و قرارگیری آن در کرت‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

- انتخاب سطح‌های رطوبتی خاک

از آنجایی که رطوبت پیشین خاک در دقیقه‌های اولیه پس از شروع بارندگی بیشترین اثر مستقیم در مقاومت خاکدانه‌ها و فرایند تخریب و تغییر ویژگی‌های سطح خاک و نیز زمان تشکیل رواناب را دارد (۱۳). لذا برای انجام پژوهش حاضر سه سطح رطوبت خاک شامل هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد با توجه به حداکثر و متوسط تعداد روزهای ممتد بدون بارندگی یا با بارندگی کمتر از یک میلی‌متر در طول سال، فصل‌های خشک و مرطوب خاک انتخاب شدند (۱۰ و ۱۷). برای دستیابی به سطوح رطوبتی مورد نظر، پس از تهیه منحنی رطوبتی هر خاک، میزان کمبود آب آن محاسبه شد و این میزان با استفاده از باران غیرفرساینده به‌آرامی و به نحوی که روانابی ایجاد نشود، به ۱۵ سانتی‌متری بالای سطح خاک اضافه شد (۱۵، ۱۷ و ۲۳). اندازه‌گیری رطوبت از طریق وزنی انجام شده است (۱۰ و ۱۶). به‌منظور تأمین شرایط رطوبت پیشین خاک و متناسب با شرایط طبیعی، حدود ۲۴ ساعت کرت‌های آماده شده تحت شرایط اشباع از کف قرار گرفت. سپس به مدت ۲۴ ساعت رها شد تا به حالت نزدیک به رطوبت برسد (۱۸).

- سامانه شبیه‌ساز باران و انتخاب شدت بارندگی

در پژوهش حاضر از شبیه‌ساز باران قابل حمل ساخته شده توسط پژوهشگران پیشین (۱۷) در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد. سامانه مورد نظر دارای دو عدد نازل باران BEX: 3/8 S24W و سه پایه برای رساندن نازل‌ها به ارتفاع مناسب برای نزول باران (حداکثر تا ۴/۵ متر) است. به‌علت تحت فشار بودن سامانه، قطرات پس از خروج از نازل‌ها از ارتفاع ۴/۵ متری به‌صورت مخروط کاملی از باران، قابلیت پوشش یک کرت با مساحت ۲×۱ مترمربع در سطح زمین را دارند (۱۷). با توجه به اطلاعات باران‌نگاری ایستگاه سینوپتیک کجور و درنظر گرفتن اطلاعات سایر ایستگاه‌های اطراف منطقه مورد بررسی، شدت‌های بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت انتخاب شد. همچنین برای حذف اثر مدت بارندگی، مدت زمان برداشت نمونه‌ها مدت زمان بارندگی برای هر بار نمونه‌برداری ۱۵ دقیقه تعیین شد. در واقع مدت زمان هر آزمایش برابر با مجموع زمان شروع رواناب و ۱۵ دقیقه پس از آن مدنظر قرار گرفت.

- خصوصیات و مقادیر ورمی‌کمپوست و نانوکود

ورمی‌کمپوست استفاده شده در پژوهش حاضر مربوط به شرکت گلباران بوده و ترکیبی از مواد زائد دفع شده از سیستم گوارشی کرم‌های خاکی است که پس از تغذیه از مواد ارگانیک و زنده مانند پسماند میوه‌ها، سبزیجات و همچنین کود حیوانی است. این کود سرشار از مواد غذایی ماکرو مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم (N-P-K) و همچنین مواد غذایی میکرو مانند آهن، روی و منگنز است. جدول ۱ ویژگی‌های ورمی‌کمپوست استفاده شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. خواص مهم ورمی‌کمپوست استفاده شده شامل فعالیت میکروبی در آن ۱۰ تا ۲۰ برابر خاک‌ها و کودهای ارگانیک (کود گاوی)، باعث تحریک عناصر میکروسکوپی در خاک و افزایش میکروارگانیسم ها در آن، افزایش ظرفیت نگهداری آب، جلوگیری از آبشویی و از دست رفتن مواد مغذی در خاک و

شکل ۱. مراحل آماده‌سازی کرت‌های آزمایشگاهی به‌ترتیب از راست به چپ قرارگیری پوکه در کف کرت‌ها، قرار دادن خاک و کوبیدن آن و کرت‌های آماده شده برای شبیه‌سازی

جدول ۱. مشخصات ورمی‌کمپوست استفاده شده در پژوهش حاضر

C/N	EC (dS/m)	pH	OM (%)	OC (%)	K_2O (%)	K (%)	P_2O_5 (%)	P (%)	N (%)
۱۲/۳۰	۱/۲۲	۷/۴	۲۱/۱۵	۱۲/۰۶	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۹۸

کاهش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی (که باعث آلودگی محیط زیست و آب‌های زیرزمینی می‌شود) است.

کاربرد نانوفناوری به‌عنوان یکی از روش‌های نویدبخش برای افزایش قابل توجه تولید غذای مورد نیاز جمعیت به‌سرعت در حال رشد جهان است. نگرانی‌های مربوط به کارایی کم کودهای مرسوم (حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد) و گزینه‌های مدیریتی کم برای بهبود آن، ضرورت کاربرد نانوفناوری برای تحقیقات و توسعه کودها را آشکار می‌کند. نانوکود مورد استفاده در پژوهش حاضر نانوکود کلاته ۳۶-۱۲-۱۲ (پتاسیم-فسفر-نیتروژن) خضراء بود. این نانوکود حاوی ۳۶٪ پتاسیم، ۱۲٪ نیتروژن و ۱۲٪ فسفر خالص در فرم کلاته و قابل جذب (برخلاف کودهای شیمیایی که حاوی اکسید پتاسیم، اکسید فسفر، اوره و نیترات آمونیوم هستند) است. همچنین سازگار با محیط زیست و فاقد نیترات (برخلاف کودهای ماکروی شیمیایی که حاوی فلزات سنگین و نیترات و آلاینده محیط زیست هستند) بوده که کاملاً محلول در آب است. پس از تهیه ورمی‌کمپوست و نانوکود برای انجام پژوهش حاضر از مقادیر به‌ترتیب ۲۴ گرم در مترمربع (۲۵) و شش گرم بر مترمربع (۳) انتخاب شد سپس به‌صورت یکنواخت در سطح کرت‌ها پخش شد. موسوی‌فر و همکاران (۲۱) در کاربرد نانوسلیکات نشان دادند که نانوسلیکا در مقادیر هفت و ۱۰ گرم در مترمربع موجب تشکیل لایه چسبنده و نفوذناپذیر در سطح خاک می‌شود که می‌تواند علاوه بر کاهش نفوذ، زمان شروع رواناب را کاهش دهد. اما در پژوهش حاضر از مقدار پیشنهادی ایشان (سه گرم بر مترمربع) برای ارزیابی نانوکود استفاده شد. اما به‌دلیل اینکه این مقدار نتوانست نتایج رضایت‌بخشی در تغییرات مؤلفه‌ها داشته باشد. بنابراین برای ارزیابی پژوهش حاضر از مقدار شش گرم بر مترمربع استفاده شد. به‌طوری که برخی پژوهشگران با کاربرد نانوکود شش گرم بر لیتر در بخش کشاورزی به نتایج رضایت‌بخشی در این زمینه دست یافتند (۳).

- اندازه‌گیری هدررفت خاک و غلظت رسوب

پس از استقرار خاک در کرت‌های آزمایشگاهی، نمونه‌های رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران در کرت شاهد (بدون پوشش حفاظتی) برای رطوبت‌های پیشین خاک هوا خشک، ۱۵ و ۳۰ درصد و شدت‌های بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر در

ساعت و در سه تکرار با فواصل زمانی سه دقیقه‌ای به‌مدت ۱۵ دقیقه (بعد از زمان شروع رواناب) جمع‌آوری شد. سپس نمونه‌های رسوب در کرت‌های حفاظت شده با تیمارهای ورمی‌کمپوست و نانوکود با مقادیر به‌ترتیب ۲۴ و شش گرم در مترمربع با فواصل زمانی سه دقیقه‌ای به‌مدت ۱۵ دقیقه (بعد از زمان شروع رواناب) در شدت‌های ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر در ساعت و در رطوبت‌های مختلف انتخاب شده در سه تکرار جمع‌آوری شدند. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در حالت سکون قرار داده شدند. پس از آن آب اضافی نمونه‌ها تخلیه و درنهایت نمونه تغلیظ شده رسوب به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از خشک شدن توزین شدند. غلظت رسوب نیز از تقسیم هدررفت خاک به حجم رواناب اندازه‌گیری شده در خروجی کرت‌ها محاسبه شد (۱۰).

- آنالیزهای آماری

به‌منظور انجام کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای Excel و SPSS26 استفاده شد. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Excel میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و درصد تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب برای تیمارهای ورمی‌کمپوست و نانوکود در سه سطح رطوبتی هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد و برای شدت‌های بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت محاسبه و سپس با تیمارهای شاهد مقایسه شد. به‌منظور آنالیز آماری ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون به‌روش کولموگروف - اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و در مرحله بعدی به‌منظور مقایسه هدررفت خاک و غلظت رسوب تیمارهای حفاظتی با تیمارهای شاهد از آزمون GLM استفاده شد (۱).

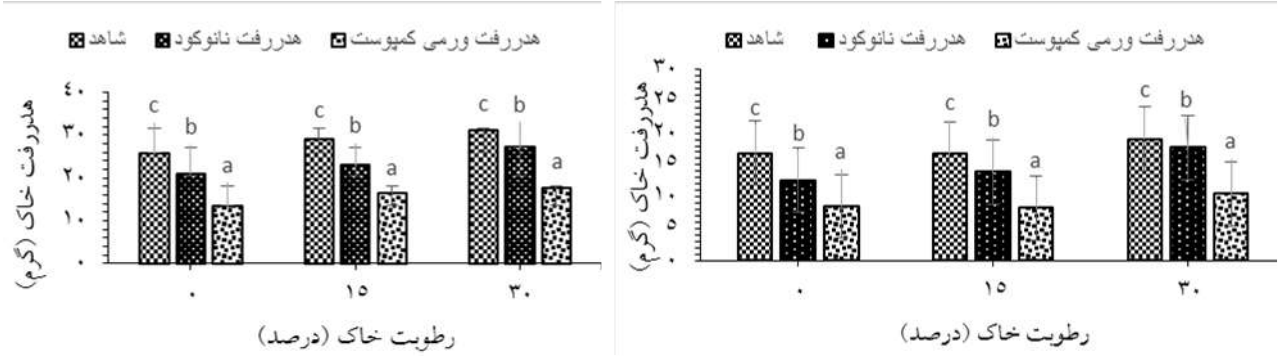
نتایج

نتایج مقادیر میانگین، انحراف معیار و درصد حفاظتی هدررفت خاک و غلظت رسوب در قبل و بعد از استفاده از تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد و شدت‌های بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در جدول ۲ ارائه شده است. شکل ۲ و ۳ نیز مقایسه تأثیر تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود در مقایسه با شاهد به‌ترتیب بر مؤلفه‌های هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت‌های مختلف خاک و شدت بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهد. نتایج آزمون تجزیه واریانس بر مؤلفه‌های هدررفت خاک و غلظت رسوب در جدول ۳ و همچنین تفکیک و همگن‌بندی تیمارهای حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود و سطوح رطوبت خاک با استفاده از آزمون دانکن در جدول ۴ ارائه شده است.

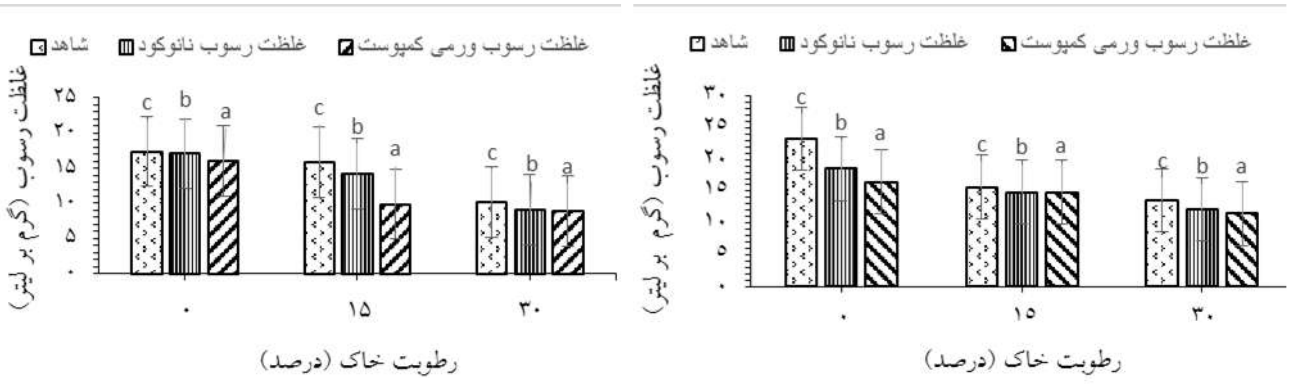
نتایج جدول ۲ حاکی از آن است که در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت، درصد کاهش هدررفت خاک برای تیمارهای نانوکود و ورمی‌کمپوست در رطوبت‌های مختلف هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۲۵/۲۶، ۱۶/۹۲ و ۷/۰۱ درصد و ۴۹/۲۸، ۵۰/۳۵ و ۴۵/۰۴ درصد بود. همچنین نتایج درصد تغییرات هدررفت خاک برای تیمار حفاظتی نانوکود و ورمی‌کمپوست در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵و ۳۰ درصد و شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت به‌ترتیب ۱۸/۱۰، ۲/۹۳ و ۱۲/۵۳درصد و ۴۸/۰۵، ۴۳/۵۶ و ۴۳/۲۰ درصد بود. تغییرات غلظت رسوب در تیمار حفاظتی نانوکود و ورمی‌کمپوست در رطوبت هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد و شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به‌ترتیب ۲۰/۳۱، ۴/۳۴ و ۱۰/۳۳ درصد و ۲۸/۰۹، ۱۰/۳۷ و ۱۵/۳۹ درصد کاهش داشت (جدول ۲). همچنین نتایج جدول ۴ حاکی از آن است که برای شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت، درصد تغییرات غلظت رسوب در تیمارهای حفاظتی نانوکود و ورمی‌کمپوست در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۱/۹۵، ۹/۹۳ و ۱۱/۱۵ و ۷/۸۸، ۳۷/۳۴ و ۱۲/۹۱درصد بود که نسبت به تیمار شاهد روند کاهشی داشت.

جدول ۲. نتایج هدررفت خاک و غلظت رسوب تیمارهای حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود در رطوبت‌های به‌کار برده شده و شدت بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت

سطح رطوبتی (درصد)	متغیرها	هدررفت خاک (گرم)			غلظت رسوب (گرم بر لیتر)		
		شاهد	نانوکود	ورمی‌کمپوست	شاهد	نانوکود	ورمی‌کمپوست
شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت							
هواخشک	میانگین	۱۶/۸۶	۱۲/۶۰	۸/۵۵	۲۳/۲۸	۱۸/۵۵	۱۶/۷۴
	انحراف معیار	۱/۵۱	۱/۴۶	۱/۰۲	۴/۹۱	۳/۸۹	۰/۵۱
	درصد حفاظتی	–	۲۵/۲۶	۴۹/۲۸	–	۲۰/۳۱	۲۸/۰۹
۱۵	میانگین	۱۶/۷۲	۱۳/۸۹	۸/۳	۱۵/۶۵	۱۴/۸۸	۱۳/۹۷
	انحراف معیار	۲/۶۱	۲/۱۰	۰/۵۶	۰/۵۰	۴/۳۴	۰/۸۱
	درصد حفاظتی	–	۱۶/۹۲	۵۰/۳۵	–	۴/۹۲	۱۰/۳۷
۳۰	میانگین	۱۹/۰۹	۱۷/۷۵	۱۰/۴۹	۱۳/۵۸	۱۲/۱۹	۱۱/۴۹
	انحراف معیار	۲/۱۹	۲/۵۴	۰/۹۷	۱/۳۹	۱/۰۸	۰/۳۰
	درصد حفاظتی	–	۷/۰۱	۴۵/۰۴	–	۱۰/۲۳	۱۵/۳۹
شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت							
هواخشک	میانگین	۲۵/۷۴	۲۱/۰۸	۱۳/۳۷	۱۷/۳۸	۱۷/۰۴	۱۶/۰۱
	انحراف معیار	۴/۳۲	۳/۶۱	۲/۳۷	۱/۷۰	۱/۶۷	۱/۵۵
	درصد حفاظتی	–	۱۸/۱۰	۴۸/۰۵	–	۱/۹۵	۷/۸۸
۱۵	میانگین	۲۹/۰۴	۲۲/۹۶	۱۶/۳۹	۱۵/۸	۱۴/۲۳	۹/۹۰
	انحراف معیار	۳/۸۰	۳	۲/۴۲	۱/۰۹	۱/۱۰	۰/۳۳
	درصد حفاظتی	–	۲۰/۹۳	۴۳/۵۶	–	۹/۹۳	۳۷/۳۴
۳۰	میانگین	۳۱/۲۷	۲۷/۳۵	۱۷/۷۶	۱۰/۲۲	۹/۰۸	۸/۹۰
	انحراف معیار	۳/۷۳	۳/۱۲	۲/۲۳	۲/۱۳	۱/۸۱	۰/۰۷
	درصد حفاظتی	–	۱۲/۵۳	۴۳/۲۰	–	۱۱/۱۵	۱۲/۹۱



شکل ۲. مقایسه تأثیر تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود بر هدررفت خاک در: الف) شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و ب) شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت



شکل ۳. مقایسه تأثیر تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود بر غلظت رسوب در: الف) شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و ب) شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت

بحث

همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد درصد حفاظتی تیمارهای حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود درتمامی سطوح رطوبتی خاک و شدت‌های بارندگی مثبت بوده و منجر به کاهش هدررفت خاک نسبت به تیمار شاهد شده است اما مقایسه نتایج تیمارهای ورمی‌کمپوست و نانوکود نشان داد که تأثیر نانوکود بر تغییرات هدررفت خاک نسبت به ورمی‌کمپوست در رطوبت‌ها و شدت‌های مورد استفاده کمتر بود. یکی از دلایل تأثیر کمتر نانودکود بر تغییرات هدررفت خاک نسبت به تیمار ورمی‌کمپوست می‌تواند این باشد که این افزودنی به‌دلیل ایجاد بزرگ خاکدانه در سطح خاک (۳۰) طبعاً تأثیر کمتری را نسبت به تیمار ورمی‌کمپوست ارائه می‌دهد اما همچنین برخی پژوهشگران نشان دادند ذرات نانو با جذب آب (درصورتی که به مقدار مناسب استفاده شوند) قابلیت جذب بالایی در جذب آب داشته (۱۱ و ۲۱). درنهایت می‌توانند مقدار هدررفت خاک را کاهش دهند. نتایج تیمار ورمی‌کمپوست با نتایج هاتی و همکاران (۱۲) و تجدا و همکارن (۲۸) مبنی بر تأثیر مناسب ورمی‌کمپوست بر کاهش هدررفت و حفظ ساختمان خاک مطابقت دارد. شکل ۳ نیز مقایسه تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست، نانوکود و تیمار شاهد را بر هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت‌های مختلف خاک و دو شدت بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در هر دو شدت بارندگی تأثیر ورمی‌کمپوست و نانوکود بر کاهش هدررفت خاک و غلظت رسوب در تمامی سطح‌های رطوبتی بیشتر از

جدول ۳. نتایج آزمون تجزیه واریانس تیمارهای حفاظتی، رطوبت‌های خاک و شدت بارندگی بر هدررفت خاک و غلظت رسوب

	متغیر	مجموع مربعات نوع سوم	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
تیمارهای حفاظتی	هدررفت خاک	۱۰۳۳/۵۲	۲	۵۱۶/۴۶	۷۴/۷۴	۰/۰۰۰
	غلظت رسوب	۴۷۶/۵۸	۲	۴۳/۳۸	۹/۶۵	۰/۰۰۰
رطوبت خاک	هدررفت خاک	۸۱/۵۱	۲	۸۱/۵۱	۱۱/۷۹	۰/۰۰۰
	غلظت رسوب	۲۳۸/۲۹	۲	۲۳۸/۲۹	۵۳/۰۵	۰/۰۰۰
شدت بارندگی	هدررفت خاک	۱۰۹۵/۰۳	۱	۱۰۹۵/۰۳	۱۵۸/۳۹	۰/۰۰۰
	غلظت رسوب	۷۸/۶۵	۱	۷۸/۶۵	۷۱/۵۱	۰/۰۰۰
شدت بارندگی × رطوبت خاک	هدررفت خاک	۵۳۵/۶۹	۲	۲۶۷/۸۴	۸/۶۲	۰/۰۰۰
	غلظت رسوب	۱۸۶/۵۵	۲	۹۳/۲۷	۱۲/۰۶	۰/۰۰۰
تیمار حفاظتی × شدت بارندگی	هدررفت خاک	۳۰۶۸/۷۱	۲	۱۵۳۴/۳۵	۴۹/۴۰	۰/۰۰۰
	غلظت رسوب	۴۴۰/۲۹	۲	۲۲۰/۱۴	۲۸/۴۷	۰/۰۰۰
تیمار حفاظتی × رطوبت خاک	هدررفت خاک	۸۶۵۴/۱۱	۴	۲۱۶۳/۵۲	۶۹/۶۶	۰/۰۰۰
	غلظت رسوب	۲۰۶/۷	۴	۵۱/۶۷	۶/۶۸	۰/۰۰۰

جدول ۴. تفکیک و همگن‌بندی تیمارهای حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود و سطوح رطوبت خاک با استفاده از آزمون دانکن

	متغیر	زیرگروه ۱	زیرگروه ۲	زیرگروه ۳
تیمار حفاظتی	هدررفت خاک	ورمی‌کمپوست (۱۲/۵۳)	نانوکود (۱۹/۲۷)	شاهد (۲۳/۱۲)
	غلظت رسوب	ورمی‌کمپوست (۱۲/۸۳)	نانوکود (۱۴/۳۸)	شاهد (۱۵/۹۳)
رطوبت خاک	هدررفت خاک	۱۵ (۳۴/۴۷)	هواخشک (۵۴/۶۶)	۳۰ (۸۷/۴۸)
	غلظت رسوب	۱۵ (۱۳/۹۴)	هواخشک، ۳۰ (۲۵/۷۷، ۲۶/۸۱)	---

تیمار شاهد بود. دلیل این امر را می‌توان به سطح بالای مواد آلی موجود در ورمی‌کمپوست نسبت داد که منجربه بهبود ساختمان خاک، جلوگیری از تخریب خاکدانه‌ها و بزرگ‌تر شدن خلل و فرج موجود در خاک و طبعاً هدایت آب به لایه‌های پایین‌تر خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده است. همچنین نانوکود نیز با ایجاد چسبندگی در سطح خاک از حمل ذرات توسط رواناب جلوگیری کرده و بنابراین نسبت به شاهد مقدار غلظت رسوب کمتری خواهد داشت. به‌طور کلی بر اساس پژوهش‌های به‌عمل آمده توسط نوواک و مولر (۲۰) گزارش شده است که نانوذرات به‌سبب برخورداری از نسبت سطح به حجم و قابلیت جذب زیاد، امکان اتصال حداکثری ذرات خاک با حداقل مقدار افزودنی را فراهم می‌کنند. جدول ۳ نیز نتایج آزمون آنالیز واریانس نشان داد که اثر تیمارهای حفاظتی ورمی‌کمپوست و نانوکود بر هدررفت خاک و غلظت رسوب در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بود در این راستا آرتور و همکاران (۲) تأثیر مثبت و معنی‌دار کمپوست بر ثبات خاکدانه و درنتیجه کاهش غلظت رسوب را تأیید کردند. همچنین نتایج پژوهش حاضر با نتایج موسوی‌فر و همکاران

(۲۱) مبنی بر تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر تعییرات هدررفت خاک و درنتیجه آن کاهش غلظت رسوب مطابقت داشت.

رطوبت خاک و شدت بارندگی پارامترهای مهمی در تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب هستند. همچنین نتایج جدول ۳ نشان داد که اثر رطوبت خاک و شدت بارندگی و نیز اثر متقابل این دو بر هدررفت خاک و غلظت رسوب در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بود. برخی پژوهشگران در نتایج خود اثر معنی‌دار رطوبت خاک بر مؤلفه‌های مورد نظر را تأکید کرده‌اند که در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های غلامی و همکاران (۱۰)، خالدی درویشان و همکاران (۱۷) و رویزسینوگا و همکاران (۲۵) اشاره کرد. در این راستا اثر معنی‌دار رطوبت پیشین خاک بر غلظت رسوب با نتایج رویزسینوگا و همکاران (۲۵) و اثر معنی‌دار شدت بارندگی بر غلظت رسوب با نتایج خالدی درویشان و همکاران (۱۶) همسو است. همچنین این نتایج با نتایج غلامی و همکاران (۲۰۱۹) درمورد تأثیر متقابل تیمار حفاظتی بایوچار و رطوبت خاک، کریمی و همکاران (۱۵) درباره تأثیر متقابل تیمار حفاظتی و رطوبت خاک و کله هویی و همکاران (۱۴) در مورد تأثیر متقابل تیمار حفاظتی کاه و کلش کلزا و رطوبت خاک بر هدررفت خاک و غلظت رسوب مطابقت داشت. نتایج با یافته‌های خالدی درویشان و همکاران (۱۶) مبنی بر تغییرات دوجانبه هدررفت خاک و غلظت رسوب در شدت‌های باران و رطوبت‌های پیشین خاک مختلف نیز در پژوهش حاضر مورد تأیید قرار گرفت چرا که با افزایش سطح رطوبتی خاک درصد، هدررفت خاک و نیز غلظت رسوب افزایش یافت.

جدول ۴ تفکیک و همگن‌بندی تیمارهای حفاظتی بر هدررفت و غلظت رسوب با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که ورمی‌کمپوست، نانوکود و تیمار شاهد به‌ترتیب در زیرگروه یک تا سه قرار داشتند. این موضوع نشان‌دهنده این است که تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست بیشترین تأثیر را در کاهش هدررفت خاک داشت این نتایج با نتایج موسوی‌فر و همکاران (۲۱) مبنی بر تأثیر بیشتر ورمی‌کمپوست در مقایسه با نانوسلیکا مطابقت داشت. از سویی دیگر نتایج تفکیک و همگن‌بندی سطوح رطوبتی هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد بر هدررفت خاک با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که سطح رطوبتی ۱۵ درصد در زیرگروه یک قرار گرفت و نشان داد که کمترین هدررفت خاک مربوط به رطوبت ۱۵ درصد بود و زیرگروه دو شامل رطوبت هواخشک و زیرگروه سه که بیشترین هدررفت خاک را دارا بود مربوط به رطوبت ۳۰ درصد بود. این امر نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت خاک میزان هدررفت خاک هم افزایش یافته است. اما یکی از دلایل قرار گرفتن سطح رطوبتی هواخشک در زیرگروه دو می‌تواند این باشد که ذرات خاک در رطوبت‌های کم خاک چسبندگی کمی داشته و یا فاقد چسبندگی هستند و به‌راحتی توسط انرژی قطرات باران جدا و سپس توسط رواناب حمل می‌شوند که درنهایت می‌تواند میزان هدررفت خاک و غلظت رسوب را افزایش دهد. این نتایج با نتایج غلامی و همکاران (۱۰)، کریمی و همکاران (۱۵)، خالدی درویشان و همکاران (۱۶)، ارشم و همکاران (۲۳) و صادقی و همکاران (۲۶)، مبنی بر افزایش هدررفت خاک با افزایش سطح رطوبتی همسو بود. اما با نتایج ورمانگ و همکاران (۳۰) مبنی بر اینکه در رطوبت‌های بیشتر هدررفت خاک و غلظت رسوب کمتر بود مغایرت داشت. تفکیک و همگن‌بندی سطوح رطوبتی هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد بر غلظت رسوب با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که رطوبت ۱۵ درصد در زیرگروه یک و رطوبت‌های ۳۰ درصد و هواخشک در زیرگروه دوم قرار داشتند. کمترین غلظت رسوب مربوط به زیرگروه یک و رطوبت ۱۵ درصد بود. دلیل اینکه رطوبت ۱۵ درصد نسبت به سطح رطوبتی هواخشک غلظت رسوب کمتری داشت این است که در رطوبت هواخشک ذرات خاک پیوستگی کافی را نداشته و رواناب به‌راحتی می‌تواند ذرات خاک را انتقال دهد (۱۶).

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثر تیمارهای حفاظتی

ورمی‌کمپوست و نانوکود با مقادیر ۲۴ و شش گرم بر مترمربع و سه سطح رطوبتی خاک هواخشک، ۱۵ و ۳۰ درصد و شدت بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در تغییرات فرایندهای هدررفت خاک و غلظت رسوب تحت شرایط آزمایشگاهی بود. طبق نتایج پژوهش حاضر با استفاده از تیمارهای حفاظتی، مقادیر غلظت رسوب و هدررفت خاک دارای تغییرات کاهشی معنی‌داری بودند. اما در این بین تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار حفاظتی نانوکود بیشترین تأثیر بر متغیرهای مورد بررسی را داشت. به‌عنوان یک نتیجه می‌توان این‌گونه استنباط کرد که درصد تغییرات هدررفت خاک بعد از کاربرد تیمار حفاظتی ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۷۲/۵۱، ۶۶/۶۳ و ۷۸/۷۶ درصد (در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت) و ۴۵/۰۱، ۳۵/۵۷ و ۱۰/۴۵ درصد (شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت) رودن کاهشی داشت. همچنین درباره تغییرات غلظت رسوب در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به‌ترتیب ۳۳، ۳۳/۴۴ و ۵۸/۲۰ درصد و برای شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت به‌ترتیب ۰/۹۰، ۱۰/۴۰ و ۱۵/۰۸ درصد کاهش داشت. بنابراین استفاده از ورمی‌کمپوست در مقایسه با نانوکود در خاک استفاده شده و شرایط آزمایشگاهی می‌تواند مؤثرتر باشد. اما همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد استفاده از نانوکودها نیز نتایج قابل قبولی را روی مؤلفه‌های مورد بررسی داشت. بنابراین کاربرد آنها می‌تواند در زمینه حفاظت خاک و آب بسته به منطقه مورد بررسی توصیه شود.

سپاسگزاری

در نهایت نویسندگان مقاله بر خود واجب دانسته تا از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در جهت فراهم نمودن امکانات پژوهشی در راستای انجام هزینه‌های طرح پژوهشی به شماره ۰۷-۱۳۹۶-۰۴ و در نهایت، استخراج این مقاله تشکر نمایند.

منابع مورد استفاده

1. Arnaez J., T. Lasanta, P. Ruiz-Flano and L. Ortigosa. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean Vineyards. *Soil and Tillage Research* 93: 324-334.
2. Arthur, E., W. M. Cornelisa, J. Vermang and E. De Rocker. 2011. Effect of compost on erodibility of loamy sand under simulated rainfall, *Catena* 85: 67-72.
3. Bayati, F., A. Aynehband and E. Fateh. 2014. Effect of different rates and application times of nano-iron on yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Fiels Crop Research* 12(4): 805-812. (In Farsi).
4. Defersha, M. B., S. Quraishi and A. Melesse. 2011. The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia. *Hydrology Earth System Science* 15: 2367-2375.
5. Demir, Z. 2019. Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa) yield in greenhouse under different soil water regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50(17): 2151-2168.
6. Doan, T. T., T. Henry-des-Tureaux, C. Rumpel, J. L. Janeau and P. Jouquet. 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.
7. Fletcher, D. 2007. Soil Erosion Control on Banks Peninsula: A Bioengineering Approach.
8. Gessesse B., W. Bewket and A. Bräuning. 2015. Model-based characterization and monitoring of runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. *Land Degradation and Development* 26(7): 711-724.
9. Gholami, L., L. Banasik, S. H. R. Sadeghi and A. Khaledi Darvishan. 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. *Journal of Water and Land Development* 22 (VII–IX): 51-60.

10. Gholami, L., N. Karimi and A. Kavian. 2019. Soil and water conservation using biochar and various soil moisture in laboratory conditions. *Catena* 182: 104-151.
11. Hasanzadeh, N., L. Gholami, A. Khlaedi Darvishan and H. Uonesi. 2018. Nanoclay effect on changing runoff and sediment at small plots. The 13th National Conference on Watershed Management Science & Engineering of Iran and the 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment.
12. Hati, K. M., A. Swarup, A. K. Dwivedi, A. K. Misra and K. K. Bandyopadhyay. 2007. Changes in physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a Vertisol of central india after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. *Agriculture Ecosystems Environment* 119(1): 127-134.
13. Hawke, R. M., A. G. Price and R. B. Bryan. 2006. The effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity: A laboratory investigation. *Catena* 65: 237-246.
14. Kalehhouei, M., A. Kavian, L. Gholami and Z. Jafarian. 2017. Protective impact of colza straw (*Brassica napus L.*) on runoff and soil loss control using rainfall simulation. *Watershed Management Research* 31(118): 72.82. (In Farsi).
15. Karimi, N., L. Gholami and A. Kavian. 2019. Protective role of biochar in different soil moisture for prevent soil loss in laboratory conditions. *Journal of Water and Soil Scienc* 23(3): 223-235. (In Farsi).
16. Khaledi Darvishan, A., K. Banasik, S. H. R. Sadeghi, L. Gholami and L. Hejduk. 2015. Effects of rain intensity and initial soil moisture on hydrological responses in laboratory conditions. *International Agrophysics* 29: 165-173.
17. Khaledi Darvishan, A., S. H. R. Sadeghi, M. Homaee and M. Arabkhedri. 2014. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. *Hydrological Processes* 28(15): 4463-4471.
18. Kheirfam, H., S. H. R. Sadeghi, M. Homaee and B. Zarei Darki. 2014. Role of soil microorganisms in soil and water loss control. *Extension and Development of Watershed Management* 2(5): 19-27.
19. Kukal, S. S. and M. Sarkar. 2010. Splash erosion and infiltration in relation to mulching and polyvinylalcohol application in semi-arid tropics. *Archive of Agronomy and Soil Science* 56(6): 697-705.
20. Mueller, N. C. and B. Nowack. 2010. Nanoparticles for remediation: solving big problems with little particles. *Elements* 6(6): 395-400.
21. Mousavifar, S. S., S. H. R. Sadeghi and N. Bahramifar. 2017. Effects of individual and combined application of vermicompost and silica nano particles on soil infiltration. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 7(1): 49-59. (In Farsi).
22. Najafivafa, Z., N. Falahi, M. Zare, S. Bohloli and A. Sirousmehr. 2014. The effects of different levels of using Zinc nano chelated fertilizers and humic acid on growth parameters and on some quality and quantity characteristics of medicinal plants of savory. *Academy for Environment and Life Sciences India* 4(6): 56-67.
23. Orsham, A., A. M. Akhundali and A. Behnia. 2010. Effect of soil antecedent moisture contents on runoff and sedimentation values with simulated rainfall method. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 16(4): 445-455. (In Farsi).
24. Pandiyana, C., K. Balajib, S. Saravanana, G. Shylajaa and G. Ragavendra. 2020. Effect of vermicompost application on soil and growth of the plant *Sesamum indicum* L. Preprints. (doi: 10.20944/preprints202002.0080.v1).
25. Ruiz-Sinoga J. D., A. Romero Diaz, E. FerreBueno and J. F. Martinez Murillo. 2010. The role of soil surface conditions in regulating runoff and erosion processes on a metamorphic hillslope (Southern Spain), soil surface conditions, runoff and erosion in Southern Spain. *Catena* 80: 131-139.
26. Sadeghi, S. H. R., Z. Hashemi Ariyan and Z. Karimi. 2015. Runoff generation and soil loss control using combined application of vermicompost and Vinasse. *Water Reuse* 2(1): 81-91. (In Farsi).
27. Thu Doan, T., H. Tureaux, C. Rumpel, J. Janeau and P. Jouquet. 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: 147-15.
28. Tejada, M. and J. L. Gonzalez. 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma* 145: 325-334.
29. Truman, C. C., T. L. Potter, R. C. Nuti, D. H. Franklin and D. D. Bosch. 2011. Antecedent water content effects on runoff and sediment yields from two Coastal Plain Ultisols. *Agricultural Water Management* 198: 1196-1189.
30. Vermang, J., V. Demeyer, W. M. Cornelis and D. Gabriels. 2009. Effect of antecedent soil-water content on aggregate stability and erodibility of a loess soil. *Soil Society of America Journal* 73: 718-726.
31. Zomorodian, S. M. A., and A. Soleymani. 2017. The Effect of nanosilica additive on soil erodibility. *Journal of Water and Soil Science* 21(1): 217-227. (In Farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 3, Fall 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Variability of Sediment Components with Application of Vermicompost and Nano-manure and Various Moisture Levels

L. Gholami[1*], A. Khaledi Darvishan[2] and N. Karimi[1]

(Received: June 14-2020; Accepted: December 21-2020)

Abstract

Soil loss can cause many intra-regional and extra-regional problems, on the other hand, the effect of soil moisture on processes of soil loss and sediment yield for the identification and simulation of soil hydrological response is necessary. Therefore, the application of soil conditioners is essential for soil and water conservation. The present study was conducted to investigate the effect of soil conditioners of vermicompost and nano-manure on variables of soil loss and sediment concentration at moistures of air-dried, 15 and 30%, and rainfall intensities of 50 and 90 mm h^{-1}. The obtained results in addition to confirmation of the significant effect of each conservation treatment at the level of 99 percent on the intended components showed that the conservation treatment of vermicompost compared to nano-manure treatment had more effect on measured variables. Also, the conservation treatment of vermicompost could decrease the soil loss at soil moisture air-dried, 15, and 30 percent with rates of 72.15, 66.63, and 78.76 percent (50 mm h^{-1}), respectively, and 45.01, 35.57, and 10.45 percent (of 90 mm h^{-1}), respectively. The effect of conservation treatments, soil moistures, and rainfall intensity and the interaction effects of conservation treatments × rainfall intensity and rainfall intensity × soil moisture on changes of soil loss and sediment concentration were significant at the level of 99 percent. The application of vermicompost and nano-manure had acceptable results on studied parameters but the vermicompost effect was more than nano-manure. Therefore, due to the widespread use of different types of conditioners, nowadays, it is needed to move the application feasibility of conditioners such as vermicompost and nano-manure that these have not the adverse effects of environmental.

Keywords: Soil amendments, Soil erosion, Soil antecedent moisture, Sediment concentration, Laboratory plot

1. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
*: Corresponding author, Email: l.gholami@sanru.ac.ir