

تأثیر کاربرد جداگانه و ترکیبی ورمی کمپوست و نانو ذرات سیلیکا بر نفوذپذیری خاک

سیده صبا موسوی فر^۱، سید حمیدرضا صادقی^{۲*} و نادر بهرامی فر^۳

(۱) دانشجوی گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، نور، مازندران، ایران

(۲*) استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، نور، مازندران، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: Sadeghi@modares.ac.ir

(۳) استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، نور، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۵

چکیده

نفوذپذیری خاک، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان تولید رواناب و ارزیابی وضعیت آبخیزهاست و راه‌کارهای متعددی برای بهبود آن ارائه شده است. ولی استفاده از ذرات نانو به‌صورت جداگانه و در ترکیب با افزودنی‌های آلی با هدف بهبود میزان نفوذ آب در خاک کمتر استفاده شده است. به‌همین دلیل در پژوهش حاضر سعی شد تأثیر افزودنی آلی ورمی کمپوست به‌میزان ۱۰۰ گرم بر مترمربع و هم‌چنین نانوسیلیکا در سه سطح سه، هفت و ۱۰ گرم بر مترمربع به‌صورت جداگانه و ترکیبی بر نفوذپذیری خاک حساس به فرسایش منطقه مرزن آباد- کندلوس در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از کرت‌های کوچک فرسایشی ارزیابی شود. برای همین منظور مقدار نفوذ آب در خاک پس از شبیه‌سازی باران طرح با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و دوام ۵۰ دقیقه در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شده و در نهایت تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام شد. نتایج نشان داد که تمام تیمارهای مورد استفاده در پژوهش به‌جز تیمار سطح سه نانوسیلیکا (NS3) (۱۰ گرم بر مترمربع) در سطح اطمینان ۹۹ درصد نفوذپذیری خاک نسبت به تیمار شاهد را افزایش داد. میزان نفوذ آب در خاک تیمارهای (V)، نانوسیلیکا سطح یک (NS1)، نانوسیلیکا سطح دو (NS2) و نیز ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح یک (VNS1)، ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح دو (VNS2) و ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه (VNS3) به‌ترتیب ۲۴/۶۳، ۱۰/۱۸، ۱۴/۰۵، ۱۵/۰۹ و ۲۳/۳۰ درصد افزایش و در (NS3)، ۰/۲۴ درصد کاهش داشت. تفاوت در عملکرد کاربرد جداگانه و ترکیبی ورمی کمپوست و نانوسیلیکا مؤید ضرورت استفاده صحیح از افزودنی‌ها در مدیریت منابع آب و خاک است.

کلید واژه‌ها: اصلاح‌کننده‌های خاک؛ افزودنی خاک؛ تخریب اراضی؛ تولید رواناب؛ حفاظت آب و خاک

مقدمه

تخریب اراضی و فرسایش خاک^۱ یکی از نگرانی‌های بزرگ وابسته به محیط‌زیست بوده که منجر به کاهش تنوع زیستی، فقر جوامع انسانی، کاهش حاصل‌خیزی خاک و افزایش رسوب‌گذاری مخازن آب شده (Bridges and Oldeman, 1999; Jianping, 1999; Ochoa et al., 2016)

پایداری منابع خاک و آب در زیست‌بوم‌ها از عوامل اصلی و تأثیرگذار در دستیابی به اهداف مورد نظر در توسعه پایدار هستند (Bowker et al., 2008). با این حال

¹ Soil Erosion

و پایداری زیست بوم‌ها را نیز با تهدیدی جدی مواجه کرده است (Sadeghi et al., 2009). با وجود این، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در رفتار هیدرولوژیکی دامنه‌ها، خصوصیات سطحی و میزان قابلیت نفوذ آب در خاک می‌باشد (کاویان و همکاران، ۱۳۹۲).

تاکنون راه‌کارهای مدیریتی مختلفی به منظور افزایش نفوذپذیری آب در خاک ارائه و اجرا شده است. در همین راستا اصلاح‌گرها^۱، تثبیت‌کننده‌ها^۲ و افزودنی‌های^۳ خاک از قبیل مالچ‌های با منشأ طبیعی و (Awad et al., 2012; Sadeghi et al., 2016b) و پسماندهای معادن، مراکز صنعتی و کشاورزی، مالچ کاه و کلش، کود حیوانی، زغال زیستی و پلی‌آکریل‌آمید (صادقی و همکاران، ۱۳۹۲; Sojka and Entry, 2000; Gholami et al., 2013; Sadeghi et al., 2015) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال وسعت زیاد سطوح دامنه‌ها از یک سو و اثرات سوء محیط زیستی افزودنی‌های با منشأ مصنوعی، زمان‌بر بودن اثربخشی افزودنی‌های با منشأ طبیعی و ضرورت استفاده از افزودنی‌ها برای بهبود ویژگی‌های سطحی خاک و در نتیجه افزایش قابلیت نفوذ آب در خاک از سوی دیگر، نیازمند استفاده از حجم و مقدار زیادی از افزودنی‌ها بوده و افزایش هزینه و زمان را در پی دارد. به همین دلیل اخیراً تبدیل افزودنی‌های با منشأ طبیعی به حالت کمپوست، راه‌کاری مناسب در کاهش اثرات محیط زیستی و حجم مصرفی از افزودنی‌ها مطرح و نقش آن در کاهش هدررفت خاک و آب و قابلیت نفوذپذیری تأیید شده است (Miller, 2002; Sadeghi et al., 2016a).

در راستای نقش افزودنی‌های مختلف بر نفوذپذیری خاک پژوهش‌های متعددی انجام شده است. برخی پژوهش‌ها در رابطه با اثرات انواع کودهای آلی بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی و فیزیکی خاک انجام شده است. Singh و همکاران (۲۰۰۷) اثر کودهای آلی مختلف در ترکیب با نوعی باکتری هم‌زیست با نیشکر

(*Gluconacetobacter Diazotrophicus*) بر کیفیت و نفوذپذیری خاک در طول سه سال را مطالعه و افزایش ۳۰ تا ۳۵ درصدی سرعت نفوذ آب در خاک نسبت به تیمار شاهد را تأیید کردند. هم‌چنین Marathe و همکاران (۲۰۰۹) اثر کودهای آلی، معدنی و زیستی بر ویژگی‌های نفوذ خاک و رشد برخی مرکبات را بررسی کردند و دریافتند که استفاده از کاه گندم به همراه کودهای معدنی برای تمام ویژگی‌های نفوذ خاک (نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ و حداکثر ظرفیت نگهداری آب در خاک) مؤثرتر بوده است. Kukal و Sarkar (۲۰۱۰) نیز تاثیر مالچ کاه و کلش و پلی وینایل الکل بر نفوذ در دو نوع خاک لومی شنی و سیلتی لومی در مناطق استوایی نیمه خشک را بررسی کرده و نتایج آن‌ها حاکی از عملکرد مؤثر این افزودنی‌ها در خاک لومی شنی بر مؤلفه‌های نفوذ بوده است. Sepaskhah و Shahabizad (۲۰۱۰) نیز طی بررسی تأثیر کیفیت آب و میزان کاربرد پلی‌آکریل‌آمید بر میزان فرسایش، نفوذ و رواناب در شرایط آزمایشگاهی، بر کاهش معنی‌دار اثر حفاظتی پلی‌آکریل‌آمید در بارش‌های دوم به بعد بر میزان فرسایش، نفوذ و بارش به‌ویژه در آب با کیفیت پایین در بافت‌های مختلف خاک تأکید کردند.

Karunakaran و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اثر نانوسیلیکا بر ویژگی‌های خاک پرداختند. آن‌ها دریافتند که ویژگی‌های سطحی و محتوی مواد مغذی خاک تحت درمان با نانوسیلیکا بهبود یافت؛ به نحوی که نیتروژن، پتاسیم و فسفر در اثر استفاده از نانوسیلیکا افزایش یافت. آن‌ها هم‌چنین اظهار داشتند که نانوسیلیکا کودی مناسب است که موجب حاصل خیزی خاک و بهبود عملکرد و افزایش محصولات کشاورزی می‌شود. نیز Montenegro و همکاران (۲۰۱۳) اثر مقادیر مختلف کاه برنج بر پویایی ارتباط آب و خاک طی بارندگی‌های متناوب شبیه‌سازی شده را مثبت ارزیابی نمودند. در ادامه Doan و همکاران (۲۰۱۵) اثر افزودنی‌های آلی (کود بوفالو، کمپوست و رومی کمپوست) و زغال زیستی (استفاده تنها یا همراه با

در راستای نقش افزودنی‌های مختلف بر نفوذپذیری خاک پژوهش‌های متعددی انجام شده است. برخی پژوهش‌ها در رابطه با اثرات انواع کودهای آلی بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی و فیزیکی خاک انجام شده است. Singh و همکاران (۲۰۰۷) اثر کودهای آلی مختلف در ترکیب با نوعی باکتری هم‌زیست با نیشکر

¹ Conditioner

² Stabilizer

³ Amendment

خاک را بررسی کردند. زمردیان و سلیمانی (۱۳۹۵) نیز به بررسی تأثیر نانوسیلیکا در مهار فرسایش خاک، با استفاده از دستگاه تابع فرسایش^۱ (EFA) پرداختند. نتایج حاصل از اندازه گیری فرسایش پذیری نشان داد که با افزودن نانوسیلیکا به خاک، فرسایش پذیری نسبت به نمونه شاهد، ۹۲ درصد کاهش داشت. با این حال، عدم پایداری برخی از افزودنی‌ها در طول زمان و رگبارهای متوالی (Sadeghi *et al.*, 2016c) و زمان بر بودن برخی دیگر از افزودنی‌ها، از چالش‌های اساسی دیگر در کاربرد افزودنی‌های مرسوم بوده است. لذا پیشرفت فن آوری، امکان بهره‌مندی از فن آوری‌های مهندسی در علوم طبیعی را افزایش داده است. در این راستا استفاده از نانو فن آوری‌ها در اصلاح و ارتقاء عملکرد افزودنی‌های مورد استفاده در حفاظت خاک و آب می‌تواند راه‌کاری کارا و مناسب باشد. به هر تقدیر کاربرد نانوسیلیکا به‌عنوان نوعی نانو ذره^۲ طبیعی و زیست سازگار مورد تأیید قرار گرفته است (Yuvakkumar *et al.*, 2011).

نانوذرات به‌سبب برخورداری از نسبت سطح به حجم و قابلیت جذب زیاد (Mueller and Nowack, 2010)، امکان اتصال حداکثری ذرات خاک با حداقل مقدار افزودنی را فراهم می‌کنند. با وجود این، دامنه‌های وسیع و حساس به فرسایش و تخریب یافته از یک سو و پوشش گیاهی فقیر این دامنه‌ها از سوی دیگر، استفاده از افزودنی‌های خاک برای افزایش نفوذپذیری و غنی‌سازی آن‌ها از این طریق را اجتناب‌ناپذیر کرده است. حال آن‌که پژوهش‌های مستند مرتبط با این موضوع در جهان و به‌ویژه کشورهای در حال توسعه کم‌تر گزارش شده است. لذا پژوهش حاضر با هدف امکان‌پذیری افزایش قابلیت نفوذ آب در خاک حساس به فرسایش از طریق استفاده جداگانه و ترکیبی افزودنی‌های آلی (ورمی کمپوست) و معدنی (نانوسیلیکا) در مقیاس کرت و با استفاده از سامانه شبیه‌ساز باران در شرایط آزمایشگاهی برنامه‌ریزی شد.

ورمی کمپوست) بر نفوذپذیری نوعی خاک تخریب یافته در ویتمام به‌مدت سه سال و تحت بارش طبیعی را بررسی کردند و دریافتند که ورمی کمپوست باعث افزایش قابل توجه میزان نفوذپذیری خاک شده است. هم‌چنین Xin و همکاران (۲۰۱۶) اثر مقادیر مختلف کاه برنج بر افزایش نفوذپذیری و بهبود زه‌کشی خاک و هم‌چنین اثر بقایای پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های نفوذ را مثبت ارزیابی نمودند. Abrol و همکاران (۲۰۱۶) نیز طی پژوهشی دریافتند که با افزودن دو درصد زغال زیستی به خاک لومی شنی غیرآهکی، سرعت نفوذ در طول دو باران متوالی به‌میزان قابل توجهی افزایش یافت. اما در خاک لومی آهکی، زغال زیستی اثر ناچیزی بر نفوذ داشته است. در ایران نیز Sadeghi و همکاران (۲۰۱۷) تاثرات باکتری، سیانوباکتری و ترکیب باکتری و سیانوباکتری بر ویژگی‌های رواناب نوعی خاک تخریب شده در شرایط آزمایشگاهی را بررسی کردند و دریافتند که تلقیح باکتری و سیانوباکتری می‌تواند به‌طور قابل توجهی باعث افزایش زمان شروع، زمان اوج و کاهش میزان اوج و ضریب رواناب شود. هم‌چنین صادقی و همکاران (۱۳۹۴) تأیید کردند که کاربرد افزودنی ترکیبی ورمی کمپوست و ویناس به‌عنوان افزودنی آلی، تأثیر مثبت بر میزان رواناب و هدررفت خاک داشته است. هم‌چنین ورمی کمپوست را به‌عنوان کودی مناسب و به‌صرفه نسبت به کودهای شیمیایی برای جبران کمبود مواد آلی در خاک و به دنبال آن حذف شرایط نامناسب خاک ارزیابی کردند. صادقی و همکاران (۱۳۹۵) نیز طی پژوهشی قابلیت نفوذ آب در خاک حساس به تخریب از طریق غنی‌سازی سطح خاک با تلقیح مستقیم باکتری‌ها در مقیاس فلوام و تحت باران شبیه‌سازی شده را بررسی کردند. در این پژوهش نقش تلقیح باکتری‌ها و تزریق ماده غذایی محرک B₄ به‌صورت جداگانه و ترکیبی در افزایش نفوذ آب در خاک و در نتیجه کاهش رواناب سطحی تأیید شد. پژوهش‌های دیگری نیز اثر ذرات نانو بر برخی ویژگی‌های فیزیکی

¹ Erosion Function Apparatus

² Nano-particle

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده

خاک بررسی شده از لایه ۱۰ سانتی‌متری در معرض فرسایش و تخریب مستقیم (Fox and Bryn, 2000; Assouline and Ben-Hur, 2006; Kukul and Sarkar, 2011)، از یک واحد هیدرولوژیک آبخیز رودخانه چالوس واقع در غرب استان مازندران، جنوب شهرستان نوشهر و از توابع بخش کجور برداشت و به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. بافت خاک منطقه مورد مطالعه از نوع رسی - سیلتی - لومی، کربن آلی ۰/۱۸ درصد، هدایت الکتریکی خاک ۲۱۷/۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، pH بین ۷/۴۲ تا ۷/۶۸، جرم مخصوص ظاهری بین ۱/۱۰ تا ۱/۲۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب و رژیم رطوبتی زیریک و حرارتی مزیک است (Kheirfam et al., 2017).

آماده‌سازی کرت‌های فرسایشی

برای آماده‌سازی خاک از روش کار پیشنهادی صادقی و همکاران (۱۳۹۴) و Kukul و Sarkar (۲۰۱۱) استفاده شد. به همین منظور، ابتدا خاک انتقال داده شده هوا خشک شده، بقایای گیاهی و سنگ و سنگ‌ریزه آن‌ها حذف و سپس از الک چهار میلی‌متری عبور داده شده و به صورت لایه‌بندی در داخل کرت‌هایی به ابعاد ۰/۵ در ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۳ متر ریخته شد. به منظور تسهیل زه‌کشی احتمالی، یک لایه پوکه معدنی در زیر خاک مورد آزمایش ریخته شده و سپس خاک تا رسیدن به جرم مخصوص ظاهری نمونه دست نخورده مورد مطالعه غلتک زده شد. پس از این مرحله، به منظور تأمین شرایط رطوبت پیشین خاک و متناسب با شرایط طبیعی، حدود ۲۴ ساعت تحت شرایط اشباع از کف قرار گرفته و سپس به مدت ۲۴ ساعت رها شده تا به حالت نزدیک به رطوبت مزرعه برسد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴).

تیمارهای پژوهش

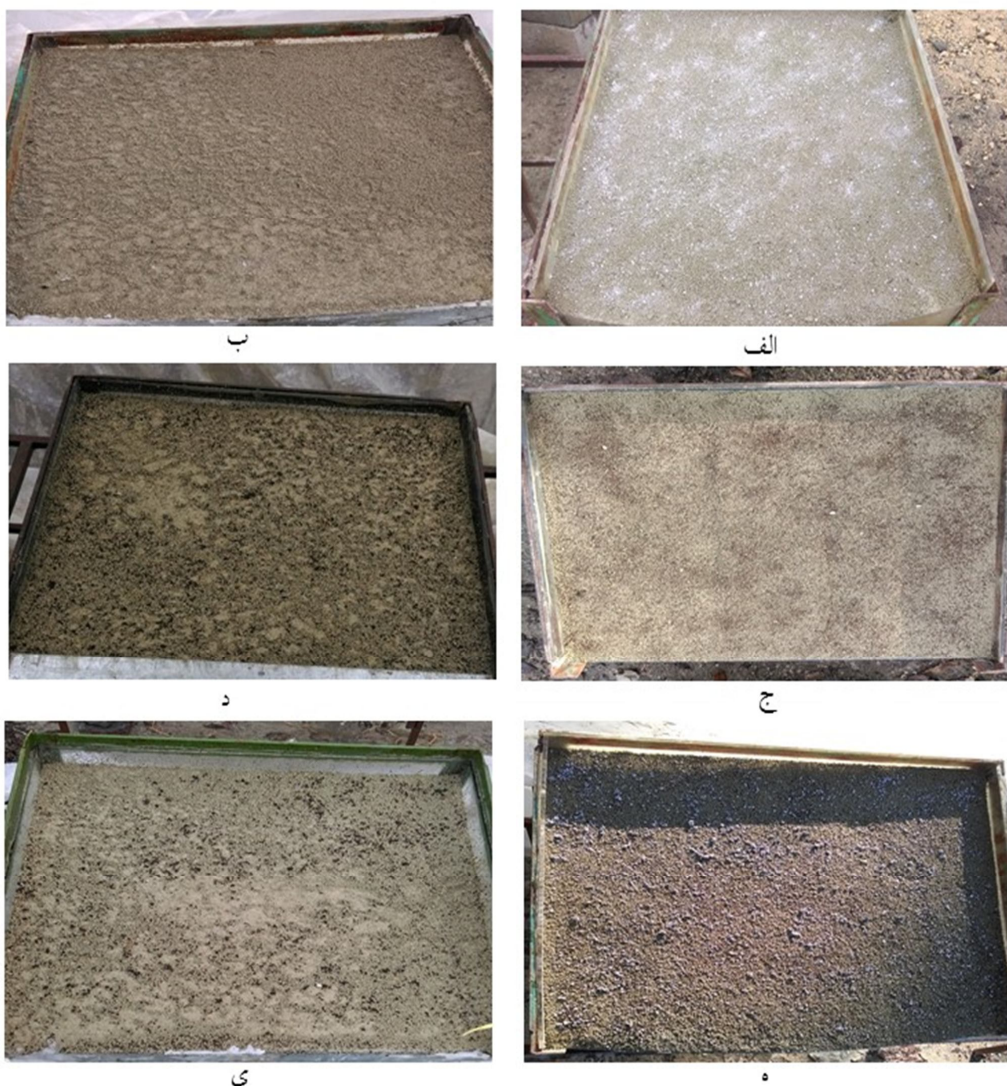
برای اجرای این پژوهش از بلوک‌های کاملاً تصادفی تیمارهای جداگانه و ترکیبی ورمی کمپوست و نانوسیلیکا استفاده شد. ورمی کمپوست مورد استفاده منتج از تجزیه و استحاله زیستی کودهای حیوانی و به میزان حدود ۱۰۰ گرم بر مترمربع استفاده شد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). نانوسیلیکا به صورت پودری، با میانگین اندازه ذرات ۲۰ نانومتر، کروی شکل، خلوص بالای ۸۰ درصد و آب‌دوست، از شرکت تأمین نانوساختار آویژه (www.nanosav.com) تهیه و در سه سطح و به میزان سه، هفت و ۱۰ گرم بر متر مربع و متناسب با سطوح پیشنهادی کاربرد سیمان‌های گروه SiO₂ (Singh et al., 2011) به صورت سطحی پاشیده شد. لازم به ذکر است که رطوبت خاک در زمان اعمال تیمارها، نزدیک به رطوبت مزرعه (حدود هفت درصد) بود. آزمایش شبیه‌سازی باران با توجه به شدت و دوام بارندگی‌های با دوره برگشت حدود ۳۰ سال با شدت حدود ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و دوام ۵۰ دقیقه بر اساس منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی ایستگاه باران نگاری کجور به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه برنامه‌ریزی شد. در هر سری فرآیند شبیه‌سازی، تیمارهای آماده شده به لحاظ در نظر گرفتن قابلیت اجرایی کاربرد در عرصه و نیز به منظور حفظ پایداری افزودنی‌ها بر سطح خاک و شرایط طبیعی دامنه، پس از ۲۴ ساعت (Sadeghi and Hazbavi, 2016) روی چهارپایه‌های فلزی شیب‌دار و متناسب با شیب طبیعی و متوسط منطقه (حدود ۲۵ درصد) قرار داده شدند. شرایط دقیق بارش طرح با انجام آزمایش‌های متعدد با استفاده از دو نازل استاندارد BEX و همچنین فشارهای مختلف از نقطه نظر موارد مختلف شدت، توزیع یک‌نواخت، قطر قطره و پوشش زمینی بهینه شد (Sadeghi et al., 2015). در حین اجرای آزمایش، حجم و میزان نفوذ آب در خاک کرت‌ها پس از شروع شبیه‌سازی باران و رسیدن رواناب به خروجی کرت‌ها، هر

تحلیل‌های آماری، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk با توجه به تعداد کم داده‌ها (Razali and Wah, 2011) ارزیابی شد. پس از مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Tukey، آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نیز برای بررسی اثرات یک‌جانبه و انتخاب بهترین تیمار استفاده شد. کلیه آزمون‌های آماری فوق برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS 23 انجام پذیرفت.

دو دقیقه یک بار و در انتهای آزمایش با استفاده از روش بیلان (اختلاف بارش ورودی و رواناب خروجی از کرت‌ها) اندازه‌گیری شد. تصاویری از تیمارهای مورد پژوهش، قبل و پس از انجام آزمایش شبیه‌سازی، در شکل ۱ نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

پس از اجرای آزمایش، بانک اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار Excel 2007 تشکیل شد. به‌منظور انجام تجزیه و



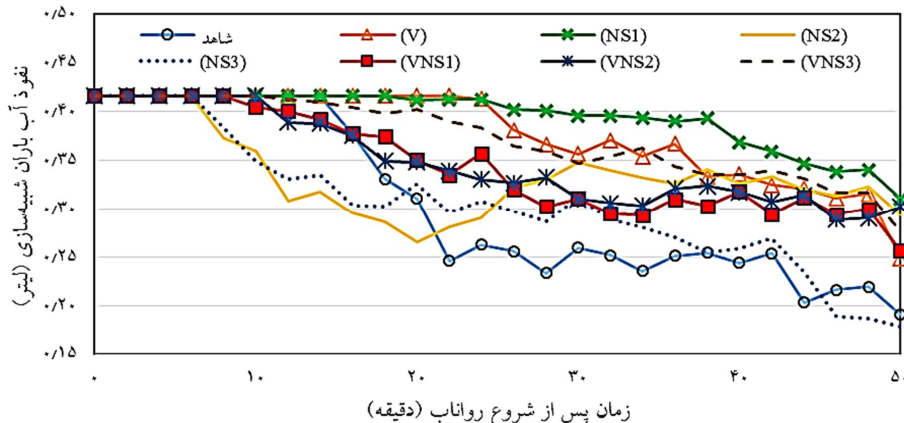
شکل ۱. نمایی از کاربرد تیمارهای جداگانه (NS_1) قبل (الف) و پس (ب) از شبیه‌سازی باران؛ ورمی کمپوست (V) قبل (ج) و پس (د) از شبیه‌سازی باران و ترکیبی ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح یک (VNS_1) قبل (ه) و پس (ی) از شبیه‌سازی باران

نتایج و بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکا بر نفوذپذیری یک خاک حساس به فرسایش در شرایط آزمایشگاهی انجام پذیرفت. بر همین اساس، تغییرات نفوذ رواناب در بازه‌های زمانی دو دقیقه‌ای و مقادیر اندازه‌گیری در کل مدت شبیه‌سازی در شکل ۲ و جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. با توجه به شرایط شبیه‌سازی باران، با شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و دوام ۵۰ دقیقه، مساحت سطح کرت ۰/۲۵ مترمربع، شدت نفوذ آب در خاک تا قبل از شروع رواناب در هر یک از کرت‌ها در بازه زمانی دو دقیقه و مشروط بر عدم رسیدن به رواناب خروجی، ۰/۰۳۳ میلی‌متر بر ساعت بود. نتایج آزمایش نشان داد که با گذشت زمان، با اشباع شدن فضای متخلخل موجود در سطوح بالایی خاک، ظرفیت آن‌ها کاهش یافت و رواناب شروع شده و روند افزایشی پیدا کرد. هم‌چنین کاهش شدت نفوذ آب در خاک در کرت‌های شاهد، (V)، (NS1)، (NS2)، (NS3)، (VNS1)، (VNS2) و (VNS3) به ترتیب ۱۷، ۲۶، ۲۱، ۸، ۷، ۱۲، ۱۳ و ۱۲ دقیقه پس از شروع بارندگی مشاهده شد. بالا بودن زمان شروع کاهش شدت نفوذ در تیمار (V) را می‌توان به سطح بالای مواد آلی موجود در ترکیب ورمی کمپوست نسبت داد که منجر به 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 (Marinari et al., 2000). کم‌ترین زمان شروع کاهش شدت نفوذ آب نیز در خاک در تیمارهای (NS2) و (NS3) مشاهده شد. به نحوی که با افزایش میزان نانوسیلیکا زمان شروع رواناب به سبب ایجاد لایه آب‌بندی و سطح غیرقابل نفوذ، کاهش داشته است. از طرفی مقدار کم (سه گرم بر مترمربع) نانوسیلیکا منجر به ایجاد خاک‌دانه‌های مناسب و افزایش نفوذ آب در خاک بدون ایجاد لایه غیرقابل نفوذ سطحی مؤثر شده است. هم‌چنین کاربرد جداگانه ورمی کمپوست سبب افزایش نسبی جذب آب شده و نیز افزایش نفوذ را به دنبال داشته است.

می‌توان چنین استنباط کرد که میزان مصرف کم نانوسیلیکا مانع تشکیل لایه چسبنده و نفوذناپذیر در سطح خاک شده است که باعث شده تا میزان نفوذپذیری این تیمار نسبت به تیمار سطح دو و سه بیش‌تر باشد. به‌طور کلی بر اثر فرآیندهای شرح داده شده، تأخیر در زمان شروع کاهش شدت نفوذ در تیمار (V) و (NS1) به ترتیب ۵۲ و ۴۱ درصد به صورت معنی‌دار ($p < 0/01$) نسبت به تیمار شاهد افزایش و هم‌چنین تیمارهای (NS2)، (NS3)، (VNS1)، (VNS2)، (VNS3)، به ترتیب ۴۶، ۴۶، ۲۴، ۱۲ و ۱۸ درصد به صورت معنی‌دار ($p < 0/01$) نسبت به تیمار شاهد کاهش داشت.



شکل ۲. تغییرات متوسط نفوذ رواناب در کرت‌ها با کاربرد جداگانه و ترکیبی ورمی کمپوست و نانوسیلیکا

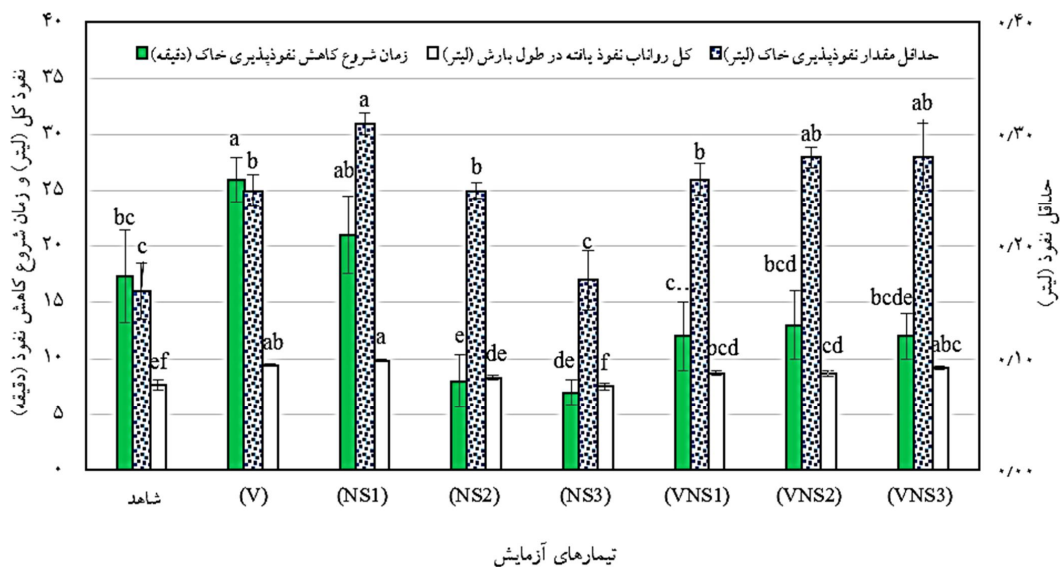
جدول ۱. شدت رواناب و نفوذ آب در کرت‌های تیمار شده با ورمی کمپوست و نانوسیلیکا به صورت جداگانه و ترکیبی

مؤلفه‌های مورد بررسی			تیمار
شدت نفوذ خاک (میلی‌متر بر ساعت)	شدت رواناب (میلی‌متر بر ساعت)	شماره کرت و معیارهای آماری	
۳۸/۸۹	۱۱/۱۰	۱	شاهد
۳۵/۰۸	۱۴/۹۱	۲	
۳۴/۳۹	۱۵/۶۰	۳	
۳۶/۱۲	۱۳/۸۷	میانگین (لیتر)	ورمی کمپوست (۱۰۰ گرم بر مترمربع)
۲/۴۲	۲/۴۲	انحراف معیار (لیتر)	
۴۵/۴۶	۴/۵۳	۱	نانوسیلیکا سطح یک (سه گرم بر مترمربع)
۴۵/۲۴	۴/۷۵	۲	
۴۴/۵۴	۵/۴۵	۳	
۴۵/۰۸	۴/۹۱	میانگین (لیتر)	نانوسیلیکا سطح دو (هفت گرم بر مترمربع)
۰/۴۸	۰/۴۸	انحراف معیار (لیتر)	
۴۷/۰۴	۲/۹۵	۱	نانوسیلیکا سطح سه (۱۰ گرم بر مترمربع)
۴۷/۶۵	۲/۳۴	۲	
۴۶/۹۰	۳/۰۹	۳	
۴۷/۲۰	۲/۸	میانگین (لیتر)	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح یک
۰/۳۹	۰/۳۹	انحراف معیار (لیتر)	
۴۰/۱۸	۹/۸۱	۱	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح دو
۳۸/۸۳	۱۱/۱۶	۲	
۴۰/۴۱	۹/۵۸	۳	
۳۹/۸۱	۱۰/۱۸	میانگین (لیتر)	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه
۰/۸۵	۰/۸۵	انحراف معیار (لیتر)	
۳۶/۸۷	۱۳/۱۲	۱	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح دو
۳۴/۲۴	۱۵/۷۵	۲	
۳۷/۰۰	۱۲/۹۹	۳	
۳۶/۰۴	۱۳/۹۶	میانگین (لیتر)	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه
۱/۵۵	۱/۵۵	انحراف معیار (لیتر)	
۴۲/۰۹	۷/۹۰	۱	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه
۴۰/۶۹	۹/۳۰	۲	
۴۰/۸۳	۹/۱۶	۳	
۴۱/۲۰	۸/۷۹	میانگین (لیتر)	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه
۰/۷۷	۰/۷۷	انحراف معیار (لیتر)	
۴۱/۲۶	۸/۷۳	۱	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه
۴۲/۹۹	۷/۰۰	۲	
۴۰/۴۹	۹/۵۰	۳	
۴۱/۵۸	۸/۴۱	میانگین (لیتر)	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه
۱/۲۷	۱/۲۷	انحراف معیار (لیتر)	
۴۳/۵۱	۶/۴۸	۱	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه
۴۵/۸۲	۴/۱۷	۲	
۴۴/۳۱	۵/۶۸	۳	
۴۴/۵۵	۵/۴۴	میانگین (لیتر)	ورمی کمپوست و نانوسیلیکا سطح سه
۱/۱۷	۱/۱۷	انحراف معیار (لیتر)	

جدول ۲. نتیجه تجزیه واریانس یک طرفه برای تشخیص اثرات یک‌جانبه تیمارهای جداگانه و ترکیبی ورمی کمپوست و نانوسیلیکا در سطوح مختلف بر مؤلفه‌های تأخیر در زمان کاهش نفوذ آب در خاک، حداقل مقدار نفوذ و مقدار نفوذ در تیمارهای مطالعاتی

مؤلفه مورد بررسی	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
تأخیر در زمان کاهش نفوذ آب در خاک (دقیقه)	بین گروهی	۷	۱۰۸/۸۵۱	۱۵/۰۱۴	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۱۶	۷/۲۵۰		
	کل	۲۳			
حداقل مقدار رواناب نفوذ یافته (لیتر)	بین گروهی	۷	۰/۰۰۹	۲۴/۷۱۰	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۱۶	۰/۰۰۰		
	کل	۲۳			
مقدار رواناب نفوذ یافته (لیتر)	بین گروهی	۷	۱/۹۹۸	۳۲/۶۰۸	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۱۶	۰/۰۶۱		
	کل	۲۳			

شکل ۳. نمودار مقایسه‌ای زمان شروع کاهش نفوذ آب در خاک، حداقل مقدار ظرفیت نفوذ و میزان نفوذ رواناب در کل مدت بارش و انحراف معیار متوسط در کرت‌ها برای تیمارهای مطالعاتی



کاهش و در تیمار (NS3)، ۰/۶۲ درصد به صورت معنی‌دار (p < ۰/۰۱) افزایش داشت. هم‌چنین حداقل مقدار ظرفیت شدت نفوذ آب در خاک در طول مدت بارندگی نیز به ترتیب در تیمارهای شاهد، (V)، (NS1)، (NS2)، (NS3)، (VNS1)، (VNS2) و (VNS3) با مقادیر ۰/۱۶، ۰/۲۵، ۰/۳۱، ۰/۲۵، ۰/۱۷، ۰/۲۶، ۰/۲۸ و ۰/۲۸ لیتر مشاهده شد. در انتهای زمان شبیه‌سازی نیز شدت نفوذ

بررسی نتایج شکل‌های ۲ و ۳ و جدول‌های ۱ و ۲ نشان داد که در طول مدت ۵۰ دقیقه اجرای آزمایش شبیه‌سازی، با افزایش زمان، میزان ظرفیت نفوذ کاهش داشته است و در انتهای آزمایش نیز شدت رواناب در تیمارهای (V)، (NS1)، (NS2)، (VNS1)، (VNS2) و (VNS3) به ترتیب ۶۵، ۸۰، ۳۷، ۴۰ و ۴۱ درصد به صورت معنی‌دار (p < ۰/۰۱) نسبت به تیمار شاهد

نتیجه‌گیری جامع نیازمند انجام پژوهش‌ها و تحلیل‌های بیش‌تر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف افزایش قابلیت نفوذ آب در خاک حساس به فرسایش برای کاهش رواناب سطحی، از طریق استفاده جداگانه و ترکیبی ورمی کمپوست و نانوسیلیکا در مقیاس کرت و با استفاده از سامانه شبیه‌ساز باران در شرایط آزمایشگاهی برنامه‌ریزی شد. در این پژوهش نقش ورمی کمپوست (۱۰۰ گرم بر مترمربع) و نانوسیلیکا (سه و هفت گرم بر مترمربع) و ترکیب ورمی کمپوست و نانوسیلیکا با کاربرد مشابه تیمارهای جداگانه در افزایش میزان نفوذ آب در خاک و در نتیجه کاهش رواناب سطحی در سطح اطمینان ۹۹ درصد تأیید شد. استفاده از ورمی کمپوست و نانوسیلیکا به‌صورت جداگانه و ترکیبی، میزان شدت نفوذپذیری خاک را تا ۳۰ درصد افزایش داد. با این حال استفاده از نانوسیلیکا به‌صورت جداگانه و به‌میزان ۱۰ گرم بر مترمربع، تأثیر معنی‌داری ($p = 0/99$) در میزان شدت نفوذپذیری خاک نداشت. هم‌چنین زمان شروع کاهش شدت نفوذ آب در خاک نیز از ۱۷ دقیقه در تیمار شاهد به ۲۶ و ۲۱ دقیقه در تیمار (V) و (NS1) افزایش یافت. با استفاده از نتایج پژوهش حاضر می‌توان اظهار داشت که تیمار (VNS1)، بهترین عملکرد در بهبود مؤلفه‌های نفوذ آب در خاک را داشتند. هر چند ذکر این نکته لازم است که همیشه برای تمامی خاک‌ها و مناطق کشور، افزایش نفوذپذیری خاک مناسب نبوده و نیازمند امکان‌سنجی و بررسی ابعاد دیگر از جمله احتمال وقوع حرکات توده‌ای مانند زمین‌لغزش می‌باشد. با این وجود گزارشی مبنی بر حساس بودن منطقه مطالعاتی به نفوذ آب و به‌دنبال آن ایجاد زمین‌لغزش و یا سایر حرکات توده‌ای مشابه یافت نشده است. در مجموع، استفاده از ورمی کمپوست به‌صورت جداگانه و در ترکیب با سایر افزودنی‌ها با هدف افزایش اثربخشی آن در کاهش هدررفت خاک و آب، هم‌چنین استفاده از

آب در خاک در تیمار (V)، (NS1)، (NS2)، (VNS1)، (VNS2) و (VNS3) به‌ترتیب ۲۴/۷۹، ۳۰/۶۳، ۱۰/۱۸، ۱۴/۰۵، ۱۵/۰۹ و ۲۳/۳۰ درصد به‌صورت معنی‌دار ($p < 0/01$) نسبت به تیمار شاهد افزایش و در تیمار (NS3)، ۰/۲۴ درصد به‌صورت معنی‌دار ($p < 0/01$) کاهش داشت.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، تمام تیمارها، به‌جز تیمار (NS3)، در سطح اطمینان ۹۹ درصد باعث افزایش نفوذ آب در خاک شدند. علت کاهش میزان نفوذپذیری تیمار (NS3) را می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش میزان مصرف نانوسیلیکا، چسبندگی خاک‌دانه‌ها بیش‌تر شده و نانوسیلیکا باعث پر شدن خلل و فرج موجود در خاک شده و ساختار خاک را یکنواخت‌تر و متراکم‌تر کرده و اندازه و میزان حفره‌ها را کاهش می‌دهد. هم‌چنین استفاده بیش‌تر از نانوسیلیکا به‌دلیل عدم امکان پخش همگن ذرات نانو و ایجاد کلوخه‌های ناپایدار (زمردیان و سلیمانی، ۱۳۹۵)، و زبری سطح (Ghasabkolaei *et al.*, 2016)، طبعاً سرعت رواناب را افزایش می‌دهد. از طرفی افزایش نفوذپذیری تیمارهای دارای ورمی کمپوست را می‌توان به وجود ماده آلی در ترکیب ورمی کمپوست نسبت داد. ماده آلی باعث بزرگ‌تر شدن روزه‌های موجود در خاک شده و این افزایش نفوذپذیری خاک را در پی دارد (Doan *et al.*, 2015). هم‌چنین ذرات نانوسیلیکا به‌دلیل بالا بودن سطح ویژه بسیار بالا، قابلیت جذب آب بالایی دارند و با افزودن میزان مشخصی از نانوسیلیکا، احتمالاً فضایی برای جذب آب ایجاد شده و باعث کاهش میزان رواناب شده است. هم‌چنین در پژوهش‌هایی که توسط صادقی و همکاران (۱۳۹۵) و Sadeghi و همکاران (۲۰۱۷) روی همین خاک مطالعاتی بررسی شد، نتایج نشان‌دهنده اثر معنی‌دار افزودنی‌های ماده محرک غذایی (B₄)، باکتری، سیانوباکتری و ترکیب باکتری و سیانوباکتری روی نفوذ بوده است. هر چند

افزودنی‌های غیرزیستی و زیست سازگار، می‌تواند راه‌کاری نوین، کارا و مؤثر در حفاظت منابع خاک و آب باشد. در نهایت استفاده از ورمی کمپوست و نانوسیلیکا در اراضی در خطر فرسایش یا تخریب یافته و همین‌طور

انجام پژوهش‌های جدید با سایر افزودنی‌های خاک و در شرایط مختلف با هدف بهبود مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و خاکی پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

- زمردیان، س. م. ع.، سلیمانی، ا. ۱۳۹۵. تأثیر ماده افزودنی نانوسیلیس بر فرسایش‌پذیری خاک. نشریه علوم آب و خاک- علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۱(۱): ۲۱۷-۲۲۷.
- صادقی، س. ح. ر.، خیرفام، ح.، همایی، م.، زارعی دارکی، ب. ۱۳۹۵. بهبودپذیری افزایش نفوذ آب به خاک‌های حساس به فرسایش با استفاده از افزایش مصنوعی جمعیت ریزموجودات خاکزی. تحقیقات آب و خاک، ۴۷(۴): ۷۹۷-۸۰۵.
- صادقی، س. ح. ر.، حزباوی، ز.، یونسی، ح. ا. و بهزادفر، م. ۱۳۹۲. روند تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب بر اثر کاربرد پلی‌آکریل‌آمید. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۲(۴): ۵۳-۶۷.
- صادقی، س. ح. ر.، هاشمی آریان، ز. و کریمی، ز. ۱۳۹۴. مهار رواناب و هدررفت خاک با استفاده از کاربرد ترکیبی ورمی کمپوست و ویناس. نشریه بازیافت آب، ۲(۱): ۸۱-۹۱.
- کاوایان، ع. ا.، عسگریان، ر.، جعفریان جلودار، ز. و بهمنیار، م. ع. ۱۳۹۲. اثر خصوصیات خاک بر تولید رواناب و رسوب در مقیاس مزرعه (مطالعه موردی بخشی از اراضی کشاورزی اطراف شهرستان ساری). دانش آب و خاک، ۲۳(۴): ۴۵-۵۷.
- Abrol, V., Ben-Hur, M., Verheijen, F. G., Keizer, J. J., Martins, M. A., Tenaw, H., Tchekansky, L., and Graber, E. R. 2016. Biochar effects on soil water infiltration and erosion under seal formation conditions: rainfall simulation experiment. *Journal of Soils and Sediments*, 16: 2709-2719.
- Assouline, S., and Ben-Hur, M. 2006. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, 66: 211-220.
- Awad, Y. M., Blagodatskaya, E., Ok, Y. S., and Kuzyakov, Y. 2012. Effects of polyacrylamide, biopolymer, and biochar on decomposition of soil organic matter and plant residues as determined by ¹⁴C and enzyme activities. *European Journal of Soil Biology*, 48: 1-10.
- Bowker, M. A., Belnap, J., Chaudhary, V. B., and Johnson, N. C. 2008. Revisiting classic water erosion models in drylands: The strong impact of biological soil crusts. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), 2309-2316.
- Bridges, E. M., and Oldeman, L. R. 1999. Global assessment of human-induced soil degradation. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13: 319-325.
- 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.
- Fox, D. M., and Bryan, R. B. 2000. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *Catena*, 38: 211-222.
- Ghasabkolaei, N., Janalizadeh, A., Jahanshahi, M., Roshan, N., and Ghasemi, S. E. 2016. Physical and geotechnical properties of cement-treated clayey soil using silica nanoparticles: An experimental study. *The European Physical Journal Plus*, 131: 1-11.
- Gholami, L., Sadeghi, S. H., and Homaei, M. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff, and sediment yield from eroded plots. *Soil Science Society of America Journal*, 77: 268-278.
- Hazbavi, Z., and Sadeghi, S. H. R. 2016. Potential effects of vinasse as a soil amendment to control runoff and soil loss. *Soil*, 2: 71.
- Jianping, Z. 1999. Soil erosion in Guizhou Province of China: a case study in Bijie Prefecture. *Soil Use and Management*, 15: 68-70.
- Karunakaran, G., Suriyaprabha, R., Manivasakan, P., Yuvakkumar, R., Rajendran, V., Prabu, P., and Kannan, N. 2013. Effect of nanosilica and silicon sources on plant growth promoting rhizobacteria, soil nutrients and maize seed germination. *IET nanobiotechnology*, 7: 70-77.
- Kheirfam, H., Sadeghi, S. H., Darki, B. Z., and Homaei, M. 2017. Controlling rainfall-induced soil loss from small experimental plots through inoculation of bacteria and cyanobacteria. *Catena*, 152: 40-46.

- Kukul, 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 and Soil Science, 56: 697-705.
- Kukul, S. 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.
- Marathe, R. A., Bharambe, P. R., Sharma, R., and Sharma, U. C. 2009. Soil properties of vertisol and yield of sweet orange (*Citrus sinensis*) as influenced by integrated use of organic manures, inorganic and bio-fertilizers. Indian journal of agricultural science, 79: 3-7.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., and Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology, 72: 9-17.
- Miller, R.M., 2002. The Function of mycorrhizal fungi in soil restoration. p. 21-22. In: International Workshop on Microbial Function in Revegetation Process of Degraded Terrestrial Environments: From Gene to Ecosystem, November 29, 2002: P. 26.
- Montenegro, A. A. A., Abrantes, J. R. C. B., De Lima, J. L. M. P., Singh, V. P., and Santos, T. E. M. 2013. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. Catena, 109: 139-149.
- Mueller, N. C., and Nowack, B. 2010. Nanoparticles for remediation: solving big problems with little particles. Elements, 6: 395-400.
- Ochoa, P. A., Fries, A., Mejía, D., Burneo, J. I., Ruíz-Sinoga, J. D., and Cerdà, A. 2016. Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. Catena, 140: 31-42.
- Razali, N. M., and Wah, Y. B. 2011. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. Journal of Statistical Modeling and Analytics, 2: 21-33.
- Sadeghi, S. H. R., Gholami, L., Homaei, M., and Darvishan, A. K. 2015. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. Solid Earth, 6: 445.
- Sadeghi, S. H. R., Hazbavi, Z., and Harchegani, M. K. 2016a. Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biochar. Science of the Total Environment, 541: 483-490.
- Sadeghi, S. H. R., Hazbavi, Z., Younesi, H., and Bahramifar, N. 2016b. Trade-off between runoff and sediments from treated erosion plots and polyacrylamide and acrylamide residues. Catena, 142: 213-220.
- Sadeghi, S. H. R., Jalili, K., and Nikkani, D. 2009. Land use optimization in watershed scale. Land Use Policy, 26: 186-193.
- 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 .
- Sadeghi, S. H. R., Sharifi Moghadam, E., and Darvishan, A. K. 2016c. Effects of subsequent rainfall events on runoff and soil erosion components from small plots treated by vinasse. Catena, 138: 1-12.
- Sepaskhah, A. R., and Shahabizad, V. 2010. Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator. Biosystems Engineering, 106: 513-520.
- Singh, K. P., Suman, A., Singh, P. N., and Lal, M. 2007. Yield and soil nutrient balance of a sugarcane plant-ratoon system with conventional and organic nutrient management in sub-tropical India. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 79: 209-219.
- Singh, L. P., Agarwal, S. K., Bhattacharyya, S. K., Sharma, U., and Ahalawat, S. 2011. Preparation of silica nanoparticles and its beneficial role in cementitious materials. Nanomaterials and Nanotechnology, 1: 9.
- Sojka, R. E., and Entry, J. A. 2000. Influence of polyacrylamide application to soil on movement of microorganisms in runoff water. Environmental Pollution, 108: 405-412.
- Xin, Y., Xie, Y., Liu, Y., Liu, H., and Ren, X. 2016. Residue cover effects on soil erosion and the infiltration in black soil under simulated rainfall experiments. Journal of Hydrology, 543: 651-658.
- Yuvakkumar, R., Elango, V., Rajendran, V., Kannan, N. S., and Prabu, P. 2011. Influence of nanosilica powder on the growth of maize crop (*Zea mays* L.). International Journal of Green Nanotechnology, 3: 180-190.



ISSN 2251-7480

Effects of individual and combined application of vermicompost and silica nano particles on soil infiltration

Syedeh Saba Mousavifar¹, Seyed Hamid Reza Sadeghi^{2*} and Nader Bahramifar³

1) MSc. student of Watershed Management Engineering Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

2*) Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

*Corresponding author email: sadeghi@modares.ac.ir

3) Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 14-06-2017

Accepted: 27-08-2017

Abstract

The water infiltration into the soil is an effective factor on runoff generation and watershed situation. Although many approaches have been therefore developed to improve infiltration process, but, less attention has been paid to use nano-paticels individually and in combination with organic amendment with the aim of improvement of water infiltration into the soil. The present research has been hence planned to assess the effect of organic vermicompost (V) amendment in 100 g m^{-2} and silica nanoparticles in 3 levels of 3, 7 and 10 g m^{-2} individually and in compound on infiltration of a sensitive soil to erosion from Marzanabad-Kandelus at small plots scale under experimental situation. The water infiltration measured under rainfall simulation with intensity of 50 mm h^{-1} and 50 min duration and different treatments and the statistical analysis was accordingly conducted. The results showed that all treatments except silica nanoparticles level three (NS_3), increased the infiltration and decreased runoff volume compared to the control treatment. The water infiltration into soil in the cases of (V), silica nanoparticles (level one) (NS_1), silica nanoparticles (level two) (NS_2), vermicompost and silica nanoparticles (level one) (VNS_1), vermicompost and silica nanoparticles (level two) (VNS_2), vermicompost and silica nanoparticles (level three) (VNS_3) increased by 24.79, 30.63, 10.18, 14.05, 15.09 and 23.30 %, respectively and the (NS_3) decreased by 0.24 %. The differences between performance of individually and combined application of vermicompost and silica nanoparticles confirmed the necessity of the correct usage of amendment in soil and water management.

Keywords: land degradation, runoff generation, soil amendment, soil and water conservation