اثر مقادیر مختلف نانورس مونت‌موریلونیت بر تغییرات رواناب و هدررفت خاک

نگار حسن‌زاده[۱]، لیلا غلامی[۱*]، عبدالواحد خالدی درویشان[۲] و حبیب‌اله یونسی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۹)

چکیده

فرسایش خاک یکی از جدی‌ترین مسائل زیست‌محیطی در جهان بوده که باعث تخریب خاک، کاهش بهره‌وری زمین، افزایش سیل، آلودگی آب و انتقال آلاینده‌ها شده و تهدید جدی برای دستیابی به توسعه پایدار در جهان است. بنابراین حفاظت خاک، جلوگیری از فرسایش خاک و استفاده از افزودنی‌ها مانند نانورس یک راهکار برای بهبود بهره‌وری زمین و حفاظت از محیط‌زیست است. پژوهش حاضر به بررسی تأثیر کاربرد نانورس مونت‌موریلونیت با سه مقدار ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۹ تن بر هکتار بر تغییرات مؤلفه‌های رواناب و هدررفت خاک در شرایط آزمایشگاهی پرداخت. نتایج نشان داد که نانورس با مقدار ۰/۰۳ تن بر هکتار توانست ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب را به‌ترتیب ۴۰/۷، ۸۸/۴ و ۸۲/۲ درصد کاهش دهد. میانگین هدررفت خاک در تیمار شاهد و تیمارهای حفاظتی نانورس با مقادیر مختلف به‌ترتیب ۳/۸، ۰/۴، ۱/۳ و ۳/۲ گرم اندازه‌گیری شد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین غلظت رسوب مربوط به تیمار شاهد با مقدار ۵/۸ گرم بر لیتر بوده و در تیمارهای حفاظتی با نانورس در مقادیر به‌کار برده شده به‌ترتیب ۱/۱، ۳/۵ و ۳/۰ گرم بر لیتر بود. همچنین نتایج نشان داد که اثر نانورس بر تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. درنهایت با توجه به اثر این افزودنی برای استفاده از آن در شرایط طبیعی پیشنهاد می‌شود اثرات محیط زیستی و نیز پایداری خاکدانه‌ها بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: افزودنی‌های نوظهور خاک، حفاظت آب و خاک، غلظت رسوب، فرسایش خاک

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

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین اجزای منابع طبیعی و از عناصر چهارگانه حیات بوده و هر ساله به‌دلیل افزایش جمعیت، محدودیت منابع و افزایش دخالت انسان در طبیعت مورد فرسایش قرار گرفته و باعث اثرات مخرب درون و برون منطقه ای مانند سیل، رسوب‌زایی، افزایش خسارات جانی و مالی، کاهش بهره‌وری کشاورزی و اقتصادی و درنهایت مشکلات اجتماعی شده است (۱۴ و ۲۵). امروزه با توجه به جمعیت جهان تخریب زمین به‌شدت رو به افزایش است و فعالیت‌های کشاورزی از عوامل اصلی تغییرات محیطی است که به‌دنبال آن روی قابلیت تولیدی، چرخه آب، الگوهای خشکی، گازهای گلخانه‌ای و تنوع زیستی اثر می‌گذارد. مباحث مربوط به فرسایش خاک یکی از بحث‌های مهم در مدیریت منابع طبیعی، محیط زیست، کشاورزی، منابع آب و مدیریت حوزه‌های آبخیز است. فرسایش خاک موجب نگرانی‌های زیادی به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه به‌خصوص در سال‌های اخیر شده است (۲۵). فرسایش خاک باعث فقیر شدن خاک‌ها و نامناسب شدن آنها برای کشاورزی می‌شود، همچنین موجب رسوب گذاری در مخازن سدها و کانال‌های آبیاری شده که خود موجب کاهش راندمان بهره‌برداری و عمر مفید آنها شده و هزینه نگهداری و بهره‌برداری از آنها را افزایش می‌دهد.

با وجود پژوهش‌های گسترده در زمینه راهبردهای حفاظت خاک و آب، نگرانی‌های زیادی از تخریب آن در سراسر جهان و آلودگی محیط زیست ناشی از مواد آلاینده حمل شده توسط ذرات رسوب ناشی از آن وجود دارد. در فرایند فرسایش خاک نه تنها خاک، بلکه پوشش گیاهی نیز تحت تأثیر قرار گرفته و تراکم، ساختار، ترکیب گونه‌ای و حتی قابلیت تولیدی آن تغییر می‌یابد (۷). در این بین برای کاهش رواناب و همچنین فرسایش خاک در بلندمدت، باید تا حد امکان پوشش‌گیاهی در سطح اراضی را حفظ کرد، یا در صورت نبود پوشش گیاهی از افزودنی‌های خاک برای مهار رواناب و فرسایش خاک استفاده کرد (۱۱ و ۱۷). تأثیر افزودنی‌های آلی و یا غیرآلی (معدنی یا شیمیایی) از جمله کاه و کلش، کود دامی، کمپوست و ورمی کمپوست، تراشه‌های چوب، زغال زیستی، تلقیح ریزموجودات، پسماندهای کاغذ، لجن فاضلاب، ویناس، سنگ و سنگ‌ریزه، پلیمرها در پژوهش‌های مختلف از جمله حفاظت منابع آب وخاک (۵) انجام شده است. پژوهشگران در پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که افزودنی‌های خاک موجب افزایش ذخیره سطحی و نفوذپذیری (۱۳)، نگهداری، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و همچنین کاهش اثرات انرژی جنبشی قطرات باران و مهار هدررفت خاک و کاهش غلظت رسوب (۵، ۱۱ و ۲۶) می‌شوند. اما استفاده از افزودنی‌ها همچنین می‌تواند باعث مشکلاتی از جمله آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی (کودهای دامی)، تأثیرهای نامطلوب بر موجودات خاک (سوپرجاذب TA-200)، رشد علف‌های هرز (لجن فاضلاب) و وجود فلزات سنگین (پسماندهای کاغذ) شود. اما در این بین نانومواد‌ها از جمله افزودنی‌هایی هستند که دارای ویژگی‌های منحصر به‌فردی بوده و پژوهش‌های اندکی در مورد تأثیر کاربرد نانوذرات در بهبود کیفیت خاک و اصلاح اراضی صورت گرفته است (۲۷ و ۳۲). نانومواد‌ها را تا زمانی که فشرده و متراکم نشده باشند نانوپودر می‌نامند. اهمیت نانوذرات به‌خاطر افزایش سطح ویژه و سرعت واکنش بالا و واکنش‌پذیری در دمای پایین است (۲۴). امروزه با توجه به پیشرفت‌های انجام شده و کاربرد نانو مشخص شده است که نانوتکنولوژی یک روش مناسب برای کاهش محدودیت‌های خاک است (۲۸)، ذرات نانو ابعادی بین یک تا ۱۰۰ نانومتر داشته و دارای سطح ویژه بالایی هستند (۳۰). با توجه به پژوهش‌های موجود به‌نظر می‌رسد نانومواد مؤثر مختلف، آلودگی‌های زیست‌محیطی متعدد را با روش پایدارتر و سرعت بیشتری برطرف کنند (۲۲). امروزه از میان انواع مختلف نانورس‌ها (Nanoclay)، نانورس مونت‌موریلونیت (Montmorillonite Nanoclay) به‌دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی و تخلخل بیشتر، کاربرد زیادتری پیدا کرده است (۱۶). همچنین کانی‌های رس به‌دلیل پایداری شیمیایی و مکانیکی بالا،

تنوع زیاد در نوع، ارزان بودن، سطح ویژه بالا و قدرت جذب زیاد، بسیار مورد توجه هستند (۲۰). نانورس‌ها موادی پودری بوده (۲۸) که استفاده از آنها به‌عنوان یک راهکار مناسب در کاهش هدررفت آب و خاک می‌تواند پیشنهاد شود. با افزودن نانورس شاخص خمیری و حد انقباض خاک زیاد (۱۵ و ۲۹) می‌شود. نانورس به‌دلیل داشتن مساحت سطح ویژه بسیار حتی در صورت استفاده بسیار کم از این ذرات در محیط خاک، رفتار فیزیکی شیمیایی و خصوصیات مهندسی خاک را به‌طور بسیار ویژه و قابل توجه تحت تأثیر قرار می‌دهد و به‌عنوان تثبیت کننده برای بهبود خواص مکانیکی خاک استفاده می‌شود (۳۴).

طی چند سال اخیر، پژوهش‌هایی در مورد نحوه تأثیر نانورس مونت‌موریلونیت انجام شده است که به‌صورت مختصر در ادامه ارائه شده است. کنعانی‌زاده و خوش‌نیت (۱۲) در ایران به بررسی تأثیر نانورس بر نفوذپذیری محل دفن زباله کهریزک پرداختند و نشان دادند که افزودن چهار درصد نانورس به خاک، باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. تایپودیا و همکاران (۳۲) با کاربرد غلظت‌های مختلف ذرات نانورس بر ویژگی‌های خاک نشان دادند که ذرات نانو مقاومت برشی خاک را بهبود می‌بخشند درحالی که نفوذپذیری خاک و همچنین تراکم‌پذیری خاک را کاهش داد. زاهدی و همکاران (۳۳) در بررسی اثر نانورس با مقادیر ۱/۵، سه، ۴/۵ و شش درصد بر مقاومت خاک‌های رسی در معرض انجماد در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند که افزودن نانوذرات باعث کاهش استحکام خاک طی دوره انجماد می‌شود. پدیدار و همکاران (۱۹) در بررسی اثر نانورس بر پایداری خاک شنی در برابر فرسایش بادی، در شرایط آزمایشگاهی پرداختند. آنها نشان دادند که محتوای رطوبت حجمی خاک با استفاده از نانورس تا ۳۰۰ برابر افزایش و همچنین میزان فرسایش خاک بیش از ۹۹ درصد کاهش یافت. هاتفی و همکاران (۸) با کاربرد نانورس به‌میزان ۰/۵ و ۱/۵ گرم در لیتر نشان دادند که میزان فرسایش بادی به‌ترتیب ۹۴/۴ و ۱۰۰ درصد کاهش یافت. عباسی و همکاران (۱) در پژوهشی تأثیر کاربرد نانوذرات رس با مقادیر ۰/۲۵، ۰/۵، یک، دو و چهار درصد در دوره‌های زمانی یک، سه و هفت روزه بر پراکندگی دو نوع خاک را بررسی کردند. آنها بیان کردند که افزودن نانورس به خاک‌های مورد استفاده، پتانسیل پراکندگی خاک را به‌شدت کاهش داد. بررسی پیشینه پژوهش نشان‌دهنده این موضوع است که بررسی میزان کاهش هدررفت خاک با استفاده از کاربرد انواع مختلف افزودنی‌ها و با اهداف مختلف، به پژوهش‌هایی بیشتری نیاز دارد. با این حال محدودیت‌های محیط زیستی، زمانبر بودن و اثربخشی کم، کارکرد افزودنی‌ها در شکل معمول را با چالش مواجه کرده است. اما می‌توان بیان کرد که نانورس به‌عنوان یک افزودنی نوظهور برای حفاظت خاک و آب قابل استفاده است و همچنین دستیابی به مقدار بهینه از کاربرد این افزودنی در راستای اهداف حفاظت خاک و آب در فرسایش آبی دارای اهمیت بوده که تاکنون به آن پرداخته نشده است. از سویی دیگر بایستی مقدار بهینه‌ای برای انجام پژوهش‌های مرتبط در زمینه حفاظت آب و خاک بیان شود که در بررسی پژوهش‌های پیشین این مقدار بهینه تاکنون ثبت نشده است. بر این اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر نانورس مونت‌موریلونیت با سه مقدار ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۹ تن بر هکتار روی مؤلفه‌های زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در شرایط آزمایشگاهی و مقیاس کرت ۲۵×۵۰ سانتی‌متر و در شرایط آزمایشگاهی و تحت شبیه‌سازی فرایند باران انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک منطقه مورد مطالعه و آماده‌سازی خاک

پس از بررسی منطقه مورد مطالعه برای نمونه‌برداری خاک و انتقال آن به آزمایشگاه، آمار و اطلاعات لازم جمع‌آوری شد و سپس منطقه برداشت مشخص شد. پس از آن خاک از عمق ۲۰ سانتی‌متری سطحی جمع‌آوری شده به آزمایشگاه انتقال داده شد و سپس عملیات آماده‌سازی خاک و کرت‌های آزمایشی انجام شد. خاک مورد نظر از مراتع ییلاقی کجور نوشهر با مختصات طول جغرافیایی ″۴ ′۴۳ °۵۱ تا ″۹ ′۴۴ °۵۱ شرقی و عرض

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانورس

چگالی (گرم بر سانتی متر مربع)	اندازه ذرات (نانومتر)	مساحت سطح ویژه (مترمربع بر گرم)	ضریب تبادل یونی (میلی اکی‌والان در ۱۰۰۰ گرم)	فاصله خالی بین ذرات	رنگ	رطوبت (درصد)
۰/۵-۰/۷	۱-۲	۲۲۰-۲۷۰	۴۸	۶۰ A°	زرد کم‌رنگ	۱-۲

ترکیب شیمیایی (درصد)							
Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	Cao	TiO_2	Fe_2O_3	LOI
۰/۹۸	۳/۲۹	۱۹/۶۰	۵۰/۹۵	۰/۸۶	۱/۹۷	۰/۶۲	۵/۶۲	۱۵/۴۵

جغرافیایی ″۴۵ ′۲۲ °۳۶ تا ″۱۹ ′۲۳ °۳۶ شمالی با ارتفاع ۱۶۶۵ متر از سطح دریا برداشت شد. آزمایش‌های اولیه خاک نشان داد که بافت آن شنی- لومی با مقادیر رس، سیلت و شن به‌ترتیب ۱۸، ۲۲ و ۶۰ درصد و مقادیر pH، EC، ماده آلی و کربن آلی خاک به ترتیب ۷/۴، ۰/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۰/۹۲ درصد و ۰/۵۴ درصد بود.

نانورس مونت‌موریلنیت

در این پژوهش از نانورس صنعتی خریداری شده از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان مشهد استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و ترکیب شیمیایی این نانورس در جدول ۱ نشان داده شده است.

پس از تهیه نانورس مقادیر ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۹ تن بر هکتار به‌عنوان مقادیر پیشنهادی برای انجام پژوهش انتخاب شدند. سپس نانوذرات مونت‌موریلنیت با استفاده از الک (۲۱) و به‌صورت یکنواخت در سطح کرت‌ها پخش شده و آزمایش‌ها برای تیمار شاهد (بدون نانورس مونت‌موریلونیت) و تیمار حفاظتی (با استفاده از نانورس مونت‌موریلونیت در سه سطح مصرفی تعریف شده) در سه تکرار انجام شد.

آماده‌سازی کرت‌های فرسایش

برای انجام پژوهش حاضر، کرت‌های فرسایشی به‌صورت مکعب مستطیل در ابعاد ۲۵×۵۰ سانتی‌متر برای انجام پژوهش حاضر ساخته شدند. سپس برای شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی کرت‌ها تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری با پوکه معدنی پر شده و ۱۰ سانتی‌متر سطحی کرت‌های با خاک الک شده، پر شد. درنهایت سطح کرت‌ها به‌منظور شبیه‌سازی شرایط موجود در طبیعت و رساندن به جرم ویژه ظاهری (۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) خاک در شرایط طبیعی، با غلتک مخصوص کوبیده شد (۹). بعد از آن کرت‌ها برای شبیه‌سازی شرایط رطوبت پیشین خاک و متناسب با شرایط طبیعی، حدود ۲۴ ساعت تحت شرایط اشباع از کف قرار گرفتند (شکل ۱) و بعد از آن کرت‌های آماده شده به‌مدت ۲۴ ساعت رها شدند. درنهایت شبیه‌سازی آزمایش‌ها با استفاده از بارشی با شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت (به‌دست آمده از منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی با استفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک کجور) برای مدت زمان ۲۰ دقیقه انجام شد. همچنین به‌منظور انجام آزمایش‌ها و برآورد شیب طبیعی و متوسط منطقه (۵)، کرت‌ها روی سطوح شیب‌دار با شیب ۱۸ درصد قرار گرفتند (شکل ۱-ج).

مشخصات دستگاه شبیه‌ساز باران و انتخاب شدت بارندگی

در پژوهش حاضر از شبیه‌ساز باران قابل حمل ساخته شده توسط پژوهشگران پیشین (۹) در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد. سامانه آبرسانی آن شامل موتور پمپ بنزینی، لوله‌های انتقال آب از منبع به موتور پمپ، لوله برگشتی

(الف) (ب) (ج)

شکل ۱. الف) قرارگیری کرت‌های فرسایش به مدت ۲۴ ساعت تحت شرایط اشباع، ب)کرت‌های آماده شده پس از ۲۴ ساعت اشباع به منظور شبیه‌سازی و ج) انجام آزمایش‌ها توسط شبیه‌ساز باران قابل حمل

از موتور پمپ به منبع برای تنظیم دقیق‌تر فشار و شدت بارندگی و لوله انتقال آب از موتور به نازل‌ها است. همچنین سامانه مورد نظر دارای سه 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 مخروطی کاملی از باران، قابلیت پوشش یک کرت با مساحت ۲×۱ مترمربع در سطح زمین را دارند. همچنین در شبیه‌ساز باران مورد نظر با تغییر ارتفاع و یا تعداد نازل‌های فعال، تنظیم فشار آب، شدت‌های مختلف بارندگی در دامنه ۳۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت قابل شبیه‌سازی است (۹). برای انجام آزمایش‌ها در پژوهش حاضر از بارندگی با ۴۰ میلی‌متر بر ساعت با دوره بازگشت ۲۰ ساله متناسب با منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی منطقه استفاده شد.

اندازه‌گیری مؤلفه‌ها و تحلیل داده‌ها

پس از ثبت زمان شروع رواناب (۵ و ۶)، نمونه‌های رواناب و رسوب پس از اتمام بارندگی در مدت‌زمان ۲۰ دقیقه به‌صورت جداگانه برای هر کرت (شاهد و حفاظت شده) جمع‌آوری و مؤلفه‌های مورد نظر اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و برای مدت‌زمان ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شد، پس از مدت زمان مورد نظر، با استفاده از روش تغلیظ (۵ و ۹) اقدام به تخلیه آب اضافه کرده و درنهایت نمونه‌های رسوب در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از مدت زمان مورد نظر میزان هدررفت خاک با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد (۹ و ۲۶). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌های زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمارهای شاهد، تیمارهای حفاظتی با نانورس از آزمون کولموگراف اسمیرنوف استفاده شد. برای ارزیابی مقایسه‌ای با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه در محیط نرم‌افزار SPSS و با استفاده از مدل خطی عمومی (General Linear Model (GLM)) انجام شود. سپس برای مقایسه میانگین مقادیر تیمارها از آزمون دانکن استفاده شود (۲۱ و ۲۳). برای اندازه‌گیری درصد تغییرات مؤلفه‌های مختلف در پژوهش حاضر مقدار حفاظتی از مقدار شاهد کم و

جدول ۲. زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمار شاهد و تیمار حفاظت شده با استفاده از کاربرد نانورس مونت‌موریلونیت در مقادیر مختلف کاربردی

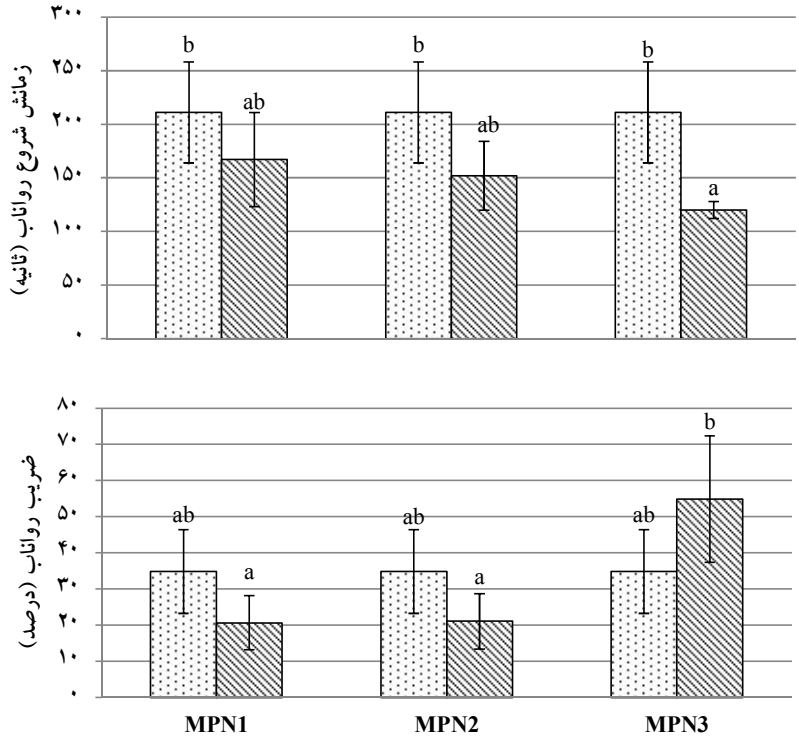
تیمار	کرت	زمان شروع رواناب (ثانیه)	حجم رواناب (میلی‌لیتر)	ضریب رواناب (درصد)	هدررفت خاک (گرم)	غلظت رسوب (گرم بر لیتر)
	۱	۲۴۰	۸۶۰	۴۳/۰۰	۴/۶۸	۵/۴۴
شاهد	۲	۲۳۷	۴۳۰	۲۱/۵۴	۳/۳۳	۷/۷۴
	۳	۱۵۷	۷۵۰	۳۹/۷۹	۳/۲۶	۴/۳۵
میانگین		۲۱۱	۶۸۰	۳۴/۷۸	۳/۷۶	۵/۸۴
ضریب تغییرات		۲۲	۳۲/۸۵	۳۳/۲۸	۲۱/۳۱	۲۹/۶۷
نانورس به مقدار	۱	۱۹۵	۳۲۰	۱۶/۵۲	۰/۴۵	۱/۴۱
۰/۰۳ تن بر	۲	۱۹۰	۵۶۵	۲۹/۲۷	۰/۷۴	۱/۳۱
هکتار (MPN1)	۳	۱۱۶	۲۹۵	۱۶/۱۴	۰/۱۲	۰/۴۱
میانگین		۱۶۷	۳۹۳/۳۳	۲۰/۶۴	۰/۴۴	۱/۰۴
ضریب تغییرات		۲۶	۳۷/۹۳	۳۶/۲۰	۷۱/۰۴	۵۲/۹۶
درصد حفاظتی		۲۱	۴۲/۱۶	۴۰/۶۵	۸۸/۳۸	۸۲/۱۹
نانورس به مقدار	۱	۱۸۸	۳۲۰	۱۶/۶۰	۱/۴۲	۴/۴۴
۰/۰۶ تن بر	۲	۱۴۱	۳۱۰	۱۶/۶۴	۰/۹۱	۲/۹۴
هکتار (MPN2)	۳	۱۲۶	۵۵۰	۲۹/۸۶	۱/۶۷	۳/۰۴
میانگین		۱۵۲	۳۹۳/۳۳	۲۱/۰۴	۱/۳۳	۳/۴۷
ضریب تغییرات		۲۱	۳۴/۵۲	۳۶/۳۵	۲۹/۰۵	۲۴/۲۰
درصد حفاظتی		۲۸	۴۲/۱۶	۳۹/۵۲	۶۴/۵۱	۴۰/۶۳
نانورس به مقدار	۱	۱۲۹	۱۳۲۰	۷۱/۵۱	۴/۳۹	۳/۳۳
۰/۰۹ تن بر	۲	۱۱۹	۶۷۰	۳۶/۵۷	۱/۱۶	۱/۷۳
هکتار (MPN3)	۳	۱۱۳	۱۰۳۰	۵۶/۴۸	۳/۹۴	۳/۸۳
میانگین		۱۲۰	۱۰۰۶/۶۷	۵۴/۸۶	۳/۱۶	۲/۹۶
ضریب تغییرات		۷	۳۲/۳۵	۳۱/۹۵	۵۵/۳۰	۳۶/۹۶
درصد حفاظتی		۴۳	-۴۸/۰۴	-۵۷/۷۲	۱۵/۷۹	۴۹/۳۴

درصد حفاظت: ((مقدار حفاظتی- مقدار شاهد) / مقدار شاهد) × ۱۰۰

سپس بر مقدار عدد شاهد تقسیم شد و درنهایت عدد محاسبه شده در ۱۰۰ ضرب شد (۲۶).

نتایج

نتایج تجزیه مقادیر اندازه‌گیری شده زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمار شاهد و تیمار حفاظت شده با استفاده از نانورس مونت موریلونیت با سه مقدار ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۹ تن بر هکتار در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین مقایسه میانگین مربوط به زمان شروع رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت



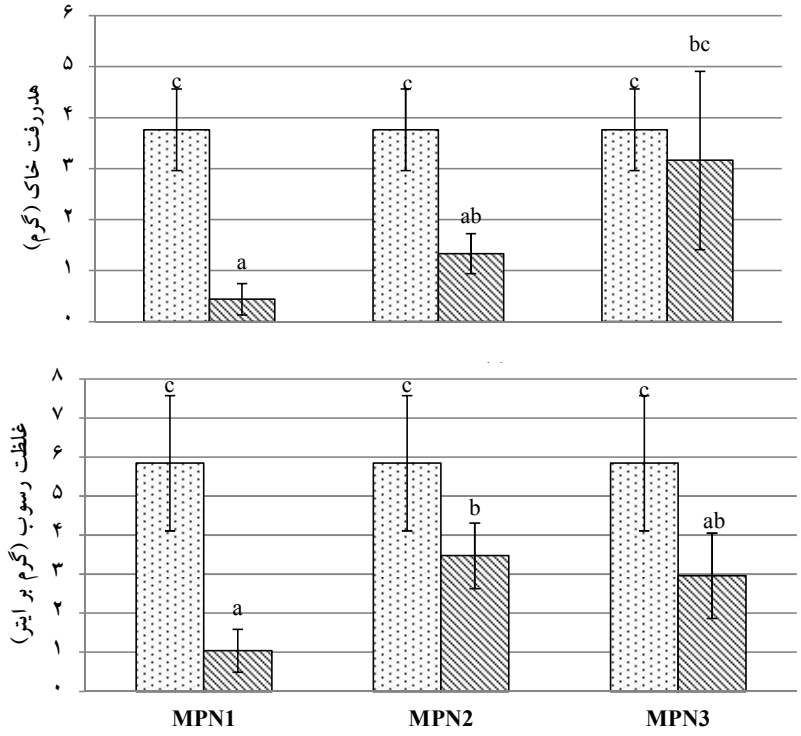
MPNI، MPN2 و MPN3 نانورس مونت‌موریلنیت پودری با مقدار به‌ترتیب ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۹ تن بر هکتار

شکل ۲. الف) مقایسه میانگین زمان شروع رواناب و ب) ضریب رواناب در تیمارهای شاهد و نانورس مونت‌موریلونیت با مقادیر مختلف (شاهد ⊡ حفاظتی ▨)

رسوب در تیمار شاهد و تیمارهای نانورس مونت‌موریلونیت در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد که نانورس با مقادیر مورد استفاده بر تغییرات زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب اثرات متفاوتی داشت. میانگین زمان شروع رواناب در شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت در تیمارهای شاهد و تیمارهای نانورس با سه مقدار ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۹ تن بر هکتار به‌ترتیب، ۲۱۱، ۱۶۷، ۱۵۲ و ۱۲۰ ثانیه بعد از شروع بارندگی بود. با توجه به شکل ۳ میانگین هدررفت خاک در تیمار شاهد و تیمارهای حفاظتی نانورس با مقادیر مختلف به ترتیب ۳/۸، ۰/۴، ۱/۳ و ۳/۲ گرم اندازه‌گیری شد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین غلظت رسوب مربوط به تیمار شاهد با مقدار ۵/۸۴ گرم بر لیتر بوده و در تیمارهای حفاظتی با نانورس در مقادیر به‌کار برده شده به‌ترتیب ۱/۱، ۳/۵، ۳/۰ گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد.

بحث

بررسی نتایج نشان داد که بیشترین زمان شروع رواناب در تیمار شاهد رخ داد و بعد از کاربرد نانورس، این افزودنی نتوانست تأثیر مثبتی بر افزایش مؤلفه زمان شروع رواناب داشته باشد (شکل ۲). تغییرات میانگین ضریب رواناب نیز در تیمارهای شاهد و تیمارهای حفاظتی نانورس به‌ترتیب ۳۴/۷۸، ۲۰/۶۴، ۲۱/۰۴، ۵۴/۸۶ درصد بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از حجم رواناب می‌توان بیان کرد که کمترین میزان ضریب رواناب در تیمار حفاظتی نانورس به مقدار ۰/۰۳ تن بر هکتار نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. درحالی که نانورس با



MPNI، MPN2 و MPN3 نانورس مونت‌موریلنیت پودری با مقدار به‌ترتیب ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۹ تن بر هکتار

شکل ۳. الف) مقایسه میانگین هدررفت خاک و ب) غلظت رسوب در تیمارهای شاهد و نانورس مونت‌موریلونیت با مقادیر مختلف (شاهد ⊡ حفاظتی ▨)

مقدار ۰/۰۹ تن بر هکتار نتوانست ضریب رواناب را کاهش دهد و اثر افزایشی بر تغییرات این متغیر داشت (شکل ۲). نتایج حجم و ضریب رواناب نشان داد که نانورس مونت‌موریلونیت در کمترین مقدار (۰/۰۳ تن بر هکتار) استفاده شده توانست حجم و ضریب رواناب را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد و اثر مثبتی بر کاهش رواناب داشته باشد. نانورس به‌علت دارا بودن سطح ویژه بالا (۳۰ و ۳۱) و همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، توانایی جذب آب بالایی دارد (۲۰) که درنهایت می‌تواند باعث افزایش نفوذ به‌داخل خاک شود (۳ و ۱۵). در پژوهش حاضر نانورس مونت‌موریلونیت با مقادیر ۰/۰۳ و ۰/۰۶ تن بر هکتار توانستند موجب افزایش میزان نفوذ و درنهایت کاهش رواناب شده درحالی که مقدار ۰/۰۹ تن بر هکتار نتوانست تأثیر خوبی در کاهش حجم و ضریب رواناب داشته باشد. در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد که با افزایش مقدار نانورس اثر آن بر حفاظت آب و نفوذ آن به درون خاک کاهش یافت. یکی از دلایل آن می‌تواند سطح ویژه بالای ذرات رس باشد که با افزایش مقدار نانورس مانعی در برابر قطرات آب به‌وجود می آورد که در واقع موجب کاهش نفوذ آب در خاک می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج جدول ۲ و همچنین شکل ۲، نانورس مونت‌موریلونیت با مقدار ۰/۰۳ تن بر هکتار (با توجه به تغییرات مؤلفه‌های رواناب) مقدار بهینه در کاهش حجم و ضریب رواناب باشد. نتایج حاصل با نتایج بروغنی و همکاران (۲) مبنی بر تأثیر مثبت نانورس در افزایش فضای متخلخل که باعث جذب آب و درنهایت کاهش رواناب می‌شود، همخوانی دارد. همچنین لال (۱۳) نیز بیان کرد که نانورس می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و تخلخل خاک شود. درحالی که نتایج حاصل با نتایج کنعانی‌زاده و خوش‌نیت (۱۲) مبنی بر کاهش نفوذپذیری خاک، بهاری و همکاران (۳) مبنی بر

جدول ۳. نتایج آزمون GLM برای شناسایی اثرات تیمارهای حفاظتی بر متغیرهای رواناب و رسوب

متغیر وابسته	مجموع مربعات نوع سوم	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
زمان شروع رواناب (ثانیه)	۱۲۹۰۰/۹۲	۳	۴۳۰۰/۳۱	۳/۲۶	۰/۰۸
حجم رواناب (میلی‌لیتر)	۷۶۷۵۶۶/۶۷	۳	۲۵۵۸۵۵/۵۶	۵/۲۱	۰/۰۳
ضریب رواناب (درصد)	۲۳۲۹/۴۸	۳	۷۷۶/۴۹	۵/۵۹	۰/۰۲
غلظت رسوب معلق (گرم در لیتر)	۳۵/۱۰	۳	۱۱/۷۰	۸/۹۹	۰/۰۱
هدررفت خاک از کرت (گرم)	۲۱/۶۳	۳	۷/۲۱	۷/۳۰	۰/۰۱

کاهش تخلخل، کاهش ضریب نفوذپذیری و کاهش هدایت هیدرولیکی با توجه به نوع متفاوت خاک از نظر بافت و نیز خصوصیات شیمیایی آن مغایرت داشت.

همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهند بیشترین و کمترین میانگین هدررفت خاک خاک به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد و نانورس با مقدار ۰/۰۳ تن بر هکتار بود. درحالی که با افزایش مقدار نانورس تأثیر کاهشی هدررفت خاک کاهش یافت و در مقدار ۰/۰۹ تن بر هکتار میانگین هدررفت خاک بسیار کمتر بود اما اثر هر سه مقدار نانورس بر تغییرات هدررفت خاک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تأثیر معنی‌دار کاربرد نانورس مونت‌موریلونیت بر کاهش هدررفت خاک می‌تواند به‌علت دارا بودن سطح ویژه بالای این افزودنی بوده که به این دلیل افزودنی نانورس می‌تواند موجب افزایش خاصیت چسبندگی ذرات خاک شده (۱۰) درنتیجه ذرات جدا شده از سطح خاک توسط فرایند پاشمان و یا رواناب سطحی را به‌هم متصل کند و باعث افزایش پایداری و استقامت ذرات خاک شود. پدیدار و همکاران (۱۸ و ۱۹) و هاتفی و همکاران (۸) نشان دادند که با کاربرد نانورس در فرسایش بادی، این افزودنی توانست تأثیر زیادی در اتصال ذرات شن داشته باشد و درنتیجه مقدار میزان فرسایش خاک را کاهش دهد. از طرفی عباسی و همکاران (۱) بیان کردند که نانورس به‌علت خاصیت چسبندگی خاکدانه‌های خاک را به یکدیگر اتصال داده و درنهایت پتانسیل پراکندگی ذرات خاک را کاهش داد. همچنین بیشترین میزان کاهش غلظت رسوب در تیمار نانورس مونت موریلونیت ۰/۰۳ تن بر هکتار نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۳). نتایج نشان داد که اثر نانورس بر تغییرات غلظت رسوب نیز در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). دانیلز و همکاران (۴) بیان کردند که نانورس به‌عنوان یک افزودنی می‌تواند افزایش فضای متخلخل خاک شود، همچنین پدیدار و همکاران (۱۸) نیز نشان دادند که نانورس با افزایش خاصیت چسبندگی در ذرات خاک می‌تواند موجب فرسایش خاک شود. درحالی که با نتایج شریف‌نسب و عباسی (۲۷) مبنی بر کاهش مقدار چسبندگی ذرات خاک توسط نانورس، تایپودیا و همکاران (۳۲) مبنی بر کاهش تراکم‌پذیری خاک در اراضی کشاورزی بعد از کاربرد نانورس مغایرت داشت. ایشان دلیل اثرات منفی نانورس بر چسبندگی ذرات خاک را میزان و نوع ذرات ریزدانه موجود در خاک بیان کردند. درحالی که در پژوهش حاضر اثرات مثبت نانورس بر کاهش هدررفت خاک گزارش شد که از دلایل این کاهش وجود مقادیر بیشتر ذرات درشت خاک نسبت به مطالعات تایپودیا و همکاران (۳۲) و شریف‌نسب و عباسی (۲۷) است. از طرفی نانورس به‌دلیل نانورس به‌دلیل داشتن مساحت سطح ویژه بسیار حتی در صورت استفاده بسیار کم به‌طور بسیار ویژه و قابل توجه به عنوان تثبیت کننده برای بهبود خواص مکانیکی خاک استفاده می‌شود (۳۴)، بنابراین با تثبیت خاک میزان هدررفت خاک نیز کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب در پژوهش حاضر می‌توان مقدار نانورس مونت‌مویلونیت به مقدار ۰/۰۳ تن بر هکتار را مقدار مناسب تری نسبت به دو مقدار دیگر در کاهش هدررفت خاک و غلظت رسوب در خاکی با بافت لومی- شنی پیشنهاد کرد. اما بایستی توجه داشت که برای انجام در سایر کاربری‌ها و خاک‌هایی با بافت متفاوت نیاز به آزمایش‌های بیشتری بوده و بایستی با احتیاط استفاده شود. با توجه به افزایش فرسایش خاک در کشور و نیز بررسی نشدن برخی افزودنی‌ها در تغییرات فرایند حفاظت خاک و آب کاربرد این افزودنی‌ها، می‌تواند اثرات متفاوتی در تغییرات رواناب و رسوب داشته باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که نانورس استفاده شده در پژوهش با مقدار بهینه ۰/۰۳ تن بر هکتار به‌عنوان یک افزودنی باعث بهبود خواص فیزیکی خاک مانند افزایش پایداری و کاهش فرسایش و غلظت رسوب می‌شود که می تواند رهیافتی در زمینه استفاده از این افزودنی بوده و جایگزین مناسبی برای افزودنی‌هایی که امکان استفاده آنها در خیلی از مناطق وجود ندارد باشد. درنهایت می‌توان پیشنهاد کرد که در شرایطی که بحث پر شدن مخازن سدها و نیز اثرات شدید برون منطقه‌ای در فرسایش خاک وجود دارد و با توجه به اهمیت حفاظت خاک در شرایط کشور ایران، نانورس به‌عنوان یک افزودنی می‌تواند اثرات مناسبی در حفاظت خاک و آب داشته باشد.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, N. A. and S. Farjad Sepehri. 2017. The use of nanoclay particles for stabilization of dispersive clayey soils. *Geotechnical and Geological Engineering* 1-9.
2. Boroghani, M., S. Kh. Mirnia, J. Vahhabi and S. J. Ahmadi. 2014. Investigation of nanozeolite effects on soil erosion decreasing using FEL3 rainfall simulator. *Journal of Watershed Management Research* 9(5): 95-105.
3. Bahari, A., A. Sadeghinik, M. Roodbari, K. Taghavi and S. E. Mirshafiei. 2012. Synthesis and strength study of cement mortars containing sic nano particles. *Digest Journal of Nanomaterials Biostructer* 7: 1427-1435.
4. Daniels, J. M., P. Mehta, M. Vaden, D. Sweem, M. D. Mason, M. Zavareh and V. Ogunro. 2009. Nano- scale organo-silane applications in geotechnical and geo-environmental engineering. *Journal of Terraspace Science and Engineering* 1(1): 21-30.
5. Gholami, L., S. H. R. Sadeghi and M. Homaee. 2016. Different effects of sheep manure conditioner on runoff and soil loss components in eroded soil. *Catena* 139: 99-104.
6. Gholami, L., S. H. R. Sadeghi and M. Homaee. 2017. Splash erosion control using sheep manure. IASWS, 17-22 June 2017- Italy.
7. Grainger, A. 2014. Is land degradation neutrality feasible in dry areas? *Journal of Arid Environments* 112 (Part A): 14-24.
8. Hatefi, O., O. Jalalian, M. Padidar and J. Fallahzade. 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.
9. Khaledi Darvishan, A., V. Homainofar and S. H. R. Sadeghi. 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 Farsi)
10. Kadivar, M., K. Barkhordari and M. Kadivar. 2011. Nanotechnology in geotechnical engineering. *Advanced Materials Research* 261: 524-528.
11. Kavian, A., L. Gholami, M. Mohammadi, V. Spalevic and M. Falah. 2018. Impact of wheat residue on soil erosion processes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 46(2): 543-553.
12. Kananizadeh, N. and A. Khoshniat. 2011. Behavior of nanoclay as an additive in order to reduce kahrizak landfill clay permeability. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, Singapore.
13. Lal, R. 2008. Promise and limitations of soils to minimize climate change. *Journal of Soil and Water Conservation* 63(4): 113-118.
14. Majeed Z. H., M. R. Taha and L. T. Jawad. 2014. Stabilization of soft soil using nanomaterils. *Research Journal of Appiled Sience, Engineering and Technology* 8(4): 503-509.
15. Mohammadi, M. and M. Niazian. 2013. Investigation of nano-clay effect on geotechnical properties of Rasht clay.

Journal of Advanced Science and Technology 3(3): 37-46.
16. Park, Y., G. A. Ayoko and R. L. Frost. 2011. Characterisation of organoclays and adsorption of p-nitrophenol: Environmental application. *Journal of Colloid and Interface Science* 360(2): 440-56.
17. Pimentel, D. and C. Harvey. 1999. Ecological effects of erosion. PP. 123-135. *In*: Walker, L. R. (eds), Ecosystems of Disturbed Ground.
18. Padidar, M., A. Jalalian, M. Abdouss, P. Najafi, N. Honarjoo and J. Fallahzade. 2014. Effect of nanoclay on soil erosion control. *Nanocon* 2014: 1-4.
19. Padidar, M., A. Jalalian, M. Abdouss, P. Najafi, N. Honarjoo and J. Fallahzade. 2016. Effets of nanoclay on some physical properties of sandy soil and wind erosion. *International Journal of Soil Science* 11: 9-13.
20. Quang, T., T. Nguyen and D. G. Baird. 2007. An improved technique for exfoliating and dispersing nanoclay particles into polymer matrices using supercritical carbon dioxide. *Polymer* 48: 6923-6933.
21. Roa-Espinosa, A., G. D. Bubenzer and E. S. Miyashita. 1998. Sediment and runoff control on construction sites using four application methods of polyacrylamide mix. 6p. Avaiable at: http://204.202.251.206/assets/114BPolymer.pdf.
22. Rostamdel, R., S. Ebrahimi and M. Zakernia. 2015. Study of crack curve of calcium, magnesium and chlorine from soil columns of sandy-montmorillonite nanoclay under treatment of sewage leachate with period. National Conference of Soil and Environment, 2-3 Septamber 2005.
23. Ruiz-Sinoga, J. D., A. Romero-Diaz, E. Ferre-Bueno 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.
24. Sadat Noori, S. A. and A. Khodayari. 2005. Review of Nanotechnology, Chapter 3. Noopardazan Book. (in Farsi).
25. Sadeghi, S. H. R. 2010. Study and Measurement of Water Erosion. Tarbiat Modares University Press, Iran. (in Farsi)
26. Sadeghi, S. H. R., Z. Abdollahi and A. Khaledi Darvishan. 2013. Experimental comparison of some techniques for estimating natural rain drop size distribution in Caspian Sea southern coast, Iran. *Hydrological Sciences Journal* 58(6): 1374-1382.
27. Sharifnasab, H. and N. Abbas. 2016. Effect of nanoclay particles on some physical and mechanical properties of soils. *Journal of Agricultural Machinery* (6): 250-258.
28. Spedding, I. 2005. Nanoclay- a New Beginning for Old Products. Director, Acme Nano Products Pty.
29. Taha M. R. and O. E. Taha. 2012. Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior. *Journal of Nanoparticle Research* 14(10): 1-13.
30. Tassi, E., R. Pini, F. Gorini, I. Valadao and J. A. de Castro. 2012. Chemical and physical properties of soil influencing Tio_2 nanoparticles availability in terrestrial ecosystems. *Journal of Environmental Research and Development* 6(4): 1034-1038.
31. Theron, J., J. A. Walker and T. E. Cloete. 2008. Nanotechnology and water treatment: applications and emerging opportunities. *Critical Reviews in Microbiology* 34(1): 43-69.
32. Taipodia, J., J. Dutta and A. K. Dey. 2011. Effect of nano-particles on properties of soil. *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference* 15-17.
33. Zahedi, M., M. Sharifipour, F. Jahanbakhshi and R. Bayai. 2014. Nanoclay performance on resistance of clay under freezing cycles. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 18(3): 427-434.
34. Zhang, G. 2007. Soil nanoparticles and their influence on engineering properties of soils. *In Advances in Measurement and Modeling of Soil Behavior* 1-13.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 1, Spring 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Various Rates of Montmorillonite Nanoclay on Changing Runoff and Soil Loss

N. Hasanzadeh[1], L. Gholami[1*], A. Khaledi Darvishan[2] and H. Yonesi[3]

(Received: September 25-2019 ; Accepted: September 9-2020)

Abstract

Soil erosion is one of the most serious environmental issues in the world, causing soil degradation, reduction of land productivity, increasing flood, water pollution and pollutions transportation; it is also a serious threat to sustainable development in the world. Therefore, the soil conservation and the prevention of soil erosion and use of conditioners as the nanoclay can be considered as a solution to improve land productivity and protect environment. The present study was, therefore, conducted to address the effect of the application of montmorillonite nanoclay with three rates of 0.03, 0.06 and 0.09 t ha^{-1} on changing runoff and soil loss variables under laboratory conditions. The results showed that the nanoclay with the rate of 0.03 t ha^{-1} could decrease the runoff coefficient, soil loss and sediment concentration with the rate of 40.65, 88.38 and 82.19 percent, respectively. The average of soil loss in control treatment and conservation treatments of nanoclay with various rates was measured to be 3.76, 0.44, 1.33 and 3.16 g, respectively. Also, the results showed that the most sediment concentration was the control treatment with the rate of 5.84 g l^{-1} and the conservation treatments with nanoclay in the applied rates was 1.04, 3.47 and 2.96 g l^{-1}, respectively. Also, the results showed that the nanoclay effect was significant on changing the soil loss and sediment concentration at the level of 99 percent. Finally, due to the effect, the use of this conditioner in natural conditions and investigation of the effects on environment and aggregates stability are recommended.

Keywords: Emerging Conditioners of Soil, Soil and Water Conservation, Sediment Concentration, Soil Erosion

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