پژوهش های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

تأثیر افزودنی مادهٔ معدنی بنتونیت بر پایداری خاک‌دانه‌های سطحی

زینب براری‌شهیدانی[۱]، لیلا غلامی[۲*]، عطاالله کاویان[۳]

۱ – دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، مازندران، ساری، ایران
۲ – دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، مازندران، ساری، ایران
۳ – استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، مازندران، ساری، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

خاک، پایه و اساس منابع زیستی و حیات روی کره زمین است. پایداری خاک از شاخص‌های کلیدی است که به‌منظور ارزیابی عملکرد ساختمان خاک در برابر فرسایش خاک استفاده می‌شود. در واقع پایداری خاکدانه‌های بیانگر مقاومت ساختمان خاک در برابر نیروهای خارجی مانند برخورد قطرات باران و فرسایش پاشمانی است. انرژی قطرات باران، یکی از عامل‌های اصلی ازهم پاشیدگی خاکدانه‌های خاک در فرسایش آبی است. استفاده از افزودنی‌های گوناگون در سطح یا در داخل خاک با فرایندهای گوناگونی شامل سله‌بندی سطحی، نفوذ، رواناب، تبخیر و سرانجام فرسایش خاک ارتباط نزدیکی دارد. با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در مهار فرسایش خاک، افزایش قطر ذرات در سطح خاک یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت آن‌ها به‌وسیلهٔ عامل‌های فرسایشی است. بررسی پژوهش‌های پیشین نشان داد که افزودن مادهٔ معدنی بنتونیت می‌تواند نقش مؤثری در تغییرات پایداری خاکدانه‌ها به‌ویژه در خاک‌های تخریب‌یافته داشته باشد. بنابراین هدف از این پژوهش استفاده از افزودنی بنتونیت بر تغییرات خاکدانه‌های سطحی خاک بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، مادهٔ معدنی بنتونیت با اندازه‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطحی خاک و در سه تکرار استفاده شد. ابتدا خاک جمع‌آوری شده از زمین‌های مرتعی تا ژرفای ۲۰ سانتی‌متری به آزمایشگاه انتقال داده شده در معرض

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** l.gholami@sanru.ac.ir
استناد: براری‌شهیدانی،ز.، غلامی، ل.، کاویان، ع. ۱۴۰۳. تأثیر افزودنی مادهٔ معدنی بنتونیت بر پایداری خاک‌دانه‌های سطحی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۱۴۳-۱۲۸.
شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.364343.1561
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۱۱/۰۳، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دورهٔ ۳۷، شماره ۳، شمارهٔ پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های۱۲۸ تا ۱۴۳.
ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس
© نویسندگان
CC BY

هوای آزاد خشک شد و از الک چهار میلی‌متری عبورداده شد. سپس، خاک در فنجان‌های پاشمان ریخته‌شده و تحت شبیه‌ساز باران با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت و مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. خاک سطحی قبل و بعد از شبیه‌سازی باران به ژرفای دو میلی‌متر و با اندازهٔ ۵۰ گرم از سطح فنجان‌های پاشمان جمع‌آوری شد و پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از روش الک تر محاسبه شد. در این روش خاک باقی‌مانده روی هر الک با روش شستشو به داخل ظروف نشانه-گذاری‌شده منتقل شد و به‌مدت ۲۴ ساعت به‌حالت سکون رها شد. پس از تخلیهٔ آب اضافی نمونه‌ها، رسوب باقی‌مانده به داخل ظروف مناسب با وزن مشخص منتقل شد. سرانجام به‌مدت ۲۴ ساعت در کورهٔ حرارتی با دمای ۱۰۵°c خشک شد. در نهایت اثر کاربرد مادهٔ معدنی بنتونیت بر متغیرهای دانه‌بندی و پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه شد.

نتایج و بحث

با توجه به عملکرد حفاظتی و میانگین وزنی- قطر خاکدانه‌های خاک با استفاده از مادهٔ معدنی بنتونیت با سه اندازهٔ ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ و بر اساس طبقه‌های قطری >۵۰۰، ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۰۰، ۱۰۰-۵۳، ۵۳-۳۸ و <۳۸ میکرومتر، نتایج نشان داد که به‌علت تأثیر مادهٔ معدنی بنتونیت میانگین قطر خاکدانه‌ها به‌طور معنی‌داری تغییر کرد. میانگین جرم خاکدانه‌ها در قطرهای مزبور در تیمار شاهد به‌ترتیب ۰/۸۲، ۱/۸۸، ۶/۸۲، ۳/۳۷، ۹/۵۳، ۴/۶۲ و ۲۰/۳۶ گرم بود و با مادهٔ معدنی بنتونیت با اندازه ۱۵٪ به‌ترتیب ۱/۱۶، ۲/۶۳، ۸/۱۷، ۴/۴۶، ۱۰/۸۱، ۴/۰۲ و ۱۷/۶۸ گرم بود و با مادهٔ معدنی بنتونیت با اندازه ۳۰٪ به‌ترتیب ۰/۸۴، ۲/۴۲، ۷/۹۳، ۴/۳۲، ۱۱/۰۳، ۳/۴۶ و ۱۷/۳۸ گرم و با اندازه ۴۵٪ پوشش سطحی ۰/۸۱، ۱/۹۶، ۶/۹۵، ۳/۵۳، ۱۰/۰۱، ۳/۵۱ و ۱۹/۳۱ گرم بود. نتایج آزمون GLM نشان داد که تأثیر مادهٔ معدنی بنتونیت بر متغیرهای $D_{۱۰}$ ، $D_{۱۰}$ / $D_{۹۰}$ و جورشدگی در سطح ۹۵٪ و بر متغیرهای $D_{۵۰}$، $D_{۹۰}$، $D_{۹۰}$-$D_{۱۰}$، $D_{۷۵}$-$D_{۲۵}$ و چولگی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. اما اثر بنتونیت بر متغیر $D_{۷۵}/D_{۲۵}$ و کشیدگی معنی‌دار نبود. هم‌چنین با بررسی نتایج آزمون دانکن مشخص شد که مادهٔ معدنی بنتونیت با اندازهٔ ۱۵ و ۳۰٪ بر پایداری خاکدانه‌های خاک و افزایش میانگین قطر خاکدانه‌ها اثر بیشتری داشت.

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که مادهٔ معدنی بنتونیت با ایجاد چسبندگی در سطح خاک آن را در برابر قطرات باران محافظت کرد و فرسایش خاک را کاهش داد. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که ابتدا پژوهش‌های بیشتری با توجه به شرایط خاک و باران طبیعی انجام شود و سپس اندازه‌های بهینهٔ بنتونیت در مدیریت فرسایش و رواناب مشخص شود.

واژگان کلیدی: الک تر، حفاظت خاک و آب، ساختمان خاک، قطر خاکدانه، مادهٔ معدنی غیرآلی

مقدمه

خاک، پایه و اساس دیگر منابع زیستی است. ازاین‌رو، درک نادرست آن به‌وسیلهٔ انسان‌ها، موجب از بین رفتن حیات می‌شود. خاک منبع حیاتی برای تولید غذا، چوب و منابع سوختی، هم‌چنین زیربنای امنیت غذایی و کیفیت محیط‌زیست می‌باشد که برای وجود انسان ضروری است. ضرورت حفاظت از خاک برای رفاه حال انسان است؛ اما اغلب تا زمانی که تولید مواد غذایی کم نشود و یا به خطر نیفتد، نابودی زیادی در آن شکل نمی‌گیرد. خاک، با کیفیت خوب و بارآور یکی از ارزشمندترین گنجینه‌هایی است که می‌تواند تأثیر مثبتی بر رفاه مردم داشته باشد. زیرا، تمدن‌های بزرگ بشری در مناطقی از جهان به رشد و شکوفایی رسیده‌اند که خاک آن‌ها کیفیت مطلوبی داشته است. به گونه‌ای که می‌توان گفت سطح پیشرفت تمدن بشری با خاک و چگونگی بهره‌برداری از آن ارتباط تنگاتنگی دارد. بنابراین، مدیریت منابع خاک با کاهش یا جلوگیری از فرسایش خاک برای تولید پایدار ضروری است (اونگر ۲۰۰۹). پایداری خاک از شاخص‌های کلیدی است که به‌منظور ارزیابی ساختمان خاک در برابر فرسایش خاک استفاده می‌شود. در حقیقت پایداری خاکدانه بیانگر مقاومت ساختمان خاک در برابر نیروهای خارجی مانند برخورد قطرات باران است و می‌تواند موجب افزایش فرسایش خاک از جمله نوع پاشمانی آن شود. پایداری ساختمان خاک از نتایج برهم‌کنش عامل‌های گوناگونی از جمله پوشش گیاهی، فرآیندهای زیستی و

غیرزیستی، ویژگی‌های ذاتی خاک و عامل-های محیطی و مدیریتی است (واعظی و همکاران ۲۰۱۸).
پایداری خاک‌دانه‌ها با استفاده از روش الک تر[1] و بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار توصیف می‌شود (هریک و همکاران ۲۰۰۱؛ حق‌جو و همکاران ۲۰۱۹). از سوی دیگر پوشش گیاهی به‌دلیل افزایش ضریب زبری[2] و نفوذپذیری خاک و کاهش انرژی جنبشی قطرات باران، به‌عنوان عامل کلیدی افزایش پایداری خاک شناخته شده‌است. تاج پوشش گیاهی مهم‌ترین ویژگی گیاهی برای فرسایش‌های پاشمانی، میان‌شیاری و شیاری است (گیسل و همکاران ۲۰۰۵). انرژی قطرات باران، یکی از عامل‌های اصلی از هم پاشیدگی خاکدانه‌های خاک در فرسایش آبی است. قطرات باران پس از برخورد با زمین، ذرات خاک را متلاشی کرده و به روند فرسایش آبی سرعت می‌بخشد. ویژگی‌های خاک از جمله بافت و توزیع اندازه ذرات[3] از عامل‌های مهم مؤثر بر فرسایش پاشمانی (حق‌جو و همکاران ۲۰۱۶؛ محبتی و همکاران ۲۰۲۲) و در نتیجه تغییرات رواناب و نفوذ (هوانگ و همکاران ۲۰۱۳) است. نتایج ایشان نشان داد اندازۀ خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل[4] ، مقاومت خاک[5] ، فرسایش و توانایی خاک برای انتقال مایعات، املاح، گازها و گرما اثر قابل توجهی داشته است (جیو و همکاران ۲۰۲۰). آنچه مسلم است فرسایش خاک یکی از مسائل محیط‌زیستی جدی است و با توجه به اندازۀ زیاد فرسایش در بسیاری از مناطق جغرافیایی کشور، باید تلاش‌های زیادی به سمت کم کردن خطرات آن انجام شود. لازمۀ این کار وجود داده های کمی است تا بتوان مناطق بحرانی را که نیازمند حفاظت فوری می‌باشند، تشخیص داده و مدیریت کرد. از این‌رو، در زمینۀ مهار فرسایش خاک، روش‌های بسیار گوناگونی معرفی‌شده، اما استفاده از روش‌هایی که بتواند مانع جداشدن ذرات خاک در مراحل اولیۀ فرسایش شود اهمیت ویژه‌ای دارند.
به‌تازگی استفاده از سوپر جاذب‌های پلیمری در کشاورزی یکی از راه‌کارهای نوین و کارآمد است که افزون بر صرفه‌جویی در مصرف آب و کودهای شیمیایی که به‌شدت در آب محلول‌اند موجب بهبود وزن‌مخصوص، کاهش تبخیر آب، افزایش سرعت نفوذ آب در خاک و کاهش خطراتی چون سیل و فرسایش خاک شده است (غلامی و همکاران ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷ ب). از سوی دیگر، مواد معدنی طبیعی نیز می‌توانند نقش مثبتی در حفاظت از خاک داشته باشند. نتایج افزودنی‌های خاک نشان‌دهندۀ بهبود پایداری، ساختار خاک، توزیع و پایداری خاکدانه‌ها و ظرفیت تأمین آب خاک است (جی و همکاران ۲۰۲۲). محبتی و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که اثر گذشت زمان باعث تأثیر بیش‌تر افزودنی‌ها برای کاهش اندازۀ فرسایش پاشمانی شده‌است. زیرا، این افزودنی‌ها با افزایش پایداری و تخلخل خاک می‌توانند باعث اتصال ذرات خاک شده و در نتیجه مقاومت آن‌ها را در برابر انرژی باران افزایش دهد. در این میان بنتونیت مادۀ معدنی از دستۀ رس‌ها یا شبه‌رس‌ها است که از کانی‌های متورم‌شونده تشکیل‌شده است. محیط تشکیل این سنگ، آب‌های کم ژرف، کم انرژی و آب و هوای معتدل است. بنتونیت به‌دلیل خواص نرم بودن، تورم‌پذیری، کلوئیدی و خوب مخلوط شدن با آب، خمیری شدن، پلاستیک بودن، چسبندگی و چسبانندگی و جاذب بودن مصارف زیادی دارد. از جمله مصارف آن شامل گل حفاری، عامل چسباننده در ماسه‌های ریخته‌گری، جلوگیری از نفوذ آب از سدها، کانال‌ها و استخرهای آب، عامل شفاف‌کنندۀ مایعات، زلال‌کردن آب و صاف‌کردن مایعات است (خرم‌جاه ۲۰۱۴). رس بنتونیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده[6] بر ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک تأثیرگذار است و منجر به افزایش حفاظت آب و خاک[7] در زمین‌های لسی می‌شود (بامری و همکاران ۲۰۲۱). جداسازی ذرات خاک به‌وسیلۀ فرایند فرسایش به چسبندگی ذرات خاک، ویژگی‌های خاکدانه‌های خاک مانند مواد آلی، اندازۀ رس و فرسایندگی باران[8] بستگی دارد (خالدی‌درویشان و شریفی‌مقدم ۲۰۱۶).
ساختمان خاک، شاخص مهمی برای مدیریت بهینۀ منابع خاک و آب است. زیرا، به گونه‌ای مستقیم، بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک هم‌چون اندازۀ آب، هدایت آبی، گرما، تهویه، جرم ویژۀ ظاهری و تخلخل خاک اثر می‌گذارد (محمدیان وهمکاران ۲۰۱۵). بنابراین، استفاده از افزودنی‌های گوناگون در سطح یا در داخل خاک با فرایندهای گوناگون آب‌شناختی و زمین ریخت‌شناسی از قبیل سله‌بندی سطحی، نفوذ، رواناب، تبخیر و سرانجام

1 - Wet Sieve
2 - Roughness Coefficient
3 - Particle Size Distribution
4 - Porosity
5 - Soil Resistance
6 - Amendment
7 - Soil and Water Conservation
9 - Rainfall Erosivity

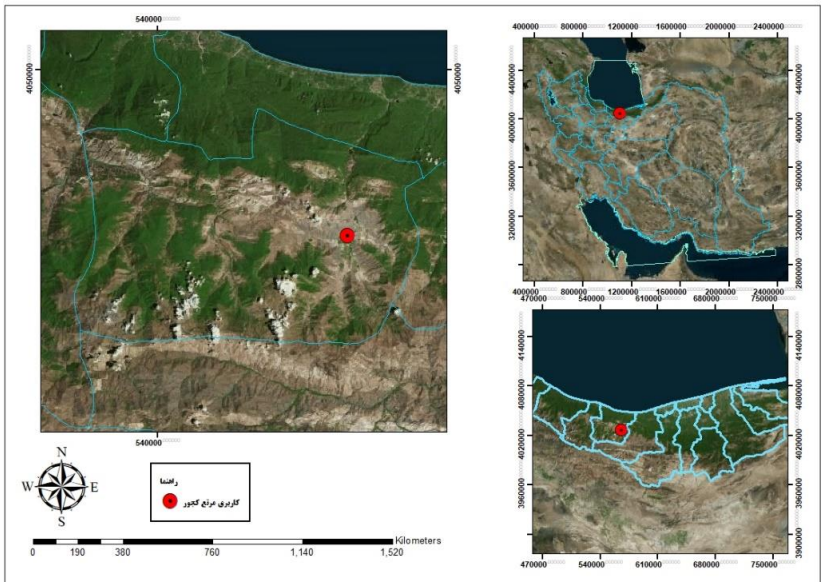
فرسایش خاک پیوند نزدیکی دارد (پوسن و لوی ۱۹۹۴). ارزیابی و مهار فرسایش خاک به برنامه‌های مدیریتی خاص نیاز دارد و این برنامه‌های مدیریتی نیز نیازمند درنظر گرفتن اثرهای درون و برون منطقه‌ای هدررفت خاک هستند (دونته و همکاران ۲۰۰۸). پایداری خاکدانه اثر مهمی در گسترش ساختار ریشه‌ای، چرخهٔ کربن و آب، و نیز مقاومت خاک در برابر فرسایش دارد (بارتز و همکاران ۲۰۰۸). در این راستا، نتایج سمیع و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که اثر کاربری زمین‌ها بر عامل فرسایش‌پذیری خاک[9] معنی‌دار بود و کم‌ترین اندازهٔ عامل فرسایش‌پذیری خاک در کاربری جنگل در مقایسه با کاربری مرتع و زراعی مشاهده شد. شاخص حساسیت ویژگی‌های خاک نشان داد که مادهٔ آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و شاخص پایداری ساختمان خاک در مقایسه با دیگر ویژگی‌ها به تغییر کاربری حساس‌تر بودند. خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هماوری ذرات اولیه رس، سیلت و شن به همراه مواد آلی و عامل‌های سیمانی و اتصال‌دهنده‌ها تشکیل می‌شوند (برونیک و لال ۲۰۰۵). توزیع اندازهٔ ذرات ثانویه یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است (اسکاگز و همکاران ۲۰۰۱)، که بر پایهٔ نظر بارتز و همکاران (۲۰۰۸) می‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص حساسیت خاک در برابر تشکیل سله، تولید رواناب و فرسایش آبی باشد. شاخص‌های پایداری خاکدانه با روش الک خشک و الک تر از جمله شاخص‌ها برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها هستند (کمپر و روسنا ۱۹۸۶؛ اینارد و همکاران ۲۰۰۴). پایداری خاکدانه‌ها متأثر از ویژگی‌هایی مانند اندازهٔ رس، اکسیدهای آهن، کربنات کلسیم و مواد آلی می‌باشد (بارتز و همکاران ۲۰۰۸). با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در مهار فرسایش خاک افزایش قطر ذرات در سطح خاک و خاکدانه سازی، یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت و جابجایی آن‌ها به‌وسیلهٔ عامل‌های فرسایشی است. بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها با استفاده از افزودنی‌های گوناگون آلی، معدنی و شیمیای انجام شده است. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر مادهٔ معدنی بنتونیت بر پایداری خاکدانه‌های خاک در اندازه‌های گوناگون و بعد از سامانهٔ شبیه‌ساز باران در کاربری مرتع انجام شد. متأسفانه برخی از مراتع کشور در چند دههٔ گذشته به‌دلیل‌های پرشماری از جمله چرای دام، تغییر کاربری زمین‌ها و آتش‌سوزی در معرض نابودی هستند، و اصلاح و احیای مجدد آن به سال‌ها زمان و هزینهٔ بسیار زیاد نیازمند است. یکی از مهم‌ترین نقش‌های مراتع حفظ محیط‌زیست و کاهش اثرات فرسایش خاک است که در مراحل اولیهٔ فرسایش (فرسایش پاشمانی) به‌دلیل پوشش گیاهی نقش مثبتی در کاهش انرژی قطرات باران دارد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده و آماده‌سازی خاک

در این پژوهش خاک بررسی‌شده از کاربری مرتع شهرستان کجور استان مازندران با مختصات طول شرقی ″۹ ′۴۴ °۵۱ و عرض شمالی ″۱۹ ′۲۳ °۳۶ جمع‌آوری شد (شکل ۱). از آنجایی‌که انتخاب منطقهٔ مادری خاک در گام اول به‌عنوان تعیین‌کننده‌ترین عامل بود، در این پژوهش خاک سطحی زمین‌های مرتعی از ژرفای صفر تا ۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه فرسایش و رسوب دانشکدهٔ منابع‌طبیعی ساری انتقال‌داده شد. نمونه‌های خاک در معرض هوای آزاد خشک شدند (غلامی و همکاران ۲۰۱۶، ۲۰۱۹). سپس از الک چهار میلی‌متری عبورداده شدند (غلامی و همکاران ۲۰۱۴؛ کریمی و همکاران ۲۰۱۹). آزمایش‌های اولیه روی خاک جمع‌آوری‌شده نشان داد که بافت خاک منطقه لومی- شنی بود و وزن‌مخصوص حقیقی، کربن آلی، pH و EC آن به‌ترتیب با اندازه‌های ۲/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ۰/۱۴٪، ۷/۳۷ و ۰/۴۸ دسی‌زیمنس بر متر بود.

9 - Soil Erodibility



شکل ۱- نمایی از کاربری مرتع شهرستان کجور و منطقهٔ جمع‌آوری نمونه‌های خاک.

Figure 1- view of the pasture land use in Kojur city and the collection area of soil samples.

تعیین اندازه‌های مادهٔ معدنی بنتونیت

بـــرای انجام آزمایش‌ها از مادهٔ معدنی بنتونیت اســـتفاده شـــد. این افزودنی به‌شـــکل جامد و پودری با اندازه‌های گوناگون ۳۰،۱۵ و ۴۵٪ پوشـــش سطحی خاک (ایوبی و همکاران ۲۰۱۸) در ســـه ســـطح تکرار برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها استفاده شد. بنتونیت استفاده‌شده از معدن بنتونیت زنجان خریداری شد. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن در جدول‌های ۱و ۲ آورده‌شده است. نمایی از مادهٔ معدنی بنتونیت استفاده-شـــده در این پژوهش و سطح‌های گوناگون آن در شکل ۲ نشان‌داده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی بنتونیت استفاده‌شده.

Table 1- chemical characteristics of used bentonite (percentage).

SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	Cl_2O (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	
57.56	22.05	2.83	8.49	1.13	2.37	1.91	2.84	0.12	Chemical properties

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی بنتونیت استفاده‌شده.

Table 2- Physical characteristics of used bentonite.

Soil organic matter (%)	Mental limit (%)	pH	Inflation capacity (%)	Granulometery (mm)	Density (gr/cm^3)	
1.48	410	7.4	8.27	1 to 2	1	Physical characteristics

شکل ۲- نمایی از بنتونیت استفاده‌شده (راست) و کاربرد اندازه‌های گوناگون آن روی سطح خاک در فنجان‌های پاشمان (چپ).

Figure 2- A view of the used bentonite (right) and the application of its different levels on the soil surface in the splash cups (left).

اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها

در این پژوهش از شبیه‌ساز باران واسنجی‌شده با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت استفاده شد. به این منظور، با استفاده از شاقول، مرکز صفحهٔ آزمایش دقیقًا زیر نازل گذاشته شد و شبکه‌ای از ظروف روی صفحهٔ آزمایش گذاشته شدند. فشار و فاصلهٔ نازل‌ها و زاویهٔ نازل به‌ترتیب ۶۰ کیلوپاسکال و 45° و هم‌چنین فاصله نازل‌ها ۷۰ سانتی‌متر برای مدت زمان ۱۰ دقیقه برآورد شد. سپس، با استفاده از رابطهٔ بلندی بارش به سطح، شدت بارش در یک ساعت بر اساس واحد میلی‌متر بر ساعت محاسبه شد (کریستنسن ۱۹۴۱). برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌های خاک، خاک سطحی پس از شبیه‌سازی باران با ژرفای دو میلی‌متر به اندازهٔ ۵۰ گرم از سطح فنجان‌های پاشمان جمع‌آوری شد. سپس، نمونه-ها به آزمایشگاه فرسایش و حفاظت خاک انتقال داده شد و در آنجا با استفاده از روش الک تر، پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد (کای و آنگرز ۲۰۰۰؛ نیمو و پرکینز ۲۰۰۲). به‌منظور انجام عملیات دانه‌بندی از شش الک با طبقه‌های قطری >۵۰۰، ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۰۰، ۱۰۰-۵۳، ۵۳-۳۸ و <۳۸ میکرومتر همراه با ظرف جمع‌آوری‌کننده ذرات کوچک‌تر از ۳۸ میکرومتر استفاده شد. برای دانه‌بندی نمونه‌های خاک در شرایط تر از دستگاه شیکر که در قسمت فوقانی آن به یک نازل متصل بود، استفاده شد (محبتی و همکاران ۲۰۲۲). عملیات تکان دادن نمونه‌ها با شدت متوسط به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد (ملائی رنانی ۲۰۱۳). پس از گذشت این مدت زمان، خاک باقی‌مانده روی هر الک به تفکیک هر تیمار و الک، با روش شستشو به داخل ظروف نشانه‌گذاری‌شده با کدهای تیمار، تکرار و الک مد نظر، تخلیه شد. سپس، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون رها شدند (غلامی و همکاران ۲۰۲۲؛ حق‌جو و همکاران ۲۰۱۹؛ محبتی و همکاران ۲۰۲۲). پس از تخلیهٔ آب اضافی نمونه‌ها، رسوب باقی‌مانده به داخل ظروف مناسب با وزن مشخص منتقل شد و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای $105^{\circ}c$ خشک شد و سرانجام به‌وسیلهٔ ترازو توزین شد (شکل ۳).

شکل ۳- دانه‌بندی خاک‌دانه‌های خاک با روش الک تر (راست) و نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به تفکیک هر الک (سمت چپ).

Figure 3- Soil aggregates granulometry using wet sieve (right) and the collected samples separately for each sieve (left).

تحلیل آماری

در این پژوهش تمام مراحل تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS26 انجام شد. سپس، میانگین، ضریب تغییرات، انحراف معیار و درصد تغییرات پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد. در مرحلهٔ بعد با استفاده از آزمون آماری GLM در نرم‌افزار SPSS26 تأثیر تیمارها بر پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد. سرانجام از نرم‌افزار گرادیستات به‌منظور استخراج مؤلفه‌های دانه‌بندی (شامل میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی) و هم‌چنین متغیرهای D_{10}، D_{50}، D_{90}، D_{90}-D_{10}، D_{90}/D_{10}، $D_{75}-D_{25}$ و D_{75}/D_{25} استفاده شد (حق‌جو و همکاران ۲۰۱۹؛ محبتی و همکاران ۲۰۲۲).

نتایج

اندازهٔ رسوب برای الک‌ها با طبقه‌های قطری >۵۰۰، ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۰۰، ۱۰۰-۵۳، ۵۳-۳۸ و <۳۸ میکرومتر در تیمارهای شاهد و مادهٔ معدنی بنتونیت در جدول ۳ نشان‌داده شده است.

جدول ۳- جرم خاکدانه (گرم) با قطرهای گوناگون در تیمارهای شاهد و مادۀ معدنی بنتونیت.

Table 3- Sediment mass (g) with different diameters in the control and bentonite treatments.

Aggregate diameter (micrometer)							Replication	Treatment
<38	38-53	53-100	100-125	125-250	250-500	>500		
20.55	4.79	10.2	3.47	7.27	2.06	0.86	1	Control
20.53	4.5	8.97	3.4	6.47	1.71	0.72	2	
20.01	4.56	9.43	3.24	6.73	1.87	0.88	3	
20.36	4.62	9.53	3.37	6.82	1.88	0.82	Mean	
0.31	0.15	0.62	0.12	0.41	0.18	0.09	SD	
0.02	0.03	0.06	0.03	0.06	0.09	0.11	CV	
17.49	4.9	8.58	4.72	8.02	2.73	1.29	1	Bentonite conditioner (15%surface coverage)
18.39	3.99	11.07	4.85	8.35	2.55	1.05	2	
17.18	3.16	12.78	3.8	8.13	2.6	1.14	3	
17.68	4.02	10.81	4.46	8.17	2.63	1.16	Mean	
0.63	0.87	2.11	0.57	0.17	0.1	0.12	SD	
0.04	0.22	0.2	0.13	0.02	0.04	0.11	CV	
-13.15	-13.04	13.37	32.28	19.66	39.64	41.85	Conservation efficiency	
16.94	2.6	11.78	4.11	7.09	2.05	0.72	1	Bentonite conditioner (30% surface coverage)
19.75	4.24	9.05	4.58	8.57	2.74	0.98	2	
15.46	3.54	12.27	4.26	8.14	2.47	0.82	3	
17.38	3.46	11.03	4.32	7.93	2.42	0.84	Mean	
2.18	0.82	1.73	0.24	0.76	0.35	0.13	SD	
0.13	0.24	0.16	0.06	0.1	0.14	0.16	CV	
-14.62	-25.13	15.73	28.2	16.27	28.63	2.36	Conservation efficiency	
17.8	3.41	10.45	3.9	7.06	1.98	0.71	1	Bentonite conditioner (45% surface coverage)
18.65	3.82	8.71	2.97	6.25	1.9	0.85	2	
21.49	3.3	10.89	3.72	7.54	2.01	0.86	3	
19.31	3.51	10.01	3.53	6.95	1.96	0.81	Mean	
1.94	0.28	1.16	0.49	0.65	0.06	0.08	SD	
0.1	0.08	0.12	0.14	0.09	0.03	0.1	CV	
-5.15	-23.99	5.05	4.8	1.84	4.49	-1.02	Conservation efficiency	

نتایج ارزیابی میانگین قطر خاکدانه‌ها و تأثیر حفاظتی مادۀ معدنی بنتونیت با سه اندازۀ ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطحی نشان داد که هر سه اندازۀ مادۀ معدنی باعث افزایش عملکرد حفاظتی و میانگین قطر خاکدانه‌ها شد. نتایج میانگین قطر خاکدانه‌ها بر اساس گروه الک‌ها با طبقه-های قطری >۵۰۰، ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۰۰، ۱۰۰-۵۳، ۵۳-۳۸ و <۳۸ میکرومتر نشان داد که اندازه‌های رسوب باقی‌مانده روی سری الک‌ها بعد از کاربرد مادۀ معدنی بنتونیت با اندازۀ ۱۵٪ به‌ترتیب ۱/۱۶، ۲/۶۳، ۸/۱۷، ۴/۴۶، ۱۰/۸۱، ۴/۰۲ و ۱۷/۶۸ گرم، با اندازۀ ۳۰٪، ۰/۸۴، ۲/۴۲، ۷/۹۳، ۴/۳۲، ۱۱/۰۳، ۳/۴۶ و ۱۷/۳۸ گرم و با اندازۀ ۴۵٪، ۰/۸۱، ۱/۹۶، ۶/۹۵، ۳/۵۳، ۱۰/۰۱، ۳/۵۱ و ۱۹/۳۱ گرم بود (جدول ۳). نتایج نرم‌افزار گرادیستات برای تیمارهای شاهد و مادۀ معدنی بنتونیت در اندازه‌های گوناگون در جدول ۴ نشان‌داده شده است. هم‌چنین تأثیر حفاظتی این مادۀ معدنی با اندازۀ ۱۵٪ در مقایسه با خاک شاهد به‌ترتیب ۴۱/۸۵، ۳۹/۶۴، ۱۹/۶۶، ۳۲/۲۸، ۱۳/۳۷، ۱۳/۰۴- و ۱۳/۱۵-٪، با اندازۀ ۳۰٪، ۲/۳۶، ۲۸/۶۳، ۱۶/۲۷، ۲۸/۲، ۱۵/۷۳، ۲۵/۱۳- و ۱۴/۶۲- ٪ و با اندازۀ ۴۵٪، ۱/۰۲-، ۴/۴۹، ۱/۸۴، ۴/۸، ۵/۰۵، ۲۳/۹۹- و ۵/۱۵- ٪ بود.

جدول ۴- نتایج نرم‌افزار GRADISTAT برای دانه‌بندی خاکدانه‌ها در تیمارهای شاهد و بنتونیت.

Table 4- Results of GRADISTAT software for aggregates granulometery in control and bentonite treatments.

Changes (%)	Average	Variable	Treatment	Changes (%)	Average	Variable	Treatment
2.73	23.86	D_{10}	Bentonite conditioner (30 % surface coverage)	-	23.22	D_{10}	Control
28.43	62.06	D_{50}		-	48.33	D_{50}	
8.00	219.29	D_{90}		-	203.04	D_{90}	
5.16	9.19	D_{90} / D_{10}		-	8.74	D_{90} / D_{10}	
8.69	195.43	D_{90} - D_{10}		-	179.82	D_{90} - D_{10}	
5.47	3.89	D_{75} / D_{25}		-	3.69	D_{75} / D_{25}	
14.86	89.68	D_{75} - D_{25}		-	78.07	D_{75} - D_{25}	
2.83	2.61	Sorting		-	2.54	Sorting	
22.12	-0.96	Skewness		-	-0.79	Skewness	
-0.30	6.86	Kurtosis		-	6.88	Kurtosis	
0.41	23.32	D_{10}	Bentonite conditioner (45 % surface coverage)	3.34	24.00	D_{10}	Bentonite conditioner (15% surface coverage)
10.53	53.42	D_{50}		34.15	64.83	D_{50}	
2.56	208.24	D_{90}		11.73	226.86	D_{90}	
2.15	8.93	D_{90} / D_{10}		8.13	9.45	D_{90} / D_{10}	
2.84	184.92	D_{90} - D_{10}		12.82	202.87	D_{90} - D_{10}	
2.88	3.79	D_{75} / D_{25}		5.44	3.89	D_{75} / D_{25}	
5.03	82.00	D_{75} - D_{25}		16.65	91.07	D_{75} - D_{25}	
1.24	2.57	Sorting		7.64	2.73	Sorting	
6.21	-0.84	Skewness		49.37	-1.18	Skewness	
-1.34	6.78	Kurtosis		4.93	7.22	Kurtosis	

نتایج تحلیل GLMبر میانگین قطر خاکدانه‌ها بعد از کاربرد مادهٔ معدنی بنتونیت در سطح‌های گوناگون در جدول ۵ نشان‌داده شده است. بر اساس این نتایج مشخص شد که اثر مادهٔ معدنی بنتونیت بر متغیرهای D_{10}، D_{90}/D_{10} و جورشدگی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بود. همچین اثر این افزودنی بر متغیرهای D_{50}، D_{90}، $D_{90}-D_{10}$، $D_{75}-D_{25}$ و چولگی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود اما بر متغیر D_{75}/D_{25} و کشیدگی معنی‌دار نبود.

جدول ۵- نتایج آماری تأثیر افزودنی بنتونیت بر دانه‌بندی خاکدانه‌های سطحی خاک.

Table 5- Statistical results of the effect of Bentonite conditioner on the granulometery of the soil surface aggregates.

Sig.	F	Average of squares	F	Sum of squares	Dependent variable	Source of change
0.016	6.48	0.37	3	1.10	D10	Bentonite
0.005	9.46	137.37	3	412.12	D50	
0.003	11.48	368.69	3	1106.08	D90	
0.022	5.72	0.35	3	1.06	D90/D10	
0.003	10.87	347.09	3	1041.26	D90-D10	
0.088	3.12	0.04	3	0.13	D75/D25	
0.001	14.93	130.48	3	391.42	D75-D25	
0.019	6.02	0.03	3	0.08	Sorting	
0.001	14.87	0.07	3	0.21	Skewness	
0.676	0.53	0.03	3	0.08	Kurtosis	

جدول ۶- نتایج آزمون دانکن برای اثرات کاربرد بنتونیت با اندازه‌های گوناگون بر دانه‌بندی خاکدانه‌های سطحی خاک.

Table 6- Results of Duncan test for the effects of the Bentonite application in various sizes on the granulometery of the soil surface aggregates.

Subgroup 3	Subgroup 2	Subgroup 1	Variable
---	30%, 15% (23.85, 23.88)	control, 45% (23.22, 23.32)	D 10
---	15%, 30% (61.99, 62.06)	control, 45% (48.33, 53.41)	D 50
---	30%, 15% (219.29, 227.74)	control, 45% (203.04, 208.24)	D 90
---	30%, 15% (9.19, 9.53)	control, 45%, 30% (8.74, 8.93, 9.19)	D90/D10
30%, 15% (195.43, 203.85)	45%, 35% (184.92, 195.43)	control, 45% (179.81, 184.92)	D90-D10
---	45%, 30%, 15% (3.79, 3.89, 3.96)	control, 45%, 30% (3.68, 3.79, 3.89)	D75/D25
---	30%, 15% (89.67, 92.25)	control, 45% (78.07, 82.00)	D75-D25
---	15% (2.76)	control, 45%, 30% (2.54, 2.57, 2.61)	Sorting
45%, control (-0.83, -0.78)	30%, 45% (-0.96, -0.83)	15% (-1.13)	Skewness
---	---	control, 45%, 30, 15% (6.78, 6.85, 6.87, 7.00)	Kurtosis

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با توجه به عملکرد حفاظتی و میانگین وزنی- قطر خاکدانه‌های خاک بر اساس الک‌های استفاده‌شده، تأثیر مادهٔ معدنی بنتونیت نشان داد که هر سه اندازهٔ ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطحی افزودنی باعث عملکرد حفاظتی و افزایش میانگین قطر خاکدانه‌های خاک شد (جدول ۳). ازاین‌رو، با توجه به عملکرد حفاظتی مشاهده شد می‌توان بیان نمود که سطح ۱۵٪ مادهٔ معدنی بنتونیت باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ذرات درشت‌تر و اندازه‌های ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ذرات ریزتر شد. زیرا، در خاکدانه‌های درشت‌تر، انرژی قطرات باران پس از برخورد با خاک بیشتر صرف متلاشی کردن خاکدانه‌های سطحی و یا جداشدن ذرات خاک از سطح می‌شود (رفاهی، ۲۰۰۷؛ ساتدراند ۱۹۹۶). موحدان و همکاران (۲۰۱۱، ۲۰۱۲) نشان دادند که با کاربرد پلی‌وینیل‌استات در سطح خاک، چسبندگی ذرات خاک بیشتر شد و مقاومت خاکدانه‌ها در برابر فرسایش بادی افزایش یافت. محبتی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که افزودنی کمپوست از راه افزایش پایداری و تخلخل خاک، باعث اتصال ذرات خاک شد و در نتیجه مقاومت آن‌ها را در برابر انرژی باران افزایش داد. از سوی دیگر، بامری و همکاران (۱۴۰۰) دریافتند که رس بنتونیت به‌عنوان افزودنی خاک با ایجاد چسبندگی، بخش فوقانی خاک را در مقابل عامل‌های گوناگون حفاظت کرد و به‌عنوان عایقی در جلوگیری از تغییرات ناگهانی دما و حفظ رطوبت خاک مؤثر بود و فرسایش را تا حدی مهار کرد.

رس بنتونیت به‌دلیل ویژگی‌های خاصی از جمله، شکل‌پذیری، چسبندگی و جذب آب در مهار فرسایش

خاک مؤثر است. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن رس بنتونیت به خاک لسی باعث کاهش قابل توجه غلظت رسوب و در نتیجه باعث کاهش فرسایش خاک به‌ویژه در خاک‌های لسی شد. بر پایهٔ این نتایج مادهٔ معدنی بنتونیت چسبندگی ذرات خاک را افزایش داد و موجب افزایش قطر خاکدانه‌های خاک شد. حق‌جو و همکاران (۲۰۱۹) اثر افزودنی پلی‌وینیل‌استات را بر پایداری خاکدانه‌های خاک بررسی کردند و گزارش کردند که این ماده سبب کاهش فرسایش پاشمانی خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک شد که با نتایج این پژوهش هم‌راستا است. همچنین، ایوبی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که استفاده از رس بنتونیت باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها و خاکدانه‌سازی شد که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد. از سوی دیگر، مورگان (۲۰۰۹) دریافت که پخش کردن کانی‌های رسی با ظرفیت زیاد تبادل کاتیونی روی سطح خاک سبب ایجاد یک لایهٔ نسبتاً محافظ از خاک سطحی در برابر فرسایش پاشمانی شد و در نتیجه به‌طور قابل ملاحظه‌ای هدررفت خاک را کاهش داد. نتایج پژوهش خزائی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که ماده آلی و رس خاک در ایجاد خاکدانه‌های پایدار نقش تأثیرگذاری داشت. بر این اساس می‌توان گفت با افزودن بنتونیت بر سطح خاک‌ها به‌ویژه خاک شنی، اندازهٔ فرسایش و در نتیجه غلظت رسوب کاهش می‌یابد.

نتایج آزمون GLM نشان داد که اثر مادهٔ معدنی بنتونیت بر متغیرهای D_{10}، D_{10}/D_{90} و جورشدگی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بود. همچنین اثر این افزودنی بر متغیرهای D_{50}، D_{90}، $D_{90}-D_{10}$، $D_{75}-D_{25}$ و چولگی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود اما بر متغیر D_{75}/D_{25} و کشیدگی معنی‌دار نبود (جدول ۵). در این راستا، مرادی و امامی (۲۰۱۷) دریافتند که اثر افزودن مواد اصلاحی بر پایداری خاکدانه‌های خاک و افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (با روش الک تر، خشک) معنی‌دار بود و سرانجام درصد نابودی خاکدانه‌ها کاهش یافت. این یافته‌ها با نتایج این پژوهش هم‌راستا است. از سوی دیگر، ایوبی و همکاران (۲۰۱۸) با کاربرد خاک‌پوش‌های پلی‌وینیل‌استات و بنتویت گزارش کردند که این فزودنی‌ها بر شاخص پایداری خاکدانه‌ها اثر معنی‌داری داشتند و کاربرد بنتونیت باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها و خاکدانه‌سازی شد که در نتیجه باعث کاهش فرسایش خاک نیز شد. این نتایج با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است.

با بررسی نتایج آزمون دانکن مشخص شد (جدول ۶) مادهٔ معدنی بنتونیت زیرگروه‌بندی سطح‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ مادهٔ معدنی بنتونیت متغیرهای D_{10}، D_{50}، D_{90} و $D_{75}-D_{25}$، اندازه ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح مادهٔ معدنی بنتونیت در زیرگروه دوم بودند. همچنین، متغیر D_{90}/D_{10}، اندازه‌های ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم بودند. متغیر $D_{90}-D_{10}$، اندازه ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه‌های ۳۰ و ۱۵٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم بودند. متغیر D_{75}/D_{25}، اندازه ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم بودند. جورشدگی، اندازه‌های ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه ۱۵٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم بودند. چولگی، سطح ۱۵٪ در زیرگروه اول و اندازه‌های ۴۵ و ۳۰٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم و اندازه ۱۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه دوم بودند. کشیدگی، اندازه‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول بودند. ازاین‌رو، می‌توان گفت که اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح مادهٔ معدنی بنتونیت بر میانگین قطر خاکدانه‌ها بهترین تأثیر را داشت.

رس بنتونیت افزودنی مؤثری در حفاظت خاک است و موجب افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک می‌شود. غلامی و همکاران (۲۰۱۷ الف) نشان دادند که پلیمر پلی‌وینیل‌استات افزون بر افزایش مقاومت خاک سطحی، سبب حفاظت خاک و مهار فرسایش آبی شد. در کاربری مرتع هر سه اندازه ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطحی افزودنی باعث افزایش عملکرد حفاظتی و میانگین قطر خاکدانه‌ها شد. بنکوا و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی اثر زئولیت بر پایداری خاکدانه‌ها دریافتند که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. زیرا، زئولیت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر اتصال ذرات خاک برای افزایش اندازه خاکدانه‌ها داشت. در کاربری مرتع هر سه سطح افزودنی باعث افزایش عملکرد حفاظتی و میانگین قطر خاکدانه‌ها شد. در این پژوهش افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای حفاظتی در مقایسه با تیمار شاهد تحت تأثیر کاربرد مادهٔ معدنی بنتونیت مشاهده شد که در این میان اندازه ۱۵٪ پوشش سطح بر افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بیشترین اثر را داشت. در این راستا، نتایج ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها با توجه به عملکرد حفاظتی و میانگین قطر خاکدانه‌های خاک به‌وسیلهٔ مورگان (۲۰۰۹) نشان داد که با استفاده از مادهٔ معدنی بنتونیت قطر خاکدانه‌ها افزایش و سرانجام پایداری خاکدانه‌ها نیز افزایش یافت که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد. بوسلیهیم و

همکاران (۲۰۲۱) دریافتند که مواد آلی موجود در خاک موجب افزایش میانگین قطر خاکدانه های خاک شـــدند. می‌توان گفت مادۀ معدنی بنتونیت با ایجاد چســـبندگی در ســـطح خاک و افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نقش تخریبـــی قطرات باران را کاهـــش داده و به‌عنوان یک عامل حفاظتی عمل می‌کند. رس بنتونیت افزودنی مؤثری در حفاظت خاک است و موجب افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک می‌شود. ازاین‌رو، استفاده از بنتونیت راه‌کار مفید و مطمئنی برای افزایش پایداری خاکدانه‌ها در مراحل اولیه فرســـایش آبی است که نقش مؤثری در کاهش هدررفت خاک خواهد داشت.

ســـرانجام بر پایۀ نتایج این پژوهـــش می‌توان گفت که مادۀ معدنی بنتونیت به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک با ایجاد چسبندگی در ســـطح خاک، آن را در برابر قطرات باران محافظـــت کرده و فرســـایش خـــاک را کاهش می‌دهد. بنتونیت به‌دلیـــل ویژگی‌هایی از جمله، شـــکل‌پذیری، چســـبندگی و جذب آب در مهار فرســـایش خاک مؤثر اســـت. از این‌رو، می‌توان در مدیریت و کاهش فرسایش و ایجاد تصمیمات اجرایـــی از کاربرد رس بنتونیت بهره برد. هر چند انجام پژوهش‌های گسترده‌تر در عرصه‌های طبیعی، لازم و ضروری است.

فهرست منابع

Ayoubi A, Feizi Z, Mosaddeghi MR, Besaltpour AA. 2018. Investigating the application of biochar, bentonite clay and polyvinyl acetate polymer on some mechanical properties of sand deposits. Agricultural Engineering, 41(2): 83-97. (In Persian). https://doi.org/10.22055/agen.2018.24749.1405

Bameri M, khormali F, kheirabadi H. 2021. Effect of bentonite clay and slope on sediment concentration and some hydraulic characteristics flow in the loess soil. Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, (Scientific Journal of Agriculture): 44(2):159-174. (In Persian). -https://doi.org/10.22055/agen.2021.30253.1499

Barthes BG, KouoaKouoa E, Larre-Larrouy MC, Razafimbelo TM, de Luca EF, Azontonde A, Neves CS, de Freitas PL, Feller CL. 2008. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. Geoderma, 143(1-2):14-25.https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.003

Benkova M, Filcheva E, Raytchev T, Sokolowska Z, Hajnos M. 2005. Impact of different ameliorants on humus state in acid soil polluted with heavy metals. 46-58. In: Raytchev, T., G. Józefaciuk., Z, Sokołowska and M. Hajnos (Eds), Physicochemical management of acid soils polluted with heavy metals. ALF-GRAF, Lublin, Poland.

Bouslihim Y, Rochdi A, Paaza NEA. 2021. Machine learning approaches for the prediction of soil aggregatestability. Heliyon, 7(3): p. e06480. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06480

Bronick CJ, Lal R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. Soil Tillage. Research, 81(2): 239-252. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.09.011

De Vente J, poesen J, Verstraeten G, Van Rompaey A, Govers G. 2008. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in spain. Global and Planetary Change, 60(34): 393-415. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.05.002

Gholami L, Banasik K, Sadeghi SHR, Khaledi Darvishan AV, Hejduk L. 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. Journal of Water and Land Development, 22(1): 51–60. https://doi.org/10.2478/jwld-2014-0022

Gholami L, Haghjoo Z, Kavian A. 2017a. Effect of polyvinyle acetate polymer on soil surface resistance variations. Watershed Management Research, 31(4): 84-93. (In Persian). https://doi.org/10.22092/WMEJ.2018.121533.1108

Gholami L, Khaledi Darvishan A, Kavian A. 2017b. Role of woodchips on runoff components control at plot scale. Watershed Engineering and Management, 10(3): 357-387. (In Persian). https://doi.org/10.22092/IJWMSE.2018.117342

Gholami L, Tafaghodi M, Abbasi M, Daroudi M, Kazemi Oskuee R. 2019. Preparation of superparamagnetic iron oxide/doxorubicin loaded chitosan nanoparticles as a promising glioblastoma theranostic tool. Journal of Cellular Physiology, 234(2):1547-1559. https://doi.org/10.1002/jcp.27019.Epub 2018 Aug 26

Gholami L, Sadeghi SHR, Homai M. 2013. The effect of straw and rice stubble on the onset and coefficient of runoff caused by rain. Iranian Water Research, 8(2): 33-40. (In Persian).

Guo L, Shen J, Li B, Li Q, Wang C, Guan Y, Tang X. 2020. Impacts of agricultural land use change on soil aggregate stability and

physical protection of organic C. Science of the Total Environment, 707: 136049. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136049

Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. Water-Soil-Vegetation Nexus and Climate Change, Chapter 12. 345-372.

Haghjoo Z, Gholami L, Kavian A, Mosavi R. 2016. Evaluation of the application time of polyvinyl acetate on soil spraying. The third national congress of development and promotion of agricultural engineering and soil science of Iran. 24 Agust 2016. Tehran, Iran. (In Persian).

Haghjoo Z, Gholami L, Kavian A, Mosavi SR. 2019. Changes study of soil splash and stability of soil aggregates using polyvinyl acetate, 13 (47): 52-62. (In Persian).

Herrick JE, Whitford WG, de Soyza AG, van Zee JW, Havstad KM, Seybold CA, Walton M. 2001. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. Catena, 44(1): 27-35. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00173-9

Huang J, Wu P, Xining Z. 2013. Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. Catena, 104(4): 93-102. https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.013

Ji BY, Zhao CP, Yue WU, Wei HAN, Song JQ, Wen-bo B. 2022. Effects of different concentrations of super-absorbent polymer on soil structure and hydro-physical properties following continuous wetting and drying cycles. Journal of Integrative Agriculture, 21(11): 3368-3381. https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.065

Kay BD, Angers DA. 2000. Soil Structure, in: Handbook of Soil Science. CRC Press, E. M. Sumner, Ed., USA: F.I., Boca Raton A229–A264.

Karimi N, Gholami L, Kavian A. 2019. Protective role of Biochar in different soil moisture for prevent soil loss in laboratory conditions. Journal of Water and Soil Science, 23 (3): 223-235. (In Persian).

Kemper WD, Rosenau RC. 1986. Aggregate stability and size distribution, in: Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Klute, A., Ed. pp. 425-442.

Khaledi Darvishan A, Sharifi Moghadam E. 2016. Effects of aggregate diameter on soil splash under laboratorial conditions. Iran-Watershed Management Science and Engineering, 10(32): 33-38. (In Persian).

Khazaee A, Mosaddeghi MR, Mahboubi AA. 2007. Structural stability assessment using wet sieving method and its relations with some intrinsic properties in 21 soil series from Hamadan Province. Water, Soil and Plants in Agriculture, 9(1): 171-182. (In Persian).

Khorram Jah F. 2014. A review of bentonite types and their applications in various industries, especially the drilling industry. The first national conference of new techniques in oil industry laboratory equipment and materials. 5 October 2014, Tehran, Iran. 5pp. (In Persian).

Mohabbati N, Gholami L, Kavian A, Shokrian F. 2022. Effect of compost and Zeolite at various time periods on amount of soil splash. Journal of Water and Soil Conservation, 28(4): 207- 224. (In Persian). https://doi.org/10.22069/JWSC.2022.19579.3503

Mohammadian Khorasani S, Homaee M, Pazira E. 2015. Evaluating soil aggregate stability using classical methods and fractal models. Water and soil protection, 4(3): 39-51. (In Persian).

Molai Renani M, Bashri H, Basiri M, Mossadeghi M. 2013. Evaluation of the stability of soil structure by sieve method in some pasture places of Isfahan Province. Agricultural Sciences and Techniques and Natural

Resources, Water and Soil Sciences, 18(70): 131-121. (In Persian).

Moradi N, Emami H. 2017. The effect of nanoparticles of Aluminum oxide and Silicon oxide on soil structural stability indices. Journal of Water and Soil Conservation, 23(5): 253-265. (In Persian). https://doi.org/10.22069/JWFST.2017.10568.2499

Morgan RPC. 2009. Soil erosion and conservation. 3rd edition. Publishing John Wiley and Sons. 320 p.

Movahedan M, Abbasi N, Keramati M. 2011. Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application for wind erosion control of soils. Journal of Water and Soil. 25(3): 606-616. (In Persian).

Movahedan M, Abbasi N, Keramati M. 2012. Effect study of Polyvenial Acetat on sustainability of dry aggregates. Ianian Journal of Soil Research. 27(1): 71-83. (In Persian).

Nimmo J R, Perkins K S. 2002. Aggregate stability and size distribution, In: Dane, J.H., and Topp, G.C. (eds). Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Methods: Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. pp. 317-328.

Poesen J, Lavee H. 1994. Rock fragments in top soils: Significance and processes. Catena, 23(1): 1-28. https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90050-7

Samie F, Yaghmaeian N, Abrishamkesh S, Maslahatjou A. 2022. Impact of land use change on erodibility and soil quality indicators (Case study: Sidasht, Guilan Province). Agricultural Engineering, 45(1): 57-78. (In Persian). https://doi.org/10.22055/agen.2022.39858.1630

Skaggs TH, Arya LM, Shouse PJ, Mohanty BP. 2001. Estimating particle size distribution from limited soil texture data. Soil Science Society American Journal, 65(4): 1038-1044. https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541038x

Sutherland RA, Wan Y, Ziegler AD, Lee CT, El-Swaifv SA. 1996. Splash and wash dynamics: An experimental investigation using an Oxisol. Geoderma. 69(1-2): 85-103. https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)00053-4

Refahi HGH. 2007. Water erosion and conservation. Tehran, Tehran University Press. 671 p. (In Persian).

Vaezi AR, Rahmati S, Bayat H. 2018. Evaluating the susceptibility of aggregate sizes to in Terrill erosion based on aggregate stability indices. Journal of Water and Soil Conservation, 25(2): 169-185. (In Persian). https://doi.org/10.22069/JWSC.2018.12419.2705

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Effect of Bentonite Mineral Conditioner on Soil Surface Aggregates Stability

Zeynab Barari Shahidani[1], **Leila Gholami**[*2], **Ataollah Kavian**[3]

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

2- Associate Professor and Corresponding Author, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Sari, Iran

3- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Sari, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Soil is the basis of biological resources and life on the earth. Soil stability is one of the key indicators that it used to performance evaluation of soil structure against soil erosion. In fact, the aggregates stability indicates the resistance of the soil structure against external forces such as the raindrops impact and splash erosion. The raindrops energy is one of the main factors in the disintegration of soil aggregates in water erosion. The usage of different conditioners on the surface or inside soil is closely related to various processes such as surface sealing, infiltration, runoff, evaporation and finally soil erosion. Considering the importance of the aggregates stability soil erosion control, increasing the particles diameter on the soil surface can be one of the ways to prevent their movement and by erosive factors. The literatures review showed that the bentonite conditioner as a mineral conditioner can play the effective role in stability changes of aggregates, especially in degraded soils. Therefore, the purpose of present research is to the usage of bentonite conditioner on the changes of soil surface aggregates.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** l.gholami@sanru.ac.ir

Citation: Barari Shahidani, Z., Gholami, L., Kavian, A. 2024. Effect of Bentonite Mineral Conditioner on Soil Surface Aggregates Stability. Watershed Management Research. 37(3):128-143.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.364343.1561

Received: 09 December 2023, **Received in revised form:** 23 January 2024, **Accepted:** 18 March 2024

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp. 128-143.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)

Materials and Methods

In the present research, the conditioner of bentonite mineral used in amounts of 30, 15 and 45% of soil surface coverage and in three replications. At the first, collected soil from rangeland land to depth of 20 cm transferred to laboratory and was exposed to air-dry and passed through sieve of 4-mm. Then the soil was poured into the splash cups and placed under rainfall simulator with a rainfall intensity of 90 mm h-1 and a duration of 10 min. Surface soil before and after application of rainfall simulator was collected with depth of 2-mm with amount of about 50 g of the surface of splash cups and the aggregates stability was calculated using the method of wet sieve. In the method of wet sieve, the remaining soil on each sieve was drained into marked containers using washing method and then and was put to rest for 24 h. After draining the excess water of samples, the remaining sediment was transferred the appropriate containers with specific weight. Finally dried for 24 h at oven with temperature of 105˚C. Finally, the application effect of the bentonite conditioner on the variables of aggregation and aggregates stability was calculated using SPSS software.

Results and Discussion

According to the conservation function and the average diameter of the soil aggregates using bentonite conditioner in three values of 15, 30 and 45 percent and based on diameter classes >500, 250-500, 125-250, 100-125, 100- 53, 38-53 and <38 micrometer, the results showed that the average diameter of soil aggregates significantly changed under the effect of bentonite conditioner. The average mass of the aggregates in the control treatment was with rates of 0.82, 1.88, 6.82, 3.37, 9.53, 4.62 and 20.36 g respectively, in the mentioned diameters, and with bentonite conditioner in the amount of 15% was with rates of 1.16, 2.63, 8.17, 4.46, 10.81, 4.02 and 17.68 g, respectively. Also, in the conditioner with the amount of 30%, this variable was the rates of 0.84, 2.42, 93. 7, 4.32, 11.03, 3.46 and 17.38 g and in the amount of 45% was the amounts of 0.81, 1.96, 6.95, 3.53, 10.01, 3.51 and 31 It was 19 g, respectively. The results of GLM test showed that the effect of bentonite conditioner on the variables D10, D10/ D90 and sorting was significant in level of 95% and on the variables D50, D90, D90- D10, D75- D25 and skewness was significant in level of 99%. But the bentonite effect was not significant on the variable D75/ D25 and kurtosis. Also, the results of Duncan test showed that the bentonite conditioner with rates of 15 and 30% had the better effects on the stability of soil aggregates and increasing the average aggregates diameter.

Conclusion and Suggestions

The obtained results from this research showed that bentonite conditioner can act as a protector against the raindrops and reducing soil erosion with creating adhesion on the soil surface. According to the results of the present research, it is suggested that the first, the more researches be conducted due to the soil conditions and natural rainfall and then the optimal values of bentonite be determined by erosion management and runoff.

Keywords: Aggregate diameter, inorganic conditioner, soil and water conservation, soil structure, wet sieve