

(OPEN ACCESS)

Usage Feasibility of Bentonite in Restoration of Aggregate Stability in Different Landuses Soil after Fire

Zeinab Barari Shahidani¹, Leila Gholami^{*2}, Ataollah Kavian³

1. M.Sc. Graduate of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: zeynab.barari.sh@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: l.gholami@sanru.ac.ir
3. Professor, Dept. of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: a.kavian@sanru.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: Soil stability refers to the resistance of the soil structure against external forces such as the impact of raindrops and splash erosion. Some human factors, such as fire, not only cause the vegetation reduction, the bare becomes soil surface and its vulnerable, but also have the destructive effects on the aggregates stability of surface Fire causes the soil to be susceptible to erosion by reducing organic matter, reducing the aggregates stability and reducing soil quality. Considering that the vegetation establishment in the affected areas by fire requires a lot of time and money, the application of soil conditioners in order to vegetation restoration and increasing the aggregates stability in affected areas by fire is an important step in restoration of these areas. Landuse has the significant effects on changes of soil erodibility factor, and the studies have shown that the forest landuse has the lowest amount of soil erodibility factor compared to pasture and cropland landuses. The present study was conducted with the investigation aim of aggregates stability before and after fire using bentonite conditioner with different levels in forest, pasture and agricultural landuses.
Article history: Received: 10.12.2024 Revised: 01.06.2025 Accepted: 01.17.2025	
Keywords: Aggregates, Bentonite conditioner, Post-Fire, Rainfall simulator, Soil splash	
	Materials and Methods: At first, the collected soil from each landuse was placed in plots and compacted to specific weight to natural conditions and subjected under mean-fire conditions. Then, the remaining ash was collected from the surface of the fire plots and rainfall simulation with rainfall intensity of 90 mm h ⁻¹ and duration of 10 min was performed in the control treatments (soil without conditioner, burned and un-burned soil), fired and unfired soil containing different levels of bentonite with rates of 15, 30 and 45 percent in three replications. The used rainfall simulator in this study is placed on a metal structure in the form of A, with the ability to adjust the height from 2 to 2.7 m. To stability measurment of the aaggregates stability, surface soil was collected to depth of two mm with an amount of about 50 g from the surface of the splash cups, and the aggregates stability was calculated using the sieve method. Excel and SPSS software were used to performance of all statistical analyses. In order to extraction of the grading components, including the mean, standard deviation, skewness, and kurtosis and as well as all variables, D ₁₀ , D ₅₀ , D ₉₀ ,

D_{90}/D_{10} , D_{75}/D_{25} , $D_{75}-D_{25}$ was used from GRADISTAT macro in different treatments under Excel software.

Results: The conditioner effect of bentonite on forest landuse showed that the bentonite with level of 15 percent compared to the other two levels increased the aggregates stability in finer particles and levels of 30 and 45 percent increased the stability in coarser aggregates. In rangeland landuse, bentonite conditioner, all three levels of conditioner increased the average diameter of coarser aggregates. In agricultural landuse, bentonite conditioner, in level of 15 and 30 percent showed that the more effect on aggregated stability on finer aggregates stability. The landuses effect on the stability of soil aggregates showed that this parameter had the significant effect on the variables D_{10} , D_{50} , D_{90} , D_{90}/D_{10} , D_{75}/D_{25} , $D_{75}-D_{25}$, sorting, skewness and kurtosis at the level of 99 percent. The fire treatment was also significant on the variables D_{90} , D_{90}/D_{10} , $D_{90}-D_{10}$ sorting and kurtosis at the level of 99 percent, $D_{75}-D_{25}$ at the level of 95 percent. The conditioner effect of bentonite at before and after fire on the stability of soil aggregates also showed that it was significant on the variables D_{10} , D_{50} , D_{90} , D_{90}/D_{10} , $D_{90}-D_{10}$, $D_{75}-D_{25}$ and skewness at the level of 99 percent. The interaction effect of landuses and fire on variables D_{90} , D_{90}/D_{10} , $D_{90}-D_{10}$, sorting and kurtosis of soil aggregates were significant at the level of 99 percent. Also, the interaction effect of landuses and bentonite conditioner on variables of D_{10} , D_{50} , D_{90} , D_{90}/D_{10} , $D_{75}-D_{25}$, and skewness was at the level of 99 percent and also on skewness and kurtosis significant at the level 95 percent.

Conclusion: The results showed that conditioner can act as a soil amendment and by creating adhesion on the soil surface, it can stable the soil aggregates against raindrop impact and reduce soil erosion. According to the results of the present research, it can be stated that the usage of bentonite clay was beneficial in managing and reducing erosion and making executive decisions, although the final conclusions depend on conducting more extensive research in natural fields.

Cite this article: Barari Shahidani, Zeinab, Gholami, Leila, Kavian, Ataollah. 2025. Usage Feasibility of Bentonite in Restoration of Aggregate Stability in Different Landuses Soil after Fire. *Journal of Water and Soil Conservation*, 32 (1), 175-196.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2025.22866.3766

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

امکان‌سنجی استفاده از بنتونیت در احیای پایداری خاکدانه در خاک کاربری‌های مختلف پس از وقوع آتش

زینب براری شهیدانی^۱، لیلا غلامی^{۲*}، عطااله کاویان^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: zeynab.barari.sh@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: l.gholami@sanru.ac.ir
۳. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: a.kavian@sanru.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: پایداری خاک بیانگر مقاومت ساختمان خاک در برابر نیروهای خارجی مانند برخورد قطرات باران و فرسایش پاشماني است. برخی عوامل انسانی مانند آتش‌سوزی نه تنها باعث کاهش پوشش گیاهی، لخت شدن سطح خاک و آسیب‌پذیری آن می‌شوند، بلکه اثرات مخربی بر پایداری خاکدانه‌های سطحی دارد. آتش‌سوزی با کاهش ماده آلی، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش کیفیت خاک باعث مستعد شدن خاک برای فرسایش می‌شود. با توجه به این‌که استقرار پوشش گیاهی در مناطقی که دچار آتش‌سوزی شده به زمان و هزینه زیادی نیازمند است، کاربرد افزودنی‌های خاک به‌منظور احیا پوشش گیاهی و افزایش پایداری خاکدانه‌ها در مناطقی که دچار آتش‌سوزی شده، گام مهمی در احیای این مناطق است. کاربری اراضی بر تغییرات عامل فرسایش‌پذیری خاک اثرات معنی‌دار داشته و بررسی‌ها نشان داده است که کاربری جنگل در مقایسه با کاربری‌های مرتع و زراعی دارای کم‌ترین میزان عامل فرسایش‌پذیری خاک است. پژوهش حاضر با هدف بررسی پایداری خاکدانه در خاک در قبل و بعد از آتش‌سوزی با استفاده از افزودنی بنتونیت با سطح‌های مختلف در کاربری‌های جنگل، مرتع و کشاورزی انجام شد.
تاریخ دریافت: ۰۳/۰۷/۲۱ تاریخ ویرایش: ۰۳/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۰۳/۱۰/۲۸	
واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، افزودنی بنتونیت، پاشمان خاک، پایداری خاکدانه، شبیه‌ساز باران	
	مواد و روش‌ها: ابتدا خاک جمع‌آوری شده از هر کاربری در کرت‌ها قرار گرفت و به وزن مخصوص در شرایط طبیعی رسانده شد و تحت شرایط آتش‌سوزی متوسط انجام شد. سپس خاکستر باقی‌مانده از سطح کرت‌های آتش‌سوزی جمع‌آوری گردید و شبیه‌سازی باران با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت و مدت زمان ۱۰ دقیقه در تیمارهای شاهد (خاک بدون افزودنی، خاک آتش‌سوزی شده و آتش‌سوزی نشده)، خاک آتش‌سوزی شده و نشسته حاوی سطوح مختلف

بتنویت با مقادیر ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد در سه تکرار انجام شد. شبیه‌ساز باران استفاده شده در پژوهش حاضر روی یک ساختار فلزی به فرم A و با قابلیت تنظیم ارتفاع دو تا ۲/۷ متر مستقر شده است. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌های خاک، خاک سطحی با مقدار حدود ۵۰ گرم از سطح فنجان‌های پاشمان جمع‌آوری و با استفاده از روش الک تر، پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد. به‌منظور انجام کلیه تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای Excel و SPSS استفاده شد. به‌منظور استخراج مولفه‌های دانه‌بندی خاکدانه شامل میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی و همچنین همه متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{90} ، $D_{10}-D_{90}$ ، D_{90}/D_{10} ، $D_{25}-D_{75}$ و D_{75}/D_{25} برحسب میکرومتر در تیمارهای مختلف از ماکروی GRADISTAT تحت نرم‌افزار Excel استفاده شد.

یافته‌ها: تأثیر افزودنی بتنویت روی خاک کاربری جنگل نشان داد که بتنویت با سطح ۱۵ درصد نسبت به دوسطح دیگر باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ذرات ریزتر و سطح‌های ۳۰ و ۴۵ درصد باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ذرات درشت‌تر شد. در کاربری مرتع هر سه سطح افزودنی باعث افزایش پایداری خاکدانه‌های درشت‌تر گردید. در کاربری کشاورزی افزودنی بتنویت در سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد روی پایداری خاکدانه‌های ریزتر تأثیرات بیشتری را نشان داد. تأثیر کاربری اراضی بر پایداری خاکدانه‌های خاک نشان داد که کاربری بر D_{10} ، D_{50} ، D_{90} ، D_{10}/D_{90} ، $D_{90}-D_{10}$ ، $D_{25}-D_{75}$ ، D_{75}/D_{25} ، چولگی و کشیدگی خاکدانه‌های خاک تأثیر معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد داشت. تیمار آتش‌سوزی نیز بر D_{90} ، D_{10}/D_{90} ، $D_{90}-D_{10}$ ، چولگی و کشیدگی خاکدانه‌های خاک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. اثر افزودنی بتنویت در قبل و بعد از آتش بر D_{10} ، D_{50} ، D_{90} ، D_{10}/D_{90} ، $D_{90}-D_{10}$ و چولگی خاکدانه‌های خاک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل کاربری‌ها و آتش‌سوزی نیز بر D_{90} ، D_{10}/D_{90} ، $D_{90}-D_{10}$ ، چولگی و کشیدگی خاکدانه‌های خاک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل کاربری‌ها و افزودنی بتنویت بر D_{10} ، D_{50} ، D_{90} ، D_{10}/D_{90} ، $D_{90}-D_{10}$ و چولگی خاکدانه‌های خاک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار و بر چولگی و کشیدگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که افزودنی بتنویت می‌تواند به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و با ایجاد چسبندگی در سطح خاک، خاکدانه‌ها را در برابر برخورد قطرات باران پایدارتر کرده و فرسایش خاک را کاهش دهد. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان بیان نمود که رس بتنویت در مدیریت و کاهش فرسایش خاک مؤثر است؛ هر چند جمع‌بندی نهایی منوط به انجام پژوهش‌های گسترده‌تر در عرصه‌های طبیعی است.

استناد: براری شهیدانی، زینب، غلامی، لیلا، کاویان، عطاله (۱۴۰۴). امکان‌سنجی استفاده از بتنویت در احیای پایداری خاکدانه در خاک کاربری‌های مختلف پس از وقوع آتش. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۲ (۱)، ۱۷۵-۱۹۶.

DOI: 10.22069/jwsc.2025.22866.3766



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خاک منبع حیاتی برای تولید غذا، چوب و منابع سوختی، هم‌چنین زیربنای امنیت غذایی و کیفیت محیط‌زیست می‌باشد که برای وجود انسان ضروری است. خاک، با کیفیت خوب و حاصلخیز یکی از ارزشمندترین گنجینه‌هایی است که می‌تواند تأثیر مثبتی بر رفاه مردم داشته باشد. چراکه تمدن‌های بزرگ بشری در مناطقی از جهان به رشد و شکوفایی رسیده‌اند که خاک آن‌ها از کیفیت مناسبی برخوردار بوده است. به گونه‌ای که می‌توان گفت سطح پیشرفت تمدن بشری با خاک و چگونگی بهره‌برداری از آن ارتباط تنگاتنگی دارد. پایداری ساختمان خاک از نتایج برهم‌کنش عوامل مختلفی از جمله پوشش گیاهی، فرآیندهای زیستی و غیرزیستی، ویژگی‌های ذاتی خاک و عوامل محیطی و مدیریتی است (۱). ویژگی‌های خاک از جمله بافت و توزیع اندازه ذرات از عوامل مهم مؤثر بر پاشمان خاک (۲) و در نتیجه تغییرات رواناب و نفوذ (۳) می‌باشند. ساختمان خاک، شاخصی مهم برای مدیریت بهینه منابع خاک و آب می‌باشد. زیرا به گونه‌ای مستقیم، بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک هم‌چون مقدار آب، هدایت آبی، گرما، تهویه، جرم ویژه ظاهری و تخلخل خاک اثر می‌گذارد (۴). فرسایش خاک و راه‌کارهای کنترل آن از جمله پیش‌نیازهای اصلی مدیریت منابع آب و خاک بوده و یک فرآیند پیچیده طبیعی است که به عوامل مختلفی وابسته است. بنابراین آگاهی در مورد عوامل تأثیرگذار بر فرآیند فرسایش به‌منظور ارائه راه‌کارهای مدیریتی برای کاهش اثرات آن امری ضروری است (۵). از طرفی آتش‌سوزی پوشش گیاهی یکی از اتفاقاتی است که به‌صورت عمدی یا غیرعمدی در مراتع، جنگل یا زمین‌های کشاورزی رخ می‌دهد. ایجاد تغییر در ساختار و ترکیب پوشش گیاهی در اثر آتش‌سوزی امری اجتناب‌ناپذیر است

(۶). از آنجایی‌که آتش مواد آلی سطحی یا نزدیک به سطح خاک را از بین می‌برد بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیرگذار است. کاهش مواد آلی خاک بر ظرفیت تبادل کاتیونی، پایداری خاکدانه، تخلخل درشت، نفوذ، و ریزجانداران خاک مؤثر است. ویژگی‌های فیزیکی خاک که وابسته به مواد آلی هستند همه با حرارت ناشی از آتش دچار تنش می‌شوند. ویژگی‌های فیزیکی خاک لایه سطحی مانند درصد رس، در یک آتش‌سوزی بسیار شدید به آسانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۷). ارزیابی و مهار فرسایش خاک به برنامه‌های مدیریتی خاص نیاز دارد و این برنامه‌های مدیریتی نیز نیازمند در نظر گرفتن اثرهای درون و برون‌منطقه‌ای هدررفت خاک هستند (۸). پایداری خاکدانه اثر مهمی در گسترش سیستم ریشه‌ای، چرخه کربن و آب و نیز مقاومت خاک در برابر فرسایش دارد (۹). خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هم‌آوری ذرات اولیه رس، سیلت و شن به همراه مواد آلی و عوامل سیمانی و اتصال‌دهنده تشکیل می‌شوند (۱۰). توزیع اندازه ذرات ثانویه‌ای از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است (۱۱)، که طبق نظر بارتز و همکاران (۹) می‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص حساسیت خاک در برابر تشکیل سله، تولید رواناب و فرسایش آبی باشد. شاخص‌های پایداری خاکدانه (میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)^۱، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD)^۲) به روش الک خشک و الک تر از جمله شاخص‌ها برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها هستند (۱۲) پایداری خاکدانه‌ها متأثر از ویژگی‌هایی مانند میزان رس، اکسیدهای آهن، کربنات کلسیم و مواد آلی می‌باشد (۹). با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در کنترل فرسایش خاک افزایش قطر ذرات در سطح خاک و

1- Mean Weight Diameter

2- Geometric Mean Diameter

خاکدانه‌ای شدن آن‌ها می‌تواند یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت و جابجایی آن‌ها توسط عوامل فرسایشی باشد. از سویی دیگر کاربری‌های مختلف می‌تواند تأثیرات متفاوتی در بعد از آتش‌سوزی چه از نظر فرسایش و چه از نظر پایداری خاکدانه‌ها داشته باشد. به‌طورری که سمیع و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی اثر کاربری اراضی بر شاخص کیفیت خاک نشان دادند که کاربری جنگل و زراعی به ترتیب از بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص کیفیت خاک به روش نمره‌دهی غیرخطی برخوردار است. ایشان بیان کردند که کاربری جنگل در مقایسه با کاربری مرتع و زراعی دارای کم‌ترین میزان عامل فرسایش‌پذیری خاک بود. شاخص حساسیت ویژگی‌های خاک نشان داد که ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و شاخص پایداری ساختمان خاک نسبت به سایر ویژگی‌ها به تغییر کاربری حساس‌تر بودند (۱۳). صادقی و خالدی درویشان (۲۰۲۲) اثر تیمار آتش بر پایداری خاکدانه و مؤلفه‌های پاشمان در شرایط آزمایشگاهی در سه کرت شاهد و ۱۲ کرت پوشیده شده با بقایای خشک گونه‌های مرتعی، با چهار تراکم مختلف ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ گرم در مترمربع را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که اثر تیمار آتش بر کاهش متغیرهای پاشمان کل و خالص و افزایش پایداری خاکدانه به‌ترتیب در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار بود. با افزایش شدت تیمار آتش به‌طورکلی روند تغییرات پایداری خاکدانه و مؤلفه‌های پاشمان به‌ترتیب افزایشی و کاهش‌ی بود (۱۴). غلامی و همکاران (۲۰۲۴) عملکرد افزودنی زئولیت را بر حفاظت خاک و آب در شرایط پس از آتش‌سوزی در کاربری مرتع تخریب‌شده در شمال ایران ارزیابی نمودند. در مجموع نتایج ایشان نشان داد که میزان فرسایش آ تحت تأثیر سطوح مختلف آتش و زئولیت تغییرات زیادی داشته است (۱۵). برای بهبود خواص

فیزیکی خاک‌ها استفاده از افزودنی‌های مختلف آلی شیمیایی و معدنی مورد تجربه و مطالعه قرار گرفته است. بنتونیت از جمله سوپر جاذب‌های طبیعی است که از گروه کانی‌های ۲:۱ بوده و مخلوطی از کانی‌های رسی است که دارای مقدار زیادی مونت‌موریلونیت بوده و حاصل دگرسانی شیمیایی سنگ‌های آذرین، معمولاً توف است و قدرت جذب و نگهداری آب زیادی دارد (۱۶ و ۱۷). بنتونیت به‌دلیل خواص نرم بودن، تورم‌پذیری، کلئیدی و خوب مخلوط شدن با آب، خمیری شدن، پلاستیک بودن، چسبندگی و چسبانندگی، جاذب بودن دارای مصارف زیادی است (۱۸). با توجه به این‌که امکان استفاده و استقرار پوشش گیاهی در مناطقی که دچار آتش‌سوزی شده به زمان و هزینه زیادی نیازمند است، کاربرد افزودنی‌های خاک به‌منظور احیا پوشش گیاهی و افزایش پایداری خاکدانه‌ها در مناطقی که دچار آتش‌سوزی گام مهمی در آماده‌سازی این مناطق در درازمدت می‌باشد. پایداری خاکدانه‌ها متأثر از ویژگی‌هایی مانند میزان رس، اکسیدهای آهن، کربنات کلسیم و مواد آلی می‌باشد (۹). با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در مهار فرسایش خاک افزایش قطر ذرات در سطح خاک و خاکدانه‌ای شدن آن‌ها می‌تواند یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت و جابجایی آن‌ها توسط عوامل فرسایشی باشد. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر افزودنی بنتونیت بر پایداری خاکدانه‌های خاک در مقادیر مختلف در قبل و بعد از آتش‌سوزی در شرایط آزمایشگاهی برای سه کاربری جنگل، مرتع و کشاورزی انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد بررسی آزمایش حاضر از کاربری‌های جنگل، مرتع و کشاورزی شهرستان میاندروستان مازندران که از نظر موقعیت جغرافیایی از سمت شمال

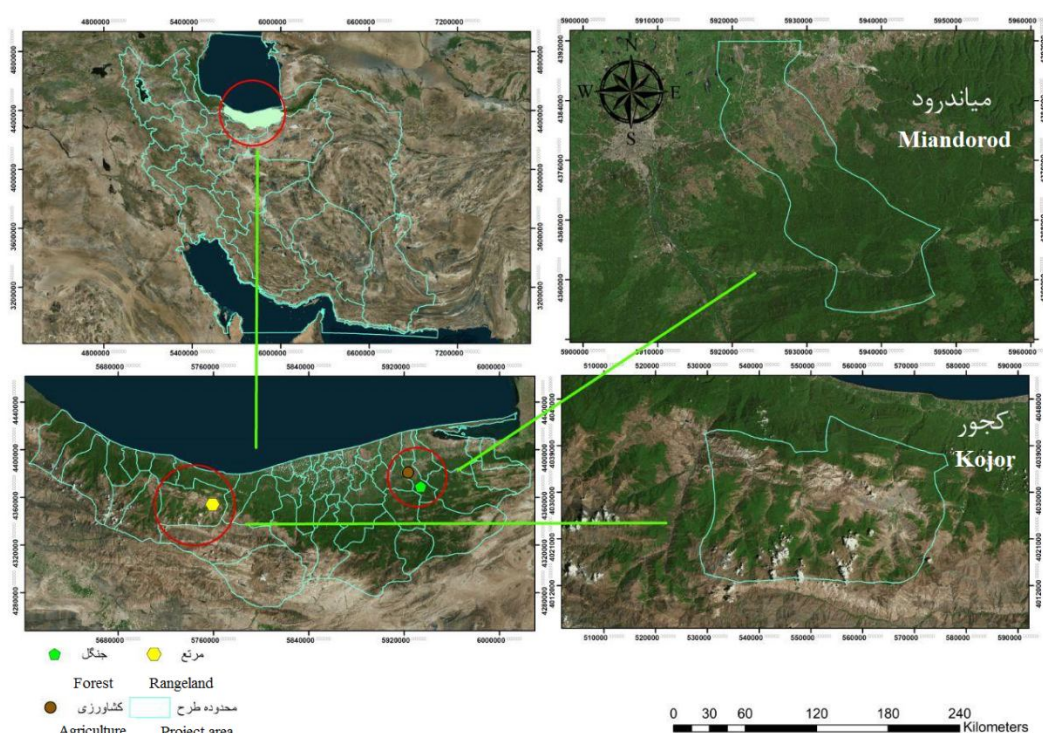
تیپ گونه‌های غالب منطقه *Astragalus spp*, *Dactylis glomerata*, *Artemisia sp*, *Phlomis persica*, *Bromus dantonis* و *Vicia narbonesis*, *Medicago sativa* و *Petrophagia saxifrage* بوده است. خاک سطحی از اراضی مرتعی، کشاورزی و جنگلی فرسایش یافته از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و به آزمایشگاه فرسایش و رسوب دانشکده منابع طبیعی ساری انتقال داده شد. خاک انتقال داده شده در معرض هوای آزاد خشک شد (۱۹) و سپس از الک چهار میلی‌متری (۲۰ و ۲۱) عبور داده شد. ویژگی‌های خاک جمع‌آوری شده از کاربری‌های جنگل، کشاورزی و مرتع در جدول ۱ نشان داده شده است. شکل ۱ نمایی از خاک در قبل از آتش‌سوزی و پوشیده با بقایای گیاهی، حین آتش‌سوزی و خاکستر باقی‌مانده در سطح خاک را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز نقشه موقعیت کاربری‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

منتهی به ساحل دریای خزر در منطقه عمومی گهرباران، از سمت جنوب متصل به کوه البرز و بخش‌های چهاردانگه و کلیجاستاق شهرستان ساری، از شرق هم‌مرز با شهرستان نکا و از سمت غرب در مجاورت بخش مرکزی شهرستان ساری است، جمع‌آوری شد. خاک کاربری کشاورزی با مختصات طول شرقی $53^{\circ} 34' 53''$ و عرض شمالی $38^{\circ} 12' 53''$ قرار دارد و تحت کشت کلزا بوده است. کاربری جنگل با مختصات طول شرقی $36^{\circ} 29' 50''$ و عرض شمالی $53^{\circ} 18' 14''$ قرار دارد که دارای تیپ گیاهی غالب ممرز-راش همراه با تک پایه‌های افرا و به‌ندرت سایر گونه‌ها در اشکوب بالا دارای پایه‌های مادری راش و ممرز با کیفیت خوب و تراکم نیمه‌انبوه و در اشکوب زیرین زادآوری مطلوب عمدتاً از گونه راش با تراکم بسیار خوب به‌طوری‌که حدود ۳۰٪ سطح قطعه کاملاً از نظر استقرار زادآوری مطمئن می‌باشد و در مراحل اولیه رویشی (نهال و شل) است. هم‌چنین کاربری مرتع با مختصات طول شرقی $36^{\circ} 23' 19''$ و عرض شمالی $51^{\circ} 44' 09''$



شکل ۱- نمایی از خاک در قبل از آتش‌سوزی (راست)، حین آتش‌سوزی (وسط)، خاکستر باقی‌مانده در سطح خاک (چپ).

Figure 1. View of the soil before fire (right), during the fire (center), ash remaining on the soil surface (left).



شکل ۲- نقشه موقعیت کاربری‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر.

Figure 2. Location map of the studied landuses in the present study.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک‌های جمع‌آوری‌شده از کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل.

Table 1. Collected soil characteristics from landuses of agriculture, rangeland and forest.

چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Density (g/cm ³)	EC (دسی‌زیمنس بر متر) EC (ds/m)	pH	درصد کربن آلی (گرم بر متر) Organic carbon (g/m)	درصد رس Clay (%)	درصد سیلت Silt (%)	درصد شن Sand (%)	بافت Texture	کاربری Landuse
1.57	0.61	6.38	0.70	17.56	33.88	48.56	لومی Loam	کشاورزی Agriculture
2.63	0.48	7.37	0.14	15.54	32.36	52.22	لومی‌شنی Sandy-Loamy	مرتع Rangeland
1.97	0.37	6.34	2.16	15.56	43.82	40.62	لومی Loamy	جنگل Forest

اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها استفاده شد. بتونیت مورد استفاده از معدن بتونیت زنجان خریداری شد که ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن در جدول ۲ ارائه شده است.

برای انجام آزمایش‌ها از افزودنی معدنی بتونیت استفاده شد و این افزودنی به صورت جامد و پودری در مقادیر مختلف ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد پوشش سطحی خاک (۲۲) در سه سطح تکرار برای

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی بنتونیت استفاده شده.

Table 2. Chemical and Physical characteristics of used bentonite.

Table 2: Chemical and Physical Characteristics of used bentonite.									
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Cl ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	ویژگی های شیمیایی
57.56	22.05	2.83	8.49	1.13	2.37	1.91	2.84	0.12	Chemical properties
									خصوصیات فیزیکی Physical characteristics
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)		حد روانی (%) Mental limit (%)		pH		ظرفیت تورم (%) Inflation capacity (%)		چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب) Density (g/cm ³)	
						(میلی متر) Granulometry (mm)			
1.48		410		7.4		8.27		1 to 2	1

به حالت سکون قرار داده شدند (۲، ۶، ۲۵ و ۲۶) و در نهایت به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. به منظور انجام همه تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای Excel و SPSS استفاده شد. میانگین، ضریب تغییرات، انحراف معیار و درصد تغییرات پایداری خاکدانه‌ها در شرایط قبل و بعد از آتش‌سوزی و با کاربرد افزودنی بنتونیت محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از آزمون آماری GLM در نرم‌افزار SPSS تأثیر جداگانه و متقابل تیمارها بر پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد. در نهایت به منظور استخراج مولفه‌های دانه‌بندی شامل میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی به روش‌های ترسیمی، هندسی و لگاریتمی گشتاورها هم‌چنین همه متغیرهای، D₁₀، D₅₀، D₉₀، D₁₀-D₉₀، D₁₀/D₉₀، D₂₅-D₇₅ و D₂₅/D₇₅ بر حسب میکرومتر از نرم‌افزار گرا دیستات استفاده شد (۲).

نتایج و بحث

نتایج پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از الک‌تر در تیمار سطوح مختلف بنتونیت ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد در شرایط قبل از آتش‌سوزی در مقایسه با تیمار شاهد آتش‌سوزی نشده و آتش‌سوزی شده در سه کاربری کشاورزی، جنگل و مرتع در جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است. هم‌چنین نتایج آزمون GLM برای پایداری

جهت انجام آتش‌سوزی در شرایط آزمایشگاهی کرت‌ها را با خاک اراضی مورد مطالعه در سه کرت پر کرده و سپس مقدار ۵۰۰ گرم از پوشش گیاهی جمع‌آوری شده از خاک سطحی (۱۴) کاربری‌های جنگل، مرتع و کشاورزی روی کرت‌ها ریخته و آتش زده شد. سپس تیمارهای شاهد (خاک بدون افزودنی و خاک آتش‌سوزی شده) و هم‌چنین تیمارهای حفاظتی بنتونیت روی خاک آتش‌سوزی شده (۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد سطح) در سه تکرار تحت شرایط شبیه‌سازی بارانی (۲۳) با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در مدت ۱۰ دقیقه در معرض فرسایش قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌های خاک، خاک سطحی؛ در قبل و بعد از آتش‌سوزی و نیز قبل و بعد از کاربرد بنتونیت، به عمق دو میلی‌متر با مقدار حدود ۵۰ گرم جمع‌آوری شد و با استفاده از روش الک‌تر، پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد (۲). به منظور انجام عملیات دانه‌بندی از شش الک با طبقات قطری <۵۰۰، ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۰۰، ۱۰۰-۵۳، ۵۳-۳۸ و >۳۸ میکرومتر و ذرات کوچک‌تر از ۳۸ میکرومتر استفاده شد. عملیات تکان دادن نمونه‌ها روی شیکر با شدت متوسط به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد (۲۴). سپس خاک باقی‌مانده روی هر الک به تفکیک هر تیمار و الک، به روش شستشو به داخل ظروف نشانه‌گذاری شده، تخلیه و به مدت ۲۴ ساعت

خاکدانه‌ها در سطوح مختلف بنتونیت در سه کاربری کشاورزی، جنگل و مرتع و شرایط قبل و بعد از آتش‌سوزی در جدول ۶ ارائه شده است. شکل ۳ نیز نمودار گروه‌بندی تیمارهای مختلف تحت‌تأثیر کاربرد افزودنی بنتونیت با مقادیر مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۳- جرم خاکدانه (گرم) در تیمارهای شاهد و بنتونیت با مقدار ۱۵ درصد در قبل و بعد از آتش‌سوزی.

Table 3. Aggregate mass (g) in treatment of control and bentonite with rate 15% in before and after fire.

آتش‌سوزی نشده Non-fire							مؤلفه‌ها Parameters	تیمارها Treatment	کاربری Landuse
شماره الک Seive Number									
<38	38	53	100	125	250	500			
13.28	1.02	2.11	1.03	4.85	8.99	4.23	میانگین Mean	شاهد شاهد	کشاورزی Agriculture
1.36	0.16	0.11	0.06	0.53	0.64	1.35	انحراف معیار S.D.	کنترل Control	
15.45	1.14	2.28	1.12	3.82	5.91	1.60	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
2.20	0.10	0.47	0.17	0.20	1.13	0.83	انحراف معیار S.D.		
16.31	12.39	7.99	8.59	-21.18	-34.30	-62.06	درصد تغییرات Change Percentage		
14.06	0.61	1.79	0.99	4.64	5.30	2.48	میانگین Mean	شاهد شاهد	جنگل Forest
3.64	0.05	0.13	0.28	1.23	1.63	0.23	انحراف معیار S.D.	کنترل Control	
11.86	1.41	2.63	1.26	5.46	7.75	4.80	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
0.61	0.53	0.67	0.16	0.93	0.70	1.09	انحراف معیار S.D.		
-15.67	131.03	47.34	27.63	17.74	46.22	93.99	درصد تغییرات Change Percentage		
20.36	4.62	9.53	3.37	6.82	1.88	0.82	میانگین Mean	شاهد شاهد	مرتع Rangeland
0.31	0.15	0.62	0.12	0.41	0.18	0.09	انحراف معیار S.D.	کنترل Control	
17.68	4.02	10.81	4.46	8.17	2.63	1.16	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
0.63	0.87	2.11	0.57	0.17	0.10	0.12	انحراف معیار S.D.		
-13.15	-13.04	13.37	32.28	19.66	39.64	41.85	درصد تغییرات Change Percentage		
آتش‌سوزی شده Fire							مؤلفه‌ها Parameters	تیمارها Treatment	کاربری Landuse
<38	38	53	100	125	250	500			
13.56	0.92	1.65	0.95	4.27	7.04	2.61			
0.80	0.21	0.21	0.09	0.47	0.60	1.32	انحراف معیار S.D.	کنترل Control	
11.10	1.19	2.42	1.10	5.33	7.90	6.78	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
3.42	0.33	0.28	0.09	0.25	0.43	1.78	انحراف معیار S.D.		
-18.16	28.47	46.76	16.75	24.69	12.35	160.28	درصد تغییرات Change Percentage		
12.68	0.41	1.94	0.97	3.59	4.67	4.10	میانگین Mean	شاهد شاهد	جنگل Forest
2.28	0.05	0.17	0.09	0.40	0.80	2.20	انحراف معیار S.D.	کنترل Control	
11.04	1.35	2.72	1.30	5.23	6.43	4.79	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
1.04	0.20	0.54	0.24	0.87	0.23	1.54	انحراف معیار S.D.		
-12.98	233.50	40.63	34.51	45.83	37.82	16.88	درصد تغییرات Change Percentage		
14.93	2.79	6.81	4.51	7.18	5.21	3.47	میانگین Mean	شاهد شاهد	مرتع Rangeland
2.76	0.31	0.59	0.94	0.28	0.73	0.86	انحراف معیار S.D.	کنترل Control	
22.29	2.66	9.29	3.45	6.79	3.15	1.80	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
2.90	0.52	3.14	1.46	2.12	0.46	0.79	انحراف معیار S.D.		
49.27	-4.79	36.38	-23.64	-5.44	-39.54	-48.23	درصد تغییرات Change Percentage		

جدول ۴- جرم خاکدانه (گرم) در تیمارهای شاهد و بنتونیت با مقدار ۳۰ درصد در قبل و بعد از آتش‌سوزی.

Table 4. Aggregate mass (g) in treatment of control and bentonite with rate 30% in before and after fire.

آتش‌سوزی نشده Non-fire							مؤلفه‌ها Parameters	تیمارها Treatment	کاربری Landuse
شماره الک Seive Number									
<38	38	53	100	125	250	500			
13.28	1.02	2.11	1.03	4.85	8.99	4.23	میانگین Mean	شاهد	کشاورزی Agriculture
1.36	0.16	0.11	0.03	0.53	0.64	1.35	انحراف معیار S.D.	Control	
14.32	1.13	1.97	1.00	4.52	8.09	5.25	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
2.49	0.15	0.40	0.18	0.59	0.39	1.96	انحراف معیار S.D.		
7.84	11.04	-6.63	-3.26	-6.73	10.01	24.16	درصد تغییرات Change Percentage		
14.06	0.61	1.79	0.99	4.64	2.30	2.48	میانگین Mean	شاهد	جنگل Forest
3.64	0.05	0.13	0.28	1.23	1.63	0.23	انحراف معیار S.D.	Control	
9.72	1.19	2.49	1.25	4.75	7.43	5.78	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
0.85	0.40	0.62	0.29	0.62	0.68	1.37	انحراف معیار S.D.		
-30.88	94.58	39.49	26.19	2.42	40.20	133.49	درصد تغییرات Change Percentage		
20.36	4.62	9.53	3.37	6.82	1.88	0.82	میانگین Mean	شاهد	رنگ Rangeland
0.31	0.15	0.62	0.12	0.41	0.19	0.09	انحراف معیار S.D.	Control	
17.38	3.46	11.03	4.32	7.93	2.42	0.84	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
2.18	0.82	1.73	0.24	0.76	0.35	0.13	انحراف معیار S.D.		
-14.62	-25.13	15.73	28.20	16.27	28.63	2.36	درصد تغییرات Change Percentage		
آتش‌سوزی شده Fire							مؤلفه‌ها Parameters	تیمارها Treatment	کاربری Landuse
شماره الک Seive Number									
<38	38	53	100	125	250	500			
13.56	0.92	1.65	0.95	4.27	7.04	2.61	میانگین Mean	شاهد	کشاورزی Agriculture
0.80	0.21	0.21	0.09	0.47	0.60	1.32	انحراف معیار S.D.	Control	
13.44	0.91	1.73	0.87	4.17	6.65	6.99	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
1.93	0.29	0.35	0.14	1.13	1.40	0.36	انحراف معیار S.D.		
-0.86	-1.95	4.90	-8.00	-2.40	-5.51	168.06	درصد تغییرات Change Percentage		
12.68	0.41	1.94	0.97	3.59	4.67	4.10	میانگین Mean	شاهد	جنگل Forest
2.28	0.05	0.17	0.09	0.40	0.80	2.20	انحراف معیار S.D.	Control	
8.57	1.22	2.04	1.12	5.10	6.13	4.60	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
2.83	0.33	0.58	0.19	0.41	0.24	1.06	انحراف معیار S.D.		
-32.44	201.31	5.35	15.88	52.25	31.32	12.19	درصد تغییرات Change Percentage		
14.93	2.79	6.81	4.51	7.18	5.21	3.47	میانگین Mean	شاهد	رنگ Rangeland
2.76	0.31	0.59	0.94	0.28	0.73	0.86	انحراف معیار S.D.	Control	
23.00	2.81	7.43	3.83	5.46	4.08	1.88	میانگین Mean	بنتونیت Beotonite	
2.52	0.17	1.09	1.68	2.25	1.00	0.74	انحراف معیار S.D.		
54.07	0.92	9.07	-15.18	-23.96	-21.72	-45.91	درصد تغییرات Change Percentage		

جدول ۵- جرم خاکدانه (گرم) در تیمارهای شاهد و بتونیت با مقدار ۴۵ درصد در قبل و بعد از آتش‌سوزی.

Table 5. Aggregate mass (g) in treatment of control and bentonite with rate of 45% in before and after fire.

آتش‌سوزی نشده Non-fire							مؤلفه‌ها Parameters	تیمارها Treatment	کاربری Landuse
شماره الک Seive Number									
<38	38	53	100	125	250	500			
13.28	1.02	2.11	1.03	4.85	8.99	4.23	میانگین Mean	شاهد شاهد	کشاورزی Agriculture
1.36	0.16	0.11	0.06	0.53	0.64	1.35	انحراف معیار S.D.	Control	
8.20	0.55	1.36	0.69	3.44	7.59	15.53	میانگین Mean	بتونیت Beotonite	
0.78	0.16	0.14	0.12	0.59	1.04	1.02	انحراف معیار S.D.		
-38.30	-46.33	-35.30	-33.37	-29.06	-15.55	267.22	درصد تغییرات Change Percentage		
14.06	0.61	1.79	0.99	4.64	5.30	2.48	میانگین Mean	شاهد شاهد	جنگل Forest
3.64	0.05	0.13	0.28	1.23	1.63	0.23	انحراف معیار S.D.	Control	
11.80	1.24	2.56	1.27	5.17	6.28	5.30	میانگین Mean	بتونیت Beotonite	
2.06	0.19	0.57	0.32	1.33	0.79	1.84	انحراف معیار S.D.		
-16.07	103.50	43.07	27.80	11.62	18.37	113.95	درصد تغییرات Change Percentage		
20.36	4.62	9.53	3.37	6.82	1.88	0.82	میانگین Mean	شاهد شاهد	مراغه Rangeland
0.31	0.15	0.62	0.12	0.41	0.18	0.09	انحراف معیار S.D.	Control	
19.31	3.51	10.01	3.53	6.95	1.96	0.81	میانگین Mean	بتونیت Beotonite	
1.94	0.28	1.16	0.49	0.65	0.06	0.08	انحراف معیار S.D.		
-5.15	-23.99	5.05	4.80	1.84	4.49	-1.02	درصد تغییرات Change Percentage		
آتش‌سوزی شده Fire									
13.56	0.92	1.65	0.95	4.27	7.04	2.61	میانگین Mean	شاهد شاهد	کشاورزی Agriculture
0.80	0.21	0.21	0.09	0.47	0.60	1.32	انحراف معیار S.D.	Control	
9.49	1.02	2.23	1.13	5.14	8.51	8.78	میانگین Mean	بتونیت Beotonite	
3.57	0.03	0.55	0.24	1.05	1.67	1.93	انحراف معیار S.D.		
-30.01	10.10	35.55	19.7	20.32	20.91	237.02	درصد تغییرات Change Percentage		
12.68	0.41	1.94	0.97	3.59	4.67	4.10	میانگین Mean	شاهد شاهد	جنگل Forest
2.28	0.05	0.17	0.09	0.40	0.80	2.20	انحراف معیار S.D.	Control	
7.33	1.05	3.16	1.52	5.86	6.46	5.61	میانگین Mean	بتونیت Beotonite	
1.57	0.05	0.37	0.28	0.65	0.98	0.07	انحراف معیار S.D.		
-42.24	158.21	63.22	56.31	63.41	38.36	36.89	درصد تغییرات Change Percentage		
14.93	28.90	6.81	4.51	7.18	5.21	3.47	میانگین Mean	شاهد شاهد	مراغه Rangeland
2.76	0.31	0.59	0.94	0.28	0.73	0.86	انحراف معیار S.D.	Control	
17.40	2.95	8.65	4.12	8.00	4.72	2.59	میانگین Mean	بتونیت Beotonite	
4.75	1.26	3.37	2.41	2.47	0.75	0.99	انحراف معیار S.D.		
16.53	5.70	27.06	-8.69	11.53	-9.35	-25.26	درصد تغییرات Change Percentage		

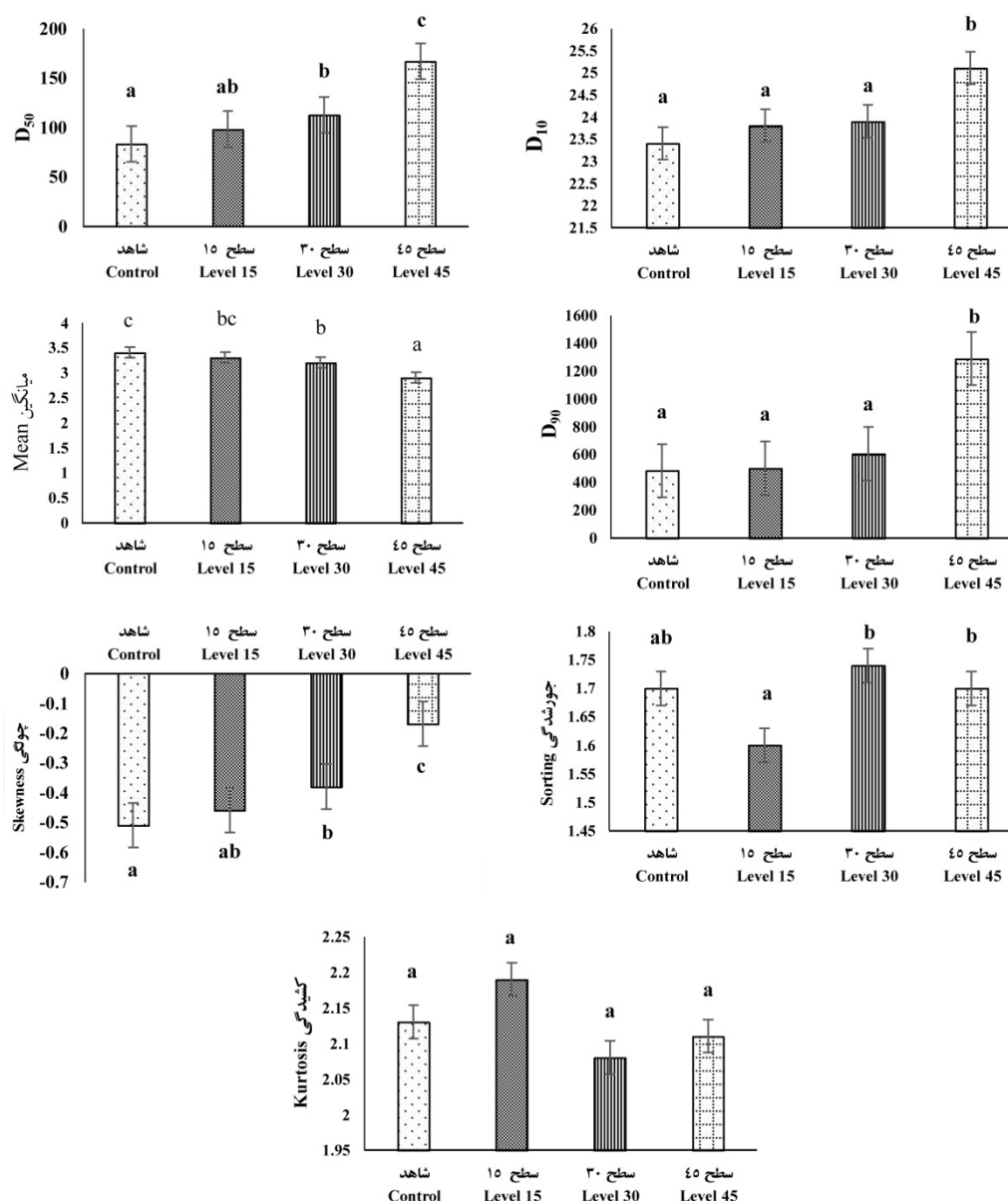
جدول ۶- نتایج آزمون GLM تیمارهای مورد بررسی در کاربری‌های جنگل، کشاورزی و مرتع.

Table 6. Results of GLM test of the studied treatments in forest, agriculture and rangeland.						
تیمارها Treatment	مؤلفه‌ها Parameters	مجموع مربعات نوع سوم Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Average squares	آماره F F	سطح معنی‌داری Sig.
کاربری‌ها Landuses	D۱۰, D۱۰	10.91	2	5.46	8.33	0.001
	D۵۰, D۵۰	121043.66		60521.83	53.19	0.000
	D۹۰, D۹۰	10480169.67		5240084.84	161.67	0.000
	D۹۰/D۱۰, D۹۰/ D۱۰	15422.25		7711.12	124.43	0.000
	D۹۰-D۱۰, D۹۰- D۱۰	10462994.42		5231497.21	161.56	0.000
	D۷۵/D۲۵, D۷۵/ D۲۵	630.66		315.33	102.43	0.000
	D۷۵-D۲۵, D۷۵- D۲۵	918501.83		459250.92	217.83	0.000
	Mean میانگین	11.86		1237.71	28.17	0.000
	Sorting جورشدگی	4.14		105.77	140.70	0.000
	Skewness چولگی	6.94		0.742	33.74	0.000
آتش‌سوزی Fire	Kurtosis کشیدگی	26.49		86.99	338.58	0.000
	D۱۰, D۱۰	1.66	1	1.66	2.53	0.118
	D۵۰, D۵۰	13.94		13.94	0.01	0.912
	D۹۰, D۹۰	624086.54		624086.54	19.26	0.000
	D۹۰/D۱۰, D۹۰/ D۱۰	807.28		807.28	13.03	0.001
	D۹۰-D۱۰, D۹۰- D۱۰	626119.67		626119.67	19.34	0.000
	D۷۵/D۲۵, D۷۵/ D۲۵	6.25		6.25	2.03	0.161
	D۷۵-D۲۵, D۷۵- D۲۵	8517.33		8571.33	4.07	0.049
	Mean میانگین	121.342		121.34	2.76	0.103
	Sorting جورشدگی	5.42		5.42	7.21	0.010
	Skewness چولگی	0.13		0.13	5.90	0.019
افزودنی بنتونیت Bentonite conditioner	Kurtosis کشیدگی	7.26		7.26	28.25	0.000
	D۱۰, D۱۰	27.99	3	9.34	14.26	0.000
	D۵۰, D۵۰	71473.53		23824.51	20.94	0.000
	D۹۰, D۹۰	7953151.53		2651050.51	81.79	0.000
	D۹۰/D۱۰, D۹۰/ D۱۰	10211.31		3403.77	54.93	0.000
	D۹۰-D۱۰, D۹۰- D۱۰	7924212.70		2641404.23	81.57	0.000
	D۷۵/D۲۵, D۷۵/ D۲۵	12.71		4.24	1.38	0.261
	D۷۵-D۲۵, D۷۵- D۲۵	97252.50		32417.50	415.38	0.000
	Mean میانگین	1048.03		349.34	7.95	0.000
	Sorting جورشدگی	43.79		14.60	19.42	0.000
	Skewness چولگی	0.36		0.12	5.46	0.003
	Kurtosis کشیدگی	8.06		2.69	10.46	0.000

ادامه جدول ۶-

Continue Table 6.

تیمارها Treatment	مؤلفه‌ها Parameters	مجموع مربعات نوع سوم Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Average squares	آماره F F	سطح معنی‌داری Sig.
	D _{۱۰} , D ₁₀	1.50		0.75	1.14	0.327
	D _{۵۰} , D ₅₀	3661.32		1830.66	1.61	0.211
	D _{۹۰} , D ₉₀	2961683.17		1480841.58	45.69	0.000
	D _{۹۰} /D _{۱۰} , D ₉₀ /D ₁₀	4043.78		2021.89	32.63	0.000
کاربری‌ها *	D _{۹۰} -D _{۱۰} , D ₉₀ -D ₁₀	2961307.57		1480653.79	45.73	0.000
آتش‌سوزی	DV _۵ /DV _{۲۵} , D ₇₅ /D ₂₅	6.36	2	3.18	1.03	0.363
Landuse*fire	DV _۵ -DV _{۲۵} , D ₇₅ -D ₂₅	3310.87		1655.44	0.79	0.462
	Mean میانگین	37.79		18.90	0.43	0.653
	Sorting جورشدگی	1.63		0.81	1.08	0.347
	Skewness چولگی	0.08		0.04	1.84	0.170
	Kurtosis کشیدگی	4.48		2.239	8.71	0.001
	D _{۱۰} , D ₁₀	26.59		4.43	6.77	0.000
	D _{۵۰} , D ₅₀	102127.60		17021.27	14.96	0.000
	D _{۹۰} , D ₉₀	14615095.14		2435849.19	75.15	0.000
	D _{۹۰} /D _{۱۰} , D ₉₀ /D ₁₀	19461.75		3243.63	52.34	0.000
کاربری‌ها *	D _{۹۰} -D _{۱۰} , D ₉₀ -D ₁₀	14584325.21		2430720.87	75.07	0.000
بتونیت	DV _۵ /DV _{۲۵} , D ₇₅ /D ₂₅	29.41	6	4.90	1.59	0.170
Landuse* bentonite	DV _۵ -DV _{۲۵} , D ₇₅ -D ₂₅	117807.66		19634.61	9.31	0.000
	Mean میانگین	1890.38		315.06	7.17	0.000
	Sorting جورشدگی	50.99		8.50	11.31	0.000
	Skewness چولگی	0.79		0.13	5.98	0.000
	Kurtosis کشیدگی	8.39		1.40	5.44	0.000
	D _{۱۰} , D ₁₀	2.14		0.71	1.09	0.363
	D _{۵۰} , D ₅₀	9677.25		3225.75	2.84	0.048
	, D ₉₀ ۹۰D	640.56		1865276.54	57.55	0.000
	, D ₉₀ /D ₁₀ ۱۰/D _{۹۰} D	311.8048		2682.77	43.29	0.000
آتش‌سوزی *	, D ₉₀ -D ₁₀ ۱۰-D _{۹۰} D	193.56		1866827.06	57.65	0.000
بتونیت	, D ₇₅ /D ₂₅ ۲۵/DV _۵ D	262.60	3	2.08	0.68	0.570
Fire* bentonite	, D ₇₅ -D ₂₅ ۲۵-DV _۵ D	533.16		5223.18	2.48	0.073
	Mean میانگین	0.19		0.06	1.39	0.005
	Sorting جورشدگی	0.04		0.01	1.57	0.106
	Skewness چولگی	0.13		0.04	5.14	0.001
	Kurtosis کشیدگی	0.51		0.17	3.94	0.253



شکل ۳- نمودار گروه بندی تیمارهای مختلف تحت تأثیر کاربرد افزودنی بنتونیت با مقادیر مختلف.

Figure 3. Grouping diagram of different treatments under the application of bentonite conditioner with different amounts.

نشان داد که بنتونیت در سطح ۱۵ درصد نسبت به دو سطح دیگر باعث افزایش بهتری در پایداری خاکدانه‌ها برای ذرات ریزتر گردید، در حالی که برای سطوح ۳۰ و ۴۵ درصد (به جز کاربری مرتع) باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ذرات درشت‌تر شد. در کاربری کشاورزی، افزودنی بنتونیت در سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد توانست موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها

- مقایسه تأثیر افزودنی بنتونیت بر پایداری خاکدانه‌ها قبل از آتش‌سوزی در کاربری‌ها: تأثیر افزودنی بنتونیت در سطوح‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد روی خاک در کاربری جنگل، بر اساس الک‌های ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۱۰۰، ۵۳، ۳۸ و ذرات کمتر از ۳۸ میکرومتر، موجب افزایش میانگین قطر خاکدانه‌ها شد. درصد تغییرات ایجاد شده در قطر خاکدانه‌ها

برای ذرات ریزتر گردد. همچنین این افزودنی توانست در سطوح ۳۰ و ۴۵ درصد میانگین قطر خاکدانه‌ها برای ذرات روی الک ۵۰۰ میکرومتر را نیز افزایش داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص گردید که در کاربری مرتع هر سه سطح افزودنی باعث افزایش میانگین و تغییرات در قطر خاکدانه‌های درشت‌تر گردید. نتایج در این کاربری نشان داد که بتنویت با سطح ۱۵ درصد نسبت به سطوح ۳۰ و ۴۵ درصد نتایج بهتری داشت. با توجه به نتایج حاصل می‌توان بیان نمود که از بین سطوح افزودنی بتنویت، سطح ۴۵ درصد نسبت به دو سطح دیگر توانست تأثیرات بهتری را بر تغییرات خاکدانه‌های خاک داشته باشد. در کل با توجه به نتایج موجود می‌توان بیان نمود که بتنویت می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی اثرات مؤثری بر تغییرات خاکدانه‌های خاک داشته باشد و موجب افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک گردد. به‌طوری‌که بامری و همکاران در پژوهشی در اراضی لسی نشان دادند که بتنویت می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی موثر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک را تغییر دهد و در حفاظت آب و خاک عملکرد بهتری داشته باشد (۲۷). در زمینه کاربرد افزودنی‌های خاک باسلیم و همکاران (۲۰۲۱) بیان داشتند که مواد آلی موجود در خاک موجب افزایش میانگین قطر خاکدانه‌های خاک می‌شود (۲۷). ایوبی و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند که خاک‌پوش‌های پلی‌وینیل‌استات و بتنویت تأثیر معنی‌داری بر شاخص پایداری خاکدانه‌ها دارند (۲۲). حق‌جو و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی پایداری خاکدانه‌های خاک نشان داد که پلی‌وینیل‌استات پایداری خاکدانه‌های خاک را در بازه زمانی مورد بررسی افزایش می‌دهد (۲). بنکووا و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی اثر ژئولیت بر پایداری خاکدانه‌ها دریافتند که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت چراکه ژئولیت تأثیر

قابل‌ملاحظه‌ای بر اتصال ذرات خاک برای افزایش اندازه خاکدانه‌ها داشت (۲۸). مرادی و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که افزودن مواد اصلاحی تأثیر معنی‌داری بر پایداری خاکدانه‌های خاک داشت و باعث افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر خشک شده و در نهایت می‌تواند تأثیر زیادی بر کاهش تخریب خاکدانه‌ها داشته باشد (۲۹). غلامی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که کاربرد پلیمر پلی‌وینیل‌استات علاوه بر افزایش مقاومت خاک سطحی، در حفاظت خاک و مهار فرسایش آبی مؤثر است (۳۰).

- مقایسه تأثیر افزودنی بتنویت بر پایداری خاکدانه‌ها بعد از آتش‌سوزی در کاربری‌ها: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در کاربری جنگل، افزودنی بتنویت در سطوح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد بر قطر خاکدانه‌های خاک براساس سری الک‌های استفاده شده در خاک آتش‌سوزی شده، دارای اثرات مثبتی بود. به‌طوری‌که در سطح ۱۵ درصد توانست تأثیرات بیش‌تری بر دامنه قطری کم‌تر از ۱۲۵ میکرومتر داشته باشد. در حالی‌که در سطح ۳۰ درصد تأثیرات آن در بعد از آتش‌سوزی نسبت به قبل از آتش‌سوزی تنها بر دامنه قطری ۱۲۵ میکرومتر بیش‌تر بود. در کاربری حاضر افزودنی بتنویت در سطح ۴۵ درصد در تمامی دامنه‌ها (به‌جز بیش‌تر از ۵۰۰ و کم‌تر از ۳۸ میکرومتر) تأثیرات بیش‌تری را در بعد از آتش‌سوزی نسبت به قبل از آتش‌سوزی داشت و این سطح نسبت به دو سطح دیگر نتایج بهتری در پایداری خاکدانه‌های خاک نشان داد. در کاربری کشاورزی نتایج نشان داد که بعد از کاربرد افزودنی بتنویت با سطوح ۱۵ (به‌جز کم‌تر از ۳۸ میکرومتر) و ۴۵ درصد، میانگین قطر خاکدانه‌های خاک نسبت به خاک شاهد آتش‌سوزی شده در تمامی الک‌های مورد افزایش داشت. اما نتوانست تأثیرات مثبتی را در بعد از آتش‌سوزی در سطح ۳۰ درصد

نسبت به قبل از آتش‌سوزی داشته باشد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از کاربری کشاورزی مشخص گردید که در دامنه‌های قطر بیش‌تر، افزودنی بنتونیت با سطح ۴۵ درصد نتایج بهتری را نسبت به دو سطح دیگر داشته است. هم‌چنین نتایج در کاربری مرتع برای هر سه سطح نشان داد که میانگین قطر خاکدانه‌ها در ذرات ریزتر برای دامنه قطری ۵۳، ۳۸ و کم‌تر از ۳۸ میکرومتر (برای سطح ۱۵ درصد)؛ ۳۸ و کم‌تر از آن (برای سطح ۳۰ درصد)؛ ۱۲۵ میکرومتر و کم‌تر از آن (برای سطح ۴۵ درصد) افزایش داشت. بنابراین می‌توان بیان نمود که در کاربری مرتع، بعد از آتش‌سوزی، افزودنی بنتونیت توانست تأثیرات بیش‌تری را بر ذرات ریزتر خاک داشته باشد. گودرزی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی بیان داشتند که آتش‌سوزی بر میزان افزایش رس خاک تأثیر مثبتی دارد (۳۱). در زمینه تأثیر آتش بر پایداری خاکدانه‌ها صادقی و خالیدی درویشان (۲۰۲۲) بیان داشتند که پایداری خاکدانه با افزایش شدت تیمار آتش به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (۱۴). در حالی‌که ماتایکس-سولرا و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی نشان دادند که آتش‌سوزی با شدت کم تغییرات زیادی در پایداری خاکدانه‌ها ایجاد نمی‌کند. در مقابل، آتش‌سوزی‌های با شدت بالا می‌توانند تغییرات مهمی را در این ویژگی ایجاد کنند، اما بسته به نوع خاک و کاربری تأثیرات متفاوتی دارند (۳۲). آگبشی و همکاران (۲۰۲۲) بعد از آتش‌سوزی با شدت کم از اثر خاکستر آن روی سطح خاک استفاده کردند و بیان داشتند که بعد از کاربرد خاکستر این افزودنی باعث تغییراتی در شیمی خاک از جمله افزایش مواد مغذی موجود و pH آن می‌شود. در حالی‌که آتش‌سوزی با شدت بالا منجر به اثرات منفی شدید بر خاک‌های کاربری جنگل می‌شود و پایداری خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد و آتش‌سوزی‌ها با شدت بالا منجر به از بین رفتن مواد مغذی، شکست

پایداری خاکدانه‌ها، افزایش چگالی ظاهری خاک، افزایش آب‌گریزی و کاهش نفوذ همراه با افزایش فرسایش خاک می‌شود و در نهایت موجودات زنده خاک را از بین می‌برد (۳۳). در کل نتایج کاربرد افزودنی بنتونیت نشان داد که سطح ۴۵ درصد نسبت به سایر سطوح افزودنی استفاده شده در پژوهش حاضر تأثیرات بیش‌تری را بر تغییرات خاکدانه‌های خاک داشته است.

– مقایسه اثر کاربری‌های مورد مطالعه بر پایداری خاکدانه‌های خاک قبل و بعد از آتش‌سوزی: نتایج میانگین قطر خاکدانه‌های خاک و درصد تغییرات آن بر اساس الک‌های ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۱۰۰، ۵۳ و ۳۸ میکرومتر در کاربری‌های جنگل، مرتع و کشاورزی نشان داد که پایداری خاکدانه‌های خاک برای کاربری جنگل در سطوح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد در خاک آتش‌سوزی و آتش‌سوزی نشده نسبت به کاربری‌های کشاورزی و مرتع در تمامی دامنه‌های قطری الک‌ها بیش‌تر بود. اما این کاربری‌ها در قبل و بعد از آتش‌سوزی تأثیرات متفاوتی را بر دامنه‌های قطری خاکدانه‌های خاک داشتند. تائو (۲۰۲۱) بیان داشتند که آتش‌سوزی‌های کم‌شدت تأثیر چندانی بر تغییرات خاک‌های جنگلی ندارند و حتی اگر اثرات نامطلوبی داشته باشند، در آینده نزدیک به‌دلیل وجود مواد آلی خاک بازسازی خواهند داشت. اما آتش‌سوزی‌های با شدت بالا تأثیر نامطلوبی بر ماهیت خاک می‌گذارد که به نوبه خود باعث ایجاد تخریب خاک تحت‌تأثیر متقابل عوامل مختلف می‌شود (۳۴). شریفی و آزادی (۲۰۲۰) نشان دادند که تغییر کاربری و آتش‌سوزی (به‌ویژه نوع شدید آن) سبب تخریب چشم‌گیر خاکدانه‌های درشت خاک و افزایش خاکدانه‌های ریز می‌گردد (۳۵). هم‌چنین اکبری و واعظی (۲۰۱۵) تفاوت معنی‌دار بین خاک‌های مختلف از نظر میزان تخریب خاکدانه‌ها در اثر فرسایش بارانی وجود دارد،

که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر تأثیر متفاوت آتش‌سوزی در کاربری‌های مورد بررسی هم‌خوانی دارد. هم‌چنین ایشان بیان داشتند که تخریب خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد بررسی رابطه معنی‌دار با میانگین هندسی قطر ذرات معدنی، سنگریزه و ماده آلی داشت (۳۶). ورما و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که تأثیر آتش‌سوزی بر خاک جنگلی به عواملی از جمله شدت آتش‌سوزی، بار سوخت و رطوبت خاک بستگی دارد. در آتش‌سوزی با شدت کم، احتراق بستر و مواد آلی خاک باعث افزایش مواد مغذی در دسترس گیاه می‌شود که منجر به رشد سریع گیاهان علفی و افزایش قابل‌توجه ذخیره سازی عناصر غذایی گیاه می‌شود (۳۷). مختاری و همکاران (۲۰۱۳) در طول نیم قرن بررسی بیان کردند که تخریب جنگل و کشت مداوم دیم باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در همه کلاس‌های شیب شده است. بیش‌ترین درصد خاکدانه‌های درشت و خاکدانه‌های متوسط در شیب صفر تا ۱۰ درصد اراضی جنگلی با بیش‌ترین ذخیره ماده آلی مشاهده شد. ایشان بیش‌ترین درصد خاکدانه‌های درشت در جنگل و بیش‌ترین درصد خاکدانه‌های ریز در اراضی کشاورزی دیم و جنگل تخریب شده مشاهده کردند (۳۸).

- نتایج آزمون GLM در کاربری‌های مختلف و افزودنی بنتونیت قبل و بعد از آتش‌سوزی: نتایج آزمون GLM تأثیر کاربری‌ها بر پایداری خاکدانه‌های خاک نشان‌داد که متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{90} ، D_{90}/D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ ، D_{70}/D_{20} ، $D_{70}-D_{20}$ ، چولگی و کشیدگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. نتایج آزمون GLM نشان داد که فرایند آتش‌سوزی توانست اثر معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد بر متغیرهای D_{90} ، D_{90}/D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ ، چولگی و کشیدگی داشته باشد در حالی که اثر آن بر متغیر $D_{70}-D_{20}$ در

سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج آزمون GLM افزودنی بنتونیت بر پایداری خاکدانه‌های خاک نشان‌داد که متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{90} ، D_{90}/D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ ، $D_{70}-D_{20}$ و چولگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. متغیرهای D_{70}/D_{20} و کشیدگی معنی‌دار نبود. نتایج آزمون GLM بر اثر متقابل کاربری‌ها و آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه‌های خاک نشان‌داد که متغیرهای D_{90} ، D_{90}/D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ و کشیدگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار، و بر سایر پارامترها لثر معنی‌دار نداشت. نتایج آزمون GLM بر اثر متقابل کاربری‌ها و افزودنی بنتونیت بر پایداری خاکدانه‌های خاک نشان‌داد که متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{90} ، D_{90}/D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ ، $D_{70}-D_{20}$ و چولگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار، چولگی و کشیدگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار ولی اثر آن‌ها بر متغیر D_{70}/D_{20} معنی‌دار نبود. نتایج آزمون GLM بر اثر متقابل آتش‌سوزی و افزودنی بنتونیت بر پایداری خاکدانه‌های خاک نشان‌داد که متغیرهای D_{10} ، D_{90}/D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ و چولگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. در بررسی نتایج آزمون Duncan افزودنی بنتونیت مورد بررسی بر پایداری خاکدانه‌های خاک مشخص شد D_{10} و D_{90} سطح‌های ۱۵، ۳۰ و شاهد در زیرگروه اول قرار گرفتند که نتایج مشابه داشتند و سطح ۴۵ درصد افزودنی بنتونیت در زیرگروه دوم قرار گرفت. متغیرهای D_{50} و چولگی، شاهد و سطح ۱۵ درصد بنتونیت در زیرگروه اول و سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد بنتونیت در زیرگروه دوم و سطح ۴۵ درصد افزودنی در زیرگروه سوم قرار گرفت. برای متغیرهای چولگی و کشیدگی، شاهد و سطح ۱۵ درصد در زیرگروه اول و دو سطح دیگر افزودنی در زیرگروه دوم قرار گرفتند. در حالی که برای متغیر کشیدگی همگی مقادیر در یک زیرگروه قرار داشتند (شکل ۳).

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر به بررسی اثر افزودنی بنتونیت سه سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد، قبل و بعد از آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه‌های خاک در کاربری‌های جنگل، کشاورزی و مرتع در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از شبیه‌ساز باران تحت شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت انجام شد. نتایج نشان داد که افزودنی بنتونیت می‌تواند به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و با ایجاد چسبندگی در سطح خاک، در برابر قطرات باران به‌عنوان محافظ عمل کرده و فرسایش خاک را کاهش دهد. بنتونیت به‌دلیل ویژگی‌های از جمله، شکل‌پذیری، چسبندگی و جذب آب می‌تواند در مهار فرسایش خاک موثر باشد. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان بیان نمود که استفاده از رس بنتونیت در مدیریت و کاهش فرسایش و ایجاد تصمیمات اجرایی بهره‌گرفت، هر چند جمع‌بندی نهایی منوط به انجام پژوهش‌های گسترده‌تر در عرصه‌های طبیعی است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بابت تامین هزینه‌های این پژوهش در قالب گرنت دانشجویی، نویسنده اول مقاله، کمال تشکر را دارند.

داده‌ها و اطلاعات

این پژوهش براساس داده‌ها و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول نگارش شده است. آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها در

آزمایشگاه‌های شبیه‌ساز باران و حفاظت خاک گروه مهندسی آب‌خیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: اندازه‌گیری‌های آزمایش‌ها و آنالیز داده‌ها، تحلیل داده‌ها و نگارش پیش‌نویس مقاله
نویسنده دوم: طرح تحقیق، نظارت بر اندازه‌گیری آزمایش‌ها و نگارش پژوهش، اصلاح و بازبینی نهایی مقاله
نویسنده سوم: مشارکت در آنالیزها و روش‌شناسی پژوهش

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان است.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب گرنت اختصاص یافته به پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول است.

منابع

1. Vaezi, A. R., Rahmati, S., & Bayat, H. (2018). Evaluating the susceptibility of aggregate sizes to interrill erosion based on aggregate stability indices. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(2), 169-185. [In Persian]
2. Haghjoo, Z., Gholami, L., Kavian, A., & Mosavi, S. R. (2019). Changes study of soil splash and stability of soil aggregates using polyvinyl acetate. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 13 (47), 52-62. [In Persian]
3. 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, 93-102.
4. Mohammadian Khorasani, S., Homae, M., & Pazira, E. (2015). Evaluating soil aggregate stability using classical methods and fractal models. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(3), 39-51. [In Persian]
5. Kinnell, P. I. A., & Yu, B. (2020). CLIGEN as a weather generator for predicting rainfall erosion using USLE based modelling systems. *Catena*, 194, 104745.
6. 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]
7. DeBano, L. F. (1981). Water repellent soils: a state-of-the-art. General technical report PSW-46, forest service, US Department of Agriculture, Washington, DC, 21 p.
8. 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.
9. Barthes, B. G., Kouoa, E., Larre-Larrouy, M. C., Razafimbelo, T. M., de Luca, E., Azontonde, A., Neves, C.S., de Freitas, P. L., & Feller, C. L. (2008). Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, 143, 14-25.
10. Bronick, C. J., & 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, 239-252.
11. Skaggs, T. H., Arya, L. M., Shouse, P. J., & Mohanty, B. P. (2001). Estimating particle size distribution from limited soil texture data. *Soil Science Society American Journal*, 65, 1038-1044.
12. Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution, in: *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Klute, A., Ed. pp. 425-442.
13. Samie, F., Yaghmaeian Mahabadi, 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]
14. Sadeghi, P. S., & Khaledi Darvishan, A. (2020). Effect of fire treatment on aggregate stability and splash components in laboratory condition. *Watershed Engineering and Management*, 15(22023), 185-200.
15. Gholami, L., Kavian, A., Kiani-Harchegani, M., Karimi, N., & Serrano Bernardo, F. (2024). Investigating the zeolite performance in soil and water conservation after prescribed fires in degraded rangelands. *Trees, Forests and People*, 16, 100576.
16. Abedi Kopaie, J., & Sohrab, F. (2004). The effect of zeolite and bentonite minerals on the hydraulic properties of soils. *Crystallography and mineralogy conference of Iran*. 12, 562-567. [In Persian]

17. Amani Dashtaki, E., Ghasemi, A. R., Nouri, M. R., & Motaghian, H. R. (2021). Effect of vermiculite, bentonite and zeolite on evaporation and soil characteristic moisture curve. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (2), 83-101. [In Persian]
18. 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*. [In Persian]
19. Gholami, L., Karimi, N., & Kavina, A. (2019). Soil and water conservation using biochar and various soil moisture in laboratory conditions. *Catena*, 104151.
20. Gholami, L., Banasik, K., Sadeghi, S. H. R., Khaledi Darvishan, A. V., & Hejduk, L. (2014). Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. *Journal of Water and Land Development*, 22 (VII-IX), 51-60.
21. Karimi, N., Gholami, L., & Kavian, A. (2019). Protective role of biochar in different soil moisture for prevent soil loss in laboratory conditions. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 23 (3), 223-235. [In Persian]
22. Ayoubi, A., Feizi, Z., Mosaddeghi, M. R., & Besaltpour, A. A. (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]
23. Kavian, A., Mohammadi, M., Cerdà, A., Fallah, M., & Gholami, L. (2019). Design, manufacture and calibration of the SARI portable rainfall simulator for field and laboratory experiments. *Hydrological Sciences Journal*, 1581364.
24. 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]
25. Gholami, L., Khaledi Darvishan, A., Artemi, V., Cerdà, A., Kavian, A. (2021). Effect of storm pattern on soil erosion in damaged rangeland; field rainfall simulation approach. *Journal of Mountain Science*, 18(3), 706-715.
26. 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]
27. Bouslihim, Y., Rochdi, A., & Paaza, N. E. A. (2021). Machine learning approaches for the prediction of soil aggregate stability. *Heliyon*, 7(3), e06480.
28. 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.
29. Moradi, N., Emami, H., Astaraei, A. R., Fotovat, A., & Ghahraman, B. (2017). The effect of nanoparticles of Aluminum oxide and Silicon oxide on soil structural stability indices. *Water and Soil Conservation*, 23(5), 253-265. [In Persian]
30. Gholami, L., Haghjoo, Z., & Kavian, A. (2017). Effect of polyvinyle acetate polymer on soil surface resistance variations. *Watershed Research*, 31(4), 84-93. [In Persian]
31. Godarzi, M., Azimi, M. S., & Banj Shafiei, Sh. (2015). Investigating the fire effects on the physical and chemical characteristics of rangeland soil. *Journal of Rangeland*, 2(1), 53-64. [In Persian]
32. Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., & Zavala, L. M. (2021). Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*, 109(1-2), 44-60.

33. Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., & Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, 33(5), 1419-1441.
34. Tao, T. (2021). The correlation between fire and boreal forest soil degradation: a review of the effects of forest fire on soil properties. Faculty of Natural Resources Management Lakehead University.
35. Sharifi, Z., & Azadi, N. (2020). Comparative study of the effects of wildfire and land use change on soil organic carbon decomposition rate in aggregate size fraction in the Northern Zagros Oak Forest. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(4), 167-184. [In Persian]
36. Akbari, S., & Vaezi, A. R. (2015). Investigating aggregates stability against raindrops impact in some soils of a semi-arid region, North West of Zanzan. *Water and Soil Science*, 25(2), 65-77. [In Persian]
37. Verma, S., & Jayakumar, S. (2012). Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2(3), 168.
38. Mokhtari, P., Ayoubi, Sh., & Mosaddeghi, M. R. (2013). Aggregate structure and soil organic carbon pools in aggregate size fractions as affected by slope gradient and land use change in hilly regions, Western Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(2): 193-202. [In Persian]