

Effect of fire treatment on aggregate stability and splash components in laboratory condition

Padideh Sadat Sadeghi¹ and Abdulvahed Khaledi Darvishan^{2*}

¹ Msc, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

² Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 28 July 2021

Accepted: 22 January 2022

Extended abstract

Introduction

Fire, as one of the important and common occurrences in all forest and rangeland ecosystems, in addition to affecting the physical characteristics of the soil, generally causes the soil to become hydrophobic and thus reduce water permeability. The set of these changes can affect the stability of soil aggregates and splash erosion as the first stage of soil erosion. Therefore, investigating the effect of fire on soil erosion can lead to a better understanding of post-fire processes in ecosystems. Accordingly, the present study was planned with the aim of investigating the effect of fire on soil aggregates stability and splash erosion components in laboratory conditions on the rangeland soil in Kajur watershed located in the north of Iran.

Materials and methods

The corresponding experiments were done in three control plots and 12 plots covered with dry residues of rangeland species with four densities (250, 500, 750 and 1000 g m⁻²) based on the mass of plant residue per unit area and consequently with four different fire intensities in three replications. Then, splash cups were placed on the soil surface and rainfall with an intensity of 60 mm h⁻¹ and a duration of 30 minutes was simulated, and the splash erosion components including upward, downward, total and net splash were measured. The soil aggregate stability was also investigated by comparing the mean weighted diameter of the soil aggregates before and after the rainfall simulation in all plots.

Results and discussion

The results showed that the effect of fire treatment on reducing total and net splash variables and increasing soil aggregate stability was significant at 95% and 99% confidence levels, respectively. With the increase in the intensity of the fire treatment, in general, the trend of changes in soil aggregate stability and splash components was increasing and decreasing, respectively. The fire treatment with an intensity of 250 g m⁻² of the dry residues of the rangeland species reduced total and net splash by 35 and 44%, respectively, while the treatment of fire with the intensities of 500, 750 and 1000 g m⁻² of the dry residues of the rangeland species reduced total and net splash more than 95%. Although the soil aggregate stability increased significantly with increasing the intensity of the fire treatment, the reduction of the total and net splash in the fire treatments with an amount of >500 g m⁻² of the dry residues of the rangeland species was no longer significant. The significant participation of small particles of the soil surface without aggregation in the splash changed the intensity of the effect of fire treatment. The percentage of reduction of total and net splash due to the fire treatment with different intensities was not the same, which shows that the splash in the upstream and downstream directions did not decrease in the same proportion. The soil aggregate diameter from the control treatment to fire treatments with low to high intensities had a decreasing trend, generally.

Conclusions

According to the results of the present research and the importance and recognition of the effect of fire on soil stability, the effect of fire treatment on soil stability should be done in soils with different textures and organic matter contents, especially considering the fire treatment with lower and higher intensities

* Corresponding author: a.khaledi@modares.ac.ir

and shorter and longer durations. It is suggested that the use of suitable tools to measure soil surface temperature during fire treatments should also be considered in future studies.

Keywords: Aggregate Diameter, Fire Management, Hydrophobicity, Rain Erosion, Soil Conservation.

Cite this article: Sadeghi, P.S., Khaledi Darvishan, A., 2023. Effect of fire treatment on aggregate stability and splash components in laboratory condition. *Watershed Engineering and Management* 15 (2), 185–200.

© 2023, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



اثر تیمار آتش بر پایداری خاکدانه و مولفه‌های پاشمان در شرایط آزمایشگاهی

پدیده‌السادات صادقی^۱ و عبدالواحد خالدی درویشان^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
^۲ دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶

چکیده مبسوط

مقدمه

آتش، به‌عنوان یکی از رخداد‌های مهم و رایج در کلیه بوم‌سازگان‌های جنگلی و مرتعی، علاوه بر تاثیر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، عموماً باعث ایجاد حالت آب‌گریزی در خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری آب می‌شود. مجموعه این تغییرات، می‌تواند بر پایداری خاکدانه و فرسایش پاشمانی به‌عنوان اولین مرحله از فرسایش خاک اثرگذار باشد. لذا، بررسی اثر آتش بر فرسایش پاشمانی می‌تواند منجر به شناخت بیشتر فرایندهای بعد از آتش‌سوزی در بوم‌سازگان‌ها شود. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر آتش بر پایداری خاکدانه و مولفه‌های فرسایش پاشمانی در شرایط آزمایشگاهی بر روی خاک مراتع حوزه آبخیز کجور واقع در شمال کشور انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها 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 متر مربع) بر اساس جرم باقی‌مانده گیاهی بر واحد سطح و طبعاً با چهار شدت آتش‌سوزی متفاوت، در سه تکرار انجام شد. سپس، فنجان‌های پاشمان روی سطح خاک قرار داده شده و بارندگی با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت و مدت ۳۰ دقیقه، شبیه‌سازی و مولفه‌های فرسایش پاشمانی شامل پاشمان بالادست، پایین‌دست، کل و خالص اندازه‌گیری شد. پایداری خاکدانه نیز از طریق مقایسه میانگین وزنی قطر خاکدانه قبل و بعد از شبیه‌سازی باران در همه کرت‌ها بررسی شد.

نتایج و بحث

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 به‌طور کلی روند تغییرات پایداری خاکدانه و مولفه‌های پاشمان به‌ترتیب افزایشی و کاهش‌ی بود. تیمار آتش‌سوزی بقایای خشک گونه‌های مرتعی با شدت ۲۵۰ گرم در متر مربع، متغیرهای پاشمان کل و خالص را به‌ترتیب ۳۵ و ۴۴ درصد کاهش داد، در حالی که تیمار آتش‌سوزی با شدت‌های ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ گرم در متر مربع متغیرهای پاشمان کل و خالص را به میزان بیش از ۹۵ درصد کاهش داد. اگرچه پایداری خاکدانه با افزایش شدت تیمار آتش به‌طور معنی‌دار افزایش یافت، اما کاهش پاشمان کل و خالص در تیمارهای آتش با مقدار بیشتر از ۵۰۰ گرم بقایای خشک گیاهان مرتعی در متر مربع معنی‌دار نبود. شدت اثر تیمار آتش تحت تاثیر مشارکت قابل توجه ذرات ریز و بدون خاکدانه سطح خاک تغییر کرد. درصد کاهش متغیرهای پاشمان

کل و خالص در اثر تیمار آتش‌سوزی با شدت‌های مختلف یکسان نبود که نشان می‌دهد پاشمان در جهت‌های بالادست و پایین‌دست به یک نسبت کاهش نیافته است. روند کلی تغییرات قطر خاکدانه از تیمار شاهد تا تیمارهای مختلف آتش‌سوزی از شدت کم تا زیاد، کاهش بود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر و اهمیت و شناخت تاثیر آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه، پیشنهاد می‌شود که شدت اثر تیمار آتش در پایداری خاکدانه در خاک‌های با بافت‌های مختلف و محتوای ماده آلی متفاوت و همچنین، با در نظر گرفتن شدت‌ها و مدت‌های کمتر و بیشتر تیمار آتش روی سطح خاک، مد نظر قرار داده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود که استفاده از ابزارهای مناسب برای سنجش دما در سطح خاک در حین تیمارهای آتش در پژوهش‌های آتی انجام شود.

واژه‌های کلیدی: آب‌گریزی، حفاظت خاک، فرسایش بارانی، قطر خاکدانه، مدیریت آتش

مقدمه

به‌دلیل بیشتر بودن ماده آلی در لایه سطحی خاک، پایداری خاکدانه‌ها در این لایه به‌صورت معنی‌داری بیشتر از لایه زیرسطحی است (Karimi et al., 2008). برای جلوگیری از فرسایش آبی لازم است که با انتخاب روشی مناسب، سرعت نفوذ آب به خاک را افزایش داد تا رواناب سطحی کمتری ایجاد شود. به این منظور، باید از تخریب عوامل ساختمانی خاک سطحی جلوگیری شود. در آزمایشی نشان داده شده است که اگر سطح خاک با توری فلزی پوشیده شود، رواناب سطحی و فرسایش آبی در هکتار کاهش می‌یابد. اندام هوایی گیاهان نیز تاثیر مشابهی داشته و انرژی قطرات باران را مستهلک می‌کند. پوشش سطح خاک، انرژی قطرات باران را گرفته و مانع برخورد مستقیم این قطرات به ذرات خاک و در نتیجه مانع فروپاشی آن‌ها می‌شود. علاوه بر این، پوششی که با سطح خاک تماس دارد، سرعت رواناب سطحی را کاهش داده و قدرت جداسازی و جابه‌جایی ذرات را کم می‌کند. (Karimi et al., 2008). با مطالعه شاخص‌های فرسایش‌پذیری در برابر آب، بهترین شاخص را پایداری خاکدانه‌ها در آب معرفی کردند. اگر پایداری خاکدانه‌ها در لایه سطحی به‌صورت معنی‌داری از لایه زیرسطحی بیشتر باشد، با فرسایش لایه سطحی، خطر فرسایش دو چندان می‌شود (Karimi et al., 2008; Liu and Li, 2020).

با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در کنترل فرسایش خاک، افزایش قطر ذرات در سطح خاک و

پایداری خاکدانه‌ها، توانایی و مقاومت پیوندهای آن‌ها در مقابل تنش‌های ناشی از فرایندهای پخشیدگی مانند شخم، فرایندهای انقباض و انبساط ذرات خاک و انرژی جنبشی قطرات باران است که خود تابعی از نیروهای جاذبه و دافعه ناشی از فعل و انفعالات بین مولکولی و الکترواستاتیک بین محلول و ذرات خاک است. پایداری خاکدانه در واقع، توانایی خاک در حفظ شکست ساختمانی خود در طول زمان در مقابل نیروهای خارجی از جمله تنش حاصل از بارندگی و رواناب است. حفظ و نگهداری پایداری بالا در خاکدانه‌ها، برای حفظ قدرت تولید خاک، کاهش تخریب و فرسایش خاک ضروری است (Vazirian and Asgari; 2018; Chaplot, 2015). همچنین، رابطه‌ای معنی‌دار و معکوس بین پایداری خاکدانه و امکان و شدت تشکیل اندوده سطحی مشاهده شده است (Peyvasteh et al., 2010).

هر خاکی که از نظر شاخص پایداری خاکدانه در حد بالاتری باشد، نسبت به فرایند فرسایش مقاوم‌تر بوده و ضریب فرسایش‌پذیری آن کمتر است. البته پایداری خاکدانه به نوبه خود به بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک مانند بافت خاک، ماده آلی، درصد سدیم تبادلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و سایر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک مرتبط است (Rouhipour et al., 2019; Stanchi et al., 2015).

و در نتیجه نفوذ آب به خاک کاهش یافته است (Karimi et al., 2008; Noor Shah et al., 2017). همچنین، آتش‌سوزی منجر به تغییر مولفه‌های هیدرولوژی و در نتیجه میزان فرسایش و رسوب حوزه‌های آبخیز خواهد شد و این تغییرات تا احیا مجدد پوشش گیاهی منطقه ادامه خواهد داشت (Ebrahimi et al., 2016).

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های موثر در تخریب خاک در مقابل باران، پایداری خاکدانه‌ها است (Akbari and Vaezi, 2015). پایداری خاکدانه، بیانگر توانایی آن در حفظ اندازه اولیه در برابر نیروهای خارجی است (Mahmoodabadi et al., 2016). میزان تخریب خاکدانه‌ها، به میزان نیروی جداسازی خاکدانه‌ها به وسیله قطرات باران و مقاومت خاک بستگی دارد که میزان مقاومت خاکدانه‌های یک خاک به رطوبت اولیه، میزان ماده آلی خاک و بافت آن بستگی دارد.

مرور نتایج پژوهش‌ها بر روی اثر آتش‌سوزی در خاکدانه‌سازی توسط Mataix-Solera و همکاران (2011) انجام شد و در آن به پیچیدگی عوامل موثر بر ایجاد و پایداری خاکدانه به‌ویژه تحت تاثیر آتش‌سوزی اشاره شده است. عواملی از قبیل محتوای ماده آلی خاک، ویژگی‌های زیستی، ترکیب کانی‌شناسی، آب‌گریزی و حتی بافت خاک در پایداری خاکدانه تاثیر دارند. بررسی اثر آتش بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک نیز توسط تعدادی از پژوهشگران از جمله، Khalilpour و Jalilvand (2018) و Sadeghifar و همکاران (2017) انجام شده است که نتایج آن‌ها نشان داد که آتش‌سوزی، به‌ویژه زمانی که از شدت و تکرار کافی برخوردار باشد، قادر است محتوای ماده آلی خاک را کاهش دهد و در این صورت، اثر آتش‌سوزی بر کاهش پایداری خاکدانه و افزایش مولفه‌های پاشمان خاک، اجتناب‌ناپذیر است.

پایداری خاکدانه تحت تاثیر ویژگی‌هایی مانند مقدار رس، مواد آلی، کربنات کلسیم و اکسیدهای آهن و آلومینیوم نیز قرار می‌گیرد (Rousta و همکاران، 2011). نسبت خاکدانه‌های پایدار در آب و همچنین، فراوانی آن‌ها ممکن است تابعی از نوع خاک و نوع کانی رس، افزایش و یا کاهش پیدا کند (Mahmoodabadi و Ahmadbeygi، 2011). ذرات

خاکدانه‌ای شدن آن‌ها می‌تواند یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت و جابه‌جایی آن‌ها با عوامل فرسایش باشد. استفاده از مالچ‌های نفتی در کنترل فرسایش و تثبیت خاک (Kermanpour et al., 2015) و به‌خصوص در سال‌های اخیر، استفاده از مواد پلیمری مصنوعی، به‌منظور افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها و تثبیت خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های بارز پلیمرها این است که با ایجاد شبکه در سطح خاک همانند پلی بین ذرات خاک عمل کرده و باعث اتصال ذرات به یکدیگر شده و خاکدانه‌های درشت‌تری را ایجاد می‌نماید که در واقع باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (Jeevanandam et al., 2018).

با توجه به نتایج برخی محققان، از پلیمرهای اکریلیک محلول در آب با غلظت مناسب، می‌توان به منظور افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش بادی استفاده نمود. همچنین، بررسی‌ها نشان داده است که افزودن مقادیر کم پلی‌اکریل آمید آنیونی به آب آبیاری و کاربرد آن بر خاک شور، رواناب و میزان فرسایش آبی را می‌تواند تا حد مناسبی کنترل نماید و با افزایش اندازه خاکدانه، پایداری خاکدانه کاهش پیدا می‌کند (Mahmoodabadi et al., 2016). از طرفی، (Akbari and Vaezi (2015) نشان دادند که در خاک تفاوت معنی‌داری بین پایداری خاکدانه‌ها در اندازه‌های مختلف وجود ندارد. (Rouhipour et al., 2019). با بررسی خاک‌های آهکی منطقه نیمه‌خشک در شمال غرب ایران دریافتند که عامل فرسایش‌پذیری خاک، همبستگی معنی‌داری با پایداری خاکدانه‌ها در روش الک تر دارد.

(Armin et al., 2016) با بررسی رابطه بین پایداری خاکدانه و فرسایش و رواناب به این نتیجه رسیدند که اگرچه رابطه‌ای معنی‌دار بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و میزان فرسایش و رواناب دیده نشد، اما رابطه بین تعداد قطرات در آزمون قطره و میزان فرسایش و رواناب، معنی‌دار بود. نتایج پژوهش‌هایی نیز وجود دارد که در خاک‌های درشت بافت (شنی، شن لومی و لومی شن) با ماده آلی ناچیز، به-علت پایداری کم خاکدانه‌ها در آب و متلاشی شدن آن‌ها طی آبیاری‌های متوالی، منافذ خاک مسدود شده

نتایج پژوهش‌های Etmiran و همکاران (2012)، نشان داد که سرعت مرطوب شدن خاک و بافت خاک بر روند تغییرات پایداری خاکدانه موثر است و سرعت مرطوب شدن اثری بر فرونشست خاکدانه‌ها در خاک‌های با ظرفیت رس پایین ندارد. بنابراین، افزایش درصد رس، رابطه معنی‌داری با پایداری خاکدانه دارد. خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک، نتیجه برهم‌کنش عوامل زیادی مانند عوامل محیطی، مدیریت، گیاه، ویژگی‌های ذاتی خاک، فرایندهای زیستی و غیرزیستی است (Mahmoodzadeh و همکاران، 2012).

Pajand و همکاران (2016)، بیان کردند که رابطه معنی‌داری بین پایداری خاکدانه‌ها و مواد آلی در طول شیب وجود دارد. Mahmoodabadi و Ahmadbeygi (2011)، نشان دادند که در اراضی شامل زمین‌های تحت کشت، بدون پوشش، علفزار، بوته‌زار و جنگل، سهم خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر، کاهش و خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر، افزایش می‌یابد. همچنین، اضافه کردن مواد آلی به خاک، پایداری خاکدانه را افزایش می‌دهد. مواد آلی فواید زیادی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند. از این رو، هر کاهشی در میزان مواد آلی خاک می‌تواند، صدماتی را در حاصلخیزی، ناپایداری ساختمان خاک و همچنین، کاهش پتانسیل تولید خاک داشته باشد.

محصور شدن ماده آلی در خاکدانه‌ها، مانع از تجزیه سریع آن‌ها شده که این یکی از معیارهای اصولی در پایداری ساختمان خاک است. کانی‌های رسی قادرند مولکول‌های بزرگ آلی را جذب نمایند که این امر باعث حفاظت فیزیکی خاکدانه‌ها شده و قابلیت دسترسی آن‌ها را برای تجزیه کاهش می‌دهد (Fageria و Sheidai Karkaj، 2017؛ همکاران، 2010). پژوهشی توسط Kelishadi و همکاران (2018)، بر روی خاک‌های سطحی استان اصفهان و چهارمحل و بختیاری انجام شد که نتایج آن‌ها نشان داد، پایداری ساختمان در خاک‌های مورد مطالعه کم بوده و میزان فرسایش پاشمانی در این خاک‌ها زیاد است. همچنین، میزان پاشمان، به‌طور عمده به توزیع اندازه ذرات خاک وابسته است و

خاک از نوع رس، زمانی پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد که میزان سدیم در خاک پایین باشد، چراکه حضور سدیم زیاد اثر منفی بر پایداری خاکدانه دارد (Karimi و همکاران، 2008). در پژوهشی Ramos و همکاران (2003)، اثر ضربه قطرات باران و ارتباط آن با پایداری خاکدانه را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، خاک‌هایی که دارای میزان سیلت بالاتری هستند، پایداری کمتری در برابر قطرات باران نشان دادند. Jordan و همکاران (2011)، رابطه معنی‌داری بین پایداری خاکدانه با میزان ماده آلی، تحت باران شبیه‌سازی شده را به‌دست آوردند.

Vaezi و Akbari (2015)، در پژوهشی در چهار نمونه خاک تحت چهار شدت بارندگی و پنج شیب متفاوت، نشان دادند که با افزایش درصد خاکدانه‌های پایدار، تخریب خاکدانه‌ها با استفاده قطرات باران کاهش و مقاومت خاک نسبت به فرسایش افزایش یافت. Peyvasteh و همکاران (2010)، اثر پایداری خاکدانه بر فرسایش ناشی از بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای را در ۱۸ نمونه خاک بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پایداری خاکدانه رابطه معنی‌داری با شدت فرسایش و تغییرات آن دارد. همچنین، میزان سیلت، درصد سدیم تبادلی و میزان ماده آلی از جمله ویژگی‌های مهم و اثرگذار خاک بر شدت فرسایش بوده‌اند. همچنین، اندازه و پایداری خاکدانه‌ها می‌تواند به‌عنوان شاخصی از تغییرات کیفیت خاک ناشی از مدیریت‌های متفاوت در شرایط مشخص محسوب شود (Mahmoodabadi و Ahmadbeygi، 2011؛ Almajmaie و همکاران، 2017).

همچنین، پژوهش‌ها نشان داده است که ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از آتش‌سوزی نیز تغییر می‌کنند و به‌عنوان مثال، pH خاک، نترات، فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم قابل جذب در خاک سوخته، نسبت به خاک‌های مجاور بیشتر است، اما تفاوت معنی‌داری بین نیتروژن و یا آمونیوم کل خاک مشاهده نمی‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت آتش باعث تغییر ساختمان خاک شده و میزان خلل و فرج و نفوذپذیری خاک را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (Rhoades و همکاران، 2011).

اساس شرایط دامنه مورد بررسی نشان می‌دهد. مراتع منطقه مورد مطالعه، از نوع مرتع تیپ سه (پوشش گیاهی ۲۶ تا ۵۰ درصد و گیاهان از تیره‌های مختلف یک‌ساله و چندساله) بود. گونه‌هایی که برای آتش‌سوزی به آزمایشگاه منتقل شدند نیز شامل گیاهان یک یا چندساله از تیره‌های مختلف و به‌ویژه گیاه درمنه (*Artemisia sp.*)، بود. این گیاه بوته‌ای بسیار معطر با ارتفاع ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر، دارای انشعابات متعدد و متراکم و به شکل کپه‌ای و تنها روش تکثیر آن، بذر است. در درمنه دشتی، تمام اندام‌های هوایی گیاه اعم از ساقه، برگ، گل، میوه و بذر دارای عطری بسیار تند و نافذ هستند. این گیاه در خطوط هم‌باران بیش از ۱۰۰ میلی‌متر، به راحتی استقرار می‌یابد و به‌ویژه در خاک‌های لومی، شنی و لومی رسی رویشگاه‌های وسیعی را ایجاد می‌نماید. این گیاه، اگرچه در فصل بهار و تابستان به واسطه عطر بسیار تند آن، مورد چرای گوسفندان قرار نمی‌گیرد، اما در فصل پاییز و زمستان، زمانی که گیاه حاوی بذر است، به‌وسیله گوسفندان چرا می‌شود. درمنه دشتی، علاوه بر مصرف‌های علوفه‌ای (در مراتع قشلاقی)، بوته‌ای بسیار مقاوم در مقابل فرسایش است و نقش ارزنده‌ای را در حفاظت خاک بر عهده دارد. در طی دهه اخیر، مراتع قشلاقی با این گیاه بذرکاری می‌شوند.

پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر بیشتر به ماده آلی خاک حساس است. نتایج پژوهش Sadeghifar و همکاران (2017) نیز نشان داد که کربن آلی و نیتروژن خاک حتی تا ۱۰ سال پس از آتش‌سوزی نیز نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار کمتر است. همچنین، جرم مخصوص ظاهری به‌دلیل کاهش محتوای ماده آلی خاک، تا سه سال بعد از آتش‌سوزی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار دارد. اما درصد اجزای تشکیل دهنده بافت خاک پس از آتش‌سوزی با تیمار شاهد هیچ تفاوت معنی‌داری ندارد.

جمع‌بندی پژوهش‌های انجام شده نشان داد که اثر تیمار آتش بر تغییرات پایداری خاکدانه و فرسایش پاشمانی، وابسته به شدت و تکرار تیمار آتش بوده است و لذا، پژوهشگران به نتایج بسیار متفاوتی دست یافته‌اند (Mataix-Solera و همکاران، 2011). لذا، در این پژوهش نیز به بررسی اثر یک واقعه آتش بر پایداری خاکدانه و مولفه‌های فرسایش پاشمانی در شرایط آزمایشگاهی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مادری خاک: خاک مورد استفاده، از منطقه کدیر از توابع کجور در نوشهر استان مازندران تهیه شده است که دارای بافت لوم شنی بوده و تحت کاربری مرتع است. مطالعه گونه‌های گیاهی غالب منطقه مورد مطالعه با استفاده Mohammadpour و همکاران (2011)، انجام شده است و جدول ۱، بخشی از نتایج پژوهش آن‌ها را پس از اصلاح و تکمیل، بر

جدول ۱- گونه‌های گیاهی غالب در منطقه مادری خاک

Table 1. Dominant plant species in the native soil area

Row	Family	species	Persian name	Palatable class
1	Leguminosae	<i>Astragalus spp.</i>	گون	3
2	Compositae	<i>Artemisia sp.</i>	درمنه	3
3	Gramineae	<i>Dactylis glomerata</i>	علف باغی	1
4	Gramineae	<i>Bromus dantonina</i>	چمن پیازی	2
5	Labiatae	<i>Phlomis persica</i>	گوش بره	3
6	Fabaceae	<i>Onobrychis sp.</i>	اسپرس	2
7	Leguminosae	<i>Medicago sativa</i>	یونجه معمولی	1
8	Leguminosae	<i>Vicia narbonesis</i>	ماشک	1
9	Caryophyllaceae	<i>Petrophagia saxifraga</i>	-	3

آبخیز کجور و به‌علت وجود و امکان استفاده از نتایج مطالعات قبلی برای تکمیل و تحلیل نتایج، انجام شد.

انتقال خاک از منطقه مادری و آماده‌سازی در آزمایشگاه: پژوهش حاضر، بر روی خاک مراتع حوزه

و رواناب (Luk, 1985)، از روش غلطک زدن خاک تا رسیدن به جرم مخصوص ظاهری خاک در منطقه مادری (حدود ۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب)، استفاده شد.

طراحی و ساخت فنجان‌های پاشمان: فنجان پاشمان مورد استفاده در این پژوهش، با در نظر گرفتن طرح (Morgan, 1978 و 1981) و تغییر عرض دهانه بزرگ از ۳۰ به ۲۷ سانتی متر ساخته شد (Khaledi Darvishan و همکاران، 2014). قطر دهانه بخش فنجان پاشمان مشابه با طرح Morgan طراحی و برابر با ۱۰ سانتی متر لحاظ شد. در فنجان پاشمان مورد استفاده، دو صفحه عمودی در طرفین دهانه اصلی فنجان و در راستای عمود بر شیب سطح خاک، به گونه‌ای قرار می‌گیرد که بتوان حجم ذرات پاشمان شده در جهت‌های بالادست و پایین دست را از هم تفکیک نمود که مقدار پاشمان کل و خالص، در این فنجان پاشمان به ترتیب از حاصل جمع و تفاضل پاشمان بالادست و پایین دست محاسبه شد (Morgan, 1981).

به عبارت دیگر، به مجموع پاشمان در هر دو جهت بالادست و پایین دست، پاشمان کل گفته می‌شود. در حالی که تفاضل پاشمان در جهت بالادست از پاشمان در جهت پایین دست را پاشمان خالص می‌نامند. به این معنی که بخشی از خاکی است که در اثر پاشمان به سمت پایین دامنه حرکت کرده است (Khaledi Darvishan و همکاران، 2014).

تعیین شدت و مدت بارندگی: شدت ثابت ۶۰ میلی متر بر ساعت با مدت حداکثر ۳۰ دقیقه، با استناد به منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی ایستگاه سینوپتیک کجور برای انجام پژوهش حاضر در نظر گرفته شد. همچنین، شیب دامنه‌هایی که خاک از آن‌ها انتقال داده شد، حدود ۳۰ درصد بوده و برای سطح خاک در فنجان‌های پاشمان در آزمایشگاه نیز لحاظ شد (Khaledi Darvishan و همکاران، 2014).

اعمال تیمار آتش‌سوزی: بعد از آماده‌سازی خاک و قرارگیری آن در داخل فنجان‌های پاشمان، تیمار آتش‌سوزی روی خاک اعمال شد. برای این منظور، مقادیر حدود ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ گرم بقایای گونه‌های مرتعی هوا خشک، در هر متر مربع (معادل با

خاک مورد بررسی، با مشخصات مشخص، از لایه ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک (Kukul و Sarkar, 2010) برداشت و به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس انتقال داده شد. شکل ۱، نمایی از نحوه برداشت خاک از لایه ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک مراتع منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.



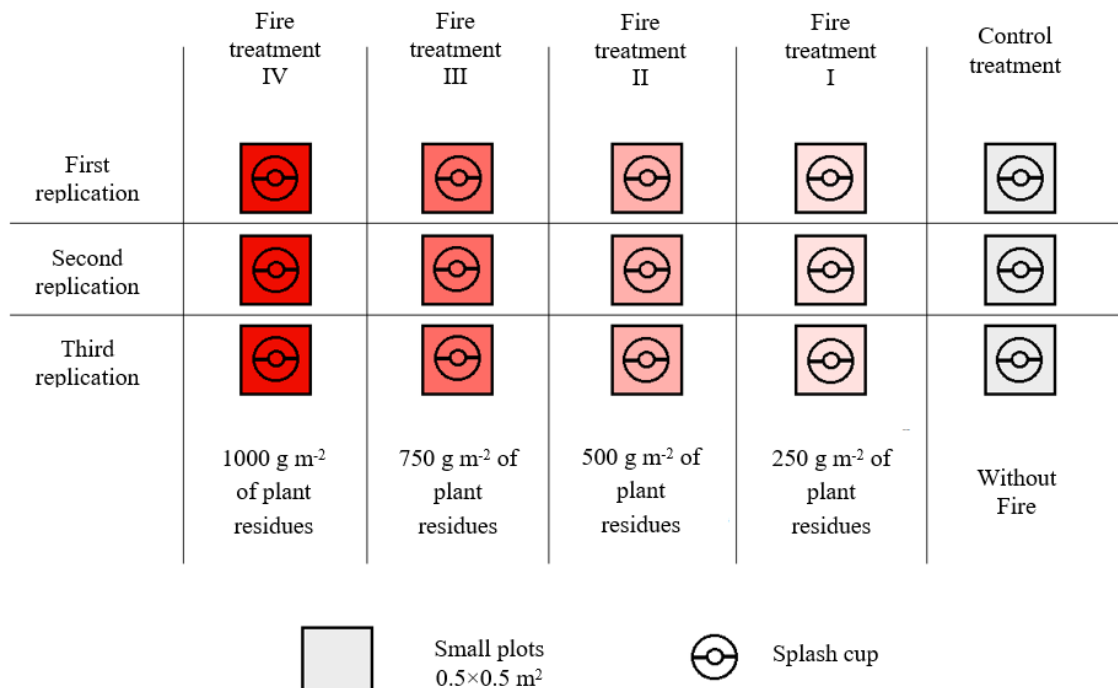
شکل ۱- نمایی از نحوه برداشت خاک از لایه ۲۰ سانتی‌متری سطح مراتع منطقه مادری خاک

Fig 1. A view of soil harvesting from the 20 cm layer of the rangelands

پس از آن که حجم مناسبی از خاک مراتع اطراف روستای کجور به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس انتقال داده شد، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پایه خاک شامل بافت به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (Zarrin Kafsh, 2003)، محتوای ماده آلی به روش والکی بلک (Walkley و Black, 1934) و pH و هدایت الکتریکی به ترتیب با استفاده از pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند. سپس، به منظور آماده‌سازی خاک برای انتقال به کرت‌ها از روش Kukul و Sarkar (2010)، شامل هوا خشک کردن خاک تا حد رطوبت بهینه (Fox و Bryan, 2007)، استفاده از الک هشت میلی‌متری به دلیل حفظ ساختار خاکدانه‌ها (Defersha و همکاران، 2011) و حذف بقایای گیاهی و سنگریزه‌ها (Bradford و Agassi, 1999) و رعایت لایه‌بندی مناسب، استفاده شد. پس از انتقال خاک به داخل کرت‌ها، با توجه به اهمیت و اثر جرم مخصوص ظاهری در مقاومت سطحی خاک در برابر قطرات باران

در شکل ۲، نشان داده شده است.

مقادیر حدودی ۶۲، ۱۲۵، ۱۸۷ و ۲۵۰ گرم روی سطح خاک کرت‌های ۰/۵×۰/۵ متر مربعی) ریخته و سپس، آتش‌سوزی در چهار شدت مختلف اعمال شد. طرح تیمارهای شاهد و آتش‌سوزی و تکرارهای هر یک در کرت‌های ۰/۵×۰/۵ متر مربعی مورد استفاده در پژوهش،



شکل ۲- تیمارهای شاهد و آتش‌سوزی و تکرارهای آن‌ها در کرت‌های ۰/۵×۰/۵ متر مربعی مد نظر

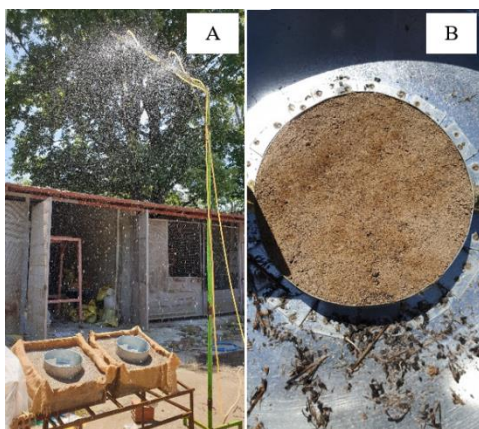
Fig 2. Design of control and fire treatments in the 0.5×0.5 m² plots

شد. ذرات خاک پاشمان یافته در داخل فنجان‌های پاشمان، به تفکیک در هر دو جهت بالادست و پایین‌دست به کمک شستشو با آب مقطر به داخل ظرف‌های دیگری با نشانه‌گذاری مشخصات کامل تیمار، تخلیه و در نهایت، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شد.

دلیل استفاده از بقایای گیاهان مرتعی منطقه مادری خاک مورد استفاده، امکان تعمیم و استفاده از نتایج برای منطقه مادری خاک است. لازم به ذکر است، در تعداد سه تکرار از فنجان‌های پاشمان، هیچ‌گونه آتش‌سوزی اعمال نشد تا به‌عنوان تیمار شاهد در مقایسه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع تعداد ۱۵ فنجان پاشمان در این پژوهش، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، پس از انجام محاسبات، مقدار دو، چهار، شش و هشت گرم برای هر فنجان از گیاهان مرتعی خشک شده، مورد استفاده قرار گرفت. نمایی از شبیه‌ساز باران مورد استفاده در پژوهش و اعمال تیمار آتش روی سطح خاک در فنجان پاشمان در شکل ۳، ارائه شده است.

اندازه‌گیری مولفه‌های پاشمان پس از اعمال

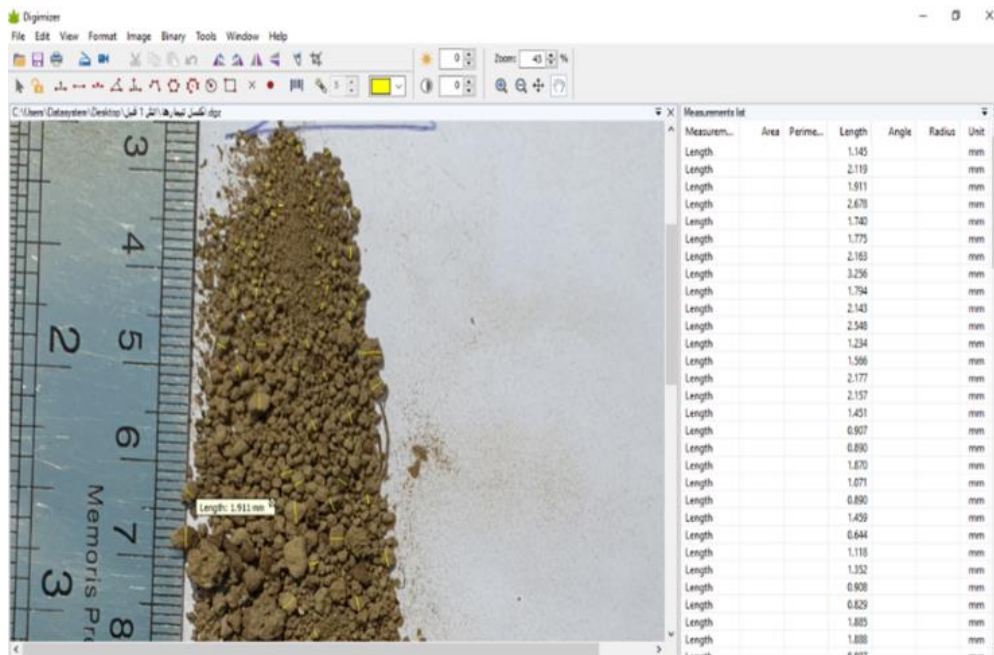
تیمار آتش‌سوزی: پس از اعمال تیمار آتش‌سوزی، مولفه‌های پاشمان شامل پاشمان در جهت بالادست و پایین‌دست، پاشمان کل و پاشمان خالص اندازه‌گیری



اندازه‌گیری شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های سطح خاک: بعد از اعمال آتش بر سطح خاک، از یکی از کرت‌های شاهد و کرت‌ها در هر یک از تیمارهای مختلف آتش‌سوزی، عکس‌برداری و با استفاده از روش پردازش تصویر در نرم‌افزار Digimizer (Chenari و Mottaghian, 2020)، قطر تعداد ۱۰۰ خاکدانه خاک اندازه‌گیری شد و سپس، میانگین وزنی قطر خاکدانه محاسبه شد. به‌منظور، بررسی تغییرات قطر خاکدانه‌ها در اثر بارندگی، از خاک آماده‌سازی شده نهایی قبل از اجرای تیمارها نیز عکس‌برداری انجام و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های سطح خاک محاسبه شد. شکل ۴، نمایی از محیط نرم‌افزار Digimizer و تعریف تعداد پیکسل در طول مشخصی از عکس (به‌عنوان مثال، یک میلی‌متر)، برای اندازه‌گیری قطر خاکدانه‌ها را نشان می‌دهد.

شکل ۳- نمایی از شبیه‌ساز باران مورد استفاده در پژوهش (A) و نمایی از سطح خاک پس از تیمار آتش (B)
Fig 3. A view of the rainfall simulator used in the research (A), and a view of the soil surface after fire treatment (B)

پس از طی مدت زمان مذکور، مقدار آب اضافی نمونه‌ها تا حد امکان با استفاده از روش تخلیه، حذف و باقی‌مانده آب و رسوب تغلیظ شده به داخل ظروف نازک آلومینیومی با وزن مشخص تخلیه و به آون منتقل شد. در این روش، دما و زمان خشک کردن نمونه‌ها به ترتیب ۱۰۵ درجه سلسیوس و ۲۴ ساعت در نظر گرفته می‌شود (Saeidi و Sadeghi, 2010). در نهایت، اختلاف وزن نمونه‌های خشک با وزن ظرف‌های فلزی، به‌عنوان وزن پاشمان در جهت‌های بالادست و پایین‌دست و مجموع مقدار پاشمان در دو جهت بالادست و پایین‌دست نیز به‌عنوان پاشمان کل در نظر گرفته شد.



شکل ۴- نمایی از محیط نرم‌افزار Digimizer و تعریف مقیاس عکس برای اندازه‌گیری قطر خاکدانه‌ها
Fig 4. A view of the Digimizer software and the definition of the scale for measuring the soil aggregates diameter

ماده آلی، pH و هدایت الکتریکی، در جدول ۲، نشان داده شده است.

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت، جرم مخصوص ظاهری، محتوای

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

Table 2. Physico-chemical properties of the study soil

Soil characteristics	Value (Unit)	Soil characteristics	Value (Unit)
Texture	Sandy loam	Silt	16 %

pH	7.31	Sand	68 %
EC	126 ds.m-1	Carbon	72 %
pb	1.4 g.m-3	Organic Matter	1.24 %
Clay	16 %		

آتش‌سوزی در جدول ۴، آورده شده است. همچنین، نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های سطح خاک در جدول ۵، ارائه شده است.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مولفه‌های پاشمان در تیمارهای مورد بررسی، در جدول ۳، و درصد کاهش هر یک از مولفه‌های پاشمان کل و خالص در اثر تیمار

جدول ۳- نتایج اندازه‌گیری مولفه‌های پاشمان در تیمارهای مورد بررسی

Table 3. The results of measuring splash components in the studied treatments

Treatment	Repetition	Total splash (g)	Net Splash (g)
Control	1	4.03	3.58
	2	2.20	1.40
	3	5.81	4.11
	Average (g)	4.01	3.03
	Standard deviation (g)	1.80	1.44
Fire treatment (250 g m ⁻² of dry plant residue)	1	2.31	1.42
	2	5.21	3.68
	3	0.26	0.05
	Average (g)	2.59	1.71
	Standard deviation (g)	2.48	1.48
Fire treatment (500 g m ⁻² of dry plant residue)	1	0.15	0.06
	2	0.14	0.08
	3	0.13	0.10
	Average (g)	0.14	0.08
	Standard deviation (g)	0.008	0.01
Fire treatment (750 g m ⁻² of dry plant residue)	1	0.15	0.13
	2	0.33	0.11
	3	0.12	0.06
	Average (g)	0.20	0.10
	Standard deviation (g)	0.09	0.03
Fire treatment (1000 g m ⁻² of dry plant residue)	1	0.04	0.02
	2	0.20	0.16
	3	0.09	0.03
	Average (g)	0.11	0.07
	Standard deviation (g)	0.07	0.06

جدول ۴- درصد کاهش هر یک از مولفه‌های پاشمان کل و خالص در اثر تیمار آتش‌سوزی

Table 4. The percentage reduction of the total and net splash components due to fire treatment

Study component	Fire treatment	Fire treatment	Fire treatment	Fire treatment
	I	II	III	IV
Toral splash (g)	-35.41	-96.50	-95.01	-97.25
Net Splash (g)	-43.56	-97.35	-96.69	-97.68

جدول ۵- نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های سطح خاک

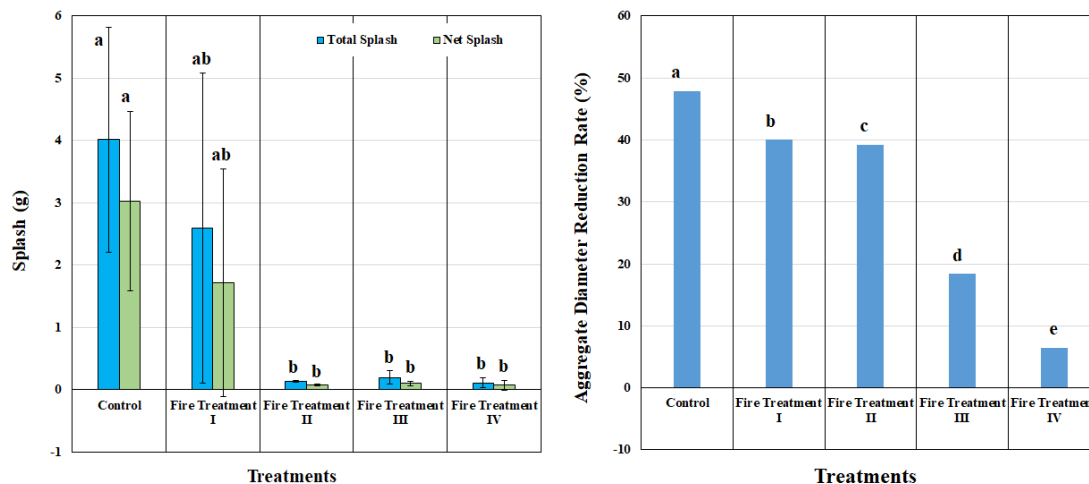
Table 5. The results of measuring the mean weighted diameter of soil aggregates on the soil surface

Treatments	Mean weighted diameter of the soil aggregates (mm)		Reducing the diameter of the soil aggregate (%)
	Before rainfall	After rainfall	
Control	1.42	0.74	47.89
Fire treatment (250 g m ⁻² of dry plant residue)	1.15	0.69	40.00
Fire treatment (500 g m ⁻² of dry plant residue)	1.30	0.79	39.23
Fire treatment (750 g m ⁻² of dry plant residue)	0.98	0.80	18.37

Fire treatment (1000 g m ⁻² of dry plant residue)	0.94	0.88	6.38
--	------	------	------

مولفه‌های پاشمان، در تیمارهای مورد مطالعه در شکل ۵، نشان داده شده است.

ارتباط روند تغییرات درصد کاهش قطر خاکدانه ناشی از برخورد قطرات بارندگی و روند تغییرات



شکل ۵- تغییرات مقدار کاهش قطر خاکدانه (درصد) و مقادیر پاشمان کل و خالص (گرم) تحت تاثیر تیمار آتش‌سوزی
Fig 5. Changes in the reduction rate of soil aggregate diameter (%) and the total and net splash erosion (g) under the effect of fire treatment

خاکدانه به‌طور نسبی بالاست و هم این‌که تحت تاثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرد. در یکی از پژوهش‌های قبلی نیز بیشترین پایداری ساختمان خاک در سازند ژوراسیک دیده شده و مهمترین عامل خاکی موثر در پایداری خاکدانه در دو سازند ژوراسیک و لسی درصد کربنات کلسیم خاک و در سازند آبرفتی، درصد آهن خاک است (Etminan و همکاران، 2012؛ Fox و Bryan، 2007).

نتایج این پژوهش، با برخی پژوهش‌های پیشین کاملا در تناقض است. به‌عنوان نمونه، برخی پژوهشگران تخریب بقایای پوشش گیاهی در اثر آتش‌سوزی را عامل کاهش پایداری خاکدانه‌ها دانسته‌اند که نقش مهمی در افزایش شکل‌های میکروتوپوگرافی فرسایش در مقیاس های کرت و حوزه آبخیز دارد (Akbarzadeh و همکاران، 2017؛ Scott و همکاران، 2009). تفاوت در ویژگی‌های خاک و دامنه و مدت آتش، عامل اصلی اختلاف نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های قبلی است. برخی با بررسی اثر ویژگی‌های خاک بر فرایند تخریب خاکدانه‌ها نشان داده‌اند که تخریب خاکدانه‌ها رابطه معنی‌دار با میانگین هندسی قطر ذرات خاکدانه،

نتایج جدول‌های ۳ تا ۵ نشان می‌دهد که روند کاهش قطر خاکدانه ناشی از برخورد قطرات بارندگی با افزایش شدت آتش‌سوزی کاهشی است که نشان‌دهنده افزایش پایداری خاکدانه در اثر آتش‌سوزی است. به عبارت دیگر، با افزایش شدت آتش‌سوزی، تخریب و کاهش قطر خاکدانه در اثر برخورد قطرات باران کمتر بوده و می‌توان گفت که خاکدانه پایدارتر بوده و قطر آن در طول بارندگی کمتر کاهش یافته است. لذا، آتش‌سوزی در شرایط پژوهش حاضر، موجب پایداری خاکدانه شده است (جدول ۵). همان‌طور که مقدمه بیان شد، پژوهشگران پیشین در این زمینه، نتایج متفاوت و بعضا معکوسی به‌دست آورده‌اند که ناشی از تفاوت در شدت و مدت آتش‌سوزی‌ها در مرتبه اول، و تفاوت در ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در مرتبه دوم است (Mataix-Solera و همکاران، 2011).

به‌عنوان نمونه، در سوابق پژوهش اشاره شد که بافت خاک سبک‌تر دارای پایداری خاکدانه کمتر است و کمتر تحت تاثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرد. در حالی که خاک منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، لومی-شنی است و لذا، می‌توان استنباط نمود که هم پایداری

تغییر در مقدار رس و ماده آلی خاک و همچنین، تفاوت در ویژگی‌های آتش‌سوزی در شرایط طبیعی و یا آزمایشگاهی موجب اختلاف در نتایج پژوهشگران شده است. به‌عنوان نمونه، نتایج برخی از پژوهشگران نشان داده است که پایداری خاکدانه در لایه سطحی خاک سوخته، نسبت به خاک شاهد کاهش می‌یابد. در این پژوهش‌ها میزان اندازه‌گیری شده ماده آلی در بخش‌هایی که تحت تاثیر آتش‌سوزی بوده‌اند، به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است که می‌توان علت آن را در بقایای گیاهی حاصل از پوشش گیاهی در شرایط غیر آتش‌سوزی بیان نمود (Vazirian و Asgari، 2017). البته این اثر با احیای مجدد پوشش گیاهی به‌تدریج از بین خواهد رفت. در پژوهش حاضر که در شرایط آزمایشگاهی انجام شد، مدت زمان آتش‌سوزی در حدی نبوده است که اختلاف معنی‌داری در محتوای ماده آلی ایجاد کند و لذا، اثر افزایشی آن در پایداری خاکدانه احتمالاً تنها به‌دلیل کاهش رطوبت و در نتیجه به هم چسبیدن ذرات ریز رس و سیلت در خاکدانه بوده است. آتش‌سوزی‌های شدید، با سوزاندن بخشی از محتوای ماده آلی خاک، موجب تغییر در جرم مخصوص ظاهری خاک شده و تخلخل را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند. در همین راستا، Certini (2005) نیز بر کاهش مقدار تخلخل، کاهش نفوذ آب به خاک، افزایش رواناب و در نهایت، افزایش فرسایش خاک در اثر آتش‌سوزی تاکید کرده است. تغییر در ماهیت ماده آلی در اثر آتش‌سوزی به احتمال بسیار، یک عامل مهم در ایجاد ویژگی آب‌گریزی در خاک‌های سوخته است که در کنار کاهش پایداری خاکدانه در اثر سوختن مواد آلی، باعث کاهش نفوذ آب در خاک می‌شود (Certini، 2005).

نکته بسیار قابل توجه دیگر این است که خاکدانه‌های درشت، همواره پایدار نیستند و بر مبنای اندازه خاکدانه‌ها نمی‌توان به‌طور دقیق مفهوم پایداری را توصیف نمود. بنابراین، در پژوهش حاضر نیز میزان تغییرات یا درصد کاهش قطر خاکدانه، به‌عنوان شاخص پایداری در نظر گرفته شد. علاوه بر این، اثر زمان، شدت و تکرار وقایع آتش‌سوزی در این نتایج نباید نادیده گرفته شود. به عبارت دیگر، اگر زمان و شدت آتش‌سوزی و یا تکرار در آتش‌سوزی‌ها در سطح خاک

سنگریزه و ماده آلی دارد. اما نکته مهم این است که برای مشاهده تاثیر منفی آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه و پاشمان خاک، لازم است شدت و مدت آتش به اندازه‌ای باشد که بر محتوای ماده آلی خاک تاثیر بگذارد (Mataix-Solera و همکاران، 2011). از دیگر ویژگی‌هایی از خاک که در تغییر پایداری خاکدانه‌ها در برابر قطره آب موثر هستند، می‌توان به وجود یا عدم وجود سنگریزه درون خاکدانه‌ها اشاره نمود. وجود سنگریزه درون ساختار خاکدانه، حساسیت آن در برابر تخریب به‌وسیله قطرات باران را افزایش می‌دهد (Akbari و Vaezi، 2015؛ Liu و Liu، 2020).

نتایج Mokhtari و همکاران (2013) نیز نشان داد، بین محتوای ماده آلی خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه، رابطه خطی مستقیم وجود دارد. لذا، پایداری خاکدانه برای ایجاد خاکدانه‌های بزرگ‌تر، وابسته به حضور ماده آلی در خاک است. بنابراین، اگر آتش‌سوزی به‌دلایلی از جمله شدت و یا مدت کم نتواند محتوای ماده آلی خاک را کاهش دهد، پیش‌بینی اثر آن بر پایداری خاکدانه مشکل است. چنانچه در پژوهش حاضر نیز آتش اعمال شده در سطح خاک حتی در مقادیر زیاد (۱۰۰۰ گرم گیاه خشک در هر متر مربع) قادر به کاهش محتوای ماده آلی خاک در ساختمان خاکدانه‌ها نبوده و لذا، تحت تاثیر کاهش رطوبت بین ذرات و البته ایجاد و تقویت آب‌گریزی، پایداری خاکدانه افزایش یافته است. نتایج بررسی پایداری و همچنین، مقادیر پاشمان کل و پاشمان خالص در شدت‌های مختلف بارندگی نیز این تحلیل را تایید کرد.

در ایجاد خاکدانه‌های بزرگ‌تر نه تنها ماده آلی، بلکه مقدار رس موجود در خاک هم، موثر است. در بسیاری از پژوهش‌های قبلی، میزان اندازه‌گیری شده ماده آلی در منطقه تحت اثر آتش‌سوزی نسبت به منطقه شاهد از اختلاف معنی‌داری برخوردار بوده است که می‌توان علت آن را در بقایای گیاهی حاصل از پوشش گیاهی بیان نمود. وجود ماده آلی در خاک سبب افزایش تخلخل و در نتیجه، کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود که این امر در نگهداشت آب و نفوذپذیری بیشتر و خاکدانه‌سازی نقش مهمی را ایفا می‌کند (Vazirian و Asgari، 2017؛ Reichert و همکاران، 2009).

بنابراین، می‌توان به نوعی به اثر متقابل بین شیب یا زبری سطح خاک و آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه‌ها اشاره نمود که می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، نتایج نشان داد که کاهش نسبی قطر خاکدانه، به دلیل برخورد قطرات باران در تیمارهای تحت آتش‌سوزی نسبت به تیمار شاهد با افزایش شدت آتش‌سوزی‌ها (به‌ویژه ۷۵۰ و ۱۰۰۰ گرم بر متر مربع)، کاهش می‌یابد که تاییدی بر افزایش پایداری خاکدانه در اثر آتش است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر و اهمیت و شناخت تاثیر آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه، پیشنهاد می‌شود که شدت اثر تیمار آتش در پایداری خاکدانه در خاک‌های با بافت‌های مختلف و محتوای ماده آلی متفاوت و همچنین، با در نظر گرفتن شدت‌های کمتر و بیشتر آتش‌سوزی به‌ویژه از نظر مدت زمان ماندگاری تیمار آتش روی سطح خاک و استفاده از ابزارهای مناسب برای سنجش دما در سطح خاک در حین آتش‌سوزی، انجام شود. همچنین، به‌عنوان پیشنهاد اجرایی تأکید می‌شود که از آتش‌سوزی‌های کنترل نشده در اراضی کشاورزی و مراتع به‌دلیل اثرگذاری آتش بر کاهش ماده آلی لایه سطحی خاک جلوگیری شود.

به اندازه‌ای باشد که محتوای ماده آلی در سطح خاک را به‌طور معنی‌دار کاهش دهد، احتمالاً نتایج به سمت اثبات اثر منفی آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه تغییر خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج نشان داد که با افزایش شدت آتش‌سوزی از مقدار ۲۵۰ گرم تا ۱۰۰۰ گرم در متر مربع (دو تا هشت گرم در سطح فنجان پاشمان)، مقدار پاشمان کل و نیز پاشمان خالص کاهش می‌یابد. این کاهش در مولفه‌های پاشمان، نشان‌دهنده افزایش پایداری خاکدانه در اثر آتش‌سوزی است. دلیل این امر، وقوع تنها یک واقعه آتش با استفاده از مقدار خاصی از گیاهان خشک در سطح خاک بوده است و نتایج به وضوح نشان می‌دهد که آتش‌سوزی در یک واقعه با مدت کم، توانایی سوزاندن مواد آلی داخل ساختار خاکدانه‌ها را نداشته و تنها به سبب کاهش رطوبت، موجب افزایش نیروی چسبندگی بین ذرات پایه خاک شده و پایداری نسبی آن‌ها را در برابر برخورد قطرات باران افزایش داده است. البته درصد کاهش متغیرهای پاشمان کل و خالص در اثر تیمار آتش‌سوزی با شدت‌های مختلف، یکسان نیست.

این موضوع نشان می‌دهد که پاشمان در جهت‌های بالادست و پایین‌دست به یک نسبت کاهش نیافته‌اند.

منابع مورد استفاده

- Agassi, M. and J.M. Bradford. 1999. Methodologies for interrill soil erosion studies. *Soil and Tillage Research*, 49: 277-287.
- Akbari, S. and A. Vaezi. 2015. Investigating aggregates stability against raindrops impact in some soils of a semi-arid region, North West of Zanjan. *Water and Soil Science*, 25: 65-77 (in Persian).
- Akbarzadeh, A., Sh. Ghorbani-Dashtaki, M. Naderi-Khorasgani, J. Mohammadi and R. Taghizadeh Mehrjardi. 2017. Effect of fire on water repellency, amount and factors of soil erosion in forests of southwest coast of the Caspian Sea. *Iranian Journal of Forest*, 9: 145-157 (in Persian).
- Almajmaie, A., M. Hardie, T.L. Botwright Acuña and C. Birch. 2017. Evaluation of methods for determining soil aggregate stability. *Soil and Tillage Research*, 167: 39-45.
- Armin, M., H. Rouhipour, H. Ahmadi, A. Salajegheh, M.H. Mahdian and K.V. Ghorbannia. 2016. Relationship between aggregate stability and selected soil properties in Taleghan Watershed. *Journal of Range and Watershed Management*, 69: 275-295 (in Persian).
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143: 1-10.
- Chaplot, V. 2015. Soil carbon losses by sheet erosion: a potentially critical contribution to the global carbon cycle: soil carbon erosion by sheet erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40: 1803-1813.
- Chenari, H.M. and F. Mottaghian. 2020. Electrospun CuO/PVA fibers: effects of heat treatment on the structural, surface morphology, optical and magnetic properties. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 115: 105121.
- Defersha, M.B., S. Quraishi and A.M. Mellese. 2011. Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 2367-2375.

- Ebrahimi Mohammadi, Sh., M. Azari and E. Manoochehri. 2016. Effects of fire on soil properties, erosion and hydrologic regime of Zrebar Lake Watershed. *Journal of Water and Soil*, 30: 618-631 (in Persian).
- Etminan, S., F. Kiani, F. Khormali and H. Habashi. 2012. Effect of soil properties with different parent materials on aggregate stability: in Shastkola Watershed, Golestan Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 1: 39-60 (in Persian).
- Fageria, N.K., O.P. Morais and A.B. Santos. 2010. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 33: 1696-1711.
- Fox, D.M. and R.B. Bryan. 2007. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *Catena*, 38: 211-222.
- Jeevanandam, J., A. Barhoum, Y. Chan, A. Dufrense and M. Danquah. 2018. Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. *Journal of Nanotechnology*, 9: 1050-1074.
- Jordán, A. L.M. Zavala, J. Mataix-Solera, A.L. Nava and N. Alanís. 2011. Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *Catena*, 84: 136-147.
- Karimi, H., M. Soufi, G.H. Haghnia and R. Khorasani. 2008. Investigation of aggregate stability and soil erosion potential in some loamy and sandy clay loam soils: case study in Lamerd Watershed (south of Fars Province). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14: 1-9 (in Persian).
- Kelishadi, H., M.R. Mosaddeghi, Sh. Ayoubi and H. Asadi. 2018. Evaluation of different methods of soil structural stability determination for predicting splash erosion. *Journal of Agricultural Engineering*, 41: 1-15 (in Persian).
- Kermanpour, M., M.R. Mosaddeghi, M. Afyuni and M.A. Hajabassi. 2015. Effect of petroleum pollution on soil water repellency and structural stability in Bakhtiardasht Plain, Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*, 19: 139-149 (in Persian).
- Khaledi Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, M. Homaei and M. Arabkhedri. 2014. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. *Hydrological Processes*, 28: 4463-4471.
- Khalilpour, M. and H. Jalilvand. 2018. The fire impact on vegetation and physicochemical properties of soil in Ghalat Ganaveh area of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 6: 17-29 (in Persian).
- Kukul, S.S. and M. Sarkar. 2011. Laboratory simulation studies on splash erosion and crusting in relation to surface roughness. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 59: 87-93.
- Liu, J. and H. Liu. 2020. Soil erosion changes during the last 30 years and contributions of gully erosion to sediment yield in a small catchment, Southern China. *Geomorphology*, 368: 1-19.
- Luk, S.H. 1985. Effect of antecedent soil moisture and soil strength on rainwash erosion. *Catena*, 12: 129-139.
- Mahmoodabadi, M. and B. Ahmadbeygi. 2011. Effect of soil physical and chemical properties on aggregate stability in some cultivation systems. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 1: 61-79 (in Persian).
- Mahmoodabadi, M., M. Mirzaee and H. Naghavi. 2016. Aggregate size distribution indices influenced by different types/managements of plant residues under field conditions. *Environmental Erosion Research Journal*, 6: 52-70 (in Persian).
- Mahmoodzadeh, H., M. Sheklabadi and A.A. Mahboubi. 2012. Aggregate distribution and stability in different land uses of Zrebar Lake Margin. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19: 219-226 (in Persian).
- Mataix-Solera, J., A. Cerdà, V. Arcenegui, A. Jordán and L.M. Zavala. 2011. Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth-Science Reviews*, 109: 44-60.
- Mohammadpour, K., S. Sadeghi and G. Dianati Tilaki. 2011. Comparing infiltration and runoff values and microrelief in small plots. *Journal of Water and Soil*, 24: 1109-1118 (in Persian).
- Mokhtari, P., S. Ayoubi and M. Mosaddeghi. 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: 193-202 (in Persian).
- Morgan, R.P.C. 1978. Field studies of rainsplash erosion. *Earth Surface Processes*, 3: 295-299.
- Morgan, R.P.C. 1981. Field measurement of splash erosion. *Erosion and Sediment Transport Measurement. Proceedings of the Florence Symposium, International Association of Hydrological Sciences*, 133: 373-382.
- Noor Shah, A., M. Tanveer and B. Shahzad. 2017. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 1-13.
- Pajand, M.J., H. Emami and A. Astaraee. 2016. Relationship between Topography and some soil properties. *Journal of Water and Soil*. 29: 1699-1710 (in Persian).

- Peyvasteh, F., H. Asadi and M. Akef. 2010. Relationship between aggregate stability and surface sealing formation and its effect on soil erosion in the laboratory condition. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 4: 1-8 (in Persian).
- Ramos, M.C., S. Nacci and I. Pla. 2003. Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregation forces. *Catena*, 53: 365-376.
- Reichert, J.M., L. Suzuki, D. Reinert, R. Horn and I. Hakansson. 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil and Tillage Research*, 102: 242-254.
- Rhoades, C.C., D. Entwistle and D. Butler. 2011. The influence of wildfire extent and severity on streamwater chemistry, sediment and temperature following the Hayman Fire, Colorado. *International Journal of Wildland Fire*, 20: 430-442.
- Rouhipour, H., H. Farzaneh and H. Asadi. 2019. The effect of aggregate stability indices on soil erodibility factors using rainfall simulator. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 11: 235-254 (in Persian).
- Rousta, M.J., K. Enayati and A. Vakili. 2011. MWD of the aggregates in a saline-sodic soil as affected by mineral compounds and organic matter application in laboratory conditions. *Iranian Journal of Soil Research*, 24: 229-235 (in Persian).
- Sadeghi, S.H.R. and P. Saeidi. 2010. Reliability of sediment rating curves for a deciduous forest watershed in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 55: 821-831.
- Sadeghifar, M., A.A.A. Beheshti and M. Pourreza. 2017. The recovery of soil physical and chemical properties in years after fire in Zagros oak woodlands in Kermanshah Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24: 289-302 (in Persian).
- Scott, S.D., L.E. Hirschinger and K.R. Cox. 2009. The natural history of recovery for the healthcare provider 'Second Victim' after adverse patient events. *Quality and Safety in Health Care*, 18: 325-330.
- Sheidai Karkaj, E., A. Sepehry, H. Barani and J. Motamedi. 2017. Soil organic carbon reserve relationship with some soil properties in East Azerbaijan rangelands. *Journal of Rangeland*, 11: 125-138 (in Persian).
- Stanchi, S., G. Falsone and E. Bonifacio. 2015. Soil aggregation, erodibility, and erosion rates in mountain soils (NW Alps, Italy). *Solid Earth*, 6: 403-414.
- Vazirian, R. and H. Asgari. 2017. Evaluation of effects of density of atriplex cultivation on soil organic matter and particles, case study: Incheborun, Golestan Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 70: 1079-1087 (in Persian).
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Zarrin Kafsh, M. 2003. Applied pedology, evaluation and morphology and qualitative analyses of soil-water and plant. Tehran University Publication, 270 pages (in Persian).