Watershed Engineering and Management
DOI: 10.22092/IJWMSE.2023.362440.2023

Volume 16, Issue 2, 2024, Pages 201-223

Indicators of soil structure stability and soil permeability affected by soil management and protection operations in Rezin watershed of Kermanshah Province

Yahya Parvizi[1*], Zahra Gerami[2] and Mahmood Arabkhedri[3]

[1 and 3] Professor, Water and Soil Conservation Engineering Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

[2] Researcher, Water and Soil Conservation Engineering Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 29 March 2023 Accepted: 16 July 2023

Extended abstract

Introduction

The degradation of soil structure and reduced water infiltration into the soil are indicators of soil degradation, which lead to decreased stability and production quality, as well as environmental problems. Soil conservation methods are widely used to curb soil degradation processes and improve soil structure and permeability. The effectiveness of these methods in enhancing these indicators and controlling soil degradation requires further study and evaluation. This research aims to investigate the stability of soil structure and soil infiltration rate affected by various soil management and conservation operations, and to compare them in the Razin Watershed area of Kermanshah Province.

Materials and methods

For this purpose, eight common reclamation and conservation operations in the study area were selected and evaluated. These operations include pit-seeding and seeding, rangeland audit plan - conversion of dryfarming to rangeland, rangeland audit plan - conversion of dryfarming to forage cultivation, almond tree planting alongside digging holes, land leveling, seedling planting, conversion of dryfarming to rangeland, forage cultivation and orchard, and forest area. For evaluation, random systematic sampling points were selected within the area of each operation and their corresponding control area for study and sampling. After digging profiles and sampling the soil, the laboratory measured and calculated soil aggregate stability indices, including Mean Weight Diameter (MWD), Geometric Mean Diameter (GMD), and the proportion of stable aggregates larger than 0.25 mm (WSA>0.25). The final infiltration rate was also measured in the operation areas and their controls using a disc infiltrometer. Finally, a statistical comparison of the mean values of MWD, GMD, WSA>0.25, and final infiltration rate in soil conservation operations and their control areas was performed using the T-test for independent samples and the Duncan test for comparing the means of these indices in various operations using SPSS software.

Results and discussion

The evaluation results showed that the lowest MWD index was related to land leveling and sapling planting at 0.15 and 0.35 mm, respectively, while the highest values at 1.9, 1.8, and 1.6 mm were related to 20-year-old almond planting, 10-year-old almond planting, and forest areas, respectively. Additionally, the highest WSA>0.25 index values were found in fodder cultivation, orchard establishment, and 10-year-old almond planting operations, indicating the formation of large and stable aggregates due to conservation operations. Among the eight operations studied, the 20-year-old almond planting operation showed the greatest improvements in MWD and WSA>0.25 indices. The results for the final infiltration rate indicated that soil conservation operations, particularly converting low-yield rain-fed lands to sapling planting and changing

* Corresponding author: yparvizi1360@gmail.com

DOI: 10.22092/IJWMSE.2023.362440.2023

rangeland use to 10-year-old almond planting, led to the highest increases in final infiltration rate, at 21.8% and 16%, respectively, compared to the control.

Conclusion
Overall, soil conservation operations increased the relative share of larger soil aggregates. However, the soil infiltration rate index showed conflicting results, as factors other than the evaluated conservation operations also influenced water infiltration into the soil, necessitating further studies. Consequently, examining the role of management, especially land use management, is essential for sustainable soil resource utilization.

Keywords: Almond tree planting, Final infiltration rate, Land leveling, Soil aggregates, Soil degradation

Cite this article: Parvizi, Y., Gerami, Z., Arabkhedri, M., 2024. Indicators of soil structure stability and soil permeability affected by soil management and protection operations in Rezin watershed of Kermanshah Province. Watershed Engineering and Management 16(2), 201-223.

© 2024, 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 (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۶، شماره ۲، ۱۴۰۳، صفحات ۲۰۱-۲۲۳

Watershed Engineering and Management
Volume 16, Issue 2, 2024, Pages 201-223
DOI:10.22092/IJWMSE.2023.362440.2023

شاخص‌های پایداری ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک متاثر از عملیات مدیریت و حفاظت خاک در حوزه آبخیز رزین استان کرمانشاه

یحیی پرویزی[۱*]، زهرا گرامی[۲] و محمود عرب‌خدری[۳]

[۱] و [۳] استاد، گروه حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[۲] پژوهشگر، گروه حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

چکیده مبسوط

مقدمه

زوال ساختمان خاک و کاهش نفوذ آب به خاک از نشانه‌های تخریب خاک است که منجر به کاهش پایداری و کیفیت تولید و مشکلات زیست محیطی می‌شود. از روش‌های حفاظت خاک، به طور گسترده برای مهار فرایندهای تخریب خاک و بهبود ساختمان و نفوذپذیری خاک استفاده می‌شود که میزان اثربخشی این روش‌ها در بهبود این شاخص‌ها و کنترل تخریب خاک نیازمند مطالعه و ارزیابی بیشتر است. این پژوهش با هدف بررسی پایداری ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک متاثر از عملیات مختلف مدیریت و حفاظت خاک و مقایسه آنها در حوزه آبخیز رزین استان کرمانشاه انجام شده است.

مواد و روش‌ها

برای این منظور، هشت نوع عملیات احیایی و حفاظتی رایج اعمال شده در منطقه مورد مطالعه شامل قرق و مدیریت چرای دام، تبدیل دیمزارهای کم بازده به مرتع، کپه‌کاری و بذرکاری اراضی مرتعی، نهال‌کاری و تغییر کاربری اراضی منابع طبیعی به باغات دیم، اصلاح کاربری اراضی دیم‌زار کم‌بازده به مرتع یا کشت علوفه، نهال‌کاری در جنگل و احداث خطوط تنسیق به منظور ممانعت از خاکورزی در اراضی مرتعی و جنگلی انتخاب و ارزیابی شد. برای ارزیابی با استفاده از الگوی نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی نقاطی در محدوده هر یک از عملیات مورد ارزیابی و شاهد مربوطه برای مطالعه و نمونه‌برداری انتخاب و استفاده شد و پس از حفر پروفیل و نمونه‌برداری از خاک، در آزمایشگاه شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها شامل شاخص‌های میانگین وزنی قطر (MWD)، میانگین هندسی قطر (GMD) و شاخص نسبت خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر (WSA>0.25)، اندازه‌گیری و محاسبه شد. سرعت نفوذ نهایی نیز در عرصه عملیات و شاهد مربوطه با کمک دستگاه نفوذسنج صفحه‌ای، اندازه‌گیری شد. در نهایت، مقایسه آماری مقادیر میانگین شاخص‌های MWD، GMD، WSA>0.25 و سرعت نفوذ نهایی در عملیات حفاظت خاک و مناطق شاهد آنها به کمک آزمون T برای نمونه‌های مستقل و نیز مقایسه آماری میانگین شاخص‌های یاد شده در عملیات مختلف با آزمون دانکن به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد.

[*] مسئول مکاتبات: yparvizi1360@gmail.com

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی نشان داد که کمترین میزان شاخص MWD مربوط به تسطیح اراضی و نهال‌کاری به ترتیب به مقدار ۰/۱۵ و ۰/۳۵ میلی‌متر و بیشترین آن به میزان ۱/۹، ۱/۸ و ۱/۶ میلی‌متر به ترتیب مربوط به عملیات بادام‌کاری ۲۰ و ۱۰ ساله و منطقه جنگلی است. همچنین در عملیات علوفه‌کاری و احداث باغ و بادامکاری ۱۰ ساله، بیشترین مقدار شاخص WSA>0.25 بوده است که نشان از تشکیل خاکدانه‌های درشت و پایدار در اثر عملیات حفاظتی است. در بین هشت عملیات مورد بررسی، عملیات بادامکاری ۲۰ ساله بیشترین درصد تغییرات را با شاخص‌های MWD و WSA>0.25 در جهت افزایش و بهبود این شاخص‌ها داشته است. همچنین نتایج شاخص سرعت نفوذ نهایی نشان داد که در اثر انجام عملیات حفاظت خاک اصلاح کاربری دیمزار کم‌بازده به نهال‌کاری و تغییر کاربری مرتع به بادامکاری با سابقه ۱۰ ساله بیشترین افزایش در مقدار سرعت نفوذ نهایی، به ترتیب به میزان ۲۱/۸ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد، را نشان داده است.

نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان بیان کرد که تأثیر عملیات حفاظت خاک منجر به افزایش سهم نسبی خاکدانه‌های درشت‌تر شده است. اما شاخص نفوذپذیری خاک نتایج متناقضی را نشان داد چراکه علاوه بر اثر عملیات‌های حفاظت خاک مورد ارزیابی، مولفه‌های دیگری نیز در شاخص نفوذ آب به خاک موثر بوده است که مستلزم انجام مطالعات تکمیلی است و در نتیجه بررسی نقش مدیریت، به ویژه مدیریت کاربری در کنترل یا تشدید روند تخریب خاک، ضرورتی جهت بهره‌برداری پایدار از منابع خاک است.

واژه‌های کلیدی: بادامکاری، تخریب خاک، تسطیح اراضی، خاکدانه، سرعت نفوذ نهایی

مقدمه

تخریب خاک، از مهمترین اشکال تخریب سرزمین، پدیده‌ای گسترده در زیست‌بوم‌های زمین و از جدی‌ترین مشکلات اراضی کشاورزی و منابع طبیعی است (Wuepper et al., 2020). فرسایش خاک، شکلی از تخریب خاک است که از طریق جابجایی ذرات خاک، خطر قابل توجهی برای بهره‌وری خاک ایجاد نموده است و مسائل عمده زیست محیطی و اجتماعی-اقتصادی مانند تخریب زمین، بیابان‌زایی و گرسنگی، را در سطح جهان به وجود می اورد (Rajbanshi et al., 2023). فعالیت‌های انسانی مانند تغییرات پوشش زمین (جنگل‌زدایی و شهرنشینی)، مهندسی توپوگرافی (سکوبندی جاده‌ها، کانال‌ها، سدها و خاک‌ریزها)، زهکش‌های مصنوعی و نهایتاً تغییرات کاربری اراضی کشاورزی، نظیر خاک‌ورزی، نرخ تخریب خاک را تسریع می‌کند (Heckmann et al., 2018). فرسایش خاک همراه با آلودگی یا شور شدن، کیفیت خاک را کاهش می‌دهد. در نتیجه اشکالی از تخریب خاک شامل فشردگی خاک، کاهش ماده آلی خاک، مشکلات زهکشی، از بین رفتن ساختمان خاک، کاهش عملکرد محصول، هدررفت عناصر غذایی خاک و در نهایت، کاهش بهره‌وری خاک می‌تواند، رخ دهد (Mostazo et al., 2023 and Song et al., 2023).

ساختمان خاک، به‌عنوان یک ویژگی کلیدی کیفیت خاک، بر فرسایش خاک، نفوذ آب به خاک، حرکت و نگهداری آب در خاک، تشکیل سله، بازچرخانی عناصر غذایی، نفوذ ریشه و عملکرد محصول اثر می‌گذارد (Bronick and Lal, 2005). زوال ساختمان خاک نوعی از تخریب خاک است (Chan et al., 2003) که اغلب تحت تاثیر تغییر کاربری اراضی و شیوه‌های نامناسب مدیریت خاک و محصول قرار می گیرد. ساختمان خاک را می‌توان به طور قابل توجهی به کمک عوامل طبیعی یا انسانی از جمله شیوه‌های مدیریت خاک تغییر داد. این امر، به نوبه

خود می‌تواند بر نفوذپذیری خاک تأثیر بگذارد. تغییرات در ساختمان خاک اغلب پیچیده است و می‌تواند منجر به اثرات متناقضی بر نفوذ آب به خاک شود (Basset et al., 2023). از این رو، درک ویژگی‌های ساختمان خاک (به عنوان مثال میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، توزیع اندازه منافذ، هدایت هیدرولیکی و ظرفیت نگهداری آب در خاک) در کاربری‌های مختلف، بینشی در رابطه با تغییرات ساختمان خاک در شرایط مختلف از جمله بازیابی اراضی تخریب یافته به کمک اقدامات حفاظتی، ارائه می‌دهد (Eze et al., 2020).

مهار تخریب ساختمان خاک ناشی از مدیریت نامناسب زمین، نیازمند انجام اقدامات حفاظت خاک است. از جمله اقدامات حفاظت خاک می‌توان به روش‌های بیولوژیکی (BTs[1]، جنگل‌کاری و نوار حائل سبز، پرچین ها، کشت پوششی و علوفه‌ای، زراعت نواری، کاشت دانه تا سبز شدن زمین و مالچ)، روش‌های مدیریت خاک (STs[2]، مانند بدون خاک‌ورزی، شخم عمیق، شخم روی خطوط تراز، کم‌خاکورزی و افزودنی و اصلاح کننده‌های خاک و کودهای سبز)، روش‌های مهندسی و سازه‌های فیزیکی (ETs[3]، تراس‌ها، تسطیح اراضی، سکوبندی و ایجاد کانال در راستای خطوط تراز) اشاره کرد که ادغام شیوه های بیولوژیکی با روش‌های مهندسی به بهبود حاصلخیزی خاک، ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد محصول کمک زیادی می‌کند (Moard, 2005؛ Xiong et al., 2018).

روش‌های زیستی حفاظت از خاک، سلامت و کیفیت کلی خاک را افزایش و موجب بهبود محتوای مواد آلی خاک و خواص فیزیکی خاک مانند ساختمان خاک و نفوذ آب در خاک و وضعیت عناصر غذایی می‌شود. علاوه بر این، این روش‌ها سریع و ارزان‌تر از روش‌های سازه‌های فیزیکی، کارایی بیشتر برای احیا زمین‌ها، محافظت از زمین در برابر تخریب بیشتر و کمک‌کننده برای تثبیت سازه‌های فیزیکی برای طولانی مدت هستند (Terefe, 2011؛ Abinet, 2011).

کنترل فرسایش و جلوگیری از تخریب خاک به کمک روش‌های حفاظت خاک، به طور گسترده برای تغییر فرایندهای خاک و آب و بهبود ویژگی‌های خاک استفاده می‌شود، اما مطالعات کمی برای ارزیابی این روش‌ها انجام شده است که اطلاع در این زمینه برای برنامه های توسعه و آمایش سرزمینی پایدار حوزه‌های آبخیز بسیار حائز اهمیت است. حوزه آبخیز رزین استان کرمانشاه با داشتن تنوع در کاربری اراضی و ظرفیت باروری و کیفیت خاک بالا در سه کاربری جنگل، مرتع و اراضی زراعی، از مصادیق حوضه‌هایی است که به دلیل مدیریت نامناسب کاربری، متاثر از طیف وسیعی از اشکال تخریب خاک است. همچنین در این حوضه عملیات مختلف مدیریتی و احیایی حفاظت خاک نیز در آن انجام شده است. این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات عملیات مختلف مدیریتی و حفاظت خاک در کنترل تخریب ساختمان خاک و نیز نفوذپذیری خاک، به عنوان مهمترین ویژگی‌های خاک موثر بر فرسایش، در این حوضه انجام شد. در این ارزیابی، اثر اقدامات مدیریتی یاد شده در کنترل روند تخریب و بهبود شاخص‌های ساختمان خاک و نیز نفوذ آب به خاک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های حوضه مورد مطالعه: حوزه آبخیز رزین با وسعت ۱۴۶۸۸ هکتار در شمال استان کرمانشاه در محدوده "۴۵ ´۰۱ °۴۷ تا "۴۳ ´۱۲ °۴۷ طول شرقی "۳۴ ´۳۴ °۳۴ تا "۲۷ ´۴۲ °۳۴ عرض شمالی واقع شده است. میانگین دمای سالیانه هوا ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه ۵۸۸/۵ میلی‌متر است. نوع اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی دومارتن اصلاح شده خیلی مرطوب و براساس طبقه‌بندی آمبرژه، نیمه‌مرطوب سرد تشخیص داده شده است. شیب متوسط حوزه ۷/۰۹ درصد و حداقل ارتفاع حوزه ۱۴۰۷ متر و حداکثر آن ۲۸۶۸ متر از سطح دریا است. کاربری اراضی حوزه آبخیز رزین شامل اراضی زراعی، باغ، جنگل، مرتع و بیرون‌زدگی‌سنگی و

[1] Biological Techniques
[2] Soil Management Techniques
[3] Engineering Techniques

مخلوط بیرون‌زدگی سنگی و جنگل است. سطح جنگل های حوضه ۴۸۵۵/۱۸ هکتار (۳۳/۰۷ در صد سطح حوضه) است. در این حوضه، سطحی معادل ۶۱۵۴/۵ هکتار (۴۳ درصد مساحت حوزه) به‌صورت اراضی زراعی و عمدتاً غلات به ویژه گندم و جو و همچنین نخود کشت شده‌اند. با توجه به نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران، رژیم رطوبتی خاک‌های منطقه از نوع زریک[1]و رژیم حرارتی خاک‌ها از نوع مزیک[2] است.خاک‌های واقع بر روی اراضی دارای شیب تند و پستی و بلندی شدید و رسوبات واریزه‌ای و نیز خاک‌های واقع در محدوده رسوبگذاری رودخانه‌ها از رده انتی‌سول است و دیگر خاک‌های واقع در حوزه از رده اینسپتی‌سول با افق تجمعی آهک تشخیص داده شده‌اند. در حوزه رزین فرسایش سطحی، شیاری، آبراهه‌ای و خندقی با شدت‌های متفاوت دیده شده است (Parvizi, 2019).

روش انجام تحقیق: در این تحقیق، هشت نوع عملیات مدیریتی، احیایی و حفاظتی در حوزه رزین شامل عملیات مدیریتی احیائی و حفاظتی مورد ارزیابی در این پژوهش شامل قرق و مدیریت چرای دام، تبدیل دیمزارهای کم بازده به مرتع، کپه‌کاری و بذرکاری اراضی مرتعی، نهال‌کاری و تغییر کاربری اراضی منابع طبیعی به باغات دیم، اصلاح کاربری اراضی دیم‌زار کم‌بازده به مرتع یا کشت علوفه، نهال‌کاری در جنگل و احداث خطوط تنسیق به منظور ممانعت از خاکورزی در اراضی مرتعی و جنگلی، برای مطالعه انتخاب شد. فهرست و مشخصات عملیات انتخاب شده در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین در شکل ۱، تصاویری از چند عملیات حفاظت خاک و در شکل ۲، پراکنش مکانی عملیات مورد مطالعه در حوضه نشان داده شده است.

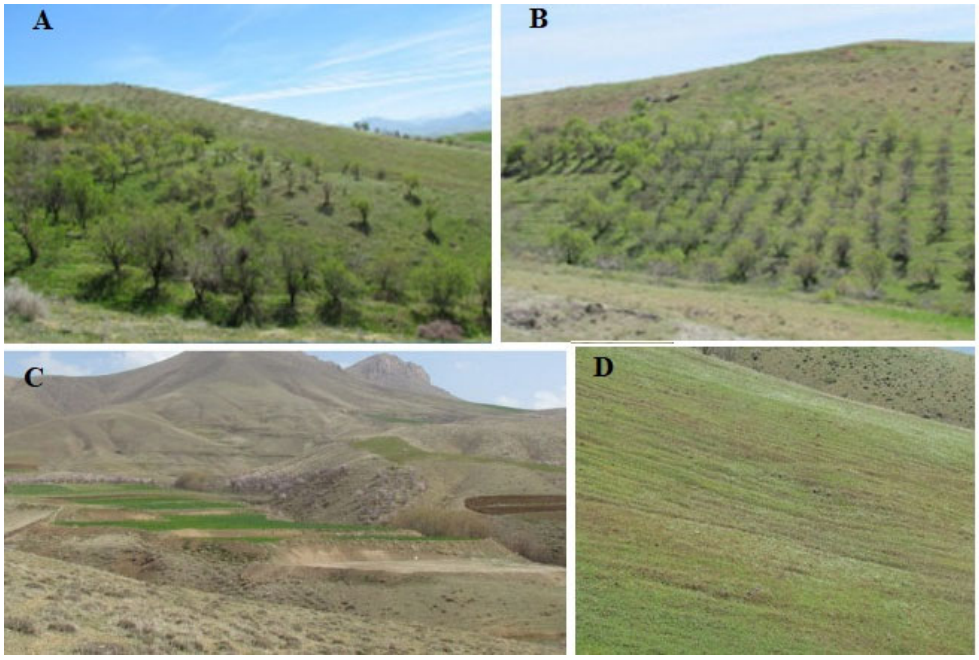
جدول ۱- ویژگی‌های پروژه‌های انتخاب شده جهت مطالعه و ارزیابی

Table 1. Characteristics of selected projects for study and evaluation

Row	Operations/projects	Area or village	Impact area - area (hectares)	Operational history (years)
1	Pit-seeding and seeding	Gheshlagh	240	5
2	Rangeland audit plan - Conversion of dryfarming to rangeland		9	15
3	Rangeland audit plan - Conversion of dryfarming to forage cultivation		6	8-10
4	Almond tree planting alongside digging the holes		60	2-3
5				10
6				20<
7	Land leveling		5	3
8	Seedling planting	Sarab-e-Shah hossein	32	2-3
9	Conversion of dryfarming to rangeland	Razin rangeland area	0.8	20<
10	Forage cultivation and orchard	Pir Kashan	4	2-5
11	Forest area	Razin rangeland area and Sarab-e-Shah hossein	150	-

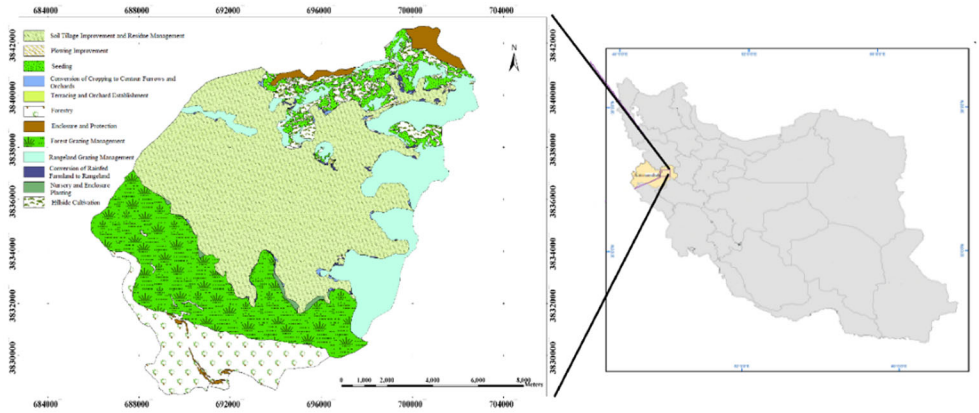
[1] Xeric

[2] Mesic



شکل ۱- تصاویری از چند عملیات حفاظت خاک، A: بادام‌کاری، B: کپه‌کاری، C: تسطیح اراضی و D: تغییر دیمزار به مرتع

Fig. 1. Pictures of several soil conservation operations, A: Almond tree planting, B: Pit-seeding, C: Land leveling and D: Conversion of dryfarming to rangeland



شکل ۲- پراکنش مکانی سایت‌ها و عملیات مورد مطالعه

Fig. 2. Spatial distribution of sites and operations under study

نمونه‌برداری از خاک و انجام آزمایش‌ها: به‌منظور نمونه‌برداری از خاک برای تعیین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، در سایت‌های مطالعاتی و شاهد یک تا سه پروفیل (برحسب تغییرپذیری فیزیوگرافی عرصه) به صورت تصادفی حفر و نمونه‌های خاک از لایه‌های مختلف خاک، تا عمق توسعه ریشه، برداشته شد. انتخاب نقاط شاهد در مجاورت عملیات انتخابی و دارای ویژگی های توپوگرافی و خاک نسبتاً یکسان با آن بود.

در این مطالعه برای ارزیابی اقدامات حفاظتی از سه شاخص پایداری خاکدانه شامل شاخص‌های میانگین وزنی قطر(MWD)[1]، میانگین هندسی قطر (GMD)[2] و شاخص نسبت خاکدانه‌های پایدار بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر (WSA>0.25) و شاخص نفوذپذیری آب به خاک، استفاده

[1] Mean Weight Diameter (MWD)

[2] Geometric Mean Diameter (GMD)

شد. برای تعیین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها از روش الک‌تر استفاده شد و پس از تفکیک و جزءبندی خاکدانه‌ها در الک‌تر[1] شاخص‌های میانگین وزنی قطر(MWD)[2]، میانگین هندسی قطر(GMD)[3] و همچنین شاخص نسبت خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر محاسبه شد. برای اعمال الک‌تر و تعیین پایداری خاکدانه‌ها نخست وزن خاکدانه‌هایی را که بر روی هر الک در سری قرار می‌گرفت، محاسبه شد. بدین منظور، ابتدا نسبت وزنی در هر بخش اندازه‌ای (Ri)، با تقسیم وزن خاکدانه‌ها در هر بخش اندازه ای در الک (Mi) به وزن کل خاکدانه‌ها در الک (Mt) به دست آمد (رابطه ۱) و با ضرب این نسبت در وزن کل خاکدانه‌های به‌کار رفته در سری الک‌تر (A)، وزن خاکدانه‌ها در هر بخش اندازه‌ای در الک‌تر محاسبه شد (رابطه ۲).

$$Ri=\frac{Mi}{Mt} \quad (۱)$$

$$M_i=A.R_i \quad (۲)$$

وزن کل خاک یا خاکدانه‌های به‌کار رفته برای هر آزمون الک‌تر ۴۵ گرم بود، وزن مربوط به هر الک در سری توزین شده و بر روی الک مربوطه قرار گرفت. سپس برای جلوگیری از تخریب خاکدانه‌ها تحت تاثیر محبوس شدن هوا، نمونه‌های قرارگرفته برروی هر الک به مدت ۲ ساعت با جریان مویینگی بخارسرد با استفاده از دستگاه بخارساز اشباع شدند. پس از مویینگی خاکدانه‌ها، ۵ سری الک با اندازه‌های ۲، ۱، ۰/۵ ، ۰/۲۵، ۰/۱۰۶و ۰/۰۷۵ میلی‌متر را در آب غوطه ور کرده و در داخل آب به طول ۳/۵ سانتی‌متر به مدت ۱۰ دقیقه بالا و پایین شدند. به طوری که سطح بزرگترین الک در طول زمان آزمایش به طورکامل غرق در آب بود. در پایان خاکدانه‌های موجود بر روی هر الک درون آون پس از خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، توزین شدند.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با استفاده از رابطه Kemper and Rosen (1986) (رابطه ۳) محاسبه شد.

$$MWD=\sum_{i=1}^{n} w_i x_i \quad (۳)$$

که در آن، MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، x_i میانگین قطر خاکدانه‌هایی که بر روی هر الک باقی می ماند (میلی‌متر)، w_i نسبت وزن خاکدانه در هر الک به وزن کل خاک به کار برده شده در آزمایش و n تعداد الک به کار رفته در آزمایش است. با توجه به این رابطه، MWD، نسبت خاکدانه‌ها را که یک قطر میانگین دارد، منعکس می‌کند. شاخص میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها نیز از رابطه (۴) تعیین شد.

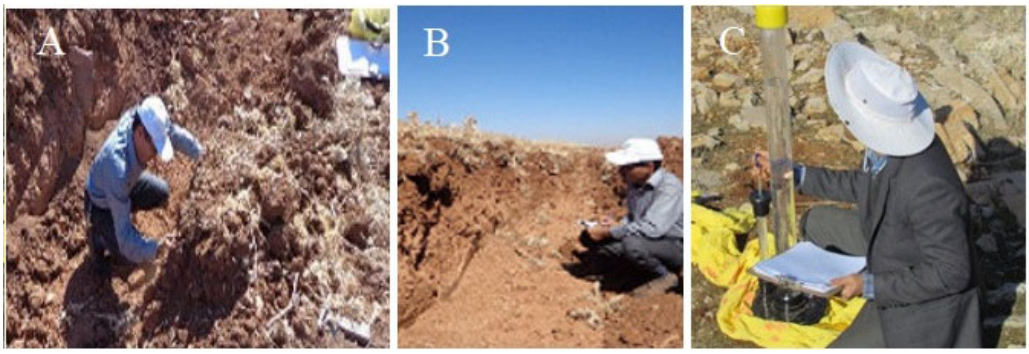
$$GMD=exp\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} log\, x_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i}\right) \quad (۴)$$

که در آن، GMD میانگین هندسی قطر، xi میانگین قطر خاکدانه‌هایی که برروی هر الک باقی می‌ماند (میلی‌متر)، wi نسبت وزن خاکدانه در هر الک به وزن کل خاک به کاربرده شده در آزمایش و n تعداد الک به‌کار رفته در آزمایش است.

به‌علاوه، در این پژوهش با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در سری الک تر، شاخص WSA>0.25 که شامل مجموع خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۲۵ میلی متر که از نسبت وزن خاکدانه در هر الک به وزن کل خاک در الک بزرگتر از از ۰/۲۵ میلی‌متر است، نیز محاسبه شد. قطر ۰/۲۵ میلی‌متری، مرز بین خاکدانه‌های ریز و درشت است که شاخص WSA>0.25 خاکدانه‌های درشت پایدار در آب را نشان می‌دهد (Six et al., 2001).

برای تعیین شاخص نفوذپذیری آب در خاک در عملیات حفاظتی و نقاط مطالعاتی و شاهد مربوطه از دستگاه نفوذسنج صفحه‌ای و به روش اندازه‌گیری مزرعه‌ای استفاده شد (Minasny and George, 1999). در این روش سرعت نهایی نفوذ آب به خاک بر مبنای مدل Reynolds and Elrik (1990)، که معادل ظرفیت نهایی سرعت نفوذ آب در شرایط بارش در نظر گرفته شده محاسبه شد. در شکل ۳، تصاویری از نمونه‌گیری و اندازه‌گیری نقوذپذیری نشان داده شده است.

[1] Wet sieve
[2] Mean Weight Diameter (MWD)
[3] Geometric Mean Diameter (GMD)



شکل ۳- A و B: نحوه نمونه برداری از خاک در سایت‌های منتخب و C: اندازه‌گیری نفوذپذیری خاک به کمک دستگاه نفوذسنج صفحه‌ای
Fig. 3. A and B: Sampling method for soil at selected sites and C: Measuring soil infiltration rate using a disk infiltrometer

در نهایت، مقایسه مقادیر شاخص‌های MWD، GMD و WSA>0.25 در عملیات حفاظت خاک و مناطق شاهد آنها به کمک آزمون T برای نمونه‌های مستقل و همچنین، مقایسه بین عملیات حفاظتی مختلف از نظر شاخص‌های MWD، GMD و WSA>0.25، در سطح احتمال ۹۵ درصد با آزمون آماری دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. همچنین، مقایسه میزان سرعت نفوذ نهایی در عملیات حفاظت خاک و مناطق شاهد آنها به کمک تعیین درصد تغییرات انجام گرفت.

نتایج و بحث

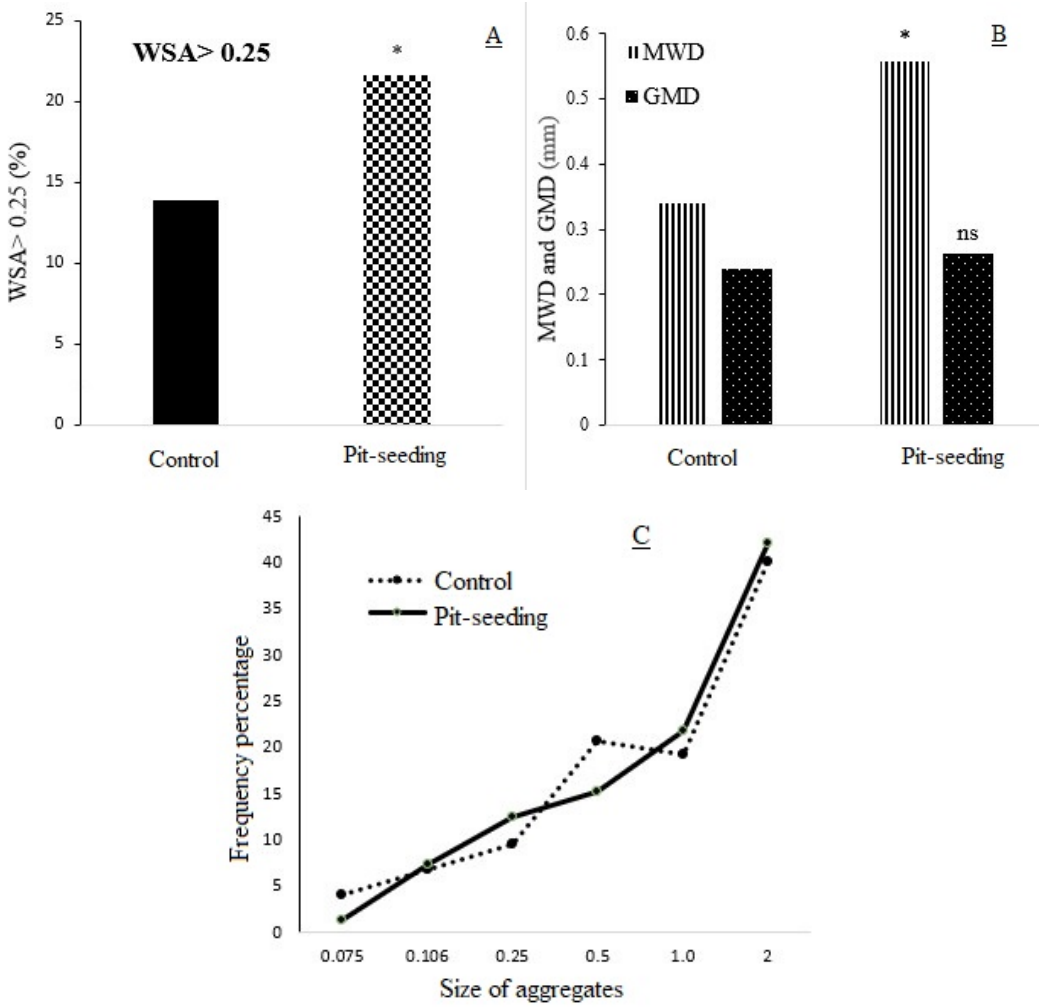
نتایج شاخص‌های پایداری ساختمان خاک-عملیات کپه‌کاری:

مقایسه مقادیر شاخص‌های پایداری ساختمان MWD، GMD و WSA> 0.25 در هشت عملیات حفاظت خاک در شکل‌های ۲ تا ۱۰ آورده شده است. در عملیات کپه‌کاری (شکل ۴) شاخص MWD به میزان ۶۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافته است و در سطح پنج درصد (P< 0.05) دارای اختلاف معنی‌دار با شاهد است.

همچنین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها نیز به طور متوسط در منطقه کپه‌کاری از حدود ۰/۲۴ در منطقه شاهد به حدود ۰/۲۶ رسیده است. این روند نشانگر پایدار بودن نسبی خاکدانه‌های درشت در منطقه کپه کاری است که می‌تواند ناشی از مدیریت باشد. همچنین شاخص WSA> 0.25 نیز در منطقه کپه‌کاری به میزان ۵۵/۳ درصد از شاهد بیشتر و پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار است که به معنی افزایش خاکدانه‌های درشت و پایدار در اثر کپه‌کاری است.

در منطقه کپه‌کاری خاکدانه‌های درشت در ابعاد بزرگتر از دو میلی‌متر به میزان ۵/۳ درصد بیشتر از منطقه شاهد کپه‌کاری است. به نحوی که در منطقه کپه‌کاری این کلاس اندازه از خاکدانه‌ها حدود ۴۲ درصد از کل کلاس‌های اندازه خاکدانه را تشکیل می‌دهد در حالی که این نسبت در منطقه شاهد حدود ۴۰ درصد است. در کلاس اندازه خاکدانه‌های ریز این نسبت به گونه دیگری است. به نحوی که در دو کلاس اندازه خاکدانه کوچکتر از ۰/۰۷۵ و بین ۰/۱۰۶ و ۰/۰۷۵ نسبت به‌ترتیب در دو منطقه کپه‌کاری ۱/۲ و ۷/۴ درصد در مقابل ۴ و ۶/۸ درصد در منطقه شاهد است.

به عبارت دیگر در منطقه کپه‌کاری، شاخص اندازه خاکدانه‌ها به سمت خاکدانه‌های درشت‌تر و با ثبات بیشتر تغییر یافته است. لذا اعمال کپه‌کاری نقش مهمی در افزایش پایداری خاکدانه‌ها داشته است. علت این امر می تواند در نقش ریشه‌های پوشش گیاهی در هماوری ذرات خاک در کنار یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌ها نسبت داد. در مجموع پوشش گیاهی از طریق مکانسیم‌های مختلفی مانند ایجاد فضاهایی، باعث خرد کردن قسمت‌های فشرده خاک و تشکیل خاکدانه‌ها را ممکن می‌کند که این پدیده با چرخه‌های خیس شدن و خشک شدن مرتبط با رشد گیاه تقویت می‌شود.



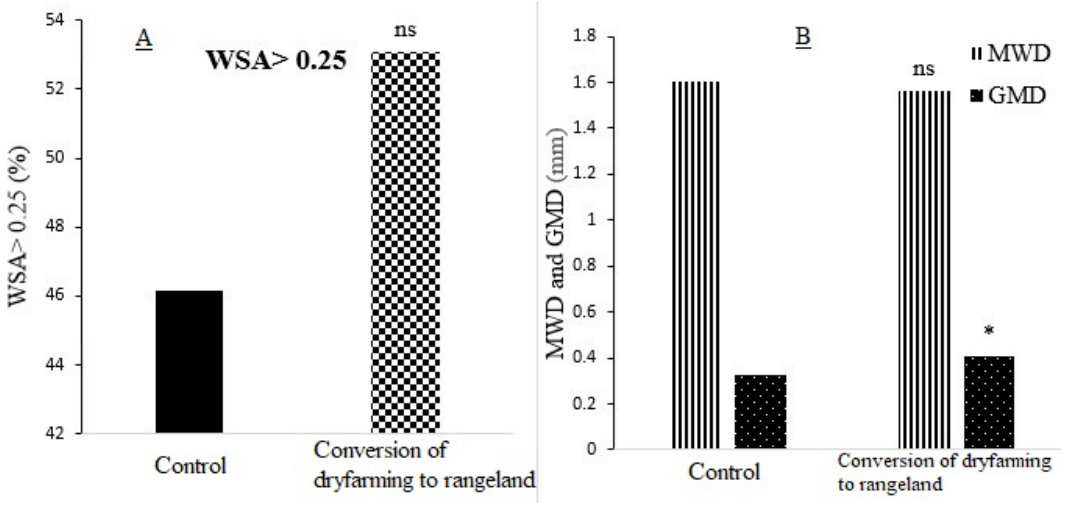
شکل ۴- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در عملیات حفاظتی کپه کاری و شاهد
* و ns: معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد (نمودارها با میانگین چندین اندازه گیری ترسیم شده است.)

Fig. 4. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the pit-seeding operation and its control
* and ns : Significant and non-significant at the 5% level (Charts are plotted with the mean of several measurements)

عملیات تغییر دیمزار کم‌بازده به مرتع و علوفه‌کاری:
در عملیات اصلاح کاربری از طریق تغییر دیمزار کم‌بازده به مرتع (شکل ۵)، دو شاخص MWD و GMD روند کلی مثبتی دارند اما تفاوت شاخص MWD با شاهد معنی‌دار نبوده و شاخص GMD با شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد دارد. علت معنی‌دار نبود MWD، انحراف معیار و دامنه تغییرات بالای تکرارها بوده است. با اعمال این نوع مدیریت سهم خاکدانه‌های درشت نسبت به شاهد افزایش یافته است. به‌طوری که شاخص WSA> 0.25 در مرتع (محدوده اصلاح کاربری یافته)نسبت به دیمزار (شاهد) ۱۵ درصد افزایش یافته است. همچنین خاکدانه‌های ۰/۵ و بزرگتر از دو میلی‌متر در مرتع نسبت به شاهد به ترتیب ۳۷/۶ و ۲۸/۹ درصد افزایش یافته است اما خاکدانه‌های یک میلی‌متری و کوچکتر از ۰/۲۵ میلی‌متری در شاهد بیشتر بوده است. این نتایج نشان می‌دهد، تبدیل دیمزار به مرتع می‌تواند باعث افزایش خاکدانه‌های درشت‌تر و پایدارتر شده است.

اما اگر همین شیوه اصلاح کاربری را با کشت گیاهان علوفه‌ای به‌ویژه نیام‌داران چندساله توانبخشی شود، اثربخشی بهتر و بیشتری در شاخص‌های پایداری خاکدانه

ایجاد شده است. به عنوان نمونه در عملیات اصلاح کاربری دیمزار کم‌بازده به علوفه‌کاری با کشت یونجه (شکل ۶)، شاخص‌های MWD، GMD به‌طور معنی‌دار و به میزان ۱۰۵ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد (دیمزار کم‌بازده) افزایش یافته‌اند. همچنین شاخص WSA> 0.25 نیز در اراضی علوفه‌کاری ۱۳/۹ درصد بیشتر از اراضی شاهد شده است. بررسی درصد توزیع خاکدانه نیز نشان می‌دهد که خاکدانه‌های یک میلی‌متر و بزرگتر از دو میلی‌متر نسبت به اراضی شاهد دیمزار به ترتیب ۱/۵ و ۶/۵ برابر افزایش نشان داده است. در حالی‌که درصد خاکدانه‌های کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر در محدوده دیمزار کم‌بازده به میزان ۴۷/۱ درصد بیشتر و یا مساوی با اراضی علوفه‌کاری است. در منطقه شاهد و علوفه‌کاری، بیشترین کمیت طبقه اندازه خاکدانه‌های پایدار در الک‌تر در طبقه اندازه ۰/۰۷۵ میلی متر است که حدود ۴۸/۹ و ۴۸/۷ درصد فراوانی خاکدانه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. در این منطقه، مانند اصلاح کاربری دیمزار کم‌بازده به مرتع، درصد خاکدانه‌های ریز کاهش و خاکدانه‌های درشت و مقاوم افزایش یافته‌اند. در نتیجه آنکه اصلاح کاربری دیمزارهای کم بازده کمک موثر و شایانی در راستای تقویت شرایط فیزیکی خاک نظیر بهبود نفوذپذیری و تهویه خاک، پایداری و مقاومت در مقابل نیروهای طبیعی فرساینده نظیرآب و باد خواهد بود. چرا که بهبود ساختمان خاک، کلید ارتقاء باروری و کیفیت خاک است. Riahi et al., (2015)، نیز افزایش شاخص پایداری خاکدانه MWD از ۰/۶۸ میلی‌متر در کاربری دیمزار به ۱/۲۲ میلی‌متر در کاربری مرتع را گزارش نمودند. همچنین Asghari et al., (2015)، نشان دادند که تغییر کاربری اراضی مرتعی به زراعی منجر به افزایش MWD از ۰/۳۵ به ۰/۹۷ میلی‌متر خواهد شد.

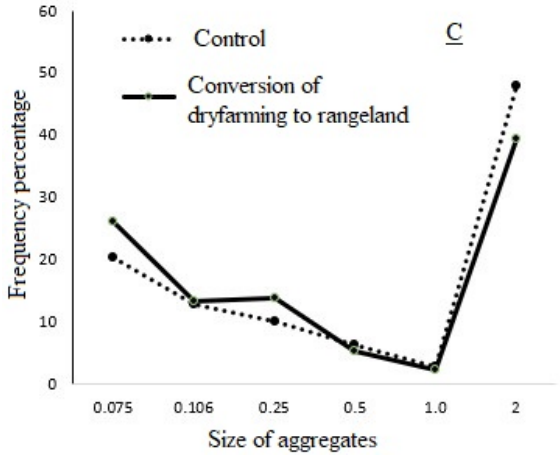


شکل ۵- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در عملیات حفاظتی تغییر دیمزار به مرتع و شاهد

* و ns: معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد (نمودارها با میانگین چندین اندازه گیری ترسیم شده است.)

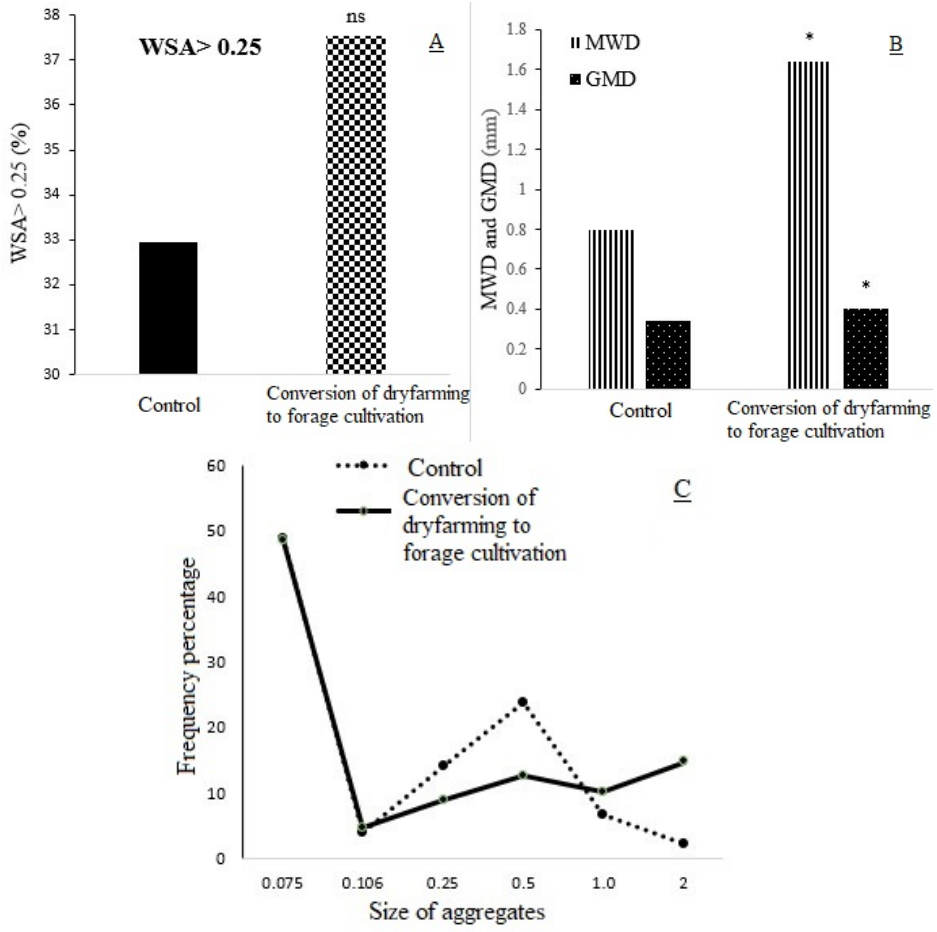
Fig. 5. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the conversion of dryfarming to rangeland operation and its control

* and ns: Significant and non-significant at the 5% level (Charts are plotted with the mean of several measurements)



ادامه شکل ۵

Fig. 5. Continuede



شکل ۶- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در عملیات حفاظتی تغییر دیمزار به علوفه کاری و شاهد

* و ns: معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد (نمودارها با میانگین چندین اندازه گیری ترسیم شده است.)

Fig. 6. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the conversion of dryfarming to forage cultivation operation and its control

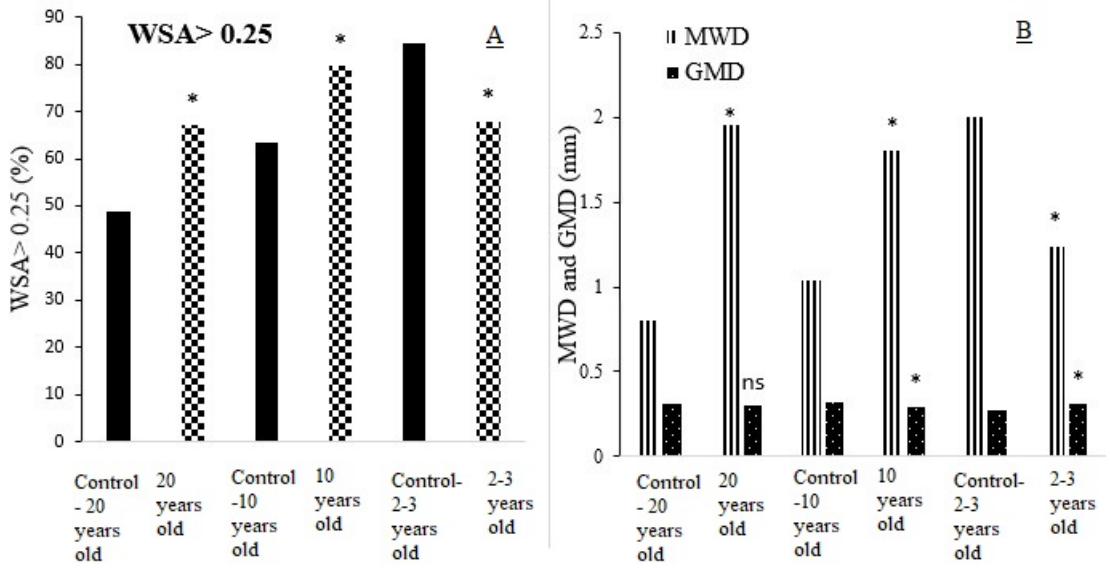
* and ns: Significant and non-significant at the 5% level (Charts are plotted with the mean of several measurements)

عملیات بادام‌کاری: اثر عملیات بادامکاری دیم بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها (شکل ۷) به گونه‌ای است که ترکیب اندازه خاکدانه‌های پایدار با اندازه بیش از دو میلی‌متر یا خاکدانه‌های درشت، از حدود ۱۶ درصد در مناطق شاهد مرتعی اطراف بادامکاری‌ها با سابقه حدود ۱۰ و بیش از ۲۰ ساله به‌ترتیب به حدود ۴۰ و ۴۵ درصد در خاک سطحی رسیده است.

این در حالی است که سهم نسبی خاکدانه‌های پایدار ریز با کلاس اندازه ۰/۱۰۶ و ۰/۰۷۵ میلی‌متر در مناطق شاهد حدود ۱/۸ تا ۱/۵ برابر مناطق بادامکاری شده است. اما در بادامکاری با سابقه دو تا سه ساله، این روند معکوس است و درصد خاکدانه‌های درشت در مناطق شاهد بیشتر و خاکدانه‌های ریز در مناطق بادامکاری دو تا سه ساله، بیشترین فراوانی را دارند. به‌طوری که خاکدانه‌ها با اندازه بزرگتر از دو میلی‌متر، در شاهد ۴۹/۸ درصد و در بادامکاری دو تا سه ساله ۲۳/۴ درصد فراوانی دارند.

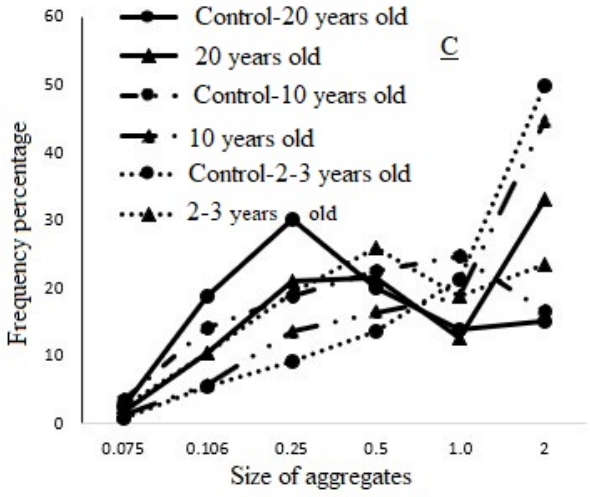
در بادام‌کاری با سابقه کشت متفاوت در مقایسه با شاهد، شاخص MWD و GMD در برخی پروفیل‌ها روند مثبت و برخی دیگر روند کاهشی بوده است و اغلب تغییرات نسبت به شاهد معنی‌دار بوده است. شاخص پایداری خاکدانه MWD از حدود ۰/۸ میلی‌متر در شاهد به حدود ۲ میلی‌متر در مناطق بادامکاری با سابقه طولانی ۲۰ ساله رسیده است. این افزایش تقریباً معادل نتایج افزایش MWD است که توسط Riahi et al., (2015)، از ۰/۶۸ میلی‌متر به ۱/۵۶ میلی‌مترگزارش کرده‌اند.

شاخص GMD در اکثر مناطق بادامکاری و شاهد و در کل محدوده مطالعاتی در عرصه بادامکاری‌ها تغییر محسوسی نداشته است. در مجموع بادامکاری‌های با سابقه کم ۲-۳ ساله نیز تاثیر ملموسی بر پایداری خاکدانه‌ها و تغییر در کمیت خاکدانه‌های درشت‌تر و پایدارتر نداشته اند و بادامکاری‌های ۱۰ ساله و ۲۰ ساله بر پایداری خاکدانه‌ها افزوده است.



شکل ۷- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در عملیات حفاظتی بادام‌کاری و شاهد
* و ns: معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد (نمودارها با میانگین چندین اندازه گیری ترسیم شده است.)

Fig. 7. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the Almond tree planting operation and its control
* and ns : Significant and non-significant at the 5% level (Charts are plotted with the mean of several measurements)



ادامه شکل ۷

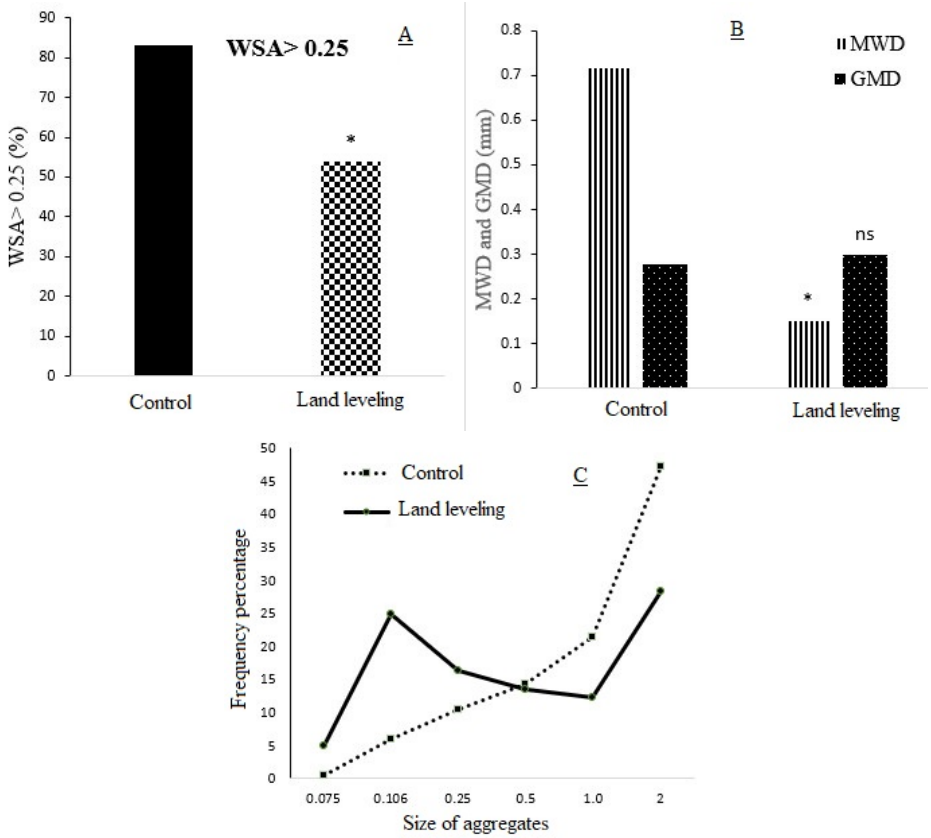
Fig. 7. Continuede

عملیات تسطیح اراضی: تسطیح اراضی در خاک سطح‌الارض، منجر به کاهش نسبت خاکدانه‌های درشت‌تر (بیشتر از دو و یک میلی‌متر) و افزایش نسبت خاکدانه‌های با اندازه متوسط و کوچک یعنی ۰/۲۵ ، ۰/۱۰۶ و ۰/۰۷۵ میلی‌متر به میزان حدود پنج برابر نسبت به شاهد شده است (شکل ۸). این امر مبین تخریب ساختمان خاک و افزایش خلل و فرج ریز است. اگرچه این پدیده ممکن است منجر به افزایش ظرفیت نگه‌داشت آب در خاک شود ولی نفوذپذیری و تهویه خاک را تقلیل خواهد داد.

تسطیح اراضی مقدار MWD را به میزان ۷۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داده است که این اختلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار است و GMD نیز تغییر قابل توجه و معنی‌داری نداشته است. شاخص WSA> 0.25 نیز مانند شاخص‌های MWD و GMD، به میزان ۳۵/۱ درصد کاهش یافته است که نشانگر آن است که خاکدانه‌های درشت در اثر تسطیح اراضی پایداری خود را از دست داده‌اند به این علت می‌تواند باشد که تسطیح اراضی عملیاتی است با جابجایی خاک صورت می‌گیرد و موجب بهم خوردن خاک و فشرده شدن و تخریب ساختمان می‌شود در کوتاه مدت که با گذشت زمان بازسازی ساختمان خاک انجام می‌شود و موجب بهبود ویژگی‌های خاک در اثر این عملیات حفاظت خاک می‌شود. Paul et al., (1990)، گزارش کردند که تسطیح اراضی به طور قابل توجهی بر مقدار شن، سیلت، رس و مواد آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها تأثیر گذاشته، اما تغییرات نسبتا کم بوده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که تسطیح اراضی برای بهبود بهره‌وری محصول در زمین‌های دیم روی خاک‌هایی مانند لوم رسی توصیه می‌شود.

عملیات نهال‌کاری: عملیات نهال‌کاری (شکل ۹) اثر مثبتی بر شاخص MWD و WSA> 0.25 نداشته است و مقدار آن به طور متوسط به میزان ۷۴/۲ و ۱۸/۲ درصد را کاهش داده است. مقادیر GMD در نهال کاری‌ها به میزان ۲۴/۲ درصد بیشتر از شاهد بوده است که تغییرات این سه شاخص در سطح پنج درصد معنی‌دار است. افزایش شاخص پایداری خاکدانه MWD و WSA> 0.25 نمادهای بارز ارتقاء پایداری خاکدانه در عرصه شاهد مرتعی نسبت به دیمزار و نهال‌کاری‌های جوان است شد. این امر مسلما ناشی از جوان بودن عرصه نهال‌کاری‌ها که در واقع در سال‌های قبل عرصه‌های دیمزاری بوده‌اند که مدیریت مشابه دیمزارهای مجاور بر آنها اعمال می‌شده است.

مقدار افزایش MWD به مراتب بیش از مقادیر اندازه گیری شده توسط Asghari et al., (2015)، است که شاخص MWD در سه کاربری جنگل، مرتع و زراعت مجاور هم در شرق اردبیل را ۱/۲۸، ۰/۹۸ و ۰/۳۵ میلی متر تعیین نمودند.

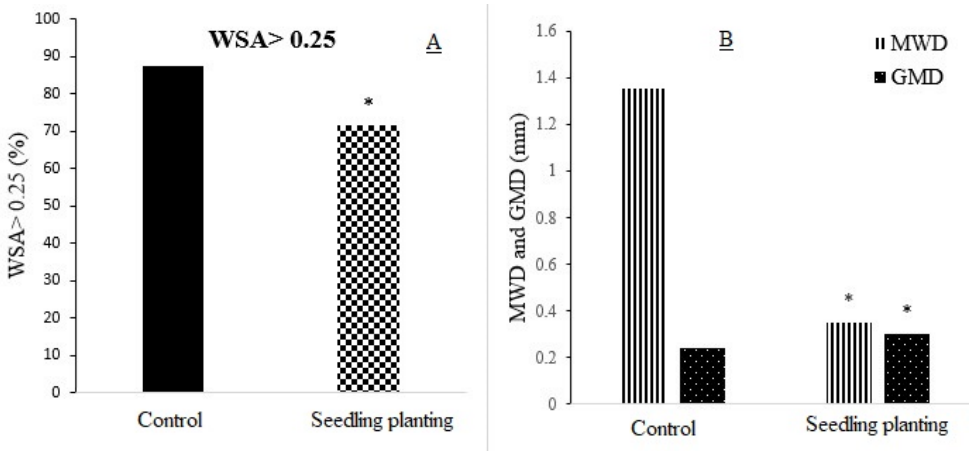


شکل ۸- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در عملیات حفاظتی تسطیح اراضی و شاهد

* و ns: معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد (نمودارها با میانگین چندین اندازه گیری ترسیم شده است.)

Fig. 8. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the land leveling operation and its control

* and ns : Significant and non-significant at the 5% level (Charts are plotted with the mean of several measurements)

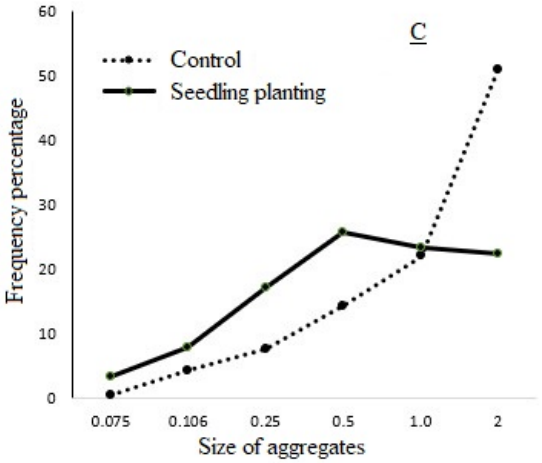


شکل ۹- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در عملیات حفاظتی نهال‌کاری و شاهد

* و ns: معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد (نمودارها با میانگین چندین اندازه گیری ترسیم شده است.)

Fig. 9. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the seedling planting operation and its control

* and ns : Significant and non-significant at the 5% level (Charts are plotted with the mean of several measurements)



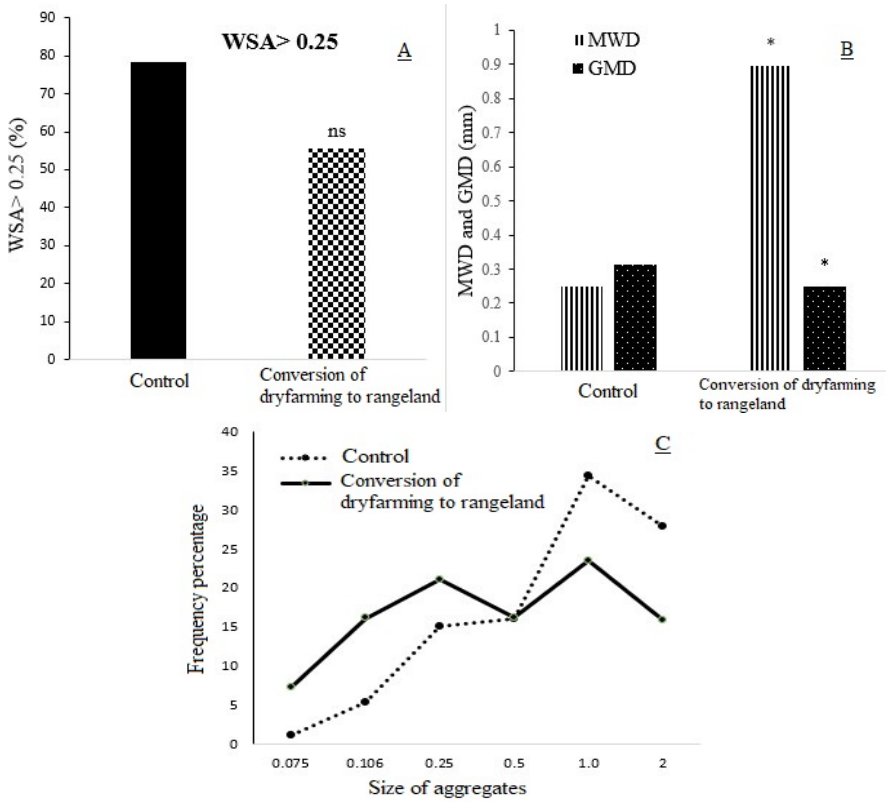
ادامه شکل ۹

Fig. 9. Continuede

عملیات دیمزار رها شده و تبدیل دیمزار به علوفه کاری و باغ: در عملیات دیمزار رها شده (شکل ۱۰) تفاوت معنی‌داری از نظر پایداری خاکدانه در شاخص WSA> 0.25 با خاکدانه‌های درشت وجود ندارد و این شاخص نسبت به شاهد دیمزار به میزان ۲۹ درصد کاهش یافته است. این شاخص از نظر کیفیت خاک یک شاخص مثبت تلقی می‌شود. از سوی دیگر در دیمزارهای رها شده خاکدانه‌های درشت در الک‌تر تخریب شده و از پایداری کمی برخوردار بوده‌اند. لذا سهم نسبی خاکدانه‌های ریز از نظر توزیع اندازه خاکدانه بیشتر شده است. در دیمزار رها شده افزایش مقدار MWD به میزان ۲۵۸ درصد مشاهده می‌شود و شاخص GMD روند کاهشی داشته است و تغییرات این دو شاخص در سطح پنج درصد نسبت به شاهد دیمزار معنی‌دار بوده است.

در عملیات تبدیل دیمزار به علوفه‌کاری و باغ (شکل ۱۱)، مقدار MWD به مقدار ۶۱ درصد نسبت به شاهد دیمزار افزایش یافته و تغییرات آن معنی‌دار بوده است اما تغییرات GMD معنی‌دار نبوده و مقدار آن نسبت به شاهد تفاوت چندانی نداشته است. شاخص پایداری MWD نشانگر پایداری و شرایط بسیار بهینه شده فیزیکی خاک از نظر ساختمان خاک در منطقه علوفه‌کاری و احداث باغ نسبت به شاهد دیمزار است (شکل ۹). تغییرات شاخص شاخص WSA> 0.25 در این عملیات نسبت به شاهد معنی‌دار نبوده است و نشان می‌دهد در مجموع عملیات زراعی باعث تخریب خاکدانه‌های درشت در ترکیب توزیع اندازه خاکدانه‌های شده است. همچنین اصلاح کاربری با تغییر به مرتع و دیمزار رها شده نیز موجب بهبود و افزایش اندازه خاکدانه‌ها نشده است و نیازمند زمان طولانی تر برای اندازه گیری است.

نتایج پژوهش‌های Celik (2005) و Ajmi et al., (2010)، حاکی از کاهش ۳۸ درصدی MWD و تخریب خاکدانه‌های درشت در اثر عملیات زراعی شخم و شیار بود که علت می‌تواند آن باشد که در اثر عملیات شخم و شیار در قسمت‌هایی خاک در اثر حرکت تراکتور فشرده و ساختمان خاک تخریب می‌شود. همچنین، با شخم زدن خاک مواد آماده فرسایش و جابجایی به کمک قطرات باران و رواناب افزایش می‌یابد و در اثر قطرات باران، خاکدانه‌های زیادی متلاشی می‌شوند که در این مطالعه، در علوفه کاری و احداث باغ این اثر دیده نشد.

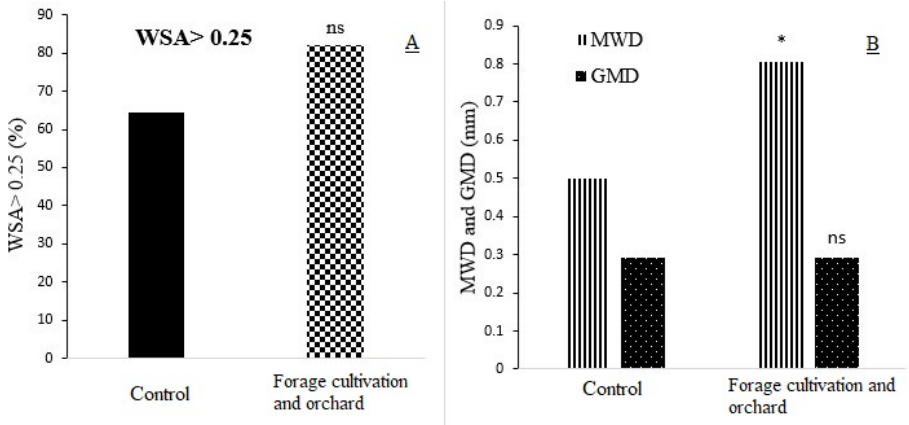


شکل ۱۰- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در عملیات حفاظتی دیمزار رها شده و شاهد

* و ns: معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد (نمودارها با میانگین چندین اندازه گیری ترسیم شده است.)

Fig. 10. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the conversion of dryfarming to rangeland operation and its control

* and ns : Significant and non-significant at the 5% level (Charts are plotted with the mean of several measurements)

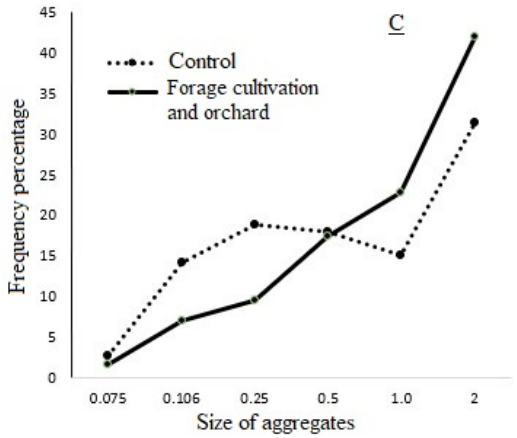


شکل ۱۱- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در عملیات حفاظتی علوفه‌کاری و باغ و شاهد

* و ns: معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد (نمودارها با میانگین چندین اندازه گیری ترسیم شده است.)

Fig. 11. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the operation and its control

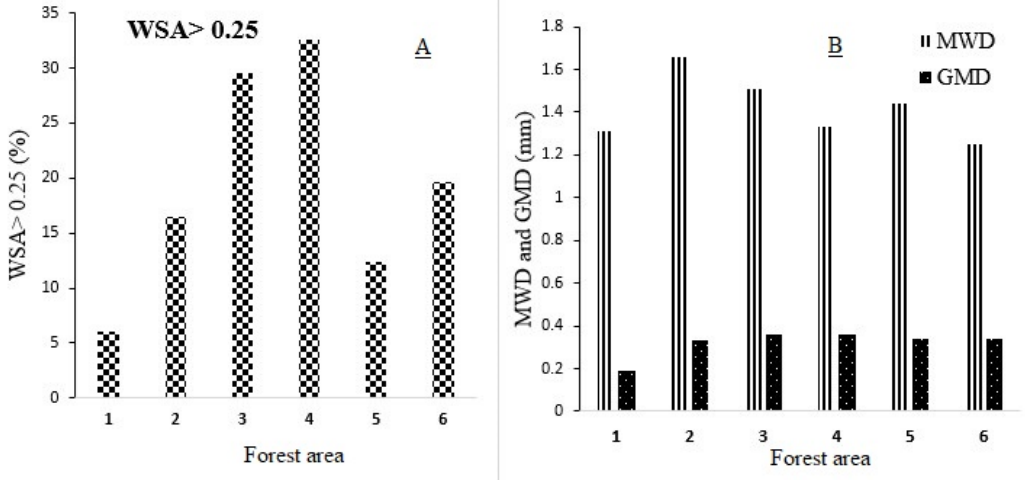
* and ns : Significant and non-significant at the 5% level (Charts are plotted with the mean of several measurements)



ادامه شکل ۱۱

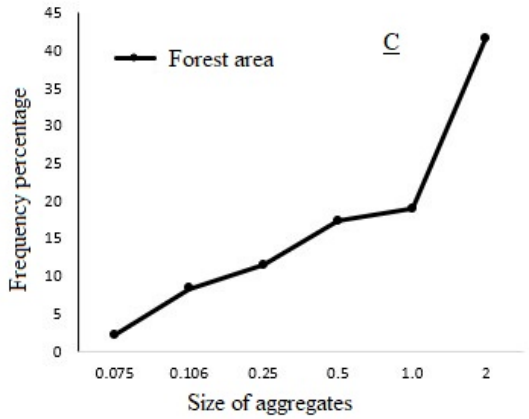
Fig. 11. Continuede

منطقه جنگلی: شاخص‌های پایداری خاکدانه در منطقه جنگلی به عنوان شاهدی از وضعیت کلیماکس منطقه و ظرفیت طبیعی خاک‌های منطقه ارزیابی شد. از نظر توزیع اندازه خاکدانه‌های پایدار، خاکدانه‌های با اندازه بیش از یک و دو میلی‌متر در اراضی جنگلی ترکیب اصلی و پایدار خاکدانه‌ها را تشکیل می دهند (شکل ۱۲). به طوری که خاکدانه‌های بزرگتر از یک میلی‌متر، ۶۰/۵ درصد فراوانی دارند. که بیشترین فراوانی را در میان منطقه و عملیات مورد ارزیابی به خود اختصاص داده بود. مقدار شاخص MWD در اراضی جنگلی بین ۱/۲۵ تا ۱/۶۶ است که در تراز بالایی از نظر کمیت این شاخص در بین عملیات و محدوده‌های مورد ارزیابی قرار داشت. همچنین، شاخص GMD نیز بین ۰/۱۹تا ۰/۳۶ قرار دارد. مقدار شاخص WSA> 0.25 در منطقه جنگلی بین ۶/۱ تا ۳۲/۶ درصد است که به طور متوسط ۱۹/۴ درصد و نشان دهنده‌ی فراوانی خاکدانه‌های درشت و پایدار در این اراضی است.



شکل ۱۲- مقادیر شاخص‌های WSA> 0.25 (A) و MWD، GMD (B) و توزیع اندازه خاکدانه‌ها (C) در منطقه جنگلی

Fig. 12. Values of indices WSA> 0.25 (A), MWD, GMD (B) and size distribution of aggregates (C) in the forested area



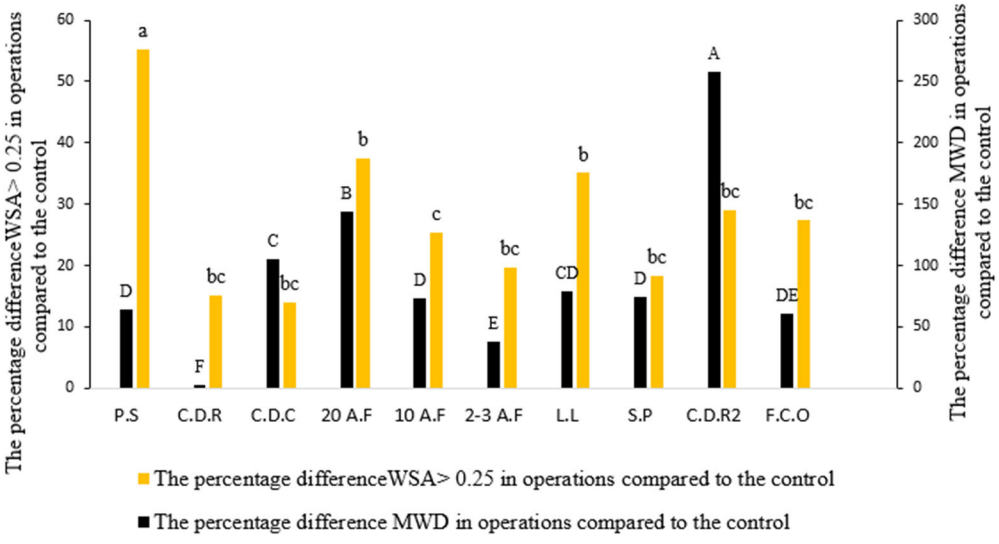
ادامه شکل ۱۲

Fig. 12. Continuede

مقایسه درصد اختلاف شاخص‌های MWD و WSA> 0.25 با شاهد در عملیات حفاظتی مختلف (شکل ۱۳) نشان می‌دهد که در عملیات بادامکاری ۲۰ ساله و تغییر دیمزار به علوفه‌کاری، بیشترین درصد اختلاف شاخص MWD در جهت افزایش MWD، به ترتیب به میزان ۱۴۴ و ۱۰۵ درصد وجود دارد. بیشترین درصد اختلاف MWD با شاهد در جهت کاهش MWD در عملیات دیمزارها شده به مقدار ۲۶۰ درصد مشاهده شد و کمترین درصد اختلاف شاخص MWD در جهت کاهش MWD مربوط به تغییر دیمزار به مرتع به میزان ۲/۵ درصد است. نتایج نشان می‌دهد عملیاتی که باعث بهم خوردگی خاک شده اند مانند تسطیح اراضی، موجب تضعیف ساختمان خاک شده اند و عملیاتی که موجب کمتر بهم خوردن خاک شده اند و زمان طولانی انجام شده اند، اثر مستقیمی و مطلوبی بر ساختمان خاک و شاخص MWD داشته‌اند که نتایج پژوهش Lepore et al., (2009) نیز با این یافته، مبنی بر اثر نوع عملیات حفاظت خاک بر ساختمان خاک همخوان است.

بیشترین درصد اختلاف شاخص WSA> 0.25 در جهت افزایش این شاخص، مربوط به عملیات کپه‌کاری و بادامکاری ۲۰ ساله به ترتیب به میزان ۵۵/۲ و ۳۷/۵ درصد است و کمترین درصد اختلاف شاخص WSA> 0.25 در جهت افزایش نیز مربوط به عملیات بادامکاری ۱۰ ساله به میزان ۲۵/۵ درصد است. بیشترین درصد اختلاف شاخص WSA> 0.25 در جهت کاهش این شاخص نیز مربوط به عملیات تسطیح اراضی به میزان ۳۵ درصد است. Basset et al., (2023)، در مطالعه خود نشان دادند، در صورتی که شاخص WSA> 0.25 مقادیری نزدیک به ۷۰ درصد داشته باشد، باعث بهبود ساختمان خاک و اثر موثر بر نفوذپذیری خواهد داشت که در پژوهش حاضر، عملیات بادامکاری، مقادیر بالایی از شاخص WSA> 0.25 را به خود اختصاص داده است.

در مجموع بررسی نتایج درصد اختلاف دو شاخص MWD و WSA> 0.25 نشان می‌دهد که عملیات بادامکاری ۲۰ ساله توانسته است، ویژگی‌های خاکدانه و ساختمان خاک را نسبت به دیگر عملیات‌ها بهبود ببخشد. بادامکاری در اراضی دیم می‌تواند موجب بهبود ساختمان خاک شود، زیرا ریشه درختان با نفوذ در خاک باعث افزایش تخلخل خاک، چسبندگی ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها و افزایش نفوذپذیری آب در خاک می‌شود. همچنین، با تجزیه بقایای گیاهی در خاک، ماده آلی خاک افزایش می‌یابد که این به افزایش ماده آلی خاک کمک خواهد کرد.



شکل ۱۳- مقادیر درصد اختلاف شاخص‌های MWD و WSA> 0.25 با شاهد در عملیات حفاظتی مختلف
مقادیر با حروف مشترک یکسان بزرگ و کوچک در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 13. The percentage differences of indices MWD and WSA>0.25 compared to the control in various protective operations
Value with the same uppercase and lower case letters do not have a significant difference at the 95% level

نتایج سرعت نفوذ نهایی: جدول ۲، سرعت نفوذ نهایی در عملیات مختلف به همراه شاهد را نشان می‌دهد. افزایش سرعت نفوذ نهایی نسبت به شاهد در کپه کاری (۵/۶ درصد)، دیمزار تغییر کاربری به مرتع (۶/۹ درصد)، دیمزار تغییر کاربری یافته به علوفه‌کاری (۱۲/۳ درصد)، بادامکاری ۲۰ ساله (۱۳/۱ درصد)، بادامکاری ۱۰ ساله (۱۶ درصد)، بادامکاری دو تا سه ساله (۲/۶ درصد)، دیمزار تغییر کاربری به نهال کاری نسبت به شاهد مرتعی (۲۱/۸ درصد) مشاهده می‌شود. همچنین، کاهش سرعت نفوذ نهایی در عملیات تسطیح اراضی (۵/۲ درصد)، دیمزار تغییر کاربری به نهال کاری (۷/۵ درصد)، دیمزار رها شده (۵۶/۳ درصد) و علوفه کاری و احداث باغ (۱۸/۳ درصد) رخ داده است. مقایسه عملیات نهال‌کاری با سابقه کشت مختلف نشان داد که نهال‌کاری بیشینه بعد از ۱۰ سال اثر خود را قطعی نموده و بیش از آن نمی‌توان انتظار داشت ظرفیت نفوذپذیری خاک افزایش یابد. لذا بین نهال‌کاری‌های با سابقه ۱۰ تا ۲۰ سال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

همچنین مقایسه مقادیر سرعت نفوذ نهایی در هشت محل اجرای عملیات حفاظتی و مناطق شاهد آنها نشان می‌دهد که بالاترین میزان نفوذپذیری مربوط به دیمزار تغییر کاربری به مرتع و علوفه‌کاری به ترتیب به میزان ۰/۲۹۵ و ۰/۳۱ سانتی‌متر بر ثانیه و کمترین سرعت نفوذ نهایی نیز مربوط به نهال‌کاری و دیمزار رها شده به ترتیب به میزان ۰/۱۷۳ و ۰/۰۷ سانتی‌متر بر ثانیه بوده است. توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دیمزار تغییر کاربری به مرتع و علوفه‌کاری نشان می‌دهد که خاکدانه‌های بزرگتر از یک میلی‌متر بیشترین فراوانی را دارند اما در عملیات نهال کاری و دیمزار رها شده خاکدانه‌های بزرگتر از یک میلی متر نسبت به مناطق شاهد فراوانی کمتری دارند که این امر همچنین تهویه خاک و نفوذ ریشه را با مشکل جدی مواجه خواهد کرد. فراوانی خاکدانه‌های درشت موجب افزایش نفوذ شده که با نتایج سرعت نفوذ نهایی در دیمزار تغییر کاربری به مرتع و علوفه‌کاری همخوان است. نتیجه مطالعه مروری Basset et al., (2023)، نیز نشان از اثر قابل توجه ساختمان خاک بر نفوذ آب در خاک و همبستگی معنی‌دار بین این دو ویژگی وجود دارد که این اثرات بیشتر به کاربری و مدیریت زمین نسبت داده شده است، به خصوص زمانی که عملیات حفاظت و اصلاح خاک، مدیریت محصول و خاک‌ورزی انجام شده است.

جدول ۲– اثر عملیات حفاظتی بر سرعت نفوذ نهایی در هشت عملیات حفاظتی و شاهد آنها

Table 2. The effect of protective operations on the final infiltration rates in 8 Operations and their controls

Operation types	Operations/Control	The final infiltration rates (cmm^{-1})	The percentage difference (-/+)
Pit-seeding	Control	0.275*	5.6 +
	Pit-seeding	0.293	
Conversion of dryfarming to rangeland	Control- dryfarming	0.276	6.9 +
	Conversion of dryfarming to rangeland	0.295	
Conversion of dryfarming to forage cultivation	Control	0.276	12.3 +
	Conversion of dryfarming to forage cultivation	0.31	
Almond farming	Control	0.252	
	20 years old	0.276	9.5 +
	20 years old	0.285	13.1 +
	10 and 2-3 years old	0.25	
	10 years old	0.281	12.4 +
	10 years old	0.29	16.0 +
	Control	0.235	2.6 +
	2-3 years old	0.241	
Land leveling	Control	0.267	5.2 -
	Land leveling	0.253	
Seedling planting	Control- rangeland	0.142	21.8 +
	Control- dryfarming	0.187	7.5 -
	Seedling planting	0.173	
Conversion of dryfarming to rangeland	Control- dryfarming	0.16	56.3 -
	Conversion of dryfarming to rangeland	0.07	
Forage cultivation and orchard	Control- dryfarming	0.23	18.3 -
	Forage cultivation and orchard	0.188	

*: اعداد داخل جدول میانگینی از چندین اندازه گیری است.

*: Values are the mean of several measurements

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی پایداری ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک متاثر از عملیات مدیریت و حفاظت خاک در حوزه آبخیز رزین استان کرمانشاه انجام شده است. نتایج نشان داد عملیاتی اصلاحی که با رویکرد کاهش به‌هم‌خوردگی خاک اعمال می‌شوند نظیر اصلاح کاربری دیمزارهای شیب‌دار و کم‌بازده و اختصاص آنها به مرتع از طریق توانبخشی آنها با کشت گیاهان علوفه‌ای از

خانواده لگوم‌های چندساله منجر به بیشترین افزایش در شاخص‌های پایداری خاک‌دانه و ظرفیت نفوذپذیری خاک شده‌اند، اما عملیاتی که باعث بهم خوردگی خاک شده‌اند مانند تسطیح و بهسازی اراضی و یا عملیاتی که هنوز مدت کوتاهی از عمر آنها می‌گذرد مانند نهال‌کاری و بادامکاری دو تا سه ساله، در ابتدا موجب تضعیف ساختمان و یا عدم تشکیل خاکدانه‌های درشت تر شده اند. بنابراین، عملیاتی که موجب کمتر بهم خوردن خاک شده‌اند و یا زمان طولانی از استقرار آنها می‌گذرد، اثر مطلوب خود را بر ساختمان خاک و شاخص MWD نشان داده‌اند که می توان به عملیات بادامکاری ۲۰ و ۱۰ ساله و منطقه جنگلی (به عنوان شاهد ظرفیت نهایی منطقه از نظر بهبود ساختمان خاک) اشاره کرد. همچنین عملیات حفاظتی مانند علوفه‌کاری و احداث باغ و بادامکاری ۱۰ ساله موجب افزایش نسبت خاک‌دانه‌های درشت شده‌اند.

به طوری‌که شاخص WSA> 0.25 در این عملیات ارتقاء یافته که به معنی افزایش خاکدانه‌های درشت و پایدار بوده است. همچنین، در بین عملیات‌های مورد بررسی، عملیات بادامکاری ۲۰ ساله بیشترین درصد تغییرات را با شاخص‌های MWD و WSA>0.25 در جهت افزایش و بهبود این شاخص‌ها داشته است. نتایج سرعت نهایی نفوذپذیری خاک نشان داد، در مناطقی که در اثر عملیات حفاظت خاک، خاکدانه‌های درشت و پایدار تشکیل شده است، سرعت نفوذ نهایی افزایش یافته است و نشان از اثر مستقیم ساختمان خاک بر نفوذپذیری و تاثیر عملیات حفاظتی بر ویژگی‌های خاک است. ساختمان خاک و نفوذ آب به خاک که از شاخص‌های کیفیت خاک هستند، تخریب و کاهش آنها به علت مدیریت کاربری نامتناسب است. بررسی نقش مدیریت، به ویژه مدیریت کاربری در کنترل یا تشدید روند تخریب خاک، ضرورتی ملی و منطقه‌ای جهت بهره‌برداری پایدار از منابع خاک است. تلاش‌های گسترده در روش‌های حفاظت خاک، از کشت بدون شخم تا محصولات پوششی تا افزودنی‌های خاک و موارد دیگر، منجر به اثرات قابل توجهی بر ساختمان خاک شده است. با این حال، این تأثیرات، نتیجه عوامل پیچیده و به هم پیوسته بوده است که اغلب منجر به پاسخ‌های متناقض خاک شده است که پیشنهاد می‌شود، با انجام مطالعات بیشتر و طولانی‌تر در هر منطقه، به بهترین و موثرترین روش حفاظت خاک متناسب با ویژگی‌های همان منطقه دست یافت.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کلیه افرادی که در ارتقای کیفیت مقاله نقش موثری ایفا کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

در این مقاله تضـاد منافعی وجود ندارد و این مسـاله مورد تایید همه نویسندگان است.

منابع مورد استفاده

Abinet, T., 2011. The impact of area enclosure on soil quality and farmers' ‘perception: the case of Tachignaw Gimbichu enclosure in Shashogo Woreda, Southern Ethiopia. MSc thesis, Addis Ababa, Ethiopia, Addis Ababa University.

Ajmi, M., Khormali, F., Ayobi, Sh., 2010. Application of neural network for prediction of earthen dam peak breach outflow, and breach time. Iran. J. Soil Water Res. 39(1), 15-30.

Asghari, Sh., Hashemian Soofian, S., Goli Kalanpa, E., Mohebodini, M., 2015. Impacts of land use change on soil quality indicators in Eastern Ardabil Province. J. Water Soil Conserv. 22(3), 1-18.

Basset, C., Najm, M.A., Ghezzehei, T., Hao, X., Daccache, A., 2023. How does soil structure affect water infiltration? a meta-data systematic review. Soil Till. 226, 105577.

Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124(1-2), 3-22.

Celik, I., 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. Soil Till. Res. 83, 270 277.

Chan, K.Y., Heenan, D.P., So, H.B., 2003. Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light textured soils in Australia: a review. Aust. J. Exp. Agric. 43, 325-334.

Eze, S., Dougill, A.J., Banwart, S.A., Hermans, T.D.G., Ligowe, I.S., Thierfelder, C., 2020. Impacts of conservation agriculture on soil structure and hydraulic properties of Malawian agricultural systems. Soil Till. Res. 201, 104639.

Heckmann, T., Cavalli, M., Cerdan, O., Foerster, S., Javaux, M., Lode, E., Brardinoni, F., 2018. Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. Earth-Sci. Rev. 187, 77-108.

Kemper, W.D., Rosen, R.C., 1986. Aggregate stability and distribution. In D.LSparks et al. (ed.) Method of soil analysis. Part 3. 3nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America Madison, WI

Minasny, B., George, B.H., 1999. The measurement of soil hydraulic properties in the field. The University of Sydney and the Australian Soil Science Society Inc.

MoARD, 2005. Farmers' based participatory watershed development. A Guideline. Part 1 and 2. Addis Ababa, Ethiopia: Ministry of Agriculture and Rural Development (MoARD).

Mostazo, P., Amador, C.A., Asensio, C., 2023. Soil erosion modeling and monitoring. Agricul. 13, 447.

Rajbanshi, J., Das, Sh., Paul, R., 2023. Quantification of the effects of conservation practices on surface runoff and soil erosion in croplands and their trade-off: a meta analysis. Sci. Total Environ. 864, 161015.

Riahi, M.R., Vahabzadeh, G., Raei, R., 2015. The role of land use change on some soil physicochemical properties, case study: Watershed Basin of Keyasar Galooga. Water Soil Sci. 26(1), 159-171.

Six, J., Guggenberger, G., Paustian, K., Haumaier, L., Elliott, E.T., Zech, W., 2001. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. Eur. J. Soil Sci. 52, 607-618.

Song, Sh., Yu, D., Li, X., 2023. Impacts of changes in climate and landscape pattern on soil conservation services in a dryland landscape. Catena 222, 106869.

Terefe, T., 2011. Farmers' perception on the role of vetiver grass in SWC in Southwest Ethiopia. The Case of Tubule Peasant Association, Metu District (M. A. Thesis). New Delhi, India.

Xiong, M., Sun, R., Chen, L., 2018. Effects of soil conservation techniques on water erosion control: a global analysis. Sci. Total Environ. 645, 753-760.