

Effects of tillage practice and crop residue retention on soil organic carbon, bulk density and aggregate and erodibility

Mosayeb Heshmati^{1*}, Mohammad Gheitury² and Yahya Parvizi³

¹ Professor, Kermanshah Center for Agricultural and Natural Resources Research and Education, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

² Associate Professor, Kermanshah Center for Agricultural and Natural Resources Research and Education, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

³ Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 23 September 2024

Accepted: 10 March 2025

Extended abstract

Introduction

Tillage is the most significant agricultural practice worldwide, playing a crucial role in soil quality, the environment, and crop yield. In the majority of Iran's rainfed farmlands, tillage is performed using moldboard plows and along the slope gradient. Due to its role in organic carbon depletion, soil erosion, and reduced crop yield, this method is considered the most detrimental form of tillage. Based on numerous studies worldwide, conventional tillage using a moldboard plow severely damages key soil properties, reduces moisture retention, increases costs, leads to nutrient loss, decreases crop yield, and causes numerous off-site consequences such as sedimentation, flooding, water pollution, and organic carbon depletion, these impacts are exacerbated under climate change, making it a distinct and critical issue in soil erosion, specifically termed tillage erosion. The aim of the study was to determine the effects of tillage methods on bulk density, aggregate stability, and soil erodibility, conducted at the Sararoud Dryland Agricultural Research sub-institute over a five-year period (2017–2022).

Materials and methods

This research was conducted at the Sararoud research station (Dryland Agricultural Research sub-institute). The station is located 15 km east of Kermanshah city and 3 km from the main Kermanshah-Tehran road. This research was conducted as a split-split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications. The experiment consisted of four main treatments (conventional tillage, combined tillage, chisel tillage, and no-tillage) and three sub-treatments (no plant residue, 33% plant residue, and 66% plant residue). To evaluate the long-term effects of the treatments, the locations of the main and sub-treatments remained fixed throughout the study period, with only the crop rotation being altered. Soil samples were collected from the 0-20 cm depth layer and analyzed for bulk density, organic carbon, and aggregate stability (using the wet sieving method). The erosion factor was calculated by determining the erodibility factor (K) in the Universal Soil Loss Equation, based on five parameters: organic matter content, percentage of silt + very fine sand (0.05–1 mm), percentage of coarse sand (1–2 mm), soil structure, and permeability. Statistical analysis of the data was performed using SAS software.

Results and discussion

The mean bulk density in the main treatments, including control (conventional tillage), combined tillage, chisel tillage, and no-tillage, was 1.62, 1.45, 1.40, and 1.37 g/cm³, respectively, with a significant decrease ($p < 0.05$) observed in the no-tillage treatment. The sub-treatments (crop residue levels) also had a significant effect on bulk density, with both 33% and 66% straw (crop residue) rates significantly reducing it. The effect of treatments on bulk density became significant from the third year onward. The statistical analysis also revealed the effects of tillage methods and crop residue levels on soil organic carbon. In the main treatments—control (conventional tillage), combined tillage, chisel tillage, and no-tillage—soil organic carbon content was 1.20%, 1.50%, 1.40%, and 1.70%, respectively, these values showed significant differences ($p < 0.05$), with no-tillage having the greatest effect on increasing soil organic carbon. The sub-

* Corresponding author: heshmati46@gmail.com

treatments (crop residue levels) also had a significant effect on soil organic carbon, with both 33% and 66% straw (crop residue) rates significantly increasing it. The proportion of very fine aggregates was significantly lower in the no-tillage treatment with the highest crop residue level. The amount of medium-sized aggregates did not differ significantly among the treatments. The proportion of very large aggregates was significantly lower in conventional tillage and the sub-treatment without crop residue. The size of soil aggregates became significant in the third year and predominantly in the fourth year. In other words, an increase in large and very large aggregates and a corresponding decrease in fine and very fine aggregates were observed from the third year onward. The results indicate the effective role of various conservation tillage methods in reducing soil erodibility compared to conventional tillage. The results of this study showed that the three conservation tillage methods played an effective role in improving the evaluated soil properties. Certainly, the role of no-tillage (without plowing) was more prominent in this process. As indicated in the results, over time following the implementation of the study, organic carbon and the proportion of large (1–2 mm) and very large (2–4.6 mm) aggregates gradually increased in the conservation tillage treatments.

Conclusions

Conservation tillage combined with retaining crop residues significantly improved the most important measured soil quality properties, including organic carbon, bulk density, and the proportion of large soil aggregates. No-tillage (direct seeding) with one-third crop residue (33%) is recommended as the most suitable tillage method under rainfed conditions and wheat-chickpea rotation, which is common in most semi-arid regions of the country, and is proposed as the optimal treatment in this study.

Key Words: Chisel tillage, Crop residue, Combined tillage, No tillage, Winter wheat

Cite this article: Heshmati, M., Gheitury, M., Parvizi, Y., 2025. Effects of tillage practice and crop residue retention on soil organic carbon, bulk density and aggregate and erodibility. *Water. Eng. Manag.* 17(3), 340-355.

© 2025, 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>)



نقش نوع شخم و بقایای گیاهی بر کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، خاکدانه‌ها و فرسایش پذیری خاک

مسیب حشمتی^{۱*}، محمد قیطوری^۲ و یحیی پرویزی^۳

^۱ استاد، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

^۲ دانشیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

^۳ استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲

چکیده مبسوط

مقدمه

خاک‌ورزی مهم‌ترین فعالیت کشاورزی در سراسر جهان است که نقش به‌سزایی بر کیفیت خاک، محیط‌زیست و عملکرد محصول دارد. در غالب دیم‌زارهای ایران شخم با گاوآهن برگرداندار و در جهت شیب دامنه انجام می‌گیرد که به‌دلیل نقش آن در انتشار کربن آلی، فرسایش خاک و کاهش عملکرد محصول زیان‌بارترین نوع خاک‌ورزی است. بر اساس تحقیقات متعدد در نقاط مختلف جهان، شخم متداول با گاوآهن برگردان‌دار موجب آسیب جدی به ویژگی‌های مهم خاک، کاهش ذخیره رطوبت، افزایش هزینه، هدررفت عناصر غذایی، کاهش عملکرد محصول و نیز تبعات خارج حوضه‌ای متعدد از جمله رسوب، سیل، آلودگی منابع آب، انتشار کربن آلی می‌شود که در شرایط تغییرات اقلیمی شدیدتر است. به‌طوری‌که به‌عنوان مبحثی جداگانه و مهم در فرسایش خاک تحت عنوان فرسایش شخم قلمداد شده است. هدف پژوهش نیز تعیین اثرات روش‌های شخم بر جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه‌ها و فرسایش‌پذیری خاک بود که در معاونت تحقیقات دیم سرارود به مدت پنج سال (۱۴۰۱-۱۳۹۶) انجام یافت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی موصوف به سرارود (معاونت موسسه تحقیقات دیم کشور) انجام یافت. این ایستگاه در ۱۵ کیلومتری شرق شهر کرمانشاه و سه کیلومتری راه اصلی کرمانشاه-تهران قرار دارد. این پژوهش در قالب طرح آزمایش‌های کرت‌های دوبر خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد که متشکل از چهار تیمار اصلی (شخم متداول، خاک‌ورزی مرکب، چپزل و کشت مستقیم) و سه تیمار فرعی (بدون بقایای گیاهی، ۳۳ درصد بقایای گیاهی و ۶۶ درصد بقایای گیاهی) بود. به‌منظور بررسی نتیجه تأثیر تیمارها در طول سال‌های اجرای طرح، محل تیمارهای اصلی و فرعی ثابت ماند و فقط تناوب کشت تغییر کرد. نمونه‌های خاک از لایه صفر تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد و مورد آزمایشات جرم مخصوص ظاهری، کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها (به روش الک تر) قرار گرفت. عامل فرسایش از طریق محاسبه عامل فرسایش‌پذیری (K) در فرمول جهانی فرسایش خاک و بر اساس پنج عامل درصد مواد آلی، درصد سیلت + شن خیلی ریز (۰/۰۵ تا یک میلی‌متر)، درصد شن درشت (یک تا دو میلی‌متر)، ساختمان خاک و نفوذپذیری محاسبه شد. تجزیه آماری داده‌ها نیز با نرم‌افزار SAS انجام شد.

* مسئول مکاتبات: heshmati46@gmail.com

نتایج و بحث

متوسط جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای اصلی شامل شاهد (شخم متداول)، خاک‌ورزی مرکب، چپزل و کشت مستقیم به ترتیب ۱/۶۲، ۱/۴۵، ۱/۴۰ و ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود که به‌طور معنی‌داری در تیمار کشت مستقیم ($p < 0.05$) کمتر بود. تیمارهای فرعی (نسبت بقایای گیاهی) نیز تأثیر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری داشتند، به‌طوری‌که تأثیر هر دو نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد کاه (بقایای محصول) در کاهش آن معنی‌دار بود. تأثیر تیمارها بر جرم مخصوص ظاهری از سال سوم به بعد معنی‌دار بود. همچنین نتایج تجزیه آماری تأثیر تیمارهای نوع شخم و نسبت بقایای گیاهی بر کربن آلی خاک در تیمارهای اصلی شامل شاهد (شخم متداول)، خاک‌ورزی مرکب، چپزل و کشت مستقیم به ترتیب ۱/۲۰، ۱/۵۰، ۱/۴۰ و ۱/۷۰ درصد به‌دست آمد که با هم تفاوت معنی‌داری داشتند ($p < 0.05$)، اما تأثیر کشت مستقیم بر افزایش کربن آلی خاک بیشتر بود. تیمارهای فرعی (نسبت بقایای گیاهی) نیز تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی خاک داشتند، به‌طوری‌که تأثیر هر دو نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد کاه (بقایای محصول) در کاهش آن معنی‌دار بود. نسبت خاکدانه‌های خیلی ریز در تیمار کشت مستقیم و با بیشترین بقایای گیاهی به‌طور معنی‌داری کمتر بود. مقدار خاکدانه‌های متوسط در سطح تیمارها با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. خاکدانه‌های خیلی درشت کشت متداول و تیمار فرعی بدون بقایای محصول به‌طور معنی‌داری کمتر بود. اندازه خاکدانه‌های خاک در سال سوم و عمده‌تاً در چهارم معنی‌دار بود. به‌عبارتی افزایش خاکدانه‌های درشت و خیلی‌درشت و به همان نسبت کاهش خاکدانه‌های ریز و خیلی‌ریز از سوم به بعد نمایان شده است. نتایج بیانگر نقش مؤثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی در کاهش فرسایش‌پذیری خاک در مقایسه با خاک‌ورزی متداول است. نتایج این پژوهش نشان داد که سه روش خاک‌ورزی حفاظتی نقش مؤثری در بهبود ویژگی‌های مورد ارزیابی خاک داشتند. البته که نقش کشت مستقیم (بدون شخم) در این روند برجسته‌تر بود. به‌طوری‌که در نتایج اشاره شد، با گذشت زمان از اجرای پژوهش، به‌تدریج کربن آلی و نسبت خاکدانه‌های درشت (یک تا دو میلی‌متر) و خیلی درشت (دو تا ۴/۶ میلی‌متر) در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

خاک‌ورزی حفاظتی به‌همراه باقی گذاشتن بقایای گیاهی در خاک به‌طور معنی‌داری موجب بهبود مهم‌ترین ویژگی‌های کیفیت خاک مورد اندازه‌گیری شدند که شامل کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و نسبت خاکدانه‌های درشت خاک بود. بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) با یک‌سوم بقایای گیاهی (۳۳ درصد) به‌عنوان مناسب‌ترین روش شخم در شرایط دیم و تناوب گندم و نخود که در غالب مناطق نیمه‌خشک کشور مرسوم است به‌عنوان تیمارهای مناسب این پژوهش ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بقایای گیاهی، شخم چپزل، خاک‌ورز مرکب، کشت مستقیم، گندم زمستانه

مقدمه

در شرایط تغییرات اقلیمی شدیدتر است، به‌طوری‌که به‌عنوان مبحثی جداگانه و مهم در فرسایش خاک تحت عنوان فرسایش شخم^۲ قلمداد شده است (Blanco and Lal, 2008).

در مقابل، گزارش‌های تحقیقاتی بیانگر مزیت‌های زیاد انواع خاک‌ورزی‌های حفاظتی است. اساس خاک‌ورزی‌های حفاظتی حفظ بخشی از بقایای گیاهی توأم با کمترین شخم است که در دیم‌زارها منجر به حفظ رطوبت خاک و عملکرد محصول می‌شود (Safari

فرسایش و تخریب خاک اراضی کشاورزی تا حدود زیادی تحت تأثیر شیوه شخم (خاک‌ورزی) قرار دارد. بر اساس تحقیقات متعدد در نقاط مختلف جهان، شخم متداول با گاوآهن برگردان‌دار موجب آسیب جدی به ویژگی‌های مهم خاک، کاهش ذخیره رطوبت، افزایش هزینه، هدررفت عناصر غذایی، کاهش عملکرد محصول و نیز تبعات خارج حوضه‌ای^۱ متعدد از جمله رسوب، سیل، آلودگی منابع آب، انتشار کربن آلی می‌شود که

² Tillage erosion

¹ off-site impacts

رطوبت، حفظ ماده آلی خاک و کاهش هزینه سودآورتر است (Boselli et al., 2019; Niami et al., 2022). مطالعات (Topa et al., 2021)، نشان داد که این سامانه خاکورزی به تدریج موجب کیفیت و پایداری خاک بر اساس شاخص‌های جرم مخصوص ظاهری، افزایش نسبت خاکدانه‌های درشت و افزایش ماده آلی خاک می‌شود.

همچنین نتایج تحقیقات Crittenden et al., (2015)، نشان داد که استفاده از خیش زیرشکن بدون زیر و رو کردن خاک منجر به حفظ کیفیت فیزیکی خاک و ذخیره رطوبت بدون کاهش محصول در مقایسه با خیش برگردان دار شد. بر اساس نتایج تحقیقات (Shamabadi, 2015)، حفظ بقایای گیاهی توام با شخم حفاظتی منجر به حفظ معنی‌دار ذخیره رطوبت خاک در عمق پنج تا ۲۰ سانتی‌متری، بهبود شرایط فیزیکی خاک و کاهش هزینه خاکورزی می‌شود.

در مقابل، خاکورزی متداول موجب آسیب به خاکدانه‌های درشت و شکستن آنها و تبدیل به خاکدانه‌های ریزتر، کاهش ظرفیت نگهداری رطوبت، کاهش مقاومت در مقابل عوامل فرساینده، تسریع در هدررفت عناصر غذایی و انتشار کربن آلی به جو زمین است (Xiao et al., 2019). درچنین شرایطی میزان جابجایی و حمل عناصر غذایی خاک به سامانه زهکش پایین دست نیز قابل توجه است (Jat et al., 2017).

در مزارع شب‌دار تحت شخم متداول، مصرف زیاد فسفر معمولاً باعث کاهش تولید شده، معمولاً تا ۸۰ درصد مازاد آن به شکل غیرقابل دسترس در خاک تجمع یافته و وارد منابع آب می‌شود (Lin et al., 2022). این روند به دلیل افزایش ضریب رواناب و کاهش نفوذپذیری لایه سطحی خاک بر اثر اعمال خاکورزی نامناسب است. تحقیقات (Behtari et al., 2018)، نیز نتایج مشابهی به دست داد.

تغییرات کربن آلی خاک بستگی به شرایط اقلیمی، توپوگرافی، بافت خاک، وضعیت خاکورزی (شخم) و به هم خوردن خاک دارد (Fallahzade and Hajabbasi, 2012). برهم زدن خاک به وسیله شخم منجر به انتشار کربن آلی می‌شود (Medeiros et al., 2023)، که به نوبه خود موجب کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مقابل

(et al., 2013). متأسفانه در حال حاضر سه ویژگی زیان- بار شخم متداول در دیم‌زارهای ایران روندی تشدید دارد که شامل افزایش شدت شخم (عمق شخم تکرار آن در سال)، انجام شخم در جهت شیب و سوزاندن بقایای محصول است (Afzali-Gorouh et al., 2019). مهم‌ترین دلایل این وضعیت، ازجمله فراوانی تراکتور، عدم نظارت، ارزانی سوخت، عدم حمایت‌های مالی برای تغییر نوع خاک‌ورزی، افزایش بهای زمین و خلاءهای قانونی است (Heshmati and Gheitouri, 2018). شدت فرسایش شخم در مناطق زاگرس که غالباً دارای سازندهای ماری هستند (Rostami et al., 2023)، شدیدتر از سایر مناطق است. در چنین مناطقی پیامدهای خارج حوضه‌ای ازجمله به‌پروردگی^۱، گل‌آلودگی و انتشار کربن زیاده‌تر است (Rong et al., 2019).

در چنین شرایطی شخم نامناسب باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش جرم مخصوص خاک شده که به نوبه خود ضریب رواناب را افزایش می‌دهد که در نتیجه آن بار معلق افزایش می‌یابد (Wang et al., 2016).

مسئله بعدی در چنین مناطقی سوزاندن بقایای محصول (کاه و کلش) است که به تنهایی تبعات زیادی دارد که مهم‌ترین آنها انتشار کربن آلی (منجر به گرمایش جهانی)، کاهش ماده آلی خاک و کاهش عملکرد محصول است (Ogieriakhi and Woodward, 2022). این موضوع در مناطق نیمه‌خشک شدیدتر است. معمولاً برای حفظ تعادل مواد آلی خاک‌های مناطق نیمه‌خشک نیاز به پنج در هکتار بقایای گیاهی در سال است (Houshyar and Esmailpour, 2020). پژوهش‌های (Yang et al., 2018)، در این زمینه نشان داد که کشاورزی حفاظتی از طریق شخم صفر به همراه باقی گذاشتن بخشی از بقایای محصول در سطح مزرعه، موجب افزایش رطوبت و فتوسنتز و کاهش تنش خشکی شد که در نهایت منجر به بهبود عملکرد محصول شد.

تحقیقات متعدد مزیت خاکورزی حفاظتی را نسبت به خاکورزی معمولی با توجه به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و همچنین عملکرد محصول شناسایی کرده‌اند. شخم صفر (بی‌خاک‌ورزی)^۲ که مطلوب‌ترین خاک‌ورزی حفاظتی است به دلیل حفظ

² No-till¹ Eutrophication

متداول می‌شود. بر اساس مطالعات Yang et al., (2018)، تأثیرات بی‌خاکورزی در ذخیره رطوبت و کاهش دمای سطح خاک زمانی است که با باقی گذاشتن بقایای گیاهی همراه باشد.

در چنین شرایطی فتوسنتز گندم زمستانه به همراه رشد زایشی (تولید محصول) به دلیل افزایش رطوبت خاک بر اثر بهبود سطح ماده آلی افزایش خاکدانه‌های درشت و کاهش جرم مخصوص ظاهری است (Topa et al., 2022). هدف پژوهش تعیین اثرات روش‌های مختلف شخم بر جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه‌ها و فرسایش‌پذیری خاک است که ایستگاه تحقیقات دیم سرارود (معاونت تحقیقات دیم) به مدت پنج سال (۱۴۰۱-۱۳۹۶) انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی موصوف به سرارود (معاونت موسسه تحقیقات دیم کشور) انجام یافت. این ایستگاه در ۱۵ کیلومتری شرق شهر کرمانشاه و سه کیلومتری راه اصلی کرمانشاه-تهران با مختصات جغرافیایی عرض جغرافیایی ۲۰° ۳۴' و طول جغرافیایی ۱۹° ۴۷' و ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه (متوسط ایستگاه هواشناسی داخل ایستگاه) ۴۴۵ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد است.

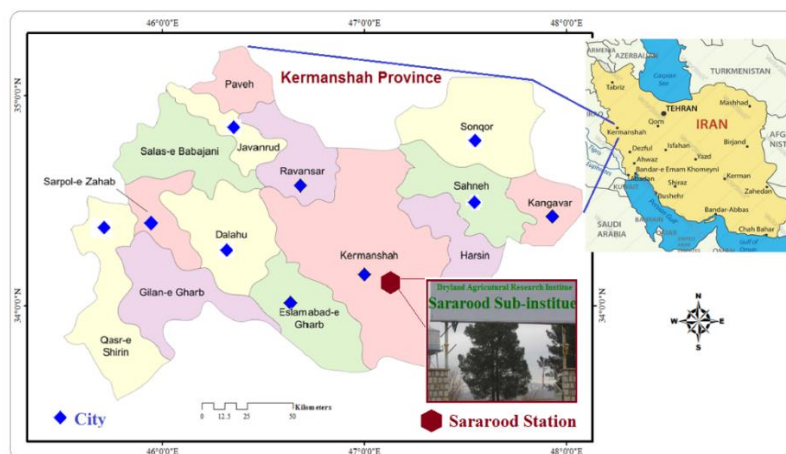
خاک ایستگاه عمیق و واجد افق‌های A، B و C است که در رده اینسپتی سول قرار دارد. ایستگاه فوق معرف بخش وسیعی از اراضی دیم غرب کشور (از جمله منطقه زاگرس) است (Bayat et al., 2021). این ایستگاه مجهز به واحدهای خدماتی و پشتیبانی از قبیل آزمایشگاه بذر و ماشین‌آلات مختلف کشاورزی کافی و متنوع از جمله انواع بذرکار، گاواهن، تراکتور و کمباین ویژه برداشت محصول در سطح پلات (مورد نیاز این پژوهش) است. خاک منطقه مورد مطالعه فاقد محدودیت رشد از نظر شوری و قلیایی است. متوسط اسیدیته خاک محل آزمایش ۷/۵، هدایت الکتریکی در حد خیلی کم (حدود ۰/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر)، آهک کل ۳۱ درصد و نسبت‌های شن، سیلت و رس نیز به ترتیب هفت، ۶۳ و ۳۰ درصد است.

فرسایش خواهد شد (Yin et al., 2018). در مجموع، هدررفت کربن آلی خاک بر اثر شخم متداول در مناطق نیمه‌خشک به مراتب شدیدتر است (Arai et al., 2018). بنابراین، فراهم آوردن تمهیداتی برای ترغیب کشاورزان از راه‌های مختلف (آموزش، تسهیلات، نظارت و غیره) آنان را به اصلاح روش خاکورزی و باقی گذاشتن بخشی از بقایای محصول در مزرعه ترغیب خواهد کرد که نتیجه آن بهبود کیفیت خاک، پایداری منابع طبیعی و مقابله با پیامدهای تغییرات اقلیمی خواهد کرد (Ravindra et al., 2019).

با توجه به نتایج مورد اشاره، اصلاح شخم یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سازمان‌های مرتبط با کشاورزی و محیط‌زیست به دلیل پیامدهای نگران‌کننده آن است. مسلماً این موضوع در ایران که با چالش‌های ناشی از تخریب روزافزون منابع سرزمین از جمله فرسایش آبی و بادی، شوری خاک‌ها، بیابان‌زایی، حمل رسوبات به پشت سدهای بزرگ، خشکسالی و ریزگردها مواجه است، اهمیت بیشتری دارد. دلیل این امر این است که چنین چالش‌هایی با فعالیت‌های کشاورزی غیراصولی و در راس آنها شخم نامناسب گره خورده است.

به‌طور کلی اصلاح خاکورزی اساس کشاورزی پایدار است. این امر به دلیل نقش خاکورزی اصولی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی از جمله پایداری خاکدانه‌ها و جرم مخصوص ظاهری است که نهایتاً منجر به حفظ کربن آلی و عناصر غذایی و نهایتاً کاهش فرسایش پذیری، کاهش پدیده به‌پروردگی، کاهش گازهای گلخانه‌ای و حتی کاهش هزینه‌های کشاورزی می‌شود. این روند مستلزم مدیریت و سرمایه‌گذاری دولت‌ها است (Toan et al., 2022). با توجه به مطالب فوق، فراهم نمودن تمهیدات قانونی، مالی و آموزشی برای تشویق و ترغیب کشاورزان به اصلاح شیوه شخم (خاکورزی) در دیم‌زارها امری حیاتی است.

این امر در مناطق نیمه‌خشک (بیشتر نواحی زاگرس) که مقدار رس و سیلت خاک زیاد است، عواقب جبران‌ناپذیر آن در قالب فرسایش، رسوب، سیل، تشدید ریزگردها و انتشار کربن آلی شدیدتر است. با توجه به مطالب فوق، بی‌خاکورزی برترین نوع شخم حفاظتی است که به دلیل مزایای زیاد آن در شرایط خشکسالی و تغییرات اقلیمی تدریجاً جایگزین شخم



شکل ۱- موقعیت ایستگاه تحقیقات دیم سرارود در استان کرمانشاه و ایران

Fig. 1. The map of the study area (Sararood research station, Kermanshah Province, Iran)

محصول بین کرت‌ها جلوگیری شود. به‌منظور اجرایی کردن مطلوب شخم حفاظتی در بین کشاورزان، زمان شخم و کشت با زمان کشت متداول بین کشاورزان منطقه در نظر گرفته شد.

زمان شخم و کشت با زمان کشت متداول بین کشاورزان منطقه در نظر گرفته شد. دلیل آن اولاً در شرایط دیم کاشت گندم قبل از شروع بارش پاییزه است (اصلاً قبل از پله)، دوماً گندم باید یک دوره سرمای زمستانه را برای تکمیل مراحل رشد فنولوژیکی طی کند، کشت نخود نیز اواخر زمستان تا اوایل بهار است که در مجموع دوره تکمیل رشد آن کمتر از چهار ماه است.

بنابراین زمان کاشت کشاورزان تجربه‌ای با قرن‌ها سابقه است، اما مشکل نوع شخم و سوزاندن بقایای محصول است. محل تیمارها اصلی و فرعی به‌طور تصادفی انتخاب و در سال‌های بعد محل کشت نخود و گندم (تناوب گندم و نخود) مطابق جدول ۱ تغییر یافت. به‌منظور بررسی نتیجه تأثیر تیمارها در طول سال‌های اجرای طرح، محل تیمارهای اصلی و فرعی ثابت ماند و فقط تناوب کشت تغییر کرد.

طرح آزمایشی پژوهش، تیمارهای اصلی و فرعی:

برای بررسی تغییرات سالانه متغیرهای مورد نظر، ابتدا یک قطعه زمین زراعی دیم در ایستگاه تحقیقات دیم سرارود انتخاب شد. کشت اصلی شامل گندم دیم در تناوب با نخود بود. پژوهش در قالب طرح آزمایشات کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این پژوهش کرت‌ها با ابعاد ۱۰ در ۲۰ متر متناسب با حرکت رفت و برگشت ادوات کشاورزی تهیه شد. تیمارهای اصلی روش شخم یا خاکورزی بود که شامل تیمار شاهد (T_0 = شخم متداول با گاواهن برگردان‌دار)، T_1 = خاکورز حفاظتی مرکب (مدل دلتا با غلتک سببی)، T_2 = خاکورز حفاظتی چیزل پکر (غلتک چنگالی) و T_3 = خاکورز کشت مستقیم (بدون شخم) بودند. تیمارهای فرعی میزان بقایای محصول (عمدتاً کاه و کلش گندم) باقی مانده در مزرعه بود که شامل بدون بقایای گیاهی (صفر درصد)، یک سوم بقایای گیاهی (۳۳ درصد) و دو سوم بقایای گیاهی (۶۶ درصد) بود. همچنین با دستگاه روتاری حدود ۰/۵ متر عرض در بین کرت‌ها ایجاد شد تا در زمان برداشت محصول از خطای تداخل عملکرد

جدول ۱- تناوب گندم و نخود دیم در ایستگاه تحقیقات دیم سرارود- استان کرمانشاه

Table 1. The schematic map of experiment

Farmland	1 st year	2 nd year	3 rd year	4 th year	5 th year
A	Rain-fed winter wheat	Rain-fed chickpea	Rain-fed winter wheat	Rain-fed chickpea	Rain-fed winter wheat
B	Rain-fed chickpea	Rain-fed winter wheat	Rain-fed chickpea	Rain-fed winter wheat	Rain-fed chickpea

روش نمونه‌برداری: نمونه‌های خاک از لایه صفر تا ۲۰

سانتی‌متری برداشت شد. به این منظور، در هر پلات نمونه از سه نقطه با عمق یکسان برداشت و شماره‌گذاری شد. نمونه کلوخه دست‌نخورده نیز جداگانه برداشت شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه ارسال و تجزیه شدند. این کار در اواسط فصل بهار هر سال انجام شد.

روش آزمایش‌های: آزمایش‌های خاک نمونه‌ها شامل

دو گروه بود. گروه اول آزمایش آن بخش از ویژگی‌های ثابت و متأثر از مواد مادری (سنگ مادر) بود به ندرت متأثر از شخم قرار دارند و یا این‌که تأثیر شخم بر آنها بلند مدت است. این آزمایش‌ها فقط در سال اول انجام شد و در سال‌های بعد تکرار نشد که شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کربنات کل (آهک کل)، نسبت ذرات خاک (رس، سیلت و شن) و نسبت شن خیلی ریز به شن درشت (برای محاسبه ضریب فرسایش‌پذیری خاک) بود. گروه دوم آزمایشاتی بود که متأثر از نوع شخم و میزان بقایای گیاهی قرار دارند و به همین دلیل هر سال تکرار شدند. این آزمایش‌ها شامل کربن آلی خاک، جرم مخصوص ظاهری و توزیع اندازه خاکدانه‌ها بودند.

نسبت توزیع ذرات خاک (بافت خاک) به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد و با استفاده از مثلث بافت خاک طبقات بافت خاک تعیین شد (Soil Survey Staff, 2003). هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) گل شباع به ترتیب با EC متر و pH سنج بر اساس دستورالعمل (Bashour and Sayegh, 2007) انجام شد. جرم مخصوص ظاهری^۱ نمونه دست‌نخورده با استفاده از روش کلوخه و پارافین بر اساس روش Blake and Hartgo, (1986) انجام شد. پایداری خاکدانه‌ها که یکی از شاخص‌های کلیدی مؤثر بر کیفیت خاک، نگهداری رطوبت و مقاومت در مقابل عوامل فرساینده است که معیار آن نسبت قطری خاکدانه‌ها است. به این منظور، نسبت وزنی خاکدانه‌ها به روش الک تر انجام شد (Ariya and Amirkhani, 2005). بر این اساس، ۵۰ گرم خاک از خاک با قطر ۴/۶-۲ میلی‌متر پس از خیس

کردن تدریجی با پیست بر روی یک سری الک‌های (به ترتیب از بالا به پایین) دو، یک، ۵/۰، ۲۵/۰، ۱۰۶/۰ و ۰/۷۵ میلی‌متر قرار داده شد و در مخزن آب الک تر قرار گرفت. در مرحله سری الک‌ها با سرعت ۳۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه الک تر تکان داده شد و خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک به ظرف جداگانه منتقل و پس از خشک شدن در آن وزن شد که نهایتاً نسبت آنها با هم محاسبه شد. کربن آلی خاک به روش والکی‌بلک و تیتراسیون با فروآمونیم سولفات انجام شد (Sommers and Nelson, 1996).

روش محاسبه فرسایش‌پذیری: عامل فرسایش از طریق محاسبه عامل فرسایش‌پذیری (K) در فرمول جهانی فرسایش خاک و بر اساس پنج عامل درصد مواد آلی، درصد سیلت + شن ریز (۲/۰ تا یک میلی‌متر)، درصد شن درشت (یک تا دو میلی‌متر)، ساختمان خاک و نفوذپذیری از طریق نمودار فرسایش‌پذیری محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌ها مورد تجزیه آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمارهای اصلی (نوع شخم) و تیمارهای فرعی (نسبت بقایای گیاهی) قرار گرفت. به این منظور، از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارها بر جرم مخصوص ظاهری و کربن آلی: نتایج تجزیه آماری تأثیر تیمارهای نوع شخم و نسبت بقایای گیاهی بر جرم مخصوص ظاهری خاک در جدول ۲ درج شده است که با توجه به آن متوسط جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای اصلی شامل شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چپزل و کشت مستقیم به ترتیب ۱/۶۲، ۱/۴۵، ۱/۴۰ و ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود که به طور معنی‌داری در تیمار کشت مستقیم ($p < 0.05$) کمتر بود. تیمارهای فرعی (نسبت بقایای گیاهی) نیز تأثیر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری داشتند، به طوری‌که تأثیر هر دو نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد کاه (بقایای محصول) در کاهش آن معنی‌دار بود. تأثیر تیمارها بر جرم مخصوص ظاهری از سال سوم به بعد معنی‌دار بود (جدول ۲).

^۱ Bulk Density

جدول ۲- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری و کربن آلی خاک تیمارهای اصلی (نوع شخم) و بقایای محصول در ایستگاه تحقیقات دیم سرارود

Table 2. Mean cooperation (ANOVA analysis) of BD and SOC among the main treatments and sub treatments

Variable	Crop	Main treatments				Sub treatment		
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	0%-R	33%-R	66%-R
BD (gcm ⁻³)	wh	1.617 ^a	1.445 ^{ab}	1.429 ^{ab}	1.351 ^c	1.463 ^a	1.459 ^a	1.380 ^b
	Ch	1.626 ^a	1.467 ^b	1.486 ^b	1.432 ^c	1.508 ^a	1.494 ^a	1.455 ^b
SOC (%)	wh	1.495 ^b	1.66 ^{ab}	1.44 ^b	1.90 ^a	1.335 ^c	1.595 ^b	1.69 ^a
	Ch	1.05 ^c	1.37 ^b	1.43 ^b	1.787 ^a	1.346 ^b	1.496 ^b	1.62 ^a

Wh= wheat, Ch= chickpea, BD = Bulk density, SOC = Soil organic carbon, T₀= conventional tillage using moldboard plow, T₁= combined plow using delta basket roller model, T₂= chisel packer plow, T₃= no tillage, 0%-R= no crop residue, 33%-R= one third crop residue and 66%-R= two third crop residue. *Means with the same letters are not significantly different at P ≤ 0.05%

بر افزایش کربن آلی خاک بیشتر بود. تیمارهای فرعی (نسبت بقایای گیاهی) نیز تأثیر معنی داری بر کربن آلی خاک داشتند، به طوری که تأثیر هر دو نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد کاه (بقایای محصول) در کاهش آن معنی دار بود. برخلاف جرم مخصوص ظاهری، تأثیر تیمارها بر کربن آلی از دوم به بعد معنی دار بود (جدول ۳).

همچنین نتایج تجزیه آماری تأثیر تیمارهای نوع شخم و نسبت بقایای گیاهی بر کربن آلی خاک در تیمارهای اصلی شامل شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به ترتیب ۱/۲۰، ۱/۵۰، ۱/۴۰ و ۱/۷۰ درصد به دست آمد که با هم تفاوت معنی داری داشتند (p<0.05)، اما تأثیر کشت مستقیم

جدول ۳- تأثیر سال بر تغییرات میانگین جرم مخصوص ظاهری و کربن آلی خاک بر اساس آزمایش دانکن در سطح پنج درصد

Table 3. Mean comparison of years for BD and SOC using Duncan's multiple range test at 5% level

Variable	Crop	Year			
		1 st	2 nd	3 rd	4 th
BD (gcm ⁻³)	wh	1.560 ^a	1.552 ^a	1.375 ^b	1.359 ^b
	Ch	1.575 ^a	1.556 ^a	1.389 ^b	1.347 ^b
SOC (%)	wh	1.495 ^c	1.115 ^c	1.741 ^b	2.099 ^a
	Ch	1.169 ^c	1.090 ^c	1.632 ^b	1.980 ^a

Wh= wheat, Ch= chickpea, BD = Bulk density, SOC = Soil organic carbon, *Means with the same letters are not significantly different at P ≤ 0.05%

مقادیر فوق در تیمارهای شاهد (شخم متداول و بدون بقایای گیاهی) به طور معنی داری کمتر بود.

ج- خاکدانه‌های متوسط (با قطر ۰/۵۰ تا ۱ میلی‌متر): خاکدانه‌های متوسط تیمارهای شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به ترتیب ۶/۳۰، ۶/۹۰، ۷/۶۵ و ۷/۵۰ درصد بود. این نسبت در تیمارهای فرعی بقایای گیاهی صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد به ترتیب ۶/۷۰، ۶/۸۵ و ۷/۷۰ درصد به دست آمد. با توجه به جدول ۵ مقدار خاکدانه‌های متوسط در سطح تیمارها با هم تفاوت معنی داری نداشتند.

د- خاکدانه‌های درشت (با قطر یک تا دو میلی‌متر): نسبت خاکدانه‌های درشت در تیمارهای شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به ترتیب ۸/۵۰، ۹/۷۰، ۱۰/۰۰ و ۱۱/۰ درصد به دست آمد. این نسبت در تیمارهای فرعی (بقایای گیاهی) صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد به ترتیب ۹/۴۰، ۹/۳۵ و ۱۲/۰۰ درصد بود. در مجموع این نسبت در تیمار اصلی

تأثیر تیمارها بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها: الف- خاکدانه‌های خیلی ریز (با قطر کمتر از ۰/۲۵ میلی‌متر): نسبت خاکدانه‌های خیلی ریز در تیمارهای اصلی شامل شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به ترتیب حدود ۱۴/۲۰، ۱۳/۴۰، ۱۳/۶۰ و ۱۳/۵۵ درصد هستند. به همین منوال در تیمارهای فرعی (بدون بقایای محصول)، ۳۳ درصد بقایا و ۶۶ درصد بقایا به ترتیب ۱۴/۱۵، ۱۳/۱۰ و ۱۴/۶۵ درصد به دست آمد که در تیمار کشت مستقیم و با بیشترین بقایای گیاهی به طور معنی داری کمتر بود.

ب- خاکدانه‌های ریز (با قطر ۰/۲۵ تا ۰/۵۰ میلی‌متر): درصد خاکدانه‌های ریز تیمارهای شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به ترتیب ۹/۷۰، ۹/۶۰، ۸/۳۰ و ۸/۵۰ درصد بود و در سه تیمار فرعی صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد بقایای گیاهی نیز به ترتیب ۸/۷۵، ۸/۳۵ و پنج و ۱۰ درصد به دست آمد.

شرایط خشکسالی ملموس‌تر است (Dewia et al., 2021؛ Sausa-Mdeiros et al., 2021) افزون بر این، تردد زیاد ماشین‌آلات و شخم نامناسب موجب کوبیدگی خاک و افزایش جرم مخصوص ظاهری می‌شود که به نوبه خود ضمن کاهش نفوذپذیری، ذخیره رطوبت خاک را کاهش می‌دهد که نتیجه آن کمبود آب قابل دسترس در زمان رشد بحرانی محصول دیم است (Jabro et al., 2021).

در مقابل، کشت مستقیم بیشترین نقش را در ذخیره کربن آلی خاک داراست و همین امر باعث می‌شود که شرایط مناسب از طریق فراهم بودن پیوندهای آلی برای چسباندن خاکدانه‌های ریز و تبدیل آنها به خاکدانه‌های درشت‌تر از دو میلی‌متر و پایداری بیشتر آنها فراهم آید (Qi et al., 2022). بنابراین، در شرایطی که کمبود بارش و افزایش دمای هوا به‌عنوان چالشی کلیدی در حال گسترش سالانه است، اعمال شخم مناسب برای حفاظت خاک و پایداری عملکرد محصول بسیار مهم است. بر اساس بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که بدترین حالت ممکن شخم متداول، در حالتی که در جهت شیب در دامنه‌های با شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد انجام می‌شود. چنین دیم‌زارهایی به‌عنوان مناطق بحرانی فرسایش و هدررفت کربن آلی خاک محسوب می‌شوند. پژوهش‌های Lognoul et al., (2017)، در این زمینه نشان داد که هدررفت کربن آلی خاک و انتشار آن در هوا در چنین مکان‌هایی بیشتر از سایر نقاط است.

با توجه نتایج این پژوهش و مقایسه آن با نتایج به‌دست آمده، دست‌کم دو و در شرایط مطلوب سه سال زمان لازم است که اعمال خاکورزی حفاظتی منجر به پایداری و بهبود کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و نسبت خاکدانه‌های درشت خاک شود. برای نتیجه بهتر و مؤثرتر در این زمینه، لازم است خاکورزی حفاظتی از نوع کشت مستقیم و توأم با باقی گذاشتن بقایای محصول در زمین باشد.

با توجه به جدول‌های ۴ و ۵، تغییر در نسبت اندازه خاکدانه‌های خاک در سال سوم و عمدتاً در چهارم معنی‌دار بود. به‌عبارتی افزایش خاکدانه‌های درشت و خیلی درشت و به همان نسبت کاهش خاکدانه‌های ریز و خیلی ریز از سوم به بعد نمایان شده است.

کشت متداول و تیمار فرعی بدون بقایای محصول به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کمتر است.

و- خاکدانه‌های خیلی درشت (با قطر ۲ تا ۴/۶ میلی‌متر): متوسط خاکدانه‌های خیلی درشت به‌ترتیب تیمارهای شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم ۷/۵۰، ۱۱/۳۰، ۱۱/۵۰ و ۱۴/۳۰ درصد بود. این نسبت به‌ترتیب تیمارهای فرعی (صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد بقایای محصول) به‌ترتیب ۹/۴۰، ۹/۳۵ و ۱۲/۰۰ درصد به‌دست آمد. در مجموع این نسبت در تیمار اصلی کشت متداول و تیمار فرعی بدون بقایای محصول به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کمتر است.

نتایج این پژوهش نشان داد که سه روش خاکورزی حفاظتی شامل خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم (بدون خاکورز) در مقایسه با شخم متداول (با گاواهن برگردان‌دار) نقش موثری در بهبود ویژگی‌های مورد ارزیابی خاک داشتند. البته که نقش کشت مستقیم (بدون شخم) در این روند برجسته‌تر بود. به‌طوری‌که در نتایج اشاره شد، با گذشت زمان از اجرای پژوهش، به‌تدریج کربن آلی و نسبت خاکدانه‌های درشت (یک تا دو میلی‌متر) و خیلی درشت (دو تا ۴/۶ میلی‌متر) در تیمارهای خاکورزی حفاظتی افزایش یافت و همزمان نیز جرم مخصوص ظاهری روندی کاهشی (با نقش مثبت در ذخیره رطوبت و افزایش هوادهی سامانه ریشه گیاهان) در شرایط دیم و تناوب گندم و نخود داشت.

بر این مبنای، میانگین افزایش کربن آلی خاک تیمارهای خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به‌ترتیب ۲۰، ۱۶ و ۳۴ درصد بیشتر از شخم متداول بود. به‌همین منوال، میزان افزایش خاکدانه‌های درشت و خیلی درشت به‌ترتیب تیمارهای خاکورزی مورد اشاره نیز ۲۲، ۲۳ و ۴۰ درصد بود. همچنین جرم مخصوص ظاهری نیز به‌ترتیب فوق ۱۱، ۱۲ و ۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (شخم متداول) کاهش یافت.

نکته مهم و قابل توجه نقش برجسته‌تر تیمار کشت مستقیم است که تقریباً بعد از دو سال به تدریج نمایان شده است. این موضوع می‌تواند راه حل مناسبی برای کاهش پیامدهای شخم متداول باشد که در حال حاضر روش خاکورزی (شخم) غالب منطقه است که پیامدهای منفی ضمن آسیب جدی به کیفیت خاک، موجب انتشار کربن آلی و در نهایت کاهش محصول می‌شود که در

زمانی مؤثر است که خاکورزی نیز اصلاح شود (Wittwer et al., 2017).

در مقابل، سوزاندن بقایای محصول که متأسفانه امری رایج در بین کشاورزان است، منجر به کاهش شدید کربن آلی خاک و انتشار آن می‌شود که شدت آن در فصل گرم بیشتر است (Toan et al., 2022). در ایران سوزاندن بقایای گیاهی در دیمزارهای تحت کشت گندم در تناوب با نخود است که غالباً بعد از برداشت محصول گندم، ابتدا بخشی از کاه و کلش برداشت شده، سپس به‌صورت پسچر مورد چرای دام قرار می‌گیرد و باقی‌مانده نیز سوزانده می‌شود تا به زعم آنها برای کشت نخود در بهار سال بعد آماده شود (Heshmati et al., 2012). به همین دلیل، عملاً سطح خاک در طول بارندگی پاییز، زمستان و اوایل بهار سال بعد لخت باقی می‌ماند. این روند مستلزم تغییر باور و دیدگاه کشاورزان از طریق آموزش، ترویج و نظارت مستمر دارد تا نسبت به عواقب آن برای محیط زیست، خاک و عملکرد محصول آگاه شوند.

نتایج بررسی‌ها در این زمینه نشان داده است که کشاورزان پیشرو و آشنا به چنین پیامدهایی، تمایل بیشتری برای باقی گذاشتن بخشی از بقایای محصول در مزرعه و پرهیز از سوزاندن آن دارند و حتی نسبت به مدیریت بقایای گیاهی توأم با اصلاح خاکورزی اقدام می‌کنند و نتیجه مثبت آن را از طریق کاهش هزینه، حفظ و یا افزایش عملکرد محصول تجربه می‌کنند (Haseeb-Raza et al., 2019). در مجموع این کار مستلزم تغییر سیاست‌های کشاورزی در ابعاد قانونی، مدیریتی و سرمایه‌گذاری است.

تجزیه مرکب واریانس تیمارها (جدول ۴) نیز نشان داد که تیمارهای اصلی و فرعی و سال و در مواردی اثر متقابل آنها بر تغییرات جرم مخصوص ظاهری و کربن آلی معنی‌دار بوده است. به‌طور کلی سال، پلات‌های اصلی و فرعی بیشترین مجذور مربعات را دارا هستند و نقش مهمی در افزایش متغیرهای خاک داشتند. به‌عبارت دیگر، برای بهبود کیفیت خاک اصلاح نوع خاکورزی، باقی گذاشتن کاه و کلش در مزرعه نقش مهمی داشته و نمود نتایج حاصله نیز دست‌کم بعد از دو سال خواهد بود. به‌طوری‌که در فصل نتایج بیان شد، همانند نوع شخم، نسبت بقایای محصول نیز بر ویژگی‌های خاک مورد ارزیابی نقش به‌سزایی داشتند. به‌طور تقریبی، هر دو میزان باقی گذاشتن بقایای ۳۳ و ۶۶ درصد بقایای محصول)، به‌ترتیب ۱۳ و ۲۰ درصد در بهبود ویژگی‌های خاک مورد ارزیابی مؤثر بودند. به‌عبارتی نقش خاکورزی حفاظتی زمانی به حالت ایده‌آل می‌رسد که توأم با باقی گذاشتن بخشی از بقایای محصول در مزرعه باشد. این نقش برای افزایش خاکدانه‌های درشت خاک نقش حیاتی دارد و موجب ایجاد و پایداری پیوند بین ذرات خاک می‌شود (Ansari et al., 2022). از طرفی افزایش کربن آلی خاک از طریق برگرداندن بقایای گیاهی به خاک فعالیت‌های بیولوژیکی، هوادهی و قابلیت دسترسی گیاه به عناصر خاک را ارتقاء می‌بخشد (Gura and Minkeni, 2019). بنابراین حفظ پوشش گیاهی سطح زمین و به‌ویژه بقایای محصول در دیمزارها برای پایداری محیط زیست امری ضروری است که در اراضی کشاورزی نیز موجب پایداری و بهبود عملکرد محصول نیز می‌شود و این امر

جدول ۴- مقایسه میانگین نسبت اندازه خاکدانه‌ها در تیمارهای اصلی و فرعی در ایستگاه تحقیقات دیم سرارود

Table 4. Mean cooperation (ANOVA analysis) for SASD among the main treatments and sub treatments

SASD (%)	Crop	Main treatments				Sub treatment		
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	0%-R	33%-R	66%-R
<0.25	wh	12.77 ^a	12.95 ^a	13.46 ^a	12.12 ^b	13.38 ^a	12.10 ^b	14.98 ^a
	Ch	15.31 ^a	13.18 ^a	14.04 ^a	13.99 ^a	14.92 ^a	14.76 ^a	13.83 ^b
0.25-0.50	wh	9.41 ^a	9.75 ^a	9.86 ^a	7.42 ^b	8.64 ^a	8.69 ^b	10.93 ^a
	Ch	9.63 ^b	9.42 ^a	9.16 ^a	8.59 ^a	8.98 ^{ab}	8.17 ^b	9.36 ^a
0.50-1	wh	5.94 ^b	6.87 ^a	7.68 ^a	7.84 ^a	6.31 ^b	6.89 ^{ab}	8.84 ^a
	Ch	6.65 ^a	6.97 ^a	7.65 ^a	7.02 ^a	7.07 ^{2a}	6.73 ^a	6.55 ^a
1-2	wh	9.04 ^c	10.33 ^{ab}	10.64 ^{ab}	11.25 ^a	9.44 ^b	9.51 ^b	14.69 ^a
	Ch	8.24 ^b	9.02 ^a	9.60 ^a	10.82 ^a	8.96 ^a	9.025 ^a	9.30 ^a
2-4.6	wh	7.76 ^c	11.12 ^{ab}	12.85 ^b	15.73 ^a	11.35 ^c	13.85 ^b	15.96 ^a
	Ch	6.55 ^b	11.26 ^a	10.12 ^a	13.23 ^a	10.05 ^b	11.54 ^b	14.55 ^a

Wh= wheat, Ch= chickpea, SASD= Soil aggregate size distribution, T₀= conventional tillage using moldboard plow, T₁= combined plow using delta basket roller model, T₂= chisel packer plow, T₃= no tillage, 0%-R= no crop residue, 33%-R= one third crop residue and 66%-R= two third crop residue, *Means with the same letters are not significantly different at P ≤ 0.05%

جدول ۵- تأثیر سال بر تغییرات نسبت خاکدانه‌ها بر اساس آزمایش دانکن در سطح پنج درصد

Table 5. Mean comparison of years for SASD using Duncan's multiple range test at 5% level

SASD (%)	Crop	year			
		1 st	2 nd	3 rd	4 th
<0.25	wh	14.44 ^a	15.23 ^a	12.73 ^{ab}	10.86 ^b
	Ch	17.01 ^a	15.31 ^{ab}	11.95 ^{bc}	10.32 ^c
0.25-0.50	wh	12.71 ^a	9.28 ^b	7.62 ^b	7.24 ^b
	Ch	10.22 ^a	9.38 ^a	7.64 ^a	7.48 ^a
0.50-1	wh	7.35 ^a	7.51 ^a	6.56 ^{ab}	5.48 ^b
	Ch	7.63 ^a	7.53 ^a	6.33 ^a	5.88 ^b
1-2	wh	8.24 ^b	9.43 ^b	8.14 ^b	11.45 ^a
	Ch	8.45 ^b	9.04 ^b	8.27 ^b	11.30 ^a
2-4.6	wh	7.27 ^b	8.54 ^b	14.94 ^a	14.87 ^a
	Ch	6.67 ^b	8.87 ^b	16.34 ^a	14.56 ^a

Wh= wheat, Ch= chickpea, BD = Bulk density, SOC = Soil organic carbon, SASD= Soil aggregate size distribution, T₀= conventional tillage using moldboard plow, T₁= combined plow using delta basket roller model, T₂= chisel packer plow, T₃= no tillage, *Means with the same letters are not significantly different at P ≤ 0.05%

جدول ۶- تجزیه واریانس توزیع خاکدانه‌های در تیمارهای اصلی و فرعی در ایستگاه سرارود

Table 6. Combined analysis of variance (mean of squares) for soil variables

Source	df	Crop rotation	Mean Squares						
			SOC	BD	0.25-0.50	<0.25	0.50-1	1-2	2-4.6
year	3	Wh	9.576**	0.335*	255.075*	199.768*	36.57 ^{ns}	90.210 ^{ns}	534.692**
		Ch.	5.229*	0.542**	40.216 ^{ns}	399.740 ^{ns}	12.12 ^{ns}	21.740 ^{ns}	613.352*
Rep (year)	6	Wh	0.209	0.020	11.051	41.792	5.3523	4.001	24.703
		Ch.	0.077	0.007	13.323	33.682	12.81	9.281	25.139
main	3	Wh	0.194 ^{ns}	0.002 ^{ns}	1.434 ^{ns}	3.499 ^{ns}	15.419 ^{ns}	2.963 ^{ns}	34.252*
		Ch.	1.108 ^{ns}	0.168**	3.891 ^{ns}	240.020 ^{ns}	4.6161 ^{ns}	16.033 ^{ns}	87.405 ^{ns}
year×main	6	Wh	0.105 ^{ns}	0.003 ^{ns}	3.592 ^{ns}	41.680 ^{ns}	8.717 ^{ns}	11.472 ^{ns}	7.418 ^{ns}
		Ch.	0.583 ^{ns}	0.013 ^{ns}	3.414 ^{ns}	100.258 ^{ns}	8.181 ^{ns}	36.504 ^{ns}	39.063 ^{ns}
Error a	18	Wh	0.060	0.037	10.893	13.327	4.357	12.782	1.546
		Ch.	0.063	0.034	35.636	63.315	6.923	18.925	9.842
Sub	2	Wh	0.015 ^{ns}	0.081 ^{ns}	18.161 ^{ns}	21.681 ^{ns}	2.684 ^{ns}	0.339 ^{ns}	0.083 ^{ns}
		Ch.	0.111 ^{ns}	0.016 ^{ns}	16.917 ^{ns}	14.059 ^{ns}	3.400 ^{ns}	3.557 ^{ns}	15.426 ^{ns}
year×sub	6	Wh	0.016 ^{ns}	0.015 ^{ns}	20.692 ^{ns}	17.840 ^{ns}	2.544 ^{ns}	9.820 ^{ns}	20.989 ^{ns}
		Ch.	0.043 ^{ns}	0.004 ^{ns}	5.117 ^{ns}	9.906 ^{ns}	1.588 ^{ns}	0.697 ^{ns}	15.426 ^{ns}
main×sub	6	Wh	0.006 ^{ns}	0.009 ^{ns}	27.689*	38.982 ^{ns}	10.973 ^{ns}	8.145 ^{ns}	21.080 ^{ns}
		Ch.	0.017 ^{ns}	0.006 ^{ns}	7.271 ^{ns}	9.209 ^{ns}	0.312 ^{ns}	1.789 ^{ns}	6.060 ^{ns}
year×main×sub	12	Wh	0.036 ^{ns}	0.078*	6.4438 ^{ns}	43.356*	6.951 ^{ns}	10.174 ^{ns}	8.513 ^{ns}
		Ch.	0.027 ^{ns}	0.044 ^{ns}	10.323 ^{ns}	11.143 ^{ns}	2.430 ^{ns}	1.669 ^{ns}	9.552 ^{ns}
Error b	81	Wh	0.0524	0.0295	17.505	9.752	4.4120	6.7103	9.576
		Ch.	0.0807	0.0204	17.633	11.148	1.941	5.912	21.087

df= degree of freedom, Wh= wheat, Ch= chickpea, BD = Bulk density, SOC = Soil organic carbon, SASD= Soil aggregate size distribution, rep= repeat, main= main treatment (year), sub= sub treatment (crop residue), ns= no significant difference. *means with the same letters are not significantly different at P ≤ 0.05%, **means with the same letters are not significantly different at P ≤ 0.01%

تأثیر تیمارها بر ضریب فرسایش‌پذیری خاک:

نتایج تغییرات شاخص فرسایش‌پذیری خاک در جدول ۷ درج شده است. با توجه به این که از میان هفت عامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری تنها عامل ماده آلی متأثر از تیمارهای اصلی خاکورزی (شخم) و فرعی (نسبت بقایای محصول) در بازه زمانی مورد بررسی قرار دارند، بر این اساس ضریب فرسایش‌پذیری تیمارهای اصلی شامل شخم متداول (شاهد)، خاک‌ورز مرکب، چپزل و

کشت مستقیم به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۲۳، ۰/۲۵ و ۰/۲۲ به دست آمد. نتایج بیانگر نقش مؤثر روش‌های مختلف خاکورزی حفاظتی در کاهش فرسایش‌پذیری خاک در مقایسه با خاکورزی متداول است. همچنین، این نسبت به ترتیب تیمارهای فرعی (صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد بقایای محصول) به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۲۵ و ۰/۲۴ بود که تفاوت آنها با هم به نسبت نوع شخم (خاکورزی) کمتر است. تغییر در فرسایش‌پذیری خاک بر اثر اعمال تیمارهای مختلف خاکورزی و نسبت بقایای محصول در

می‌شود. این روند در کشت مستقیم و بقایای گیاهی ۶۶ درصد بیشتر مؤثر خواهد بود. با کاهش بقایای گیاهی و در نتیجه کاهش ماده آلی، ضریب فرسایش‌پذیری خاک افزایش می‌یابد (Asghari Saraskanroud et al., 2019). این وضعیت در مناطق حساس به پدیده انحلال قابل توجه بوده و منجر به فرسایش تونلی (پایپینگ) می‌شود (Jalalifard et al., 2019).

واقع بازتابی از تغییر کربن آلی است. با افزایش مقدار کربن آلی خاکدانه‌های درشت‌تر و پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. بر این اساس، شاخص فرسایش‌پذیری (جدول ۷)، در واقع بازتابی از این شرایط است. بر این اساس، روش‌های مختلف خاکورزی حفاظتی و باقی گذاشتن بخشی از بقایای محصول (کاه و کلش) منجر به کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. به عبارتی این روند موجب پایداری خاک در مقابل عوامل فرسایش

جدول ۷- ارزیابی ضریب فرسایش‌پذیری تیمارهای اصلی (نوع شخم) و فرعی (نسبت بقایای گیاهی)

Table 7. effects of treatments on soil erodibility (K factor)

Table 7: effects of treatments on soil erodibility (R factor)																			
1		2		3		4		5		6		7		8		9			
treatments		SOC (%)		*SOM (%)		sand (%)		silt (%)		Very Fin (%) sand		column 4+5		structure		permeability		soil erodibility	
main treatments	T ₀	1.27	2.18	6.28	66.93	1.25	68.18	3	4	0.33									
	T ₁	1.52	2.61	7.36	61.37	1.33	62.70	3	4	0.23									
	T ₂	1.44	2.48	7.14	63.27	1.24	64.51	3	4	0.25									
	T ₃	1.85	3.18	7.01	66.93	1.16	68.10	3	4	0.22									
sub treatments	0%-R	1.33	2.29	6.50	60.52	1.22	61.74	3	4	0.26									
	33%-R	1.55	2.67	7.43	63.17	1.90	65.07	3	4	0.25									
	66%-R	1.65	2.84	7.49	62.27	1.66	63.93	3	4	0.24									

* SOM= 1.72 SOC, T₀= conventional tillage using moldboard plow, T₁= combined plow using delta basket roller model, T₂= chisel packer plow, T₃= no tillage, 0%-R= no crop residue, 33%-R= one third crop residue and 66%-R= two third crop residue,

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نقش سه روش خاکورزی (شخم) حفاظتی شامل شخم مرکب، شخم با گاوآهن چیزل و بدون شخم (کشت مستقیم) در مقایسه با شخم متداول (تیمار شاهد) در بهبود برخی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک در شرایط دیم و در تناوب گندم-نخود با سه سطح بقایای گیاهی (صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد) در مقایسه با شخم متداول مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش در سال آخر نشان داد که سه روش خاکورزی حفاظتی به همراه باقی گذاشتن بقایای گیاهی در خاک به‌طور معنی‌داری موجب بهبود مهم‌ترین ویژگی‌های کیفیت خاک مورد اندازه‌گیری شدند که شامل کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و نسبت خاکدانه‌های درشت خاک بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود نقش معنی‌دار سه روش خاکورزی حفاظتی، بی‌خاکورزی با ۶۶ درصد بقایای گیاهی بیشترین نقش را در بهبود سه ویژگی مورد اشاره داشت.

با توجه به این‌که کشاورزان بخشی از کلش گندم را به کاه تبدیل و برای تغذیه دام مورد استفاده قرار می‌دهند و یا مستقیماً به‌صورت پسچر برای چرای دام

استفاده می‌شود، عملاً برگرداندن ۶۶ درصد بقایا قابلیت ترویج و استقبال کشاورزان نخواهد بود. لذا روش بی‌خاکورزی (کشت مستقیم) با یک‌سوم بقایای گیاهی (۳۳ درصد) به‌عنوان مناسب‌ترین روش شخم در شرایط دیم و تناوب گندم و نخود که در غالب مناطق نیمه‌خشک کشور مرسوم است به‌عنوان تیمارهای مناسب این پژوهش ارائه می‌شود.

با توجه به این‌که خاکورز حفاظتی کشت مستقیم با یک‌سوم بقایای گیاهی می‌تواند برای دیم‌زارها مناسب باشد، لازم است با مشارکت کشاورزان داوطلب در سطح مزارع نمونه اجرا شود. همچنین بررسی جامعی در قالب مطالعات اقتصادی-اجتماعی به‌منظور شناسایی تمهیدات اجرایی لازم برای اجرای آن در مزارع سایر کشاورزان از قبیل نیازهای آموزشی-ترویجی، مشوق‌های لازم (یارانه، تسهیلات بانکی) برای خرید کارنده مستقیم (خاک‌ورز کشت مستقیم) و مواردی از این قبیل انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش از پروژه تحقیقاتی شماره مصوب ۰۱۴-۵۵-۲۹-۰۰۷-۹۶۰۰۳-۹۶۰۱۱۶ تهیه شده است

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافع وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

که در قالب قرارداد پژوهشی با سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه در ایستگاه تحقیقات دیم سرارود (معاونت تحقیقات دیم کشور) و تصویب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام یافت که از تمامی کارشناسان و مدیران این نهادها برای بررسی، تصویب و حمایت‌های مالی کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

- Afzali-Gorouh, H., Naghavii, H., Rostami, M., Najafinezhad, H., 2019. Effect of conservation tillage and wheat residue management in some soil properties and grain yield of corn. *Iran. J. Soil Res.* 33(1) (in Persian).
- Ansari, M.A., Choudhury, B.U., Layek, J., Anup, D., Lal, R., Mishra, V.K., 2022. Green manuring and crop residue management: Effect on soil organic carbon stock, aggregation, and system productivity in the foothills of Eastern Himalaya (India). *Soil Till. Re.* 218, 105318.
- Asghari Saraskanroud, S., Faal-Naziri, M., Ardashirpay, A.A., 2019. Studying the effects of land use on soil erosion with WLC algorithm, case of study: Agh Laghan Chay basin. *J. Environ. Erosion. Res.* (2), 53-71 (in Persian).
- Arai, A., Miura, T., Tsuzura, H., Minamiya, Y., Kaneko, N., 2018. Two-year responses of earthworm abundance, soil aggregates, and soil carbon to no-tillage and fertilization. *Geoderma* 332, 135-141.
- Arya, P., Amirkhani, R., 2005. Methods for soil physical characteristics. No 479. Soil and Water Research Institute of Iran press, 33 pages (in Persian).
- Bashour, I.I., Sayegh, A.H., 2007. Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions, FAO, Rome.
- Blanco, H., Lal, R., 2008. Principles of soil conservation and management. Springer Publisher, New York.
- Blake G.R., Hartge, K.H., 1986. Bulk density. p. 363-375. In Klute A. (ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison. WI.
- Behtari, B., Jafarian, Z., Alikhani, H., 2018. Measurement and modeling of the heterotrophic soil respiration response to temperature in grazing and grazing exclosure rangeland. *J. Range Water. Manage.* 71(3), 613-627 (in Persian).
- Boselli, R., Fiorini, A., Santelli, S., Ardenti, F., Capra, F., Maris, S.C., Tabaglio, V., 2020. Cover crops during transition to no-till maintain yield and enhance soil fertility in intensive agro-ecosystems. *Field Crops Res.* 255, 07871.
- Bayat, R., Arabkhedri, M., Parvizi, Y., Gerami, Z., 2021. Determination of soil infiltration in rainwater catchment areas using field rain simulator. *J. Rainwater Catchment Syst.* 9(2), 1-10 (in Persian).
- Chiodini, M.E., Brenna, S., Acutis, M., 2019. Agro-environmental aspects of conservation agriculture compared to conventional systems: A 3-year experience on 20 farms in the Po valley (Italy). *Agric. Syst.* 168, 73-87.
- Crittenden, N.P., Heinen, M., Balen, D.J.M., Pulleman, M.M., 2015. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil Tillage Res.* 154, 136-144.
- Dewia, R.K., Fukudac, M., Takashimac Yagiokad, A., Komatsuzakic, M., 2021. Soil carbon sequestration and soil quality change between no-tillage and conventional tillage soil management after 3 and 11 years of organic farming. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 68(1), 133-148.
- Jabro, J.D., Stevens, W.B., Iversen, W.M., Sainju, U.M., Allen, B.L., 2021. Soil cone index and bulk density of a sandy loam under no-till and conventional tillage in a corn-soybean rotation. *Soil Tillage Res.* 206, 104842.
- Jalalifard, A., Hosseinalizadeh, M., Komaki, C.B., Azimmohseni, M., 2019. Modeling of piping erosion in loess soils. *J. Environ. Erosion Res.* 8(4), 1-18 (in Persian).
- Gura, I., Mnkeni, P.N.S., 2019. Crop rotation and residue management effects under no till on the soil quality of a Haplic Cambisol in Alice, Eastern Cape, South Africa. *Geoderma* 337, 927-934.
- Haseeb-Raza, M., Abid, M., Yan, T., Naqvi, S.A.A., Akhtar, S., Faisal, M., 2019. Understanding farmers' intentions to adopt sustainable crop residue management practices: A structural equation modeling approach. *J. Cleaner Prod.* 227, 613-623.
- Heshmati, M., Gheitouri, M., 2018. Land-use Change; Achilles heel to Overcoming the Environmental Crisis, Process and Impacts. *Geogr. Environ. Sustainability.* 8(1), 89-105.
- Heshmati, M., Arifin, A., Shamshuddin, J., Majid, N.M., 2012. Predicting N, P, K and organic carbon depletion in soils using MPSIAC model at the Merek catchment, Iran. *Geoderma* 175-176, 64-77.

- Houshyar, E., Esmailpour, M., 2020. The impacts of tillage, fertilizer and residue managements on the soil properties and wheat production in a semi-arid region of Iran, *J. the Saudi Soc. Agric. Sci.* (3), 225-232.
- Fallahzade, J., Hajabbasi, M.A., 2012. Land use change effects on carbohydrate fractions, total and particulate organic matter of forest soils in Zagros Mountains. *J. Appl. Sci.* 12(4), 387-392.
- Jat, H.S., Datta, A., Choudhary, M., Yadav, A.K., Choudhary, V., Sharma, P.C., Gathala, M.K., Jat, M.L., McDonald, A., 2019. Effects of tillage, crop establishment and diversification on soil organic carbon, aggregation, aggregate associated carbon and productivity in cereal systems of semi-arid Northwest India. *Soil Tillage Res.* 190, 128-138.
- Lin, H., Zhou, M., Zeng, F., Xu, P., Ma, S., Zhang, B., Li, Z., Wang, Y., Zhu, B., 2022. How do soil organic carbon pool, stock and their stability respond to crop residue incorporation in subtropical calcareous agricultural soils? *Agric. Ecosyst. Environ.* 332, 107927.
- Lognoul, M., Theodorakopoulos, N., Hiel, M.P., Regaert, D., Broux, F., Heinesch, B., Bodson, B., Vandenberg, M., Aubinet, M., 2017. Impact of tillage on greenhouse gas emissions by an agricultural crop and dynamics of N₂O fluxes: Insights from automated closed chamber measurement. *Soil Tillage Res.* 167, 80-89.
- Medeiros, A.S., Cesário, F.E., Maia, S.F., 2023. Long-term impact of conventional management on soil carbon and nitrogen stocks in the semi-arid region of Brazil: A meta-analysis, *J. Arid Environ.* 218, 105052.
- Naimi, S., Ayoubi, S., Di Loreto Di Raimo, L.A., Melo Dematte, J.A., 2022. Quantification of some intrinsic soil properties using proximal sensing in arid lands: Application of Vis-NIR, MIR, and pXRF spectroscopy. *Geoderma Reg.* 28, e00484.
- Nelson, R.E., Sommers, L.E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. in: Keeney, D.R., Baker, D.E., Miller, R.H., Ellis, R.J., Rhoades, J.D. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Am. Soc. Agro. Soil Sci., Madison, Wisconsin, pp. 539-580.
- Ogieriakhi, M.O., Woodward, R.T., 2022. Understanding why farmers adopt soil conservation tillage: A systematic review. *Soil Secur.* 9, 100077.
- Qi, J.Y., Han, S.W., Lin, B.J., Xiao, X.P., Jensen, J.L., Munkholm, L.J., Zhang, H.L., 2022. Improved soil structural stability under no-tillage is related to increased soil carbon in rice paddies: Evidence from literature review and field experiment. *Environ. Technol. Innovation* 26, 102248.
- Safari, A., Asoodar, M., Ghasemi nejad, M., Abdali, A., 2013. Effect of residue management, different conservation tillage and seeding on soil physical properties and wheat grain yield. *J. Agric. Sci. Sustainable Prod.* 23(2), 49-59 (in Persian).
- Sausa-Medeiros, A.S., Santos, T.C.D., Ferreira Maia, S.M., 2022. Effect of long-term and soil depth on soil organic carbon stocks after conversion from native vegetation to conventional tillage systems in Brazil. *Soil Tillage Res.* 219, 105336.
- Shamabadi, Z., 2015. Study the effect of conservation tillage on fuel consumption productivity and rain-fed wheat yield. *J. Dryland Agro.* 4 1, 17-28 (in Persian).
- Soil Survey Staff, 2003. *Keys to Soil Taxonomy* (9th edit.) United States Department of Agriculture, United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Virginia, 322 pages.
- Ravindra, K., Singh, T., Mor, S., 2019. Emissions of air pollutants from primary crop residue burning in India and their mitigation strategies for cleaner emissions. *J. Cleaner Prod.* 208, 261-273.
- Rong, L., Duan, X., Zhang, G., Gu, Z., Feng, D., 2019. Impacts of tillage practices on ephemeral gully erosion in a dry-hot valley region in southwestern China. *Soil Tillage Res.* 187, 72-84.
- Rostami, F., Feiznia, S., Heshmati, M., Yusefiyegah, B., 2023. Application of grain-size statistics, lithofacies and architectural element in determining depositional environment of Kashkan Formation in Merk watershed, Kermanshah. *International. J. Environ. Sci. Technol.* 1(17), 1351-1371.
- Toan, N.S., Hanh, D.H., Dong Phuong, N.T., Thuy, P.T., Dong, P.D., Gia, N.T., Tran Thi, L.T., Thu, N., Van Thanh, D.T., Khoo, K.S., Show, P.L., 2022. Effects of burning rice straw residue on-field on soil organic carbon pools: Environment-friendly approach from a conventional rice paddy in central Viet Nam. *Chemosphere* 294, 133596.
- Topa, D., Cara, I.J., Jitäreanu, G., 2021. Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis. *Catena* 199, 105102.
- Wang, Y., Shen, Z., Niu, J., Liu, R., 2009. Adsorption of phosphorus on sediments from the Three-Gorges Reservoir (China) and the relation with sediment compositions. *J. Hazard. Mater.* 162(1), 92-98.
- Wittwer, R.A., Dorn, B., Jossi, W., van der Heijden M.G.A., 2017. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Nature Sci. Rep.* 7, 41911.
- Xiao, S.S., Ye, Y.Y., Xiao, D., Chen, W.R., Zhang, W., Wang, K.L., 2019. Effects of tillage on soil N availability, aggregate size, and microbial biomass in a subtropical karst region. *Soil Tillage Res.* 192, 187-195.

- Yang, Y., Ding, J., Zhang, Y., Wu, J., Zhang, J., Pan, X., Gao, C., Wang, Y., He, F., 2018. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature, photosynthetic characteristics and yield of winter wheat. *Agric. Water Manage.* 201, 299-308.
- Yin, T., Zhao, C., Yan, C., Du, C., He, W., 2018. Inter-annual changes in the aggregate-distribution and associated carbon of soil and their effects on the straw-derived carbon incorporation under long-term no-tillage. *J. Integr. Agric.* 17(11), 2546-2557.