Research Article

Agricultural Engineering., 48(1) (2025) 17-34 ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2024.48218.1748 ISSN (E): 2588-5944

Investigating the temporal changes in some soil physicochemical properties in different tillage management in agricultural lands of western Golestan province

B. Kiani[1], F. Kiani*[2], A. Rezaee[3], P. Ebrahimi[4] and S. Mahzari[5]

1. Ph.D. student, Soil Science Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
2. Associate Professor, Soil Science Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (corresponding author) , Iran
3. Associate Professor, Agricultural Economics Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources , Iran
4. Associate Professor, Department of Chemistry, Golestan University, Iran
5. Former Ph.D. student, Soil Science Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 25 October 2024 accepted: 20 December 2024 *Corresponding Author: kiani@gau.ac.ir

Abstract

Introduction: Different strategies have been proposed to sustainable soil management, including conservation agriculture. Conservation agriculture is based on four principles: reducing plowing and soil disturbance, leaving an appropriate amount of plant residues on the soil surface, crop rotation with an economic cultivation pattern, and sustainable production of agricultural products with benefits are the basis of these four principles. The economic benefits of conservation agriculture and tillage in the early years have challenges in terms of implementation. There are few studies on the impact of the initial phase of conservation agriculture on soil nutrients and its consequences, so this study aims at the impact of Various protection management on some soil physicochemical properties during the initial years of implementation. Recently, farmers in Golestan province have been practicing the conservation agriculture in their fields without following a standard method and uniform instructions, resulting in different outcomes from the implementation of conservation tillage methods. In general, the economic benefits of conservation agriculture in the first year of its implementation are very controversial, and farmers think that the implementation of conservation agriculture may not be profitable due to the high consumption of herbicides and low yield, especially in the early years of its implementation.

Materials and methods: This study was conducted in Nokandeh region of Golestan province in the form of a randomized complete block experiment in three types of management including optional(minimum) tillage (MT), Conservation agriculture (CA) and conventional tillage (CT) and in 4 years. In each management, 30 soil samples were selected from the depth of 0 to 20 cm, and various soil properties were evaluated. These properties included soil pH, texture, electrical conductivity, total neutralizing value (TNV), soil carbon, total nitrogen, available phosphorus and potassium, and soil micronutrients such as Fe, Mn, and Zn. The data's normality was tested using the Kolmogorov-Smirnov test. Differences between the means were calculated using Duncan's test at confidence levels of 0.01 and 0.05. SAS version 9.4 software was used for data analysis.

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Result and discussion: The results showed that the effect of tillage management on pH changes is not significant, while the effect of time on pH changes is significant at the 1% level ($p \leq 0.01$). In the fourth year, the pH was 7.64 in no-till, 7.62 in minimum tillage, and 7.4 in conventional tillage. The lowest pH value was measured in the conventional tillage treatment, which decreased by 3.6% compared to the first year.
The main decrease in electrical conductivity was observed in no-till, with a 32% decrease in soil electrical conductivity in the fourth year compared to the first year. The minimum changes were observed in conventional tillage. The amount of organic matter in the soil under conservation agriculture increased by 47%, and by 17% in minimum tillage, compared to the first year.The implementation of conservation management over the years did not significantly affect the amount of TNV, but the percentage of TNV in tillage managements was observed in the order of CT > CA > MT, respectively. The amount of total nitrogen increased in both MT and CA, indicating a decrease in nitrogen leaching over the four years. In the fourth year, conservation agriculture increased the amount of available phosphorus in the soil by 47% compared to the first year. The potassium content increased by 58% in CA and by 52% in MT, while the potassium content increased by 6% in conventional tillage. The amounts of iron and zinc were higher in MT, and the amount of manganese was higher in CA. The results of this study showed that the most important management factors affecting the initial years are the amount of soil organic matter. Soil nutrients are sensitive indicators of fertility, and changes in soil nutrients increase gradually in the initial years, sometimes accompanied by uncertainties. Significant aspects of water, plant, and soil interactions in nutrient cycling remain unknown.

Conclusion: The results of this study showed that although low tillage and no-till treatments improve soil nutritional and fertility indices compared to conventional tillage, the trend of changes in these indices over time is different, which may discourage farmers and promoters in the early years of implementation. Considering the varying results obtained in this research, it seems that sufficient time is needed to achieve better and more visible results for farmers. These findings provide a practical perspective to farmers, promoters, and managers to realistically assess the achievements in the early years of implementation. It is suggested that in the initial years of implementation, especially on farms with greater fragility and uncertainty, government support should be provided to reach the final sustainability of the plan.

Keywords: Conservation Agriculture, No tillage, Soil Nutrients, Raised-bed, Nokandeh region

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۸ شماره۱، بهار ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات زمانی برخی ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک تحت تاثیر مدیریت های مختلف خاکورزی در اراضی کشاورزی غرب استان گلستان

بهاره کیانی[۱]، فرشاد کیانی*[۲]، اعظم رضایی[۳]، پونه ابراهیمی[۴] و سمانه محضری[۵]

۱- دانشجوی مقطع دکتری، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۴- دانشیار گروه شیمی، دانشگاه گلستان، ایران
۵- دانش آموخته مقطع دکتری، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴
پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۳۰

کلمات کلیدی:
کشاورزی حفاظتی،
بی‌خاکورزی،
عناصر غذایی،
ریزبد،
نوکنده

* عهده دار مکاتبات
Email: : kiani@gau.ac.ir

چکیده

مزایای اقتصادی کشاورزی و خاک‌ورزی حفاظتی در سال‌های اولیه اجـرای آن بسیار بحث برانگیز و از لحاظ اجرا دارای چالش‌هایی است. لذا این مطالعه با هدف تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک در طی سال‌های اولیه اجرا انجام گرفته اسـت. ایـن مطالعـه در شهرسـتان نوکنده استان گلستان در قالب آزمایش بلوک کامل تصادفی در سه نوع مدیریت خاکورزی شامل مدیریت کشت حفاظتی بدون شخم (CA)، کشت و شخم مرسوم (CT) و کشت حفاظتی با خاکورزی حداقل (MT)، و طی ٤ سال انجام شـد. در هر مدیریت ۳۰ نقطه بصورت تصادفی انتخـاب و از عمـق ۰ تـا ۲۰ سـانتی‌متـری نمونه‌برداری انجام گردید. نتایج نشان داد مقدار ماده آلی خاک در سال چهـارم در تیمارهای بدون شخم و شخم حداقل به ترتیـب افزایشـی بـه میـزان ٤۷ و ۱۷ درصد نسبت به سال اول مشـاهده شـد. ارزش خنثـی‌سـازی کـل بـه‌ترتیـب در مدیریت‌های، شخم مرسوم > بدون شخم > شخم حـداقل مشـاهده شـد. مقـدار نیتروژن کل در دو مدیریت حفاظتی افزایش داشته است که به معنی کاهش تلفات نیتروژن در مدت چهار ساله است. کشت بدون شخم در سـال چهـارم مـی‌توانـد مقدار فسفر قابل دسترس را در خاک ٤۷ درصد نسبت به سال اول افزایش دهد و عنصر پتاسیم در سال چهارم نسبت به سال اول در تیمار بـدون شـخم ۵۸ و شـخم حداقل ۵۲ درصد افزایش داشته است درحالی‌که در شخم مرسوم افزایش مقـدار پتاسیم ٦ درصد بوده است. مقدار عناصر آهن و روی در شـخم حـداقل و مقـدار منگنز در تیمار بدون شخم فراوانی بیشتری نشان داد. با توجه به اینکه روند تغییرات متفاوتی در این تحقیق به‌دست آمده است به نظر می‌رسد برای رسیدن بـه نتـایج بهتر و قابل مشاهده توسط کشاورزان نیاز به زمان کافی برای اجرا است. این یافته‌ها یک چشم‌انداز عملی به کشاورزان، مروجان و مدیران ارائه می‌دهد تا در سال‌های اولیه اجرا به دستاوردها بصورت واقع‌بینانـه توجـه نماینـد. پیشـنهاد مـی‌شـود در سال‌های ابتدایی اجرای این گونه طرح‌های حفاظتی در مزارعی که شکنندگی و

عدم قطعیت‌ها در آن بیشتر است، حمایت‌های دولتی و پشتیبانی صورت گیرد تا به پایداری نهایی برسند.

مقدمه

امنیت غذایی به ویژه در کشورهای در حال توسعه نگران‌کننده است و الویت اول برنامه توسعه این کشورها می‌باشد (۴۵). برای افزایش امنیت غذایی یک جمعیت در حال رشد، اطمینان از حفظ خاک و مواد مغذی آن اهمیت دارد. تاکنون راهبردهای متفاوتی در زمینه مدیریت بهینه خاک اراضی ارائه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به کشاورزی حفاظتی اشاره نمود. کشاورزی حفاظتی بر چهار اصل استوار است. کاستن از شخم و به هم خوردن خاک در حد امکان، باقی گذاشتن میزان مناسبی از بقایای گیاهی روی سطح خاک، رعایت تناوب زراعی مناسب با الگوی کشت اقتصادی و تولید پایدار محصولات کشاورزی توام با سودمندی اساس این چهار اصل است. امروزه به خوبی ثابت شده است که خاکورزی مستمر منجر به تخریب ویژگی‌های بیوفیزیکی مهم، انعطاف‌پذیری و بوم‌شناختی خاک می‌شود (۲۵). شخم مرسوم زیست توده یا همان ماکروفون، مزوفون و میکروارگانیسم‌های خاک را کاهش داده (۲۲، ۶) و سبب افزایش فرسایش (۲۳) و انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک، به ویژه دی‌اکسیدکربن می‌گردد (۱۱). سیستم کشاورزی حفاظتی، یک سیستم اجتناب یا به حداقل رساندن اختلال مکانیکی خاک، همراه با ایجاد پوشش خاک و تنوع محصولات و صرفه‌جویی در منابع محسوب می‌شود. این روش حتی پتانسیل آن را دارد که در طول زمان گرمایش جهانی را کاهش دهد (۳۹). از مزایای کشاورزی حفاظتی، افزایش نفوذپذیری خاک (۳۲، ۴۲ و ۴۳). بهبود ویژگی‌های هیدرولیک خاک مانند افزایش انتقال آب، حفظ رطوبت و ظرفیت آبی موجود در خاک می‌باشد که همگی از عوامل اصلی موثر بر افزایش محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند. مطالعات مختلف نشان داده است که کشاورزی حفاظتی رطوبت خاک را به دلیل حفظ بقایای محصول و علف‌های هرز (۱۲) کاهش تبخیر (۵۳) نفوذ بیشتر آب به درون خاک و حفاظت از خاک در برابر ضربه قطرات باران (۴۳) افزایش می‌دهد.

به دلیل عملکردها و وظایف متفاوت و پیچیده خاک، ارزیابی نقش خاکورزی بر کیفیت خاک به صورت مستقیم امکان‌پذیر نمی‌باشد. از این‌رو از طریق اندازه‌گیری معیارهای مرتبط می‌توان کیفیت خاک را ارزیابی نمود. معیارهای کیفیت خاک باید به گونه‌ای انتخاب شوند که فرایندهای اکوسیستم را در برگیرند، شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تفسیر نموده و برای اکثر کاربرها قابل استفاده باشند. امروزه عملکرد بیشتری نیز از این شاخص‌ها مورد انتظار است. برای مثال این شاخص‌ها باید به تغییرات اقلیم حساس باشند و بیانگر سلامت زیستی خاک و اجزاء زنده مرتبط با آن باشند (۴۰، ۵۱).

شاخص‌های کیفیت خاک متاثر از خاکورزی به سه دسته شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی تقسیم می‌شوند. آلوارز و همکاران[1] (۲۰۰۹) گزارش دادند که در خاکورزی حداقل میزان ظرفیت آب قابل دسترس گیاه به‌عنوان یک شاخص فیزیکی در مقایسه با خاکورزی مرسوم بهبود و به تبع آن عملکرد محصول ذرت نیز افزایش یافته است (۲). ماده آلی بعنوان یکی از مهمترین شاخص های شیمیایی کیفیت خاک شناخته می‌شود. شخم حداقل می‌تواند به‌طور قابل توجهی این شاخص را نسبت به خاکورزی معمولی افزایش می‌دهد (۸). حفظ بقایای محصول به عنوان منبعی از ماده آلی برای بهبود کیفیت خاک همواره توصیه شده است (۲۵،۱۱). برگشت کاه و کلش به خاک که یکی از اصول کشاورزی حفاظت شده است و در برخی منابع به عنوان روشی برای کاهش مصرف کود نیتروژن نیز بکار می‌رود (۵۱). موساک و فردریش[2] در سال ۲۰۰۷ بیان نمودند که خاکورزی حفاظتی مقدار

1- Alvarez *et al*
2- Mousaques and Friedrich

واکنش خاک، مواد آلی و مواد مغذی خاک را در مقایسه با خاکورزی معمولی افزایش داده است (۲۹).

عناصر غذایی خاک بعنوان موثرترین شاخص‌های کیفیت خاک موثر در حاصلخیزی نیز متاثر از خاکورزی هستند. مطالعه بادی[1] و همکاران در سال ۲۰۱۰ نشان داد که شخم حداقل موجب کاهش تلفات نیتروژن می‌شود و مقدار قابل دسترس آن را افزایش می‌دهد. این امر با حفظ بقایای گیاهی و کاهش تجزیه مواد آلی باعث سکون نیتروژن در خاک و افزایش مقدار نسبت به شخم معمولی شده است (۴). توپا[2] و همکاران (۲۰۲۱) علت افزایش محسوس فسفر در روش بی‌خاکورزی را افزایش فعالیت میکروبی و به دنبال آن افزایش دسترس بودن فسفر در خاک و همچنین جذب رقابتی بین اسیدهای هیومیک و فولویک و اسیدهای آلیفاتیک با وزن مولکولی کم و فسفر برای مکان‌های جذب خاک، اعلام کردند (۴۷). روش‌های مختلف مدیریت خاکورزی باعث تغییر در رفتار ریزمغذی‌های خاک (آهن، منگنز، روی و مس) می‌شود (۴۸). مطالعه یان و همکاران[3] (۲۰۱۵) و اوکیو و همکاران[4] (۳۳، ۱۶) نشان داد که در کشاورزی حفاظت شده عملکرد ذرت نسبت به خاکورزی معمولی بدلیل تغییر در این ریزمغذی‌ها افزایش یافته است (۱۶، ۳۳).

روش‌های مدیریت حفاظتی بر تغییرات ویژگی خاک اثر گذار است ولی نکته مهم آنست که این تغییرات می‌تواند مثبت یا منفی باشد (۳۵). در بررسی منابع انجام شده توسط نویسندگان مشخص گردید همه نتایج به یک شیوه تغییر و پاسخ مثبت نشان نمی‌دهد. برای مثال مطالعات مایو[5] در سال ۲۰۲۲ نشان داد در طول مدت ۶-۳ سال، شاخص‌های فیزیکی خاک در تیمارهای کشاورزی حفاظتی بهبود نیافتند (۲۸). آرمنزه و همکاران[6] (۲۰۱۳) بیان نمودند که ویژگی‌های فیزیکی در مقایسه با ویژگی‌های شیمیایی کمتر به شیوه‌های مدیریتی پاسخ می‌دهند (۳) و مطالعه سوزا و همکاران[7] (۲۰۱۸) بهبود در ویژگی‌های فیزیکی خاک را در ۹ سال اجرای بی‌خاکورزی به دلیل افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، افزایش خلل و فرج ریز و کاهش خلل و فرج درشت، گزارش کردند (۴۱).

استان گلستان به دلایلی از جمله تنوع پستی و بلندی، وجود سه اقلیم متفاوت، مجاورت با دریای خزر و صحرای ترکمنستان از موقعیت منحصربه‌فردی برخوردار است (۲۰). این استان دارای بیش از ۷۱۳ هزار هکتار (حدود ۳۵ درصد مساحت استان) اراضی کشاورزی است که از این میزان، ۶۸۲۹۵۵ هکتار به کشت محصولات زراعی (با احتساب کشت دوم) و ۳۰۱۷۳ هکتار به کشت محصولات باغی اختصاص یافته است.

اخیراً به میزان محدود کشاورزان استان گلستان اصول کشاورزی حفاظتی را در مزارع رعایت نموده، بدون این‌که روشی استاندارد و دستورالعملی یکسان را اجرا نمایند. لذا با انجام روش‌های شخم حفاظتی نتایج متفاوتی کسب می‌شود. به‌طورکلی، مزایای اقتصادی کشاورزی حفاظتی در سال اولیه اجرای آن بسیار بحث برانگیز است و کشاورزان تصور می‌نمایند که اجرای کشاورزی حفاظتی ممکن است به دلیل مصرف بیشتر علف‌کش‌ها مخصوصا در سال‌های ابتدایی اجرای آن، سودآور نباشد. مطالعات جامع و کاملی در مورد تأثیر فاز اولیه کشاورزی حفاظتی بر مواد مغذی خاک و هزینه‌های ناشی از آن وجود ندارد لذا این مطالعه با هدف تأثیر مدیریت‌های مختلف حفاظتی بر برخی از شاخص‌های کیفیت خاک در طی سال‌های مختلف انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

در پژوهش حاضر جهت پیش‌برد اهداف مذکور، بررسی‌هایی در شهرستان نوکنده استان گلستان با مختصات اعشاری ۵۳/۹۰ طول شرقی و ۳۶/۷۳ درجه عرض شمالی انجام شد. منطقه شامل ۳ نوع مدیریت متفاوت است که

1- Boddey *et al*.
2- Topa
3- Ion *et al*.
4- Okeyo *et al*.
5- mayo
6- Armenise *et al*.
7- Souza *et al*

مدیریت کشت حفاظتی بدون شخم (CA[1])، کشت حفاظتی با خاکورزی حداقل بصورت کشت برروی سطوح بلند یا ریزبد (MT[2]) و کشت سنتی مرسوم (CT[3]) است. تناوب زراعی در سه نوع کاربری گندم- کلزا- سویا بود. در کشت مرسوم عملیات خاکورزی توسط ادوات گاوآهن برگردان‌دار و دیسک صورت پذیرفت. همچنین سابقه آتش زدن بقایا در بین دو کشت دیده می‌شود. در دو تیمار دیگر اصول حفاظتی این دو مورد دیده نمی‌شود، به‌گونه‌ای که بقایا در سطح خاک نگهداری و شخم برگردان و دیسک حذف شد. در کشت بدون شخم عملیات کاشت توسط دستگاه کشت مستقیم صورت گرفت و بقایای گیاهی بر روی سطح خاک باقی ماند و در کشت حداقل علاوه بر حذف گاوآهن و دیسک و برگرداندن بقایا، منطقه بصورت سطوح کشت بلند (ریزبد) طراحی و ساخته شد. در هر مدیریت ۳۰ نقطه بصورت تصادفی انتخاب و از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری نمونه برداری صورت پذیرفت.

شاخص‌های مورد آزمون

واکنش خاک با دستگاه pH متر در مخلوط ۱:۵ خاک و آب (توماس[4]، ۱۹۶۶)، هدایت الکتریکی با دستگاه‌ای سی متر در عصاره اشباع مخلوط آب و خاک (رودز[5]، ۱۹۹۶)، بافت به روش هیدرومتر، ارزش خنثی‌سازی کل (TNV[6]) از طریق تیتراسیون (آلیسون و مودی[7]، ۱۹۶۵)، محتوای کربن آلی به‌روش اکسایش تر، نیتروژن به روش کجلدال، محتوای فسفر و پتاس قابل جذب از طریق عصاره گیری با بی کربنات سدیم (اولسن و همکاران[8]، ۱۹۵۴) و استات آمونیم (راول[9]، ۱۹۹۴) و عناصر ریزمغذی خاک از طریق عصاره‌گیر DTPA[10] (لیندزی و نورول[11]، ۱۹۷۸) مورد سنجش قرار گرفت. مطابق با تحقیق بونمان[12] و همکاران (۲۰۱۸) این خصوصیات از مهمترین ویژگی‌های بازتاب‌دهنده کیفیت خاک از دیدگاه عملکرد یا وظیفه حاصلخیزی هستند (۷).

تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایش به صورت طرح فاکتوریل انجام شد که شامل سه مدیریت خاک‌ورزی در سه تکرار به مدت زمان ۴ سال انجام گرفت و از نرم‌افزار SAS برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کلوموگروف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و مقایسه بین میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح اطمینان ۱ درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل نتایج مدیریت‌های مختلف بر برخی ویژگی‌های شیمیایی مهم خاک

در این بخش اثر مدیریت‌های مختلف بر ویژگی‌های واکنش، شوری، مواد آلی، ارزش خنثی‌سازی کل و درصد اشباع بررسی می‌شود. نتایج بدست آمده در (جدول ۱) و (شکل ۱) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد اثر مدیریت-های خاکورزی بر تغییرات pH معنی‌دار نشده است، در عین حال اثر زمان بر تغییرات pH در سطح یک درصد معنی‌دار است ($p\leq ۰,۰۱$) (جدول ۱). pH در بدون شخم در سال چهارم (۷/۶۴) و شخم حداقل (۷/۶۲) و در شخم مرسوم (۷/۴) بود (شکل ۱). کمترین مقدار pH در تیمار شخم مرسوم است که در مقایسه با سال اول ۳,۶ درصد کاهش داشته است (شکل ۱). یافته‌های این تحقیق با تلسا[13] و همکاران در سال ۲۰۱۴ که بیان کردند کشاورزی حفاظت شده به‌مدت پنج سال موجب اسیدی‌تر شدن خاک شده است مطابقت ندارد(۴۶). در تحقیقی راسموسن و همکاران[14] در سال ۱۹۹۹ گزارش کردند خاکورزی تأثیری

1- Conservation Agriculture
2- Minimum Tillage
3- Conventional Tillage
4- Thomas
5- Rhoades
6-Total Neutralizing Value
7- Allison and Moodie
8- Olsen *et al*.
9- Rowell
10- Diethylenetriaminepentaacetic acid
11- Lindsay and Norvell
12-Bunemann
13- Tolessa *et al*.
14- Rasmussen *et al*

بر pH خاک ندارد (۳۶). با این حال در مناطقی با شرایط آب و هوایی مرطوب، در تیمار شخم حداقل pH خاک پایین‌تر مشاهده شد، این را می‌توان به دلیل نفوذ عمقی بالاتر و نوع خاک در منطقه نسبت داد که منجر به شستشوی کاتیون‌های دوظرفیتی بصورت عمقی از سطح خاک شده که به نوبه خود واکنش خاک را کاهش می‌دهد. نوع خاک نیز یکی از عواملی است که به طور قابل توجهی بر این ارتباط تأثیر می‌گذارد (۸). کیبو و همکاران[1] در سال ۲۰۲۱ بیان کردند مقدار pH در شخم حداقل کاهش ۱۰ درصدی نسبت به شخم معمولی داشته است (۲۱). هیکمن[2] (۲۰۰۲) اظهار داشت که میانگین سالانه واکنش خاک در سال‌های اول کشاورزی حفاظتی کمی افزایش می‌یابد و سپس ثابت می‌ماند تا اینکه در نهایت کاهش خاکورزی منجر به کاهش واکنش خاک می‌شود و اظهار داشت که در اوایل عمر یک سامانه بی‌خاکورزی، تغییرات جزئی اتفاق می‌افتد (۱۴). لوپز[3] و پاردو[4] (۲۰۰۹) خاطرنشان کردند که بی خاکورزی باعث ایجاد شیب عمودی قوی در واکنش خاک شده است و اعلام کردند که میانگین واکنش خاک در عمق ۰–۵ سانتی‌متر در بی‌خاکورزی کمتر از عمق ۲۰–۳۰ سانتی‌متر است و در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، بیشتر از کشاورزی مرسوم بود (۲۷).

اثر مدیریت خاکورزی بر تغییرات مقدار هدایت الکتریکی خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است ($p\leq۰,۰۵$)، و اثر زمان بر مقدار هدایت الکتریکی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار است ($p\leq۰,۰۱$) (جدول ۱). بیشترین کاهش هدایت الکتریکی در بدون شخم مشاهده شد که در سال چهارم مقدار هدایت الکتریکی خاک ۳۲٪ کاهش نسبت به سال اول داشته است، و کمترین تغییرات در شخم مرسوم مشاهده شد (شکل ۱).

اثر مدیریت خاکورزی و زمان بر درصد رطوبت اشباع در سطح یک درصد معنی‌دار شده است ($p\leq۰,۰۱$) (جدول ۱). تغییرات درصد رطوبت اشباع خاک در شخم مرسوم از سال اول به سال چهارم ۱۱ درصد کاهش داشته است، این کاهش از مقدار قابل انتظار در خاک کمتر است در نتیجه اثر شخم مرسوم نسبت به شخم حداقل و بدون شخم بر درصد رطوبت اشباع خاک اثر منفی داشته است (شکل ۱). محققین بیان کرده‌اند که کشاورزی حفاظتی رطوبت خاک را به دلیل حفظ بقایای محصول و علف‌های هرز (۱۱) کاهش تبخیر (۵۳) نفوذ بیشتر آب به درون خاک و حفاظت از خاک در برابر ضربه قطرات باران افزایش می‌دهد (۴۳). آلوارز و همکاران در سال ۲۰۰۹ گزارش کردند در مدیریت خاکورزی که عدم شخم در آن اجرا شد دارای آب قابل دسترس بیشتری نسبت به شخم مرسوم بوده است (۲).

مدیریت‌های خاکورزی بر مقدار رس اثر معنی‌داری نداشته است و بر مقدار سیلت و شن در سطح یک درصد ($p\leq۰,۰۱$) معنی‌دار شده است. اثر زمان بر مقدار رس و شن معنی‌دار نشده است و بر مقدار سیلت در سطح پنج درصد ($p\leq۰,۰۵$) معنی‌دار شده است (جدول ۱). تفاوت در اندازه ذرات و اجزای بافت خاک بدلیل تفاوت در میزان جابجایی ذرات توسط خاکورزی متفاوت و حرکت توسط رواناب است. مطالعه جیکوبز[5] و همکاران (۲۰۲۴) در زمینه نقش کشاورزی حفاظتی در اندازه ذرات موید این نکته است که تغییر جریانات هیدرولوزیک سطحی و عمقی باعث تغییر در اندازه ذرات می‌شود ولی بررسی مکانیسم‌ها نیازمند انجام مطالعه‌ای تکمیلی با اندازه‌گیری کلیه اندازه اجزای ذرات یا فرکشن‌های مختلف شن، سیلت و رس به‌همراه ارزیابی خصوصیات هیدرولوزیکی است (۱۷).

مدیریت‌های خاکورزی و زمان بر مقدار کربن آلی خاک در سطح یک درصد ($p\leq۰,۰۱$) معنی‌دار شده است، کمترین مقدار کربن آلی در شخم مرسوم مشاهده شد به طوریکه باعث افزایش ۱۲/۵ درصدی مقدار اولیه ماده آلی خاک در مدت زمان چهار سال شد، و بیشترین مقدار در بدون شخم و سپس شخم حداقل مشاهده شد به‌ترتیب ۴۷٪

1- Kiboi *et al*
2- Hickman
3- Lopez
4- Pardo
5- Jacobs

و ۱۷٪ افـزایش مقـدار اولیـه مـاده آلـی مشـاهده گردیـد. مدیریت‌های موثر حفاظتی[1] (CEM)، مـواد آلـی خـاک را در مقایسه بـا خـاکورزی معمـولی افـزایش داده اسـت (۲۳). شخم حداقل می‌تواند به‌طور قابل تـوجهی مقـدار مـاده آلـی خـاک را نسـبت بـه خـاکورزی معمـولی افـزایش دهـد (ابولانل[2]، ۲۰۱۵). حفظ بقایای محصول بـه عنـوان منبعـی از ماده آلی برای بهبـود کیفیـت خـاک توصـیه مـی‌شـود (۱۱، ۲۵).

مدیریت خاکورزی بر مقدار ارزش خنثی‌سازی کـل در سطح پنج درصد ($p\leq$۰,۰۵) معنی‌دار شده است و اثـر زمـان بـر مقـدار مـواد خنثـی شـونده معنـی‌دار نیسـت. بـه صـورت تقریبی مقدار ارزش خنثی‌سازی کل در شخم مرسـوم بـیش از بدون شخم و در رتبه کمتر شخم حداقل مشاهده گردید.

تجزیه و تحلیل نتایج مـدیریت‌هـای مختلـف بـر برخی عناصر پرمصرف خاک

تاثیر مدیریت خاکورزی و زمان بر مقـدار نیتـروژن کـل خاک در سطح یک درصد ($p\leq$۰,۰۱) معنی‌دار شده اسـت (جدول ۲)، مقدار نیتروژن در تیمـار شـخم حـداقل در سـال چهارم ۳۳٪ و بدون شخم ۳۰٪ نسـبت بـه سـال اول افـزایش داشته است (شکل ۲) و این افزایش ممکـن اسـت بـه معنـای کـاهش تلفـات مقـدار نیتـروژن در مـدیریت‌هـای حفـاظتی خاکورزی می‌باشـد. در تحقیقـی چیـونگی و همکـاران[3] در سال ۲۰۲۲ گزارش کردند، مقدار نیتروژن در شـخم مرسـوم ۴٪ و در بدون شخم ۹٪ افزایش داشته است که با نتـایج ایـن تحقیق مطابقت دارد (۱۰). حفظ سـطحی بقایـای گیـاهی بـا نسبت C:N بالا (به عنوان مثال، ذرت) به‌طـور موقـت باعـث بی‌حرکتی نیتروژن معدنی در خاک می‌شـود (۱۸). ژانـگ و همکاران[4] (۲۰۲۴) بیان کردند کشاورزی حفاظت شده مـی-تواند جایگزینی برای کود نیتروژن باشد (۵۲).

تـاثیر مـدیریت‌هـای خـاکورزی بـر مقـدار فسـفر قابـل دسترس خاک معنی‌دار نشده است و اثر زمان در سطح یک درصد ($p\leq$۰,۰۱) معنی‌دار شده اسـت (جـدول ۲). بیشـترین تاثیر در حفظ مقدار فسفر در مدت زمان چهار سال در تیمـار بدون شخم مشاهده شد به‌طوری‌که این نوع مدیریت باعـث افزایش ۴۷ درصدی مقدار فسفر در طـی چهـار سـال شـد و شخم حداقل ۱۰ درصد و شخم مرسوم ۹ درصد اثر افزایشی بر مقدار فسفر خاک داشته است (شکل ۲). مـدیریت بـدون شخم در بلندمدت می‌تواند مقدار فسفر قابـل دسـترس را در خاک افزایش دهد. نتایج این تحقیق بـا گزارشـات گوسـا و همکاران در سال ۲۰۱۰ مطابقت دارد که بیان کردنـد شـخم حـداقل مقـدار فسـفر قابـل دسـترس خـاک را افـزایش داده است. این افزایش را می‌توان به‌دلیل کاهش زیـر و رو شـدن خاک دانست. در تحقیقی کیبـو و همکـاران در سـال ۲۰۲۱ نشـان دادنـد، خـاکورزی حـداقل موجـب افـزایش ۲۰۰ درصـدی مقـدار فسـفر قابـل دسـترس خـاک در مقایسـه بـا خـاکورزی معمـولی شـده اسـت (۲۱). اثـر مـدیریت‌هـای خاکورزی و زمان بر مقدار پتاسـیم قابـل دسـترس در سـطح یک درصد ($p\leq$۰,۰۱) معنـی‌دار شـده است.پتاسـیم در سـال چهارم نسبت به سال اول در تیمـار کشـاورزی ۵۸٪ و شـخم حداقل ۵۲٪ افزایش داشته است درحالی‌که در شخم مرسوم افزایش مقدار پتاسیم تنها ۶ درصد بوده است.

تیمار بدون شخم نسبت به شخم حداقل و شخم مرسـوم اثر افزایشی بر مقدار عناصر نیتـروژن، پتاسـیم و فسـفر داشـته است و این نتایج با یافتـه‌هـای چیـونگی و همکـاران (۲۰۲۲) مطابقـت دارد کـه گـزارش کردنـد کشـاورزی حفـاظتی بـر خصوصـیت شـیمیایی خـاک اثـر افزایشـی نسـبت بـه شـخم حفـاظتی داشـته اسـت (۱۰). همچنـین تلسـا و همکـاران[5] در ۲۰۱۴ بیان کردند مقـدار فسـفر و پتاسـیم قابـل اسـتخراج در خاک در تیمار کشاورزی حفاظت شده در دوره‌ی پنج ساله نسبت به شخم مرسوم افزایش یافته است (۴۶).

1- Conservation_Effective Management
2- Abolanle
3- Chivenge *et al*.
4- Zhang *et al*.
5- Tolessa *et al*.

جدول (۱) تجزیه واریانس تاثیر متقابل مدیریت‌های مختلف خاکورزی و زمان بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table (1) Analysis of variance for soil chemical and physical characteristics affected by tillage and time

منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean Square							
		واکنش خاک pH	شوری EC (dS m^{-1})	رطوبت اشباع SP (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay(%)	ارزش خنثی سازی کل Total Neutralizing value TNV(%)	کربن آلی Organic Carbon OC (%)
تکرار Replication	2	0.007 ^{ns}	0.032 ^{ns}	1.36 ^{ns}	28.52**	57.52**	9.52 ^{ns}	0.79 ^{ns}	0.001 ^{ns}
مدیریت کشاورزی Agricultural management	2	0.004 ^{ns}	1.9**	13.52**	107.69**	112.19**	34.69 ^{ns}	8.03**	0.84**
سال Year	3	0.024**	0.05*	10.11**	5.11 ^{ns}	24.18*	34.4 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.117**
سال*مدیریت کشاورزی Agricultural management*Year	6	0.022**	0.04*	2.97 ^{ns}	4.25 ^{ns}	11.26 ^{ns}	15.76 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.035**
خطا Error	22	0.003	0.01	1.33	3.25	7.34	11.77	0.31	0.007
ضریب تغییرات CV	-	0.75	8.58	3.09	5.73	9.89	14.73	13.94	6.88

اعداد نشان دار شده با * و ** به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار هستند و ns نبودن معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است

Values marked by * and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and ns, are not significant at 5% probability levels

.

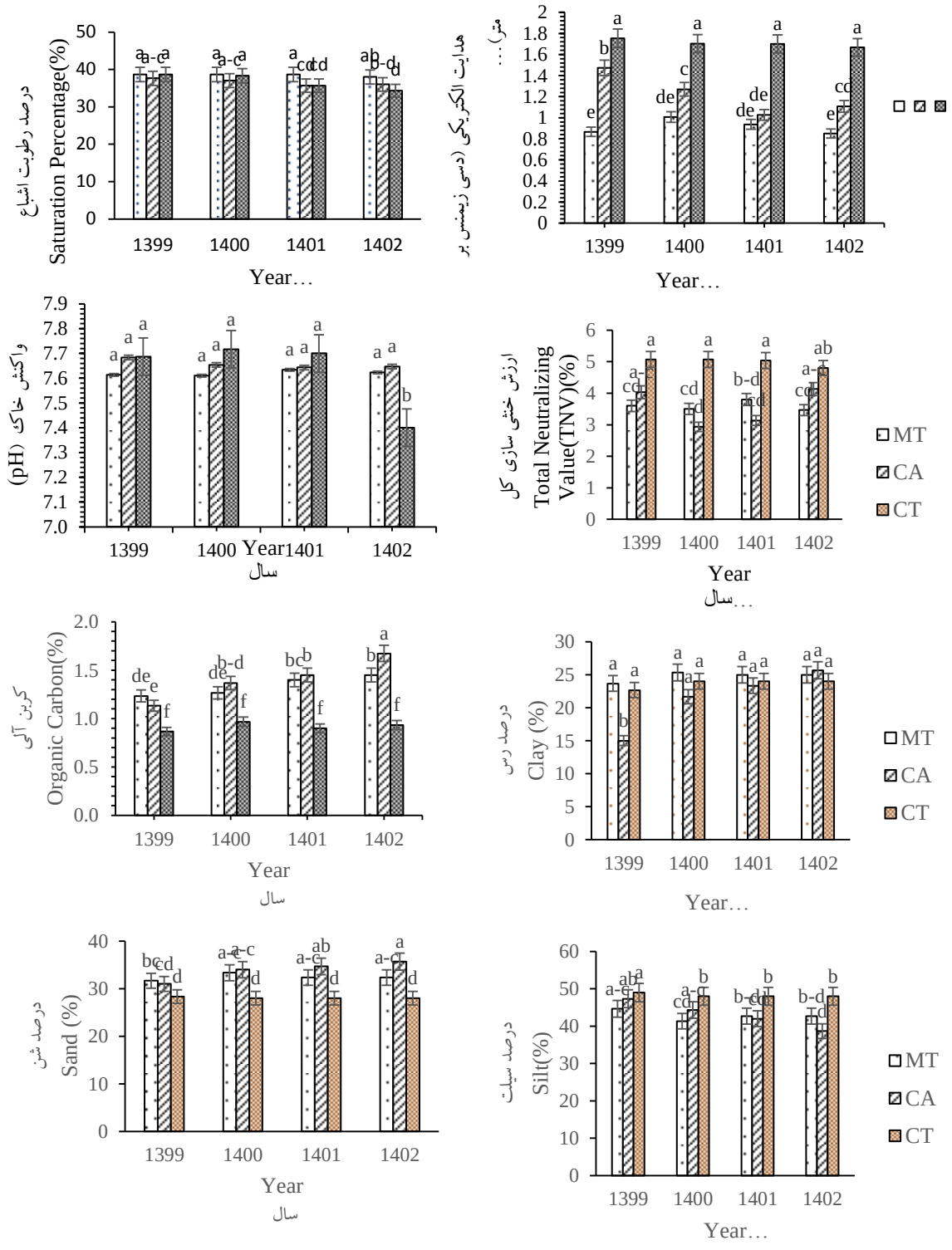
جدول (۲) تجزیه واریانس تاثیر متقابل مدیریت‌های مختلف خاکورزی و زمان بر عناصر غذایی خاک

Table (2) Analysis of variance for soil nutrients affected by tillage and time

منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean Square					
		نیتروژن N(%)	فسفر P(mg.Kg^{-1})	پتاسیم K(mg.Kg^{-1})	آهن Fe(mg.Kg^{-1})	منگنز Mn(mg.Kg^{-1})	روی Zn(mg.Kg^{-1})
تکرار Replication	2	0.00004 ^{ns}	0.46 ^{ns}	222.52 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.01 ^{ns}
مدیریت کشاورزی Agricultural management	2	0.007**	1.21 ^{ns}	8517.5**	2.39*	0.11 ^{ns}	0.087**
سال Year	3	0.0008**	5.06**	5346.5**	1.48 ^{ns}	6.95**	0.01 ^{ns}
سال*مدیریت کشاورزی Agricultural management*Year	6	0.0003*	1.34*	1312.2**	0.64 ^{ns}	0.3 ^{ns}	0.016 ^{ns}
خطا Eror	22	0.0001	0.47	216.2	0.61	0.22	0.008
ضریب تغییرات CV	-	10.72	7.27	8.26	11.1	6.27	17.78

اعداد نشان دار شده با * و ** به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار هستند و ns نبودن معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است

Values marked by * and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and ns, are not significant at 5% probability levels



شکل (۱) تاثیر مدیریت‌های مختلف خاکورزی و زمان بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سال‌های مختلف (MT، شخم حداقل، CA، کشاورزی حفاظتی، CT، شخم مرسوم).

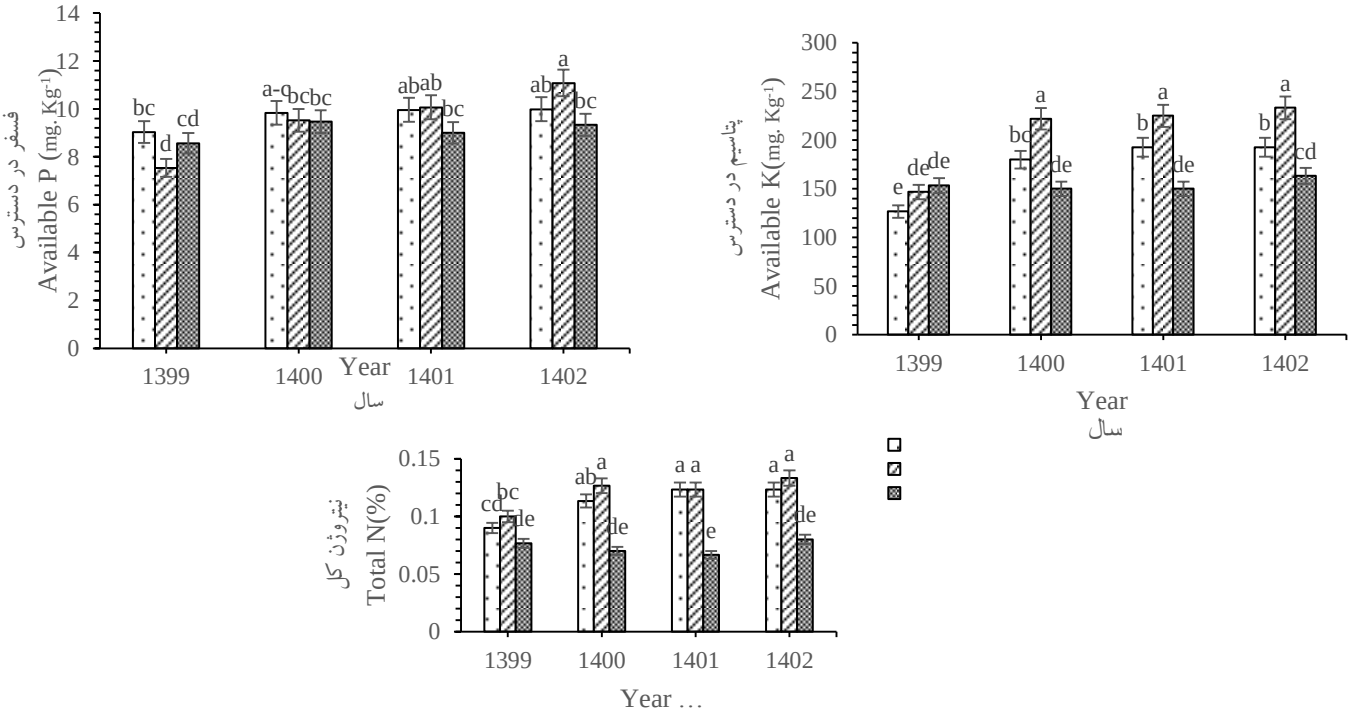
در هرستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری بر طبق آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure (1) Mean comparison effect of different tillage management on some physical and chemical properties in different years. MT, Minium tillage, CA, conservation Agriculture, CT, conventional tillage. (In each column, means with at least one similar letter have no significant difference at 5% level based on Duncan test.).

تجزیه و تحلیل نتایج مدیریت‌های مختلف بر برخی عناصر ریزمغذی خاک

اثر مدیریت‌های خاکورزی بر مقدار آهن در سطح پنج درصد ($p\leq ۰,۰۵$) و روی در سطح یک درصد ($p\leq ۰,۰۱$) معنی‌دار شده است و بر مقدار منگنز معنی‌دار نشده است، اثر زمان بر مقدار عناصر آهن و روی معنی‌دار نشده است، اما بر مقدار منگنز در سطح یک درصد ($p\leq ۰,۰۱$) معنی‌دار شده است (جدول ۲).

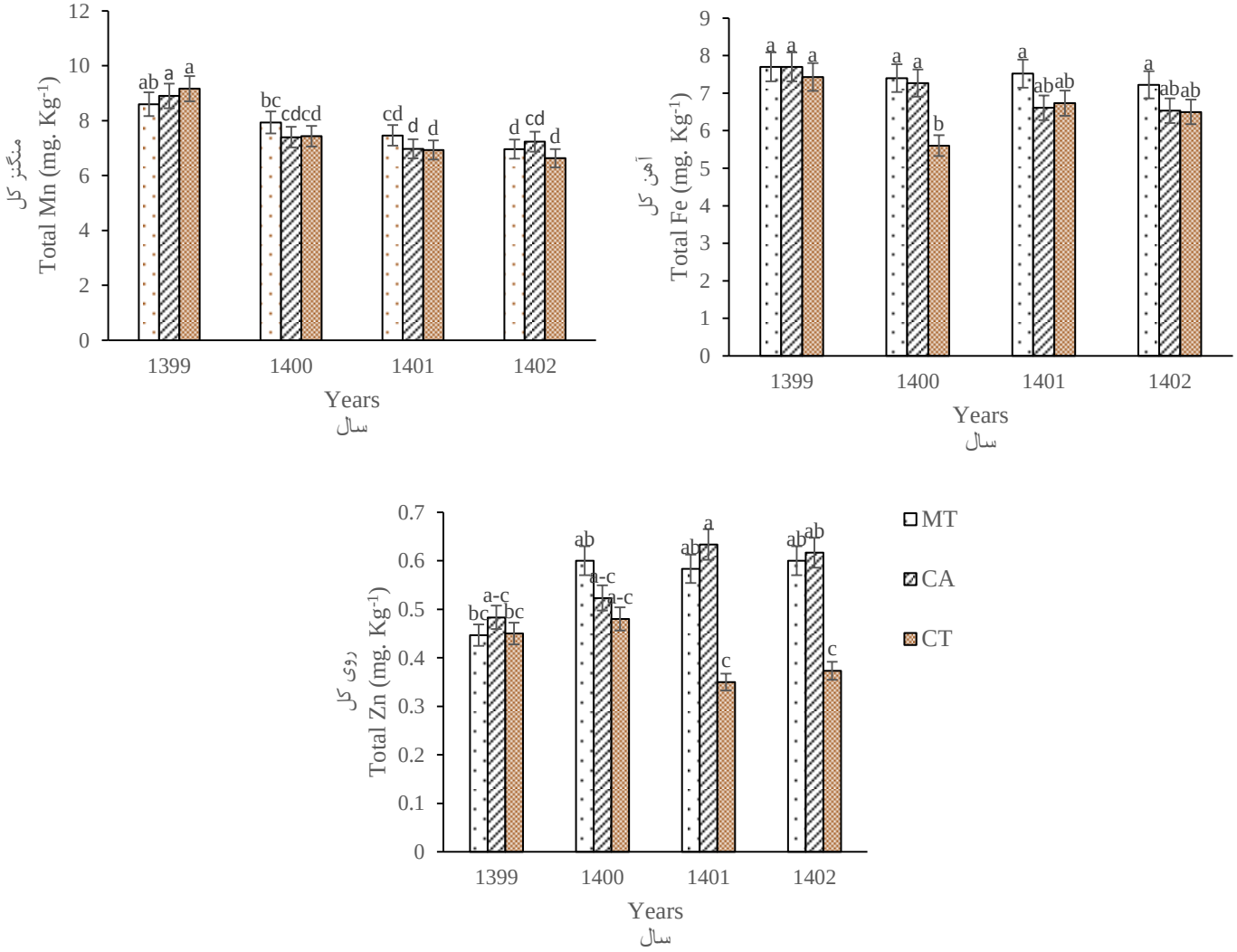
مقدار آهن در سال چهارم نسبت به سال اول در تیمار شخم حداقل ۶٪، بدون شخم ۱۵٪ و شخم مرسوم ۱۲٪ کاهش داشته است و مقدار روی در تیمار شخم حداقل ۱۵٪، بدون شخم ۲۷٪ و شخم مرسوم ۲۰٪ کاهش مشاهده شد و مقدار منگنز در تیمار شخم حداقل ۲۴٪، بدون شخم ۱۸٪ و در تیمار شخم مرسوم ۲۷٪ کاهش داشته است (شکل ۳). مقدار آهن و روی در شخم حداقل بیشتر است و مقدار منگنز در بدون شخم نسبت به شخم مرسوم بیشتر شده است (شکل ۳). روش‌های مختلف مدیریت خاکورزی باعث تغییر در رفتار ریز مغذی‌های خاک (آهن، منگنز، روی و مس) می‌شود (۴۸). در تحقیقی کیبو و همکاران در سال ۲۰۲۱ گزارش دادند مقدار روی و مس در خاکورزی حداقل نسب به خاکورزی معمولی افزایش داشته است (۲۱). می‌توان نتیجه گرفت کاهش مواد مغذی در شخم مرسوم به میزان واکنش خاک و شستشوی عناصر بصورت سطحی و عمقی مرتبط است.



شکل (۲) تاثیر مدیریت‌های مختلف خاکورزی و زمان بر برخی عناصر پرمصرف خاک در سال‌های مختلف (MT، شخم حداقل، CA، کشاورزی حفاظتی، CT، شخم مرسوم).

در هرستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری بر طبق آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure (2) Mean comparison effect of different tillage management on some soil macronutrients in different years. MT, Minium tillage, CA, conservation Agriculture, CT, conventional tillage. (In each column, means with at least one similar letter have no significant difference at 5% level based on Duncan test.).



شکل (۳) تاثیر مدیریت‌های مختلف خاکورزی و زمان بر برخی عناصر کم مصرف خاک در سال‌های مختلف (MT، شخم حداقل، CA، کشاورزی حفاظتی، CT، شخم مرسوم).

در هرستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری بر طبق آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure (3) Mean comparison effect of different tillage management on some soil micronutrients in different years. MT, Minium tillage, CA, conservation Agriculture, CT, conventional tillage. (In each column, means with at least one similar letter have no significant difference at 5% level based on Duncan test.).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد گرچه تیمارهای خاک ورزی حداقل و بدون شخم در مقایسه با خاکورزی مرسوم باعث بهبود شاخص‌های تغذیه‌ای و حاصلخیزی خاک اما روند تغییرات این شاخص‌ها در طول زمان متفاوت است که ممکن است کشاورزان و مروجین را در ابتدای سال‌های اجرا دلسرد نماید.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مهم‌ترین فاکتورهای مدیریتی تأثیرگذار در سالیان ابتدایی میزان مواد آلی خاک است. عناصر غذایی خاک، شاخص‌های حساس حاصلخیزی هستند. تغییرات در عناصر غذایی

خاک با شیب ملایمی در سالیان ابتدایی افزایش می‌یابند. و این روند گاها با روندهای با سرعت متفاوت و روند متناقض همراه است. جنبه‌های قابل توجهی از فعل و انفعالات آب، گیاه و خاک در چرخه عناصر غذایی و غیره وجود دارد که هنوز ناشناخته هستند.

کلیه تاکید این تحقیق بر همین معنی دار نشدن برخی فرایندها در طی زمان است که نیاز به گذشت زمان بیشتری جهت ایجاد اثرات دارد. با توجه به اینکه روند تغییرات متفاوتی در این تحقیق به‌دست آمده است به‌نظر می‌رسد برای رسیدن به نتایج بهتر و قابل مشاهده توسط کشاورزان نیاز به زمان کافی برای اجرا است.

فرآیند انجام کشاورزی حفاظتی شامل اجرای یک سیستم کشت برنامه‌ریزی‌شده‌است که از چهار مرحله کلی شامل فاز اولیه کشاورزی حفاظتی (۰-۵ سال)، فاز انتقال (۵-۱۰ سال)، فاز تثبیت (۱۰-۲۰ سال) و فاز نگهداری (بیش از ۲۰ سال بدون خاکورزی مداوم با پوشش مالچ در کشت متنوع) تشکیل می‌شود.

عوامل زیادی می‌توانند بر مقدار تغییرات در طول این چهار فاز تأثیر گذار باشند شرایط کشاورزی، مقدار تخریب خاک در گذشته، در دسترس بودن نهاده‌های تولید، مکانیزاسیون مزرعه، پایگاه دانش کشاورز و سامانه‌های پشتیبانی از جمله این عوامل هستند. مدت زمان و ماهیت چند ساله بودن دستاوردهای کشاورزی حفاظتی، باید توسط کشاورزان، ارائه‌دهندگان خدمات، کارشناسان حمایت‌کننده و تصمیم‌گیرندگان درک شده و مورد احترام قرار گیرد. در طی مراحل اولیه و انتقالی است که تخریب‌های مختلف وارده به خاک ناشی از چندین سال خاکورزی مرسوم شروع به ترمیم می‌کند و خاک عملکردهای زیستی و فیزیکوشیمیایی خود را بهبود بخشیده و خدمات اکوسیستم دوباره احیا می‌شود.

این یافته‌ها یک چشم‌انداز عملی به کشاورزان، مروجان و مدیران ارائه می‌دهد تا در سال‌های اولیه اجرا واقع‌بینانه به دستاوردها توجه نمایند. پیشنهاد می‌شود در سال‌های ابتدایی اجرای این‌گونه طرح‌های حفاظتی در مزارعی که شکنندگی و عدم قطعیت‌ها در آن بیشتر است، حمایت‌های دولتی و پشتیبانی صورت گیرد تا به پایداری نهایی برسند.

References

1. Allison, L. E., Moodie, C. D., 1965. Carbonate. In: Methods of Soil Analysis. Part 2 Chemical and Microbiological properties, Norman, A.G., (Ed.). American Society of Agronomy - Soil Science Society of America, WI, USA. pp. 1379–1396. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c40.

2. Alvarez, R., and Steinbach, H. S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research, 104(1), 1-15, https://doi.org/10.1016/j.still.2009.02.005.

3. Armenise, E., Redmile-Gordon, M., Stellacci, A., Ciccarese, A., and Rubino, P. 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil and Tillage Research, 130 (1), 91-98, https://doi.org/10.1016/j.still.2013.02.013.

4. Boddey, R. M., Jantalia, C. P., Conceicao, P. C., Zanatta, J. A., Bayer, C., Mielniczuk, J., Dieckow, J., Dos Santos, H. P., Denardin, J. E., Aita, C. and Giacomini, S. J. 2010. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. Global Change Biology, 16(2), 784-795, https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x..

5. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy journal, 54(5), 464-465, https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x

6. Briones, M. J. I., and Schmidt, O. 2017. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. Global change Biology, 23(10), 4396-4419, https://doi.org/10.1111/gcb.13744.

7. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. C., Deyn, G. D., Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., Willem van Groenigen, J., and Brussaard. L. 2018. Soil quality – A critical review. Soil Biology and Biochemistry. 120, 105-125, https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030.

8. Busari, A. M., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., Dulazi, A. A. 2015. Conservation of tillage impacts on soil, crops and the environment. International Soil and Water Conservation. Research, 3 (2), 119–129, https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002.

9. Caires, E., Haliski, A., Bini, A., and Scharr, D. 2015. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. European Journal of Agronomy , 66, 41-53, https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.02.008.

10. Chivenge, P. P., Murwira, H. K., Giller, K. E., Mapfumo, P. and Six, J., 2007. Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils. Soil and Tillage Research, 94(2), 328-337, https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.006.

11. Cooper, H. V., Sjögersten, S., Lark, R. M., Mooney, S. J. 2021. To till or not to till in a temperate ecosystem? Implications for climate change mitigation. Environmental Research Letters. 16(5), 054022, https:// doi.org/10.1088/1748-9326/abe74e.

12. Das, S., Bhattacharyya, R., Das, T. K., Sharma, A. R, Dwivedi, B., Meena, M. C., Dey, A., Biswas, S., Aditya, K. and Aggarwal, P. 2021. Soil quality indices in a conservation agriculture-based rice-mustard cropping system in North-western Indo-Gangetic Plains. Soil and Tillage Research, 208(2021), 104914, https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104914.

13. Derpsch, R. 2008. No-tillage and conservation agriculture: a progress report. No-till farming systems. Special publication, 3, 7-39.

14. Hickman, M.V. 2002. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical and mineral properties. Journal of Plant Nutrition. 25(7), 1457-1470, https://doi.org/10.1081/PLN-120005402.

15. Hiel, M. P., Barbieux, S., Pierreux, J., Olivier, C., Lobet, G., Roisin, C., Garré, S., Colinet, G., Bodson, B. and Dumont, B. 2018. Impact of crop residue management on crop production and soil chemistry after seven years of crop rotation in temperate climate, loamy soils. PeerJ, 6, ID: e4836. https://doi.org/10.7717/peerj.4836.

16. Ion V., Dicu G., Dumbravă M., Temocico G., Alecu I. N., Băşa A. G., State, D. 2015. Harvest Index at Maize in Different Growing Conditions. Romanian Biotechnological Letters. 20 (6), 10951-10960.

17. Jacobs, A. A., Evans, R. S., Allison, J. K., Garner, E. R., Kingery, W. L., & McCulley, R. L. 2022. Cover crops and no-tillage reduce crop production costs and soil loss, compensating for lack of short-term soil quality improvement in a maize and soybean production system. Soil and Tillage Research. 218: 105-111, https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105310.

18. Jat, R. A., Wani, S. P., Sahrawat, K. L. 2012. Conservation agriculture in the semi-arid tropics: prospects and problems. Advances in Agronomy. 117, 65–2113, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00004-0.

19. Kassam, A. 2020. Advances in Conservation Agriculture: volume 2: practice and benefits. Burleigh Dodds Science Publishing Limited.

20. Kazemi-nejad, R., Rezaee, A., Joolaie, R. and Keramatzadeh, A. 2022. Investigating the effects of water resources consumption reduction policies on agricultural sustainability in different climates in Iran. Environment, Development and Sustainability, 26 (1), 1007-1032. https://doi.org/ 10.1007/s10668-022-02745-1

21. Kiboi, M. N., Ngetich, F. K., Mucheru-Muna, M. W., Diels, J., and Mugendi, D. N. 2021. Soil nutrients and crop yield response to conservation-effective management practices in the sub-humid highlands agro-ecologies of Kenya. Heliyon, 7, ID: e07156. https://doi.org/ 10.1016/j.heliyon. 2021.e07156

22. Kladivko, E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. Soil and Tillage Research. 61 (1-2), 61-76. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00179-9.

23. Klik, A., Rosner, J. 2020. Long-term experience with conservation tillage practices in Austria: Impacts on soil erosion processes. Soil and Tillage Research. 203 (1) ID: 104669, https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104669.

24. Kuldip Gosai, K. G., Ayyanadar Arunachalam, A. A. and Dutta, B. K. 2010. Tillage effects on soil microbial biomass in a rainfed agricultural system of northeast India. Soil and Tillage Research. 109(2), 68–74, https://doi.org/10.1016/j.still.2010.04.006.

25. Lal, R. 1998. Soil erosion impacts on agronomic productivity and environment quality. Critical Reviews in Plant Sciences. 17(4), 319-464, https://doi.org/10.1080/07352689891304249.

26. Lindsay, W. L., Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil-test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 42(3), 421-428, https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x.

27. López-Fando, C. and Pardo, M.T. 2009. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment. Soil and Tillage Research. 104(2), 278-284. https://doi.org/10.1016/j.still.2009.03.005.

28. Mayo, D.G. and Hand, D. 2022. Statistical significance and its critics: practicing damaging science, or damaging scientific practice?. Synthese, 200, 220-230. https://doi.org/10.1007/s11229-022-03692-0

29. Mousques, C., Friedrich, T. 2007. Conservation Agriculture in China and the Democratic People's Republic of Korea. FAO crop and grassland service working paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

30. Nelson, D. W., Sommers, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Methods of Soil Analysis, Part-3, Chemical Methods (Ed.), DL Sparks, Madison, SSSA Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, 961-1010, https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34.

31. Ngwira, A. R., Aune, J. B. and Mkwinda, S. 2012. On-farm evaluation of yield and economic benefit of short-term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. Field Crops Research 132 (1), 149-157, https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.014.

32. Okalebo, J. R., Gathua, K. W., Woomer, P. L. 2002. Laboratory methods for soil and plant analysis. A working manual second edition Sacred Africa, Nairobi, 21. pp: 25-26. https://doi.org/ 10.12691/aees-3-5-1

33. Okeyo, I. A., Mucheru-Muna, M., Mugwe, J., Ngetich, K. F., Mugendi, D. N., Diels, J., Shisanya, C. A. 2014. Effects of selected soil and water conservation technologies on nutrient losses and maize yields in the central highlands of Kenya. Agricultural Water Management. 137(1), 52–58,https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.014.

34. Olsen, S. R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA, Circular-939, US. Government Printing Office, Washington DC.

35. Palm, C., Blanco-canqui, H., Declerck, F., Gatere, L., Grace, P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. Agriculture, Ecosystems and Environment. 187(1), 87–105,https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010.

36. Rasmussen, K. J. 1999. Impact of plough less soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. Soil and Tillage Research. 53(1), 3–14, https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00072-0.

37. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T. and Sumner, M. E., Eds., Methods of Soil Analysis Part 3, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, 5(1), 417-435, https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14.

38. Rowell, D. L. 1994. Soil science methods and applications. Longman Group, Harlow, p. 345.

39. Shakoor, A., Shahbaz, M., Farooq, T. H., Sahar, N. E., Shahzad, S. M., Altaf, M. M., Ashraf, M. 2021. A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. Science of the Total Environment. 750 (1), ID: 142299, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299.

40. Smith, C. T., Dyck, W. J., Beets, P. N., Hodgkiss, P. D., Lowe, A. T. 1994. Nutrition and productivity of Pinus radiata following harvest disturbance and fertilization of coastal sand dunes. Forest Ecology and Management. 66 (1-3), 5-38, https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90146-5.

41. Souza, M., Júnior, V. M., Kurtz, C., dos Santos Ventura, B., Lourenzi, C. R., Lazzari, C. J. R., Ferreira, G.W., Brunetto, G., Loss, A. and Comin, J. J. 2021. Soil chemical properties and yield of onion crops grown for eight years under a no-tillage system with cover crops. Soil and Tillage Research. 208, ID: 104897, https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104897.

42. TerAvest, D., Carpenter-Boggs, L., Thierfelder, C., Reganold, J. P. 2015. Crop production and soil water management in conservation agriculture. no-till, and conventional tillage systems in Malawi. Agriculture, Ecosystems and Environment, 212 (1), 285-296, https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.011.

43. Thierfelder, C., Chisui, J.L., Gama, M., Cheesman, S., Jere, Z. D., Bunderson, W. T., Eash, N. S. and Rusinamhodzi, L. 2013. Maize-based conservation agriculture systems in Malawi: long-term trends in productivity. Field Crops Research, 142(1), 47-57, https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.010.

44. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In: Sparks, D.L., Ed., Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series 5, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 475-490, https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16.

45. Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. and Befort, B. L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of sciences, 108 (50), 20260-20264, https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108.

46. Tolessa, D., Du Preez, C. C., and Ceronio, G. M. 2014. Effect of tillage system and nitrogen fertilization on the pH, extractable phosphorus and exchangeable potassium of Nitisols in Western Ethiopia. African Journal of Agriculture Research, 9(35), 2669-2680, https://doi: 10.5897/AJAR2013.7779.

47. Topa, D., Cara, I. G. and Jităreanu, 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, https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105102.

48. Tully, K., Sullivan, C., Weil, R., Sanchez, P. 2015. The state of soil degradation in sub-Saharan Africa: baselines, trajectories, and solutions. Sustainability. 7(6), 6523–6552, https://doi.org/10.3390/su7066523.

49. Van Es, H. M. 1993. Evaluation of temporal, spatial and tillage induced variability for parameterization of soil infiltration. Geoderma 60(1-4), 187–199, https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90026-H.

50. Van Reeuwijk, L. P. 2002. Procedures for soil analysis. Technical Paper No. 9, 6th Edition, 2002, FAO/ISRIC, Wageningen, the Netherlands. 120 pp.

51. Wang, X. and Gong, Z. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma. 81 (3-4), 339-355, https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00109-2.

52. Zhang, L., Jiang, G., Xiao, R., Hou, K., Liu, X., Liu, X., and Han, Y. 2024. An appropriate amount of straw replaced chemical fertilizers returning reduced net greenhouse gas emissions and improved net ecological economic benefits. Journal of Cleaner Production, 434, ID: 140236,https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140236.

53. Zribi, W., Aragüés, R., Medina, E. and Faci, J. 2015. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. Soil and Tillage Research, 148 (1), 40-45, https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.003.