Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

(OPEN ACCESS)

Investigation of the effect of the combined use of organic and chemical fertilizers on the soil organic carbon management index in forage corn

Tahereh Shirazian[*1], Hadi Ghorbani[2], Hossein Saffari[3]

1. Corresponding Author, M.Sc. Student in Soil Science, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: tahereh_saba@yahoo.com
2. Associate Prof., Dept. of Soil and Water, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: ghorbani1969@yahoo.com
3. Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: hsaffari146@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 05.11.2024
Revised: 06.07.2025
Accepted: 06.24.2025

Keywords:
Carbon Management Index,
Combined Management of Fertilizer,
Total soil Organic Carbon,
Unstable Carbon

ABSTRACT

Background and Objectives: Organic carbon whole soil is an indicator of soil quality, which responds to the changes in soil management. The study of the most unstable components of soil organic carbon may cause better diagnosis of fertilizer management changes on soil quality. One of the organic carbon components used for this purpose is activated or unstable carbon. Two soils with similar (total) organic carbon content may have different amounts of active carbon. Soil organic carbon storage and its changes directly affect soil quality and fertility, and are considered one of the soil quality indicators. The aim of this study was to investigate the effect of integrated fertilizer management on organic carbon components, especially the soil organic carbon management index.

Materials and Methods: This research was carried out in the form of randomized incomplete block design with nine treatments in three replications and two depths of zero to 15 and 15 to 30 cm in the research farm station of the Soil and Water Research Institute, in Meshkindasht, Karaj, was implemented in the crop year of 1399-1400. Test treatments include: 1) Without cultivation; 2) Blank: without fertilizer; 3) Application of nitrogen fertilizers, phosphorus and potassium; 4) Application of 20 tons of cow manure every two years + Application 75% Recommended nitrogen content + 50% of phosphorus and potassium recommended; 5) Application of 20 tons of waste compost every two years + Application of 75% Nitrogen recommended + Application of 50% of the amount of phosphorus and potassium recommended; 6) Annual application of 20 tons of cow manure + application of 75% of recommended nitrogen content; 7) Annual application of 20 tons of waste compost + application of 75% of recommended nitrogen content; 8) Annual application of 20 tons of cow manure (10 tons in first culture and 10 tons in second cultivation); 9) Annual application of 20 tons of waste compost (10 tons in first cultivation and 10 tons in second cultivation) + Biological stimulant of plant growth. After planting and harvesting the forage corn crop, a composite sample was prepared from two soil depths of zero to 15 and 15 to 30 centimeters. Then, total organic carbon of soil and soil activated

carbon on the samples was measured in the laboratory based on laboratory methods, then the total organic carbon index of the soil (total carbon ratio in the soil sample tested to total carbon in reference soil or soil without cultivation), soil activated carbon index (sample carbon ratio The soil was tested to activated carbon in reference soil or non-cultured soil samples (soil organic carbon management index (the product of total organic carbon index of soil and active or unstable carbon index). The results were analyzed using SAS statistical software.

Results: The average carbon components in different treatments at a depth of zero to 15 centimeters compared to the control showed that the seventh treatment (annual application of 20 tons of waste compost + 75% recommended nitrogen content), Total organic carbon of soil, Total soil carbon index and soil carbon management index had a significant difference at the 5% statistical level. The amount of these indicators compared to the control, respectively, 68.98, 68.11 and 102.30% increase, which was influenced by the integrated use of chemical fertilizers. As well as the treatment of 20 tons of cow manure every two years, + application of 75% of the recommended nitrogen content, + 50% of the amount of phosphorus and potassium recommended. Compared to the control, of 76.12% increase in active organic carbon, indicating the same as the fourth treatment caused by the integrated application of organic and chemical fertilizers.

Conclusion: The results of this study showed that; In the time period, the use of chemical and organic fertilizers had no significant effect on organic carbon in the whole soil and carbon management index, while integrated application of organic and chemical fertilizers, the amount of organic carbon content and its components (CMI, LI, CPI) resulted in rising microbial and enzymatic activity. As the CPI rises (total organic carbon index) and LI (carbon instability index), the CMI (carbon management index), which is calculated from the product of these two indicators, is also proportional to them. According to the results of this experiment, it can be concluded that; The application of organic with other chemical and mineral fertilizers may be effective in the long term and be one of the most important factors in increasing the quality and quantity level of organic matter, carbon content and other soil carbon components such as CMI. Regarding the superiority and positive effect of seventh treatment, on the carbon management index and the organic carbon index of soil, as well as positive effect on increasing the yield of corn, it is recommended that in the nutritional program of corn, along with chemical fertilizers applied at least 20 tons per hectare to the management of organic fertilizers (seventh Includes, containing urban waste compost + 75% of the recommended nitrogen content) each year at a depth of zero to 15 centimeters soil.

Cite this article: Shirazian, Tahereh, Ghorbani, Hadi, Saffari, Hossein. 2026. Investigation of the effect of the combined use of organic and chemical fertilizers on the soil organic carbon management index in forage corn. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 15 (4), 113-132.



© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejsms.2026.22424.2148
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

بررسی تأثیر مصرف توأم کودهای آلی و شیمیایی بر شاخص مدیریت کربن آلی خاک در گیاه ذرت علوفه‌ای

طاهره شیرازیان*[۱]، هادی قربانی[۲]، حسین صفاری[۳]

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: tahereh_saba@yahoo.com
۲. دانشیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: ghorbani1969@yahoo.com
۳. استادیار پژوهش گروه علوم خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: hsaffari146@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۳

واژه‌های کلیدی:
شاخص مدیریت کربن،
کربن آلی کل خاک،
کربن ناپایدار،
مدیریت تلفیقی کودها

چکیده

سابقه و هدف: کربن آلی کل خاک شاخصی از کیفیت خاک به‌شمار می‌آید. این شاخص به تغییرات مدیریت خاک به کندی پاسخ می‌دهد. مطالعه اجزاء ناپایدارتر کربن آلی خاک ممکن است باعث تشخیص بهتر اثر تغییرات مدیریت کودی بر کیفیت خاک باشد. یکی از اجزاء کربن آلی که برای این منظور استفاده می‌شود، کربن فعال یا ناپایدار است. ممکن است دو خاک با میزان کربن آلی (کل) مشابه دارای مقادیر مختلف کربن فعال باشند. ذخیره کربن آلی خاک و تغییرات آن مستقیماً بر کیفیت و حاصلخیزی خاک تأثیر داشته و به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت خاک مطرح است. هدف از این مطالعه بررسی اثر مدیریت تلفیقی کودها بر اجزای کربن آلی به‌ویژه شاخص مدیریت کربن آلی کل خاک بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در قالب طرح پایه بلوک‌های ناقص تصادفی با نه تیمار در سه تکرار و در دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، واقع در مشکین‌دشت کرج، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل: ۱) نکاشت؛ ۲) شاهد بدون مصرف کود؛ ۳) کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی؛ ٤) کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه‌شده؛ ۵) کاربرد ۲۰ تن کمپوست پسماند هر دو سال یکبار + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه‌شده؛ ٦) کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده؛ ۷) کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده؛ ۸) کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)؛ ۹) کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم) + محرک‌های زیستی رشد گیاه. پس از اجرای کشت و اتمام برداشت محصول ذرت علوفه‌ای از دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه مرکب تهیه شد. سپس اندازه‌گیری کربن آلی کل خاک و کربن فعال خاک

بر روی نمونه‌ها در آزمایشگاه براساس روش‌های آزمایشگاهی مورد تأیید اندازه‌گیری شد، سپس شاخص کربن آلی کل خاک (نسبت کربن کل در نمونه خاک مورد آزمایش به کربن کل در نمونه خاک مرجع یا خاک بدون کشت)، شاخص کربن فعال خاک (نسبت کربن فعال نمونه خاک مورد آزمایش به کربن فعال در نمونه خاک مرجع یا خاک بدون کشت) و شاخص مدیریت کربن آلی خاک (حاصل‌ضرب شاخص کربن آلی کل خاک و شاخص کربن فعال یا ناپایدار خاک) محاسبه شد. سپس نتایج حاصل با نرم‌افزار آماری SAS تجزیه‌وتحلیل شد.

یافته‌ها: مقایسه میانگین اجزای کربن در تیمارهای مختلف در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر نشان داد تیمار هفتم (کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده) نسبت به شاهد از نظر؛ کربن آلی کل خاک، شاخص کربن آلی کل خاک و شاخص مدیریت کربن خاک، تفاوت معنی‌داری در سطح آماری پنج درصد داشت. میزان این شاخص‌ها نسبت به شاهد، به‌ترتیب؛ ٦٨/٩٨، ٦٨/١١ و ١٠٢/٣٠ درصد افزایش داشت که متأثر از مصرف کودهای آلی و شیمیایی به‌صورت تلفیقی بوده است؛ و هم‌چنین تیمار چهار (کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یک‌بار+ کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه‌شده) نسبت به شاهد به‌میزان ١٢/٧٦ درصد افزایش کربن آلی فعال، نشان می‌دهد که باز هم در تیمار چهارم ناشی از مصرف توأم کودهای آلی و شیمیایی است.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که؛ در بازه زمانی آزمایش کاربرد کودهای شیمیایی و آلی هر کدام به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی کل خاک و شاخص مدیریت کربن نداشت، در حالی‌که با کاربرد ترکیبی کودهای آلی با کودهای شیمیایی، میزان کربن آلی خاک و اجزای آن (CMI, LI, CPI)[1] به دلیل بالا رفتن فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی افزایش یافت. با بالا رفتن میزان CPI (شاخص کربن آلی کل) و LI (شاخص ناپایداری کربن)، میزان CMI (شاخص مدیریت کربن)، که از حاصل‌ضرب این دو شاخص محاسبه می‌شود هم متناسب با آن‌ها بالا رفت. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان بیان کرد که؛ کاربرد توأم کودهای آلی با سایر کودهای شیمیایی و معدنی به صورت مؤثری در درازمدت می‌تواند یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در افزایش سطح کیفی و کمی مواد آلی خاک و محتوای کربنی و سایر اجزای کربنی خاک و در نهایت CMI باشد. با توجه به برتری و تأثیر مثبت تیمار هفتم، بر روی شاخص مدیریت کربن و شاخص کربن آلی خاک و هم‌چنین تأثیر مثبت روی افزایش عملکرد محصول ذرت، پیشنهاد می‌شود در برنامه تغذیه محصول مورد مطالعه، همراه با کودهای شیمیایی نسبت به مدیریت کودهای آلی حداقل به‌میزان ۲۰ تن در هکتار (تیمار هفتم، شامل؛ کمپوست زباله شهری + ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده) در هر سال در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک (سطحی) اقدام گردد.

استناد: شیرازیان، طاهره، قربانی، هادی، صفاری، حسین (۱۴۰۴). بررسی تأثیر مصرف توأم کودهای آلی و شیمیایی بر شاخص مدیریت کربن آلی خاک در گیاه ذرت علوفه‌ای. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۵ (۴)، ۱۳۲-۱۱۳.

DOI: 10.22069/ejsms.2026.22424.2148

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

1- CMI: Carbon Management Index
LI: Labile Index
CPI: Carbon Pool Index

مقدمه

نقش و اهمیت ماده آلی در چرخه کربن: ماده آلی خاک یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک به‌شمار می‌رود (۱). ماده آلی خاک منبعی از عناصر غذایی است و فراوانی و چگونگی آن بر حاصلخیزی خاک اثر می‌گذارد و واکنش خاک را بافری می‌کند، بنابراین عناصر غذایی را برای گیاه قابل‌دسترس می‌کند (۲). ماده آلی خاک به‌دلیل نقش آن در پایداری ساختمان خاک، نفوذپذیری آب، ظرفیت نگهداری آب خاک، فعالیت‌های میکروبی، ذخیره و آزادسازی عناصر غذایی، به‌عنوان شاخصی از کیفیت خاک به‌حساب می‌آید (۲) مواد آلی به علت اثرات مفیدی که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حاصل‌خیزی خاک دارند، به‌عنوان یکی از ارکان باروری خاک، شناخته شده‌اند (۳). داشتن و حفظ ماده آلی کاری بسیار دشوار می‌باشد، به همین دلیل، آسیب‌پذیری آن در مقابل عوامل طبیعی و عملیات خاک‌ورزی شدید بوده و فرسایش زیادی را به همراه دارد. بنابراین ادامه روند کاهش مواد آلی در آینده نزدیک تبدیل به بحران کمبود مواد آلی خاک‌ها در کشور می‌گردد، بنابراین برای دستیابی به کشاورزی پایدار باید به افزایش مواد آلی خاک توجه ویژه داشت (٤). دانشمندان طی پژوهش‌های خود به این نتیجه دست یافتند که خاک می‌تواند منبع و ذخیره‌کننده کربن آلی باشد، پس هر گونه مدیریت مربوط به خاک می‌تواند باعث کاهش یا افزایش کربن آلی خاک شود (۵). منابع کربن آلی خاک شامل دو شکل آلی و غیرآلی است که کربن آلی کل آن بزرگ‌ترین منبع در روی کره زمین است و اندازه آن نزدیک ۸۰ درصد است (٦). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که ذخایر و اجزای مختلف کربن آلی خاک خیلی سریع‌تر از کربن کل به تغییرات واکنش نشان می‌دهند به همین دلیل اجزای مختلف کربن آلی خاک می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های اولیه و حساس به تغییرات ذخایر کربن خاک به‌کار روند. برای بررسی اثرات مدیریت اراضی و مدیریت زراعی بر میزان کربن آلی خاک توجه به سازوکارهای پایدارکننده و ناپایدارکننده کربن آلی خاک ضروری می‌باشد (۷).

اجزای مختلف مواد آلی: کربن آلی خاک از ویژگی‌های مهم خاک محسوب می‌شود که بسیاری از فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۸). کربن جزء مهمی از مواد آلی موجود در خاک است و بالا بودن میزان آن در خاک منجر به حفظ مواد غذایی در خاک می‌شود (۹). ذخیره کربن دو نوع فعال و غیرفعال هستند و منظور از ذخایر غیرفعال، کربن انباشته شده در پوسته جامد زمین و سوخت‌های فسیلی و منظور از ذخایر فعال، کربن ذخیره شده در اتمسفر، آب دریاها و کالبد جانوران در آب‌ها و بخش جامد زمین است (۱۰). کربن بین هر یک از ذخایر فعال و غیرفعال به آسانی مبادله شده و سرعت این تبادل تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد (۱۱). مطالعه اجزاء ناپایدارتر کربن آلی خاک ممکن است باعث تشخیص بهتر اثر تغییرات مدیریت کودی بر کیفیت خاک باشد (۲). یکی از اجزاء کربن آلی که برای این منظور استفاده می‌شود، کربن فعال یا ناپایدار است. ترکیبات ناپایدار مواد آلی در مدت‌زمان کوتاهی در خاک مورد تجزیه بیولوژیکی قرار می‌گیرند ولی اهمیت زیادی در تغذیه گیاه دارند، از طرفی این ترکیبات در شاخص مدیریت کربن آلی در خاک نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (۱۲). بنابراین حفظ کربن آلی خاک در بلندمدت (حداقل دو سال و بیش‌تر) از یک طرف و نیز اثرات تغذیه‌ای و کیفیت محصول در کوتاه‌مدت (یک فصل زراعی) از طرف دیگر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۲).

کربن فعال منابع ناپایدار کربن خاک محسوب می‌شوند که به تغییرات اقلیمی و مدیریتی حساس

بوده و می‌توانند شاخص‌های اولیه تغییرات در کربن آلی خاک باشند (۱۳). پژوهش‌های مختلف نشان داده است که دو خاک با میزان کربن آلی کل مشابه تحت‌تأثیر فعالیت‌های زیستی خاک و مواد آلی خاک دارای مقادیر مختلف کربن فعال (۰/۰۳ تا ۰/۰۷ درصد)، هستند (۱).

تأثیر عوامل مختلف بر روی کربن آلی خاک و اجزای آن: کربن آلی خاک تحت‌تأثیر درجه حرارت و بارندگی می‌باشد، افزایش درجه حرارت در صورت فراهمی رطوبت کافی در خاک، به دلیل افزایش میکروارگانیسم‌های خاک‌زی باعث کاهش محتوای کربنی خاک می‌شود (١٤). هم‌چنین فرسایش در برخی زمان‌ها سبب جابه‌جایی کربن و تجمع آن‌ها در محل‌هایی شود که به دلیل شرایط اکسیداسیون اتلاف شوند (۱۵). بافت خاک هم از جمله عواملی است که در میزان ماده آلی خاک تأثیر به‌سزایی دارد، حفظ ماده آلی در خاک رسی بالاتر از خاک شنی است (١٦). یکی دیگر از عوامل افزایش محتوای کربنی خاک، کاهش عملیات خاک‌ورزی است که باعث بهبود دانه‌بندی خاک‌دانه‌ها و کاهش تلفات ماده آلی می‌شود (۱۷). امروزه پژوهش‌های زیادی در ارتباط با محصولات کشاورزی و خاک‌های کشاورزی انجام‌شده است نشان داده است که استفاده از کودهای متنوع در کشاورزی می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر روی خاک از خود نشان دهد؛ بنابراین بررسی شاخص‌های کیفی و کمی خاک در عمق‌های مختلف خاک می‌تواند نتایج جالبی در ارتباط با خاک هدف در اختیار قرار دهد؛ بنابراین تعیین کربن کل و بخش‌هایی از آن‌که دارای حساسیت بیش‌تری هستند، جهت شناخت تأثیر مدیریت در مراحل اولیه، مفید خواهد بود (۱۸ و ۱۹).

نقش مدیریت کاربرد کودهای آلی و شیمیایی و کاربرد تلفیقی آن‌ها بر روی اجزای کربن: نقش کودهای دامی و کمپوست در افزایش ذخیره کربن آلی خاک با اهمیت گزارش شده است، چنان‌چه اگر معادل عناصر غذایی موجود در کودهای آلی از کودهای شیمیایی استفاده شود، قطعا تأثیر آن در افزایش ماده آلی خاک، کمتر خواهد بود (۲۰). به‌طور کلی کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌عنوان مکمل غذایی و حاصل‌خیزکننده خاک به کار می‌روند. از آن‌جاکه منابع تأمین‌کننده ماده آلی در ایران محدود است و عناصر غذایی موجود در آن‌ها از توازن خاصی برخوردار نیست؛ مثلاً به‌طور معمول نیتروژن و فسفر قابل‌استفاده مواد آلی کم و پتاسیم آن زیاد است، بنابراین لازم است مقداری کود شیمیایی نیتروژن‌دار و یا فسفردار به آن اضافه گردد (۲۱). براساس پژوهش‌های بیسواس و همکاران (۲۰۰۸)؛ گاش و همکاران (۲۰۱۹) و موهارانا و همکاران (۲۰۱۲) بر روی گیاهان مختلف تأثیر تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در افزایش مواد آلی خاک و افزایش شاخص‌های کربن آلی خاک و در نتیجه افزایش عملکرد به اثبات رسیده است (۲۲، ۲۳ و ۱۲). عبدالهی و همکاران (٢٠١٤) نشان دادند که نسبت کربن آلی خاک با افزودن کودهای آلی در خاک افزایش می‌یابد (٢٤). شاخص مدیریت کربن در اصل تغییراتی را از کربن نشان می‌دهد که در هر سیستم وابسته به مدیریت آن سیستم است. مدیریت شاخص کربن می‌تواند یک شاخص مهم و مفید برای ارزیابی ظرفیت اضافه کردن کود دامی در طولانی‌مدت، باقی‌مانده گیاهی، کشاورزی حفاظتی برای بهبود کیفیت خاک باشد و در نتیجه باعث بهینه‌سازی روش‌هایی شود که مانع تخریب خاک می‌شوند (۲۵ و ٢٦). در پژوهش دیگری (۱۸ و ۱۹) گزارش کردند که تأثیر کوددهی بر شاخص مدیریت کربن قابل‌توجه است و در تیمارهایی که از کود دامی استفاده‌شده در مقایسه به تیمارهایی که از کود معدنی استفاده‌شده شاخص مدیریت کربن افزایش بیش‌تری داشته است.

ضرورت مطالعه: مطالعات نشان داده است که بیش از ٦٠ درصد خاک‌های ایران دچار کمبود کربن آلی است (۲۷). از جمله ارکان اصلی برنامه پایداری تولید محصول، پایداری کیفیت خاک است (۲۸). تا سال‌های متمادی استفاده از کودهای شیمیایی برای حفظ حاصلخیزی خاک تنها رویکرد مهم در مدیریت حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌رفت (۲۹). در دو دهه اخیر با بروز مسائل زیست‌محیطی، توجه بیش‌تر به جنبه‌های فیزیکی و بیولوژیکی حاصلخیزی خاک در کنار جنبه شیمیایی آن افزایش‌یافته است (۳۰). برای نیل به اهداف پایداری حاصلخیزی خاک، لزوم حفظ و افزایش کربن آلی و تنوع زیستی خاک سبب تغییر در الگوواره‌های مدیریت حاصلخیزی خاک شده است (۳۱). توجه به کربن آلی خاک در این تغییر رویکرد به دلیل نقش بی‌بدیل آن در بهبود کلیه فرآیندها و عملکردهای خاک کشاورزی است که منجر به افزایش کیفیت خاک و پایداری تولید محصولات شده است (۲۸). به‌علاوه بررسی‌های اجمالی اخیر نشان از روند کاهشی مقدار کربن آلی در اکثر مناطق کشور در طول ۵۰ سال گذشته است. این مسأله لزوم مدیریت ماده آلی خاک را دوچندان می‌نماید (۲۷).

به دلیل اثرپذیری زیاد ماده آلی خاک از شرایط اقلیمی، خاکی و مدیریت حفظ و افزایش کربن آلی در خاک کاری سخت و زمان‌بر است (۲۸). کربن آلی کل خاک شاخصی از کیفیت خاک به‌شمار می‌آید (۲۸). این شاخص به تغییرات مدیریت خاک به‌کندی پاسخ می‌دهد (۲۸). نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در کشور ایران نشان داده است که کاربرد کودهای آلی به‌عنوان نهاده بیرونی اثر فراوانی در افزایش کربن آلی خاک دارد به‌گونه‌ای که استمرار در مصرف این کودها سبب افزایش دو برابری مقدار کربن آلی خاک در یک دوره چهار تا پنج ساله شده است. با این‌حال منابع آلی قابل‌دسترس محدود بوده و برای افزایش کربن آلی خاک تا حد مطلوب و دست‌یافتنی در کل اراضی کشاورزی ایران کفایت نمی‌نماید (۳۱). مقدار مواد آلی موجود در لایه‌های سطحی خاک (۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری)، معمولاً حدود ۰/۵ تا پنج درصد وزنی است، اما در بعضی از خاک‌های پیت این میزان به حدود ۱۰۰ درصد نیز می‌رسد و حتی در خاک‌های غیرآلی، مواد آلی خاک می‌تواند اثرات قابل‌توجهی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک گذارد (۳۲).

این پژوهش در گیاه زراعی ذرت با نام علمی *Zea mays* انجام شده است به دلیل این‌که ذرت یکی از باارزش‌ترین گیاهان زراعی است که تنوع، سازگاری بالا و ارزش غذایی فراوان، آن را در گروه مهم‌ترین گیاهان جهان قرار داده است (۳۳). این گیاه به عنوان نیرومندترین گیاه زراعی و بزرگ‌ترین وسیله جذب و ذخیره انرژی آزاد موجود در زمین به حساب می‌آید و این گیاه قادر است بالاترین عملکرد در واحد سطح را نسبت به آب مصرفی خود داشته باشد (۳٤). هم‌چنین این گیاه یک‌ساله است و دوره کشت کوتاهی دارد و معمولاً نسبت به تیمارهای کودی پاسخ‌دهی خوبی دارد (۳۵). با توجه به دامنه سازگاری بالای این گیاه، مدت زمان کشت کوتاه آن، پاسخ‌دهی خوب به تیمارهای کودی و شرایط آب و هوایی سازگار با گیاه زراعی ذرت، در این پژوهش انتخاب شده است. به‌همین‌منظور در راستای نگهداشت کربن آلی خاک نسبت به پژوهش‌هایی که در ایران و جهان در ارتباط با تأثیر مواد آلی بر روی کربن آلی خاک و اجزای آن داشته است، گام فرا گذاشته و به بررسی عواملی پرداخته می‌شود که ما را در برنامه‌ریزی مدیریتی استفاده از منابع آلی مختلف در مدیریت‌های زراعی متعادل هدایت می‌نماید.

اهداف مطالعه: ۱- افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و دستیابی به پایداری تولید از طریق کاربرد توأم کودهای آلی، شیمیایی و زیستی. ۲- پایداری

حاصلخیزی خاک از طریق افزایش ذخیره کربن آلی در خاک، بهبود فعالیت زیستی و افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی. ۳- کاهش مخاطرات زیست‌محیطی با کاربرد توأم کودهای آلی، شیمیایی، زیستی. ٤- تعیین بهترین مدیریت مصرف کودهای آلی و شیمیایی در افزایش شاخص مدیریت کربن آلی خاک. ۵- بررسی تأثیر مصرف توام کودهای آلی و شیمیایی بر جزءبندی فیزیکی کربن آلی خاک.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ١٤٠٠-١٣٩٩ در کرت‌های ثابت در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب در محصول ذرت، با نه تیمار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار در کرت‌هایی به مساحت ۲۰۰ مترمربع اجرا شد. تیمارها شامل: T_1: نکاشت یا زمین بدون کشت (NP). T_2: شاهد بدون مصرف کود (T_0). T_3: کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم براساس آزمون خاک (TNPK). T_4: کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یک‌بار + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه‌شده (T(M20+N75+PK50)). T_5: کاربرد ۲۰ تن کمپوست زباله شهری هر دو سال یک‌بار + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه‌شده (T(C20+N75+PK50)). T_6: کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده (T(M20+N75)). T_7: کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری+ کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده (T(C20+N75)). T_8: کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم) (T(M10+M10)). T_9: کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری (۱۰ تن درکشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم) + محرک‌های زیستی رشد گیاه (T(C10+C10+MF). مختصات جغرافیایی، شرایط اقلیمی و طبقه‌بندی خاک محل اجرای پروژه در جدول یک آمده است:

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش در جدول دو آمده است:

جدول ۱- مختصات جغرافیایی، شرایط اقلیمی و طبقه‌بندی خاک محل اجرای پروژه.

Table 1. Geographical coordinates, climatic conditions and soil classification of the project site.

ایستگاه تحقیقاتی	استان	منطقه زراعی زیست‌گاهی (AEZ)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	فامیل خاک	سری خاک	متوسط بارندگی μ	متوسط حداقل دما μ	متوسط حداکثر دما μ	اقلیم *
کرج	البرز	مرکزی	$50^0 57^{'}$	$35^0 45^{'}$	Loamy, mixed (Calcareous), semiactive mesic Typic Haploxerepts	فرح‌آباد	244	8.7	21.2	سرد نیمه‌خشک

* اقلیم براساس طبقه‌بندی دومارتن گسترش یافته (۳٦)، دوره آماری بلندمدت ۲۰ تا ۵۰ ساله؛ مرکز ملی اقلیم‌شناسی (۲۰۱۸)

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای پروژه (ایستگاه تحقیقاتی کرج).

Table 2. Some physical and chemical characteristics of the soil at the project site (Karaj Research Station).

ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
pH	-	8.2	فسفر	($mg\ kg^{-1}$)	5.8
EC	(dSm^{-1})	1.1	پتاسیم	($mg\ kg^{-1}$)	218
CEC	($meq\ 100gr^{-1}$)	13.6	آهن	($mg\ kg^{-1}$)	1.63
کربن آلی	(%)	0.46	منگنز	($mg\ kg^{-1}$)	5.7
کربنات کلسیم	(%)	12.5	روی	($mg\ kg^{-1}$)	0.98
رطوبت اشباع	(%)	36.3	مس	($mg\ kg^{-1}$)	0.93
FC	(%)	16.7	رس	(%)	25.0
PWP	(%)	8.4	سیلت	(%)	38.0
نیترات	($mg\ kg^{-1}$)	17.8	شن	(%)	37.0
آمونیوم	($mg\ kg^{-1}$)	1.7	بافت	-	لوم

در تابستان سال ۱٤۰۰ عملیات آماده‌سازی به روش معمول انجام شد و محصول ذرت رقم ۷۰٤ کشت شد. کودهای سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره در هر تیمار و براساس آزمون خاک به‌ترتیب؛ ۱۵۰، ۷۰، و ٤۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت نواری و در مراحل مختلف رشد، طی سه نوبت؛ شامل یک‌سوم موقع کاشت، یک‌سوم در مرحله شش تا هفت برگی و یک‌سوم در مرحله قبل از ظهور گل‌های نر همراه آب آبیاری، مصرف شد. کودهای فسفری و پتاسیمی به صورت نواری هم‌زمان با کشت مصرف شد. در این منطقه از دو نوع کود متداول؛ کود گاوی و کمپوست زباله شهری، استفاده شد. کودهای آلی به صورت یکنواخت در سطح خاک پخش شده و با دیسک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. در نمونه کودهای آلی میزان رطوبت، اسیدیته[1]، قابلیت هدایت الکتریکی[2]، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف و برخی فلزات سنگین اندازه‌گیری شد (جدول‌های ۳ و ٤). کود زیستی مصرفی از نوع فلاویت با مشخصات (محرک زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه از جنس میکروباکتریوم) بود. کود زیستی یا به صورت بذرمال و به میزان یک لیتر به ازای ۱۵ کیلوگرم بذر ذرت و یا در نوارهای تیپ به میزان یک لیتر در مترمربع همراه آب آبیاری، مصرف شد. هم‌چنین آبیاری در این مزرعه به روش قطرهای با نوار تیپ انجام شد مبارزه با علف‌های هرز، و آفات به روش مبارزه شیمیایی و با استفاده از سموم کشاورزی معمول در منطقه، انجام شد.

1- pH: potential of Hydrogen Ion
2- EC: Electrical Conductivity

جدول ۳- برخی خصوصیات شیمیایی کودهای آلی مصرفی در محل اجرای پژوهش.

Table 3. Some chemical properties of fertilizers used at the research site.

ایستگاه تحقیقاتی	نوع کود آلی	pH	EC	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر کل	پتاسیم کل	رطوبت
	-	-	($dS\ m^{-1}$)					
کرج 1400	کود گاوی	9.1	14.0	20.9	1.55	1.12	0.63	-
	کمپوست زباله شهری	7.6	10.6	17.4	1.35	0.8	2.0	-

جدول ٤- برخی خصوصیات شیمیایی کودهای آلی مصرفی در محل اجرای پژوهش.

Table 4. Some chemical properties of fertilizers used at the research site.

ایستگاه تحقیقاتی	نوع کود آلی	نیترات	آمونیوم	آهن کل	منگنز کل	روی کل	مس کل	کادمیوم کل	سرب کل
	-	(mg/kg^{-1})							
کرج 1400	کود گاوی	50	7000	3800	276	231	66	0.2	7.3
	کمپوست زباله شهری	50	1900	13835	431	650	341	4.6	121.2

نمونه‌برداری خاک ذرت در بعد از برداشت محصول به‌صورت مرکب از دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. نمونه‌های خاک، ابتدا هوا خشک شدند و سپس به‌منظور تجزیه شیمیایی از الک دو میلی‌متر و ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند.

در آزمایشگاه کربن آلی کل خاک به روش والکی بلاک (۱۹۳٤) به‌دست آمد (۳۷) (رابطه ۱):

$$\%\ TOC^{1} = M.\ X.\ 0.39\ X\ [(V_1 - V_2) / S] \quad (۱)$$

که در آن، TOC کربن آلی کل خاک، M نرمالیته فرو آمونیوم سولفات، V_1 حجم فروآمونیوم سولفات مصرفی برای بلانک (برحسب میلی‌لیتر)، V_2 ججم فرو آمونیوم مصرفی برای نمونه (برحسب میلی‌لیتر)، S وزن خاک خشک شده در هوای آزاد (برحسب گرم).

کربن فعال با روش اکسیداسیون یا بهینه‌سازی با پرمنگنات پتاسیم، روش بلیر (۲۰۰۳) به‌دست آمد (۳۸) (رابطه ۲):

$$LOC^{2} = (0.2 - a) * 4500 \quad (۲)$$

که در آن، LOC مقدار کربن فعال بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، a قرائت دستگاه، ۰/۲ غلظت اولیه محلول اضافه شده به خاک (۱۰ میلی‌مولار) بعد از اعمال رقت ۲:۱۰۰.

شاخص مدیریت کربن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$CMI = CPI \times LI \times 10 \quad (۳)$$

در این رابطه، CPI شاخص ذخیره کربن و LI شاخص ناپایداری کربن است که هرکدام براساس رابطه‌های ٤ و ۵ محاسبه می‌شوند:

$$CPI = TOC_s / TOC_r \quad (٤)$$

در این رابطه، CPI شاخص کربن آلی، TOC_s کربن آلی خاک نمونه، TOC_r کربن آلی خاک مرجع.

$$LI = LOC_s / LOC_r \quad (۵)$$

که در آن، LOC_s کربن ناپایدار خاک نمونه، LOC_r کربن ناپایدار خاک مرجع.

1- TOC: Total Organic Carbon
2- LOC: Labile Organic Carbon

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها بر مبنای مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و میانگین تیمارها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای ویژگی‌های کربن در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر خاک در گیاه ذرت به شرح زیر است (جدول ۵). بررسی نتایج تجزیه واریانس جدول پنج نشان داد که در مورد کربن آلی کل، شاخص کربن آلی خاک، کربن آلی غیرفعال و شاخص مدیریت کربن اثر تکرار غیرمعنی‌دار و اثر تیمارها در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. کربن آلی فعال و شاخص ناپایداری کربن آلی خاک اثر تکرار و اثر تیمار هیچ‌کدام معنی‌دار نبودند.

جدول ۵- خلاصه نتایج تجزیه واریانس مرکب ویژگی‌های کربن برای عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک در کشت ذرت.

Table 5. Summary of composite variance analysis of carbon characteristics for depth Zero to 15 cm soil in corn cultivation.

منابع	درجه آزادی	کربن آلی کل TOC	شاخص کربن آلی کل خاک CPI	کربن آلی فعال LOC	شاخص ناپایداری کربن LI	کربن آلی غیرفعال TOC - LOC	شاخص مدیریت کربن CMI
تکرار	3-1	0.002 ns	0.081 ns	0.000 ns	0.079 ns	0.002 ns	1834.92 ns
تیمار	9-2	0.062*	0.188*	0.000 ns	0.069 ns	0.061*	2879.79*
F	-	4.34	0.407	1.92	2.81	4.30	1.91
CV	-	17.05	17.42	9.59	18.13	18.34	31.40
خطا	-	1.01	1.04	0.00002	0.105	1.01	1500.8

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد و ns عدم معنی‌داری

مقایسه میانگین تیمارها با روش میانگین‌های حداقل[1] نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف برای ویژگی‌های کربن در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک برای کشت ذرت به شرح زیر است:

بررسی نتایج جدول شش نشان داد که؛ براساس نتایج حاصل از جدول دو بیش‌ترین میانگین عددی کربن آلی خاک مربوط به تیمار هفتم (کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کود کمپوست + ۷۵ درصد کود نیتروژن توصیه‌شده) با میانگین ۰/۹۹۷ درصد به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار اول یا بدون کشت با میانگین ۰/۵۷۰ درصد به‌دست آمد که به جز تیمارهای سوم و ششم از سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر بوده است.

در مورد شاخص کربن آلی کل خاک و کربن آلی غیرفعال؛ بیش‌ترین میانگین عددی مربوط به تیمار هفتم به ترتیب با میانگین؛ ۱/۷٤ و ۰/۹۵۰ درصد و کم‌ترین میزان مربوط به تیمار اول به ترتیب با میانگین؛ ۱/۰۰ و ۰/۵۳ درصد به‌دست آمد که به جز تیمارهای سوم، ششم و نهم از سایر تیمارها به طور معنی‌داری بزرگتر بود (جدول ٦).

پژوهش‌های فرجی و رفیع الحسینی (۲۰۱۵) روی گیاه چغندر نشان داد که کاربرد تلفیقی تیمارهای

1- Least Square Means

کودی (کود سبز، کود گاوی کود فسفات بارور و کود شیمیایی مرسوم) اثر معنی‌داری روی شاخص‌های کربن آلی خاک در نتیجه بهبود عملکرد ریشه و هم‌چنین عملکرد شکر داشته است (۳۹). هم‌چنین نتایج پژوهش کاربرد کودهای تلفیقی بر روی عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی گشنیز، نشان داد که مدیریت تغذیه‌ای این گیاه اثرات قابل‌توجهی بر روی شاخص‌های کربن و شاخص‌های کمی و کیفی این گیاه داشته است (٤٠).

بر اساس پژوهش‌های بیسواس و همکاران (۲۰۰۸) نیز بر روی گیاهان مختلف تأثیر تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در افزایش مواد آلی خاک و افزایش شاخص‌های کربن آلی خاک و در نتیجه افزایش عملکرد به اثبات رسیده است (۲۲). هم‌چنین نتایج به دست آمده از این پژوهش، با گزارش گاش و همکاران (۲۰۱۹)؛ موهارانا و همکاران (۲۰۱۲)، بیانگر تأثیر مستقیم مصرف توأم کودهای آلی و شیمیایی و افزایش شاخص‌های کربن آلی خاک بوده و نتایج این پژوهش را تأیید می‌نماید (۲۳ و ۱۲).

بیش‌ترین میانگین عددی کربن آلی فعال خاک مربوط به تیمار سوم (کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی)[1]. و تیمار چهارم (کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یک بار + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه‌شده[2]. با میانگین؛ ۵۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین میزان مربوط به تیمار اول با میانگین ٤۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. بدین‌ترتیب فقط از تیمار اول به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود و اختلاف معنی‌داری بین بقیه تیمارها وجود نداشت (جدول ٦). در مورد شاخص ناپایداری کربن، بیش‌ترین میزان تأثیر مربوط به تیمار پنجم (کاربرد ۲۰ تن کمپوست زباله شهری هر دو سال یک‌بار + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه‌شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه‌شده[3]. با میانگین؛ ۱/۲۷ و کم‌ترین میزان مربوط به تیمار هفتم با میانگین؛ ۰/٦٥٥ به‌دست آمد که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نبود (جدول ٦).

گزارش بررسی‌های یانگ و همکاران (۲۰۱۲)، در اراضی قسمت مرکزی پنسیلوانیا که دارای مدیریت‌های زراعی شامل کاربری‌های ذرت، ذرت- سویا، ذرت- یونجه، ذرت- یونجه- گندم- شبدر قرمز بودند را از نظر میزان ذخیره کربن ناپایدار بررسی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد اراضی که دارای تناوب زراعی بودند و به‌طور مداوم کودهای آلی دریافت کرده بودند، میزان کربن ناپایدار بیش‌تری نسبت به بقیه کاربری‌ها داشتند. نتایج آن‌ها پژوهش انجام شده را تأیید می‌نماید (٤١).

طبق پژوهش‌های انجام شده توسط بانو و همکاران (۲۰۱٦)، تهیه کربن فعال از منابع مختلف مورد بحث قرار گرفته است. برای تولید کربن فعال از مواد کم‌هزینه طبیعی در دسترس در سراسر جهان مانند؛ پوست گردو، ضایعات چای، دانه خرما، دانه تمبر هندی و... استفاده شده است (٤٢). روش‌های فعال‌سازی شیمیایی معمولاً برای تهیه کربن فعال در اکثر موارد استفاده می‌شود. این پژوهش با پژوهش انجام شده در این زمینه تقریباً مطابقت دارد، یعنی میزان کربن فعال به‌دست آمده از تجزیه کودهای آلی (پسماندهای زباله‌های شهری) بالاتر از دیگر کودهای به‌کار برده شده در این پژوهش بوده است.

هم‌چنین بیش‌ترین میانگین عددی شاخص مدیریت کربن، مربوط به تیمار هفتم با میانگین؛ ١٦٣/٨٤ و کم‌ترین میزان این شاخص، مربوط به تیمار دوم یعنی شاهد با میانگین؛ ۸۰/۹۸ به‌دست آمد که

1- TNPK
2- T(M20+N75+PK50)
3- T(C20+N75+PK50)

تیمار هفتم با تیمارهای اول، دوم، چهارم و پنجم اختلاف معنی‌داری داشت ولی نسبت به بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٦).

براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، تغییر کاربری، تناوب کشت و نوع کشت برشاخص مدیریت کربن تأثیرگذار است. طبق پژوهش‌های هاینس و همکاران (۲۰۰۵)، (افزایش دخالت‌های انسانی به ویژه در تغییر کاربری و پوشش زمین، علت اصلی کاهش شاخص مدیریت کربن و در نتیجه کاهش کیفیت خاک در جهان است) این پژوهش مورد تأیید است (٤٣).

طبق پژوهش‌های سین‌اپو و همکاران (۲۰۱۸) بر روی ارزیابی کربن آلی خاک و شاخص مدیریت کربن در انواع مختلف کاربری اراضی در حوضه آبریز اولشارو، شهرستان ناروک کنیا، کربن آلی خاک (SOC)، اخیراً در ارزیابی کیفیت خاک نقش مهمی پیدا کرده است زیرا بر جنبه‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارد (٤٤). اگرچه کربن آلی خاک شاخصی از کیفیت خاک است ولی شناخت برخی اجزای آن می‌تواند برای تشخیص بهتر تغییرات جزئی در مدیریت استفاده شود (٤٤). این نتایج مطابقت دارد با پژوهش انجام شده که نشان داد استفاده ترکیبی از کودهای آلی و شیمیایی باعث افزایش کربن آلی خاک و شاخص مدیریت کربن می‌شود.

نتایج این پژوهش، نشان‌دهنده برتری و تأثیر مثبت تیمار هفتم، بر روی کربن آلی کل، شاخص کربن آلی کل خاک، شاخص مدیریت کربن و کربن آلی غیرفعال خاک در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری است که متأثر از مصرف کودهای آلی و شیمیایی به صورت تلفیقی بوده است که نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مطابقت دارد با بررسی‌های ویرا و همکاران (۲۰۰۷) و سین‌اپو و همکاران (۲۰۱۸)، که نشان دادند؛ مقادیر بالای CMI در کشت گیاهان ممکن است به استفاده از کود آلی در مزارع مرتبط باشد (٤٤ و ٤٥). استفاده از کودهای مبتنی بر نیتروژن باعث افزایش زیست‌توده، در نتیجه افزایش ماده آلی در خاک می‌شود. هم‌چنین در سیستم‌های کشت ذرت، افزودن کود و کلش ناپایداری ماده آلی خاک را ۱۲ تا ٤٦ درصد افزایش می‌دهد، در نتیجه باعث افزایش CMI می‌گردد (٤٤ و ٤٥). علاوه بر این با توجه به نتایج بررسی‌های بن‌بی و همکاران (۲۰۱۵)، به نظر می‌رسد کشت گیاهان با CMI بالاتر گزینه بهتری برای بازسازی کربن ارائه می‌دهد (٤٦). هم‌چنین براساس پژوهش‌های بلیر و همکاران (۲۰۰٦)، استفاده از کودهای معدنی و کودهای آلی به همراه کودهای شیمیایی می‌تواند کربن آلی خاک را افزایش داده و بهره‌وری خاک را حفظ کند (۳۸). هم‌چنین نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج بررسی‌های لیو و همکاران (۲۰۱۳)، در مورد اثر طولانی‌مدت کود بر کربن آلی خاک در کشاورزی دیم (در شمال غربی چین) بیانگر نقش کلیدی کربن آلی خاک در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوزیکی خاک می‌باشد (٤٧). هم‌چنین طبق جدول شش، مقایسه میانگین تیمارهای مختلف در کاشت گیاه ذرت در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر تیمار هفتم نسبت به شاهد از نظر؛ کربن آلی کل خاک، شاخص کربن آلی کل خاک، کربن آلی غیرفعال و شاخص مدیریت کربن خاک، تفاوت معنی‌داری داشت. میزان افزایش این شاخص نسبت به شاهد، به ترتیب؛ ٦٨/٩٨، ٦٨/١١، ٧٤/٩٥ و ۱۰۲/۳۰ درصد افزایش نشان می‌دهد که متأثر از مصرف کودهای آلی و شیمیایی به صورت تلفیقی بوده است. نتایج به صورت کامل در جدول شش آمده است.

جدول ٦- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف برای ویژگی‌های کربن در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک برای کشت ذرت.

Table 6. Comparison of the average of different treatments for carbon characteristics at the depth of 0 to 15 cm soil for corn cultivation.

تیمار	کربن آلی کل TOC (%)	شاخص کربن آلی کل خاک CPI	کربن آلی فعال LOC (mg/Kg)	شاخص ناپایداری کربن LI	کربن آلی غیرفعال TOC - LOC (%)	شاخص مدیریت کربن CMI
T_1	0.570^{b}	1.00^{b}	400^{b}	1.00^{ab}	0.530^{b}	100.00^{b}
T_2	0.590^{b}	1.04^{b}	470^{ab}	1.13^{ab}	0.543^{b}	80.99^{c}
T_3	0.760^{ab}	1.36^{ab}	530^{a}	1.09^{ab}	0.707^{ab}	160.27^{a}
T_4	0.617^{b}	1.09^{b}	530^{a}	1.26^{a}	0.563^{b}	106.98^{b}
T_5	0.593^{b}	1.04^{b}	500^{a}	1.27^{a}	0.543^{b}	91.60^{c}
T_6	0.770^{ab}	1.35^{ab}	500^{a}	0.919^{ab}	0.720^{ab}	129.75^{ab}
T_7	0.997^{a}	1.74^{a}	470^{ab}	0.655^{b}	0.950^{a}	163.84^{a}
T_8	0.673^{b}	1.18^{b}	470^{ab}	0.990^{ab}	0.627^{b}	127.31^{ab}
T_9	0.730^{b}	1.29^{ab}	500^{a}	0.974^{ab}	0.680^{ab}	149.48^{a}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است

نتایج تجزیه واریانس برای ویژگی‌های کربن در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر خاک در گیاه ذرت به شرح زیر است (جدول ۷):

بررسی نتایج جدول هفت نشان داد که؛ در مورد کربن آلی کل، کربن آلی فعال و کربن آلی غیرفعال اثر تکرار در سطح یک درصد و اثر تیمار در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. شاخص کربن آلی خاک و شاخص ناپایداری کربن آلی خاک اثر تکرار در سطح آماری پنج درصد معنی دار و اثر تیمار غیرمعنی‌دار شد. در مورد شاخص مدیریت کربن، اثر تکرار غیرمعنی‌دار و اثر تیمار در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد.

جدول ۷- خلاصه تجزیه واریانس مرکب ویژگی‌های کربن برای عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک در کشت ذرت.

Table 7. Summary of composite variance analysis of carbon characteristics for depth 15 to 30 cm soil in corn cultivation.

منابع	درجه آزادی	کربن آلی کل TOC	شاخص کربن آلی کل خاک CPI	کربن آلی فعال LOC	شاخص ناپایداری کربن LI	کربن آلی غیرفعال TOC - LOC	شاخص مدیریت کربن CMI
تکرار	3-1	0.030**	0.117*	0.000**	0.203*	0.026**	311.41^{ns}
تیمار	9-2	0.007*	0.044^{ns}	0.000*	0.042^{ns}	0.007*	409.59*
F	-	1.74	1.72	9.26	2.94	1.79	0.947
CV	-	13.90	13.82	16.65	20.99	14.66	18.48
خطا	-	0.004	0.025	0.00003	0.061	0.003	432.38

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد و ns عدم معنی‌داری

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف برای ویژگی‌های کربن در عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک برای کشت ذرت به شرح زیر است (جدول ۸):

بررسی نتایج جدول هشت، نشان داد که؛ بیش‌ترین مقدار عددی کربن آلی کل مربوط به تیمار دوم یعنی شاهد (بدون مصرف کود) با میانگین ۰/۵۲۳ درصد به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار سوم با میانگین ۰/۳۹۰ درصد به‌دست آمد که فقط از تیمارهای اول و سوم به‌طور معنی‌داری بزرگتر بود. بیش‌ترین مقدار عددی شاخص کربن آلی خاک؛ مربوط به تیمار دوم با میانگین ۱/۲۹ به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار سوم با میانگین ۰/۹٦٦ به‌دست آمد که فقط از تیمارهای اول و سوم به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود. اگرچه بیش‌ترین مقدار عددی کربن آلی فعال مربوط به تیمار نهم (کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری) با میانگین ٤۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمارهای اول، دوم و هفتم با میانگین ۳۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد، ولی از نظر آماری بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نبود و همه آن‌ها در یک سطح آماری قرار داشتند. بیش‌ترین مقدار عددی شاخص ناپایداری کربن، مربوط به تیمار سوم (مصرف کودهای شیمیایی) با میانگین عددی؛ ۱/۱٦۰ و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار دوم با میانگین عددی؛ ۰/۷۸٤ به‌دست آمد بنابراین بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در مورد کربن آلی غیرفعال بیش‌ترین مقدار مربوط به تیمار دوم یعنی شاهد با میانگین ۰/٤۹۰ درصد و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار سوم با میانگین ۰/۳۵۳ درصد به‌دست آمد که فقط از تیمارهای اول و سوم به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود. در ارتباط با شاخص مدیریت کربن اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت ولی از نظر عددی، بیش‌ترین مقدار شاخص مدیریت کربن مربوط به تیمار نهم با میانگین ۱۳۵/۲٤۷ بود و کم‌ترین میزان این شاخص مربوط به تیمار دوم با میانگین؛ ۹۸/۱۵ به‌دست آمد (جدول ۸).

طبق جدول هشت با توجه به مقایسه میانگین تیمارهای مختلف در کاشت ذرت، در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر تیمار نهم (کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری ۱۰ تن درکشت اول و ۱۰ تن درکشت دوم) نسبت به شاهد از نظر؛ کربن آلی فعال و شاخص مدیریت کربن تفاوت معنی‌داری داشت که متأثر از مصرف فقط کودهای آلی بوده است، بنابراین مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر تأثیری روی کربن آلی فعال و شاخص مدیریت کربن در گیاه ذرت نداشته است. نتایج کامل در جدول هشت آمده است:

جدول ۸- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف برای ویژگی‌های کربن خاک در عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری برای کشت ذرت.

Table 8. Comparison of the average of different treatments for carbon characteristics at the depth of 15 to 30 cm soil for corn cultivation.

تیمار	کربن آلی کل TOC (%)	شاخص کربن آلی کل خاک CPI	کربن آلی فعال LOC (mg/Kg)	شاخص ناپایداری کربن LI	کربن آلی غیرفعال TOC - LOC (%)	شاخص مدیریت کربن CMI
T_1	0.403^{bc}	1.00^{bc}	330^{a}	1.00^{ab}	0.370^{bc}	100^{a}
T_2	0.523^{a}	1.29^{a}	330^{a}	0.78^{b}	0.490^{a}	98.15^{a}
T_3	0.390^{c}	0.966^{c}	370^{a}	1.16^{a}	0.353^{c}	112.61^{a}
T_4	0.497^{ab}	1.23^{ab}	400^{a}	1.03^{ab}	0.457^{ab}	119.93^{a}
T_5	0.500^{ab}	1.23^{ab}	370^{a}	0.89^{ab}	0.463^{ab}	107.23^{a}
T_6	0.500^{ab}	1.24^{ab}	400^{a}	0.96^{ab}	0.460^{ab}	119.19^{a}
T_7	0.443^{ac}	1.1^{ac}	330^{a}	0.94^{ab}	0.410^{ac}	99.96^{a}
T_8	0.453^{ac}	1.12^{ac}	400^{a}	1.07^{ab}	0.413^{ac}	120.07^{a}
T_9	0.477^{ac}	1.18^{ac}	430^{a}	1.15^{a}	0.433^{ac}	135.25^{a}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر با کاربرد کودهای آلی همراه با کودهای شیمیایی و معدنی میزان کربن آلی خاک و اجزای آن افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان بیان کرد که؛ کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در افزایش سطح SOC، CPI، LI و CMI در خاک است. به‌طورکلی افزایش درازمدت استفاده از کودهای آلی در ترکیب با سایر کودهای شیمیایی و معدنی و هم‌چنین بعد از دو یا سه کشت (بر اساس گزارش نهایی در حال ثبت پروژه مرتبط با موضوع مقاله) به‌صورت مؤثری سبب افزایش کیفی و کمی محتوای کربنی خاک شد. در این آزمایش همان‌گونه که انتظار می‌رفت با بهره‌گیری از مدیریت تلفیقی مصرف کودها میزان CPI افزایش و میزان LI به عنوان شاخص ناپایداری کربن فعال کاهش یافت. دلیل افزایش CPI ورود مواد آلی به خاک، در نتیجه افزایش فعالیت میکروبی و آنزیمی بوده و کربن بیش‌تری در دسترس میکروب‌ها قرار گرفته است. متناسب با افزایش این شاخص‌ها CMI به صورت مؤثری افزایش یافت. هم‌چنین استفاده توأم کودهای آلی و شیمیایی پیامدهای مثبت بر توسعه پایدار کشاورزی دارد. با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، ترکیب کودها می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر در کشاورزی مدرن مورد استفاده قرار گیرد.

با بررسی نتایج حاصل از این پژوهش، بیش‌ترین نتیجه در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک به دست آمده است زیرا عمده فعالیت ریشه گیاهان در عمق سطحی (صفر تا ۱۵ سانتی‌متری) خاک می‌باشد و ترشحات و ترکیبات آلی آزاد شده از ریشه در عمق سطحی بیش‌تر است. هم‌چنین در این عمق، فعالیت میکروبی و مبادله اکسیژن بیش‌تر صورت می‌گیرد. براساس نتایج حاصل شده، کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری+ کاربرد ۷۵ درصد مقدار

نیتروژن توصیه‌شده (تیمار هفتم) در عمق ۰-۱۵ توصیه‌شده بیش‌ترین تأثیر مثبت را بر افزایش شاخص مدیریت کربن (CMI) آلی خاک داشت.

پیشنهادات

۱- تأثیرات استفاده از کودهای ترکیبی آلی و شیمیایی بر سایر گیاهان زراعی و سیستم‌های زرای مختلف ارزیابی گردد.

۲- به منظور مدیریت بهینه تغذیه گیاه در مدیریت تلفیقی مصرف کود قبل از مصرف هر نوع کود آلی نسبت به تجزیه نمونه کود آلی و برآورد عناصر آن در آزمایشگاه معتبر اقدام گردد.

۳- مطالعات و پژوهش‌های تکمیلی در خصوص اثرات درازمدت کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی بر ساختارو میکروبیوم خاک و نیز تنوع زیستی، پیشنهاد می‌شود.

٤- این نتایج باید در مناطق مختلف و روی انواع دیگر خاک‌ها نیز آزمایش شوند تا قابل تعمیم باشند.

منابع

1. Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian journal of agricultural research*, 46(7), 1459-1466**. doi.org/10.1071/AR 9951459.**
2. Strosser, E. (2010). Methods for determination of labile soil organic matter: an overview. *Journal of Agrobiology*, 27(2), 49.
3. Kolbasi, M. (1996). The status of organic matter in Iranian soils and the role of compost. Proceedings of the 5th Iran Soil Science Congress, p: 7. [In Persian]
4. Turknejad, A. (2014). Management of plant residues for the continuation of sustainable agriculture. *Sarzemin Sabz Monthly*, 3(31), 44-45. [In Persian]
5. Lal, R. (1999). Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect.
6. Amundson, R. (2001). The carbon budget in soils. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 29(1), 535-562.
7. Trumbore, S. E., & Czimczik, C. I. (2008). Geology. An uncertain future for soil carbon. *Science (New York, NY)*, 321 (5895), 1455-1456. **doi: 10.1126/ science.1160232.**
8. Gholizadeha, H., Gamon, J. A., Zygielbaum, A. I., Wang, R., Schweiger, A. K., & Cavender-Bares, J. (2018). Remote sensing of biodiversity: Soil correction and data dimension reduction methods improve assessment of α-diversity (species richness) in prairie ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 206, 240-256. **doi.org/10. 1016/j.rse.2017.12.014.**
9. Follett, R. F., Porter, L. K., & Halvorson, A. D. (1995). Nitrogen-15 labelled fertilizer dynamics in soil in a 4 year, no till cropping sequence. *Proceedings Vienna, Austria*, 21, 165-174.
10. Nishaburi, A. A. (2008). General Ecology. (2nd ed.). Payam Noor University Publications, Tehran. 328p. [In Persian]
11. Farage, P. K., Ardö, J., Olsson, L., Rienzi, E. A., Ball, A. S., & Pretty, J. N. (2007). The potential for soil carbon sequestration in three tropical dryland farming systems of Africa and Latin America: A modelling approach. *Soil and Tillage research*, 94(2), 457-472. **doi.org/10.1016/j.still.2006.09.006.**
12. Moharana, P. C., Sharma, B. M., Biswas, D. R., Dwivedi, B. S., & Singh, R. V. (2012). Long-term effect of nutrient management on soil fertility and soil organic carbon pools under a

6-year-old pearl millet–wheat cropping system in an Inceptisol of subtropical India. *Field Crops Research*, 136, 32-41. **doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.002.**

13. Gregorich, E. G., Beare, M. H., McKim, U. F., &Skjemstad, J. O. (2006). Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 70 (3), 975-985**. doi.org/10. 2136/sssaj2005.0116.**
14. Lal, R. (2002). Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental pollution*, 116(3), 353-362.362. **doi.org/ 10.1016/S0269-7491(01)00211-1.**
15. Lal, R. (1995). Global soil erosion by water and carbon dynamics. In: Lal, R. Kimble, J.M. Levine, E. Strwart, B. A. (Eds), Soils and Global Change. CRC/Lewis Publishers, Boca Raton, FL. Pp: 131-142.
16. Lugato, E., Paustian, K., & Giardini, L. (2007). Modelling soil organic carbon dynamics in two long-term experiments of north-eastern Italy. *Agriculture, ecosystems & environment*, 120(2-4), 423-432. **doi.org/10.1016/j. agee.2006.11.006.**
17. Carter, M. R. (1992). Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil and Tillage Research*, 23(4), 361-372. **doi.org/10.1016/0167-1987(92)90081-L.**
18. Ghosh, S., Wilson, B., Ghoshal, S., Senapati, N., & Mandal, B. (2012). Organic amendments influence soil quality and carbon sequestration in the Indo-Gangetic plains of India. *Agriculture, ecosystems & environment*, 156, 134-141. **doi.org/10.1016/j.agee. 2012.05.009.**
19. Xu, M., Lou, Y., Sun, X., Wang, W., Baniyamuddin, M., & Zhao, K. (2011). Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biology and Fertility of Soils*, 47(7), 745-752. **doi.org/10.1007/s00374-011-0579-8.**
20. West, T. O., Marland, G., King, A. W., Post, W. M., Jain, A. K., & Andrasko, K. (2004). Carbon management response curves: estimates of temporal soil carbon dynamics. *Environmental management*, 33, 507-518. **doi.org/ 10.1007/s00267-003-9108-3.**
21. Salardini, A. A. (1995). Soil Fertility, Tehran University Press. [In Persian]
22. Bhattacharjee, R. B., Singh, A., & Mukhopadhyay, S. N. (2008). Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. *Applied microbiology and biotechnology*, 80(2), 199-209. **doi.org/ 10.1007/s00253-008-1567-2.**
23. Ghosh, B. N., Meena, V. S., Singh, R. J., Alam, N. M., Patra, S., Bhattacharyya, R., ... & Mishra, P. K. (2019). Effects of fertilization on soil aggregation, carbon distribution and carbon management index of maize-wheat rotation in the north-western Indian Himalayas. *Ecological Indicators*, 105, 415-424. **doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.050.**
24. Abdollahi, L., Schjønning, P., Elmholt, S., & Munkholm, L. J. (2014). The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability. *Soil and Tillage Research*, 136, 28-37. **doi.org/10.1016/j.still.2013.09.011.**
25. Wang, W., Lai, D. Y. F., Wang, C., Pan, T., & Zeng, C. (2015). Effects of rice straw incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field. *Soil and Tillage Research*, 152, 8-16. **doi.org/10.1016/j.still.2015. 03.011.**
26. Ghosh, B. N., Meena, V. S., Alam, N. M., Dogra, P., Bhattacharyya, R., Sharma, N. K., & Mishra, P. K. (2016). Impact of conservation practices on soil aggregation and the carbon management index after seven years of maize–wheat cropping system in the Indian Himalayas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 247-257. **doi.org/10.1016/j.agee. 2015.09.038.**

27.Salmanpour, A., Salehi, M. H., & Mohammadi, J. (2015). Examination of soil quality using unstable carbon and management of carbon index in agricultural lands of Niriz region Fars province. *Soil and water publication agricultural sciences and industries*, 3 (30), 930-940. [In Persian]

28.Mirsky, S. B., Lanyon, L. E., & Needelman, B. A. (2008). Evaluating soil management using particulate and chemically labile soil organic matter fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 72(1), 180-185. **doi.org/10.2136/sssaj2005.0279.**

29.Mujuru, L., Rusinamhodzi, L., Nyamangara, J., & Hoosbeek, M. R. (2016). Effects of nitrogen fertilizer and manure application on storage of carbon and nitrogen under continuous maize cropping in Arenosols and Luvisols of Zimbabwe. *The Journal of Agricultural Science*, 154(2), 242-257. **doi.org/10. 1017/S0021859615000520.**

30.Chan, K. Y., Bowman, A., & Oates, A. (2001). Oxidizible organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*, 166(1), 61-67.

31.Moshiri, F., & Samawat, S. (2016). Investigating the effect of different amounts and sources of organic fertilizers in supplying phosphorus required by plants in wheat-corn rotation. Final Report No. 2072. Soil and Water Research Institute of Iran. [In Persian]

32.Kononova, M. M. (1961). Soil organic matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility. **doi: books.google.com/ books? id= ExjLB AAAQBAJ&lpg=PP1&ots= AZJ5szw mdK.**

33.Noor Mohammadi, Q., Siadat A., & Kashani A. (1997), Cereal Agriculture, Shahid Chamran University press, Ahvaz, 394p. [In Persian]

34.Seidevand, M., Valizadeh Qonadha, M., & Banke Saz. (2000). Investigating the change of planting pattern and Density on the yield of single cross corn 7040. abstract of the papers of the 6th Congress of Agriculture and Plant Breeding Iran, Babolsar. [In Persian]

35.Khodabandeh, N. (1993) Cereals, University of Tehran Publications, 538p. [In Persian]

36.Khalili, A., Bazrafshan, J., & Cheraghalizadeh, M. (2012). Comparative study of Iranian climate maps in the extended Dumarton classification and application of the world climate zoning method. *Journal of Agricultural Meteorology*, 10(1), 3-16. **doi: 10.22125/AGMJ.2022.156309.** [In Persian]

37.Walkley, A., & Black., I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29. **dx.doi.org/10.1097/00010 694-193401000-00003.**

38.Blair, N., Faulkner, R. D., Till, A. R., & Poulton, P. R. (2006). Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. *Soil and Tillage Research*, 91(1-2), 30-38. **doi.org/10. 1016/j.still.2005.11.002.**

39.Faraji, S., Rafii al-Husseini, M., & Abbasi Sauri, A. (2015). The effect of separate and compilation of organic, biological and chemical fertilizers on some quantitative and qualitative properties of sugar beet. *Quarterly Journal of Agricultural Sciences*, 17(3). **Exclusive COI code: JR_JCI-17-3_017.** [In Persian]

40.Aghhavani, M., Rizvani Moghadam, P., Ghorbani, R., & Nasiri Mahalati, M. (2015). Effects of using organic, biological and chemical fertilizers on the quantitative and qualitative yield of coriander medicinal plant. *Journal of Horticultural Sciences*, 29(4), 486-500. **doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.51510.** [In Persian]

41.Yang, X., Ren, W., Sun, B., & Zhang, S. (2012). Effects of contrasting soil management regimes on total and labile

soil organic carbon fractions in a loess soil in China. *Geoderma*, 177, 49-56. **doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.033.**

42. Banu, S. A., Nagarani, S., & Kirubha, M. (2016). Preparation of Low Cost Activated Carbon Adsorbents from Natural Sources. *Int. J. Eng. Tech. Sci. & Re*, 3(4), 43-46. [In Persian]
43. Haynes, R. J. (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils. *Advances in agronomy*, 85, 68-221. **doi.org/10.1016/S0065-2113(04)85005-3.**
44. Sainepo, B. M., Gachene, C. K., & Karuma, A. (2018). Assessment of soil organic carbon fractions and carbon management index under different land use types in Olesharo Catchment, Narok County, Kenya. *Carbon balance and management*, 13, 1-9. **doi.org/10.1186/ s13021-018-0091-7.**
45. Vieira, F. C. B., Bayer, C., Zanatta, J. A., Dieckow, J., Mielniczuk, J., & He, Z. L. (2007). Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 96(1-2), 195-204. **doi.org/10.1016/j.still.2007.06.007.**
46. Benbi, D. K., Brar, K., Toor, A. S., & Singh, P. (2015). Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. *Geoderma*, 237, 149-158. **doi.org/10. 1016/j.geoderma.2014.09.002.**
47. Liu, E., Yan, C., Mei, X., Zhang, Y., & Fan, T. (2013). Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in northwest China. *Plos one*, 8(2), e56536. **doi:10.1371/journal.pone.0056536.g001.**