

Effects of tillage operation on physical and chemical characteristics of soil profile affected by three crops

Abstract

In order to investigate the effects of tillage operations on physical and chemical properties of different soil layers that planted with three crops, a field experiment was conducted as split-split plot based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad during growing season of 2009-2010. Three tillage operations including conventional were moldboard, disc and leveler, medium such as chisel, disc and leveler and minimum including disc and leveler, three crops such as barley, canola and wheat and three soil depths including 0-10, 10-20 and 20-30 cm considered as main, sub and sub-sub plots, respectively. Measured traits were pH, EC, organic carbon (OC), organic matter (OM), total nitrogen, available P and available K and bulk density (BD) of soil. Results showed that the simple effect of tillage operation was significant on all soil traits except pH. Also, all soil physical and chemical characteristics significantly affected by simple effects of crop type and sampling depth and their interaction effects. Conventional tillage enhanced total nitrogen and reduced OC, OM, BD and available P and K of soil. Canola increased OC, OM and BD of soil more than wheat and barley. By increasing sampling depth OC, OM, pH, EC and total nitrogen and available K and P of soil were decreased and BD was enhanced. The highest OC and OM of soil were observed for minimum tillage and canola with 0.14 and 0.24% and the lowest was for conventional tillage and wheat with 0.06 and 0.11%, respectively.

Keywords: Bulk density, Conventional tillage, Organic carbon, Organic matter, Minimum tillage

اثر عملیات خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نیمرخ خاک تحت تأثیر کاشت سه گونه زراعی

چکیده

به منظور بررسی اثر انواع عملیات خاک‌ورزی بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نیمرخ خاک زیر کشت سه گونه زراعی، آزمایشی بصورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ به اجرا درآمد. اثر سه عملیات خاک‌ورزی رایج بر پایه گاوآهن برگرداندار، دیسک و لولر، متوسط شامل گاوآهن پنجه‌غازی، دیسک و لولر و حداقل شامل دیسک و لولر، کاشت سه گونه گیاهی جو، کلزا و گندم در سه عمق نمونه‌برداری ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر خاک به ترتیب به عنوان فاکتور اصلی، فرعی و فرعی مد نظر قرار گرفت. صفات مورد مطالعه شامل اسیدیته، هدایت الکتریکی، محتوی کربن

آلی، ماده آلی، نیتروژن کل و فسفر و پتاسیم قابل دسترس و وزن مخصوص ظاهری خاک بودند. نتایج نشان داد که اثر ساده عملیات خاک‌ورزی بر کلیه صفات خاک بجز اسیدیته معنی‌دار بود. اثر ساده نوع گیاه زراعی و عمق نمونه‌برداری و اثرات متقابل این عوامل بر کلیه خصوصیات خاک معنی‌دار بود. اعمال خاک‌ورزی رایج افزایش محتوی نیتروژن کل و کاهش محتوی کربن آلی، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری و میزان فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک را به دنبال داشت. مقایسه بین اثر گونه‌های زراعی بر خصوصیات خاک نشان داد که کلزا اثر بیشتری بر بهبود محتوی درصد کربن آلی، ماده آلی و وزن مخصوص ظاهری خاک نسبت به گندم و جو داشت. با افزایش عمق نمونه‌برداری، درصد کربن آلی، ماده آلی، هدایت الکتریکی و میزان نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک کاهش و اسیدیته و وزن مخصوص ظاهری خاک افزایش یافت. بالاترین درصد کربن آلی و ماده آلی به ترتیب با ۰/۱۴ و ۰/۲۴ درصد برای خاک‌ورزی حداقل و کاشت کلزا و کمترین میزان به ترتیب با ۰/۰۶ و ۰/۱۱ درصد برای عملیات رایج و کاشت گندم مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حداقل، خاک‌ورزی رایج، کربن آلی، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری

مقدمه

خاک‌ورزی^۱ عملیات مکانیکی است که با هدف بهبود جوانه‌زنی، توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه زراعی و در عین حال حذف علف‌های هرز در خاک انجام می‌شود. هدف از اعمال خاک‌ورزی ایجاد محیطی مناسب برای بهبود جوانه‌زنی بذر، توسعه سیستم ریشه‌ای، کنترل علف‌های هرز، افزایش تخلخل و نفوذپذیری، بهبود ساختمان و تثبیت خاک به منظور تماس کامل بذر با خاک و کاهش مقاومت فیزیکی، دفن بقایای گیاهی، اختلاط کود و سم با خاک و بر هم زدن لوله‌های موئین در خاک برای کاهش تبخیر به ویژه در شرایط محیطی خشک و نیمه‌خشک نظیر دیمکاری می‌باشد (El Titi, 2010). نتایج برخی بررسی‌ها مؤید این مطلب است که انتخاب روش خاک‌ورزی و نوع ادوات مورد استفاده، تأثیر فراوانی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد (Tripathi et al., 2007; Lithourgidis et al., 2006). در همین راستا، رایت و همکاران (Wright et al., 2007) اظهار نمودند که انواع مختلف گاواهن تأثیرات متفاوتی روی وزن مخصوص ظاهری و خلل و فرج خاک ایجاد می‌کنند. در این رابطه، پیشرفت‌های اخیر در نظام‌های خاک‌ورزی، عمدتاً بر فشردگی کمتر و اعمال عملیات خاک‌ورزی کاهش یافته تأکید دارد. سیستم‌های خاک‌ورزی را بر اساس تأثیر بر محل قرارگیری و توزیع بقایای گیاهی باقی مانده بر سطح خاک به دو روش خاک‌ورزی رایج^۲ و حداقل^۳ طبقه‌بندی می‌کنند (El Titi, 2010). در این بین، نظام خاک‌ورزی حداقل و حفاظتی^۴ مورد تأکید بسیاری از محققان قرار گرفته است. نتایج مطالعه محبوبی و همکاران (Mahboubi et al., 1993) نشان داد که بیشترین درصد تخلخل خاک در لایه ۰-۱۵ سانتی‌متری برای نظام خاک‌ورزی با گاواهن قلمی و کمترین

1- Tillage

2- Conventional Tillage

3- Minimum Tillage

4- Conservation Tillage

درصد تخلخل برای نظام بدون خاک‌ورزی مشاهده شد. گلچین و عسکری (Golchin & Askari, 2005) نیز گزارش نمودند که وزن مخصوص ظاهری (BD)^۱ خاک شخم خورده با گاوآهن قلمی به میزان ۴ تا ۲۵ درصد بیشتر از خاک‌های بدون عملیات خاک‌ورزی بود. مک‌وایا و همکاران (Mc-Vaya et al., 2006) نیز نشان دادند که وزن مخصوص ظاهری در اثر کاربرد گاوآهن برگردان‌دار به طور معنی‌داری کاهش یافت. دام و همکاران (Dom et al., 2004) با بررسی اثر نظام‌های مختلف خاک‌ورزی گزارش نمودند که وزن مخصوص ظاهری خاک به ویژه در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در روش بدون خاک‌ورزی ۱۰ درصد بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود. نتایج مطالعه واین و رایمبولت (Vyn & Raimbault, 1993) روی مقایسه اثرات نظام بدون شخم با نظام خاک‌ورزی رایج در یک مطالعه طولانی‌مدت نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک در نظام بدون خاک‌ورزی به مراتب بالاتر از نظام خاک‌ورزی رایج بود. آنها دلیل این امر را به کاهش تخلخل و نفوذپذیری خاک نسبت دادند. همچنین بررسی خصوصیات فیزیکی خاک مزارع پامپاس آرژانتین تحت تأثیر خاک‌ورزی‌های متداول با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و حفاظتی شامل گاوآهن قلمی، دیسک و هرس بشقابی و بدون خاک‌ورزی نشان داد که کاهش شدت عملیات خاک‌ورزی موجب بهبود نفوذپذیری، وزن مخصوص ظاهری و پایداری خاکدانه‌ها به ترتیب برابر با ۲، ۴ و ۵۰ درصد شد (Alvarez & Steinbach, 2009). بدین ترتیب، مزایای خاک‌ورزی کاهش یافته و حداقل را می‌توان به حفظ رطوبت و تثبیت درجه حرارت خاک (Benegas, 1998)، بهبود پایداری خاکدانه‌ها، افزایش محتوی کربن آلی و ماده آلی (Hajabbasi & Hemmat, 2000; Cauhan et al., 2002) و افزایش نفوذپذیری آب در خاک (Tullberg, 2010; Singh et al., 2011) نسبت داد.

علاوه بر نوع ادوات مورد استفاده در خاک‌ورزی، عمق شخم نیز می‌تواند خصوصیات نیمرخ خاک را تحت تأثیر قرار دهد. در همین راستا، رایت و همکاران (Wright et al., 2007) اظهار داشتند که افزایش عمق شخم منجر به کاهش درصد کربن آلی خاک شد. یانگ و کای (Yang & Kay, 2001) با بررسی اثر تناوب زراعی و خاک‌ورزی در یک مطالعه طولانی‌مدت ۲۰ ساله گزارش نمودند که اجرای عملیات خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر بهبود محتوی کربن آلی، موجب تغییرات عمودی آن در نیمرخ خاک شد. این محققین، کاهش محتوی کربن آلی خاک با افزایش عمق خاک را گزارش نمودند. انجرز و همکاران (Angers et al., 1997) بیان داشتند که محتوی ذخیره کربن آلی نیمرخ خاک به طور معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی قرار گرفت؛ بطوریکه با افزایش شدت خاک‌ورزی محتوی کربن آلی و ماده آلی به طور معنی‌داری کاهش یافت، البته افزایش عمق محتوی کربن آلی خاک را نیز به طور معنی‌داری کاهش داد. این محققان دریافتند که افزایش شدت خاک‌ورزی با تسریع در برهم زدن خاک، موجب افزایش تجزیه کربن آلی گردید که در نتیجه کاهش محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک را به دنبال داشت.

علاوه بر این، نوع گیاه کاشته شده به دلیل توزیع سیستم ریشه‌ای متفاوت (Gardner et al., 1998) و ترشح برخی مواد از ریشه به محیط ریزوسفر (Ramroodi, 2007) نیز قادر است تا خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار دهد. اجرای خاک‌ورزی-

های حفاظتی و حداقل به دلیل کاهش هزینه‌های تولیدی همچنین می‌توانند به عنوان راهکاری اقتصادی مدنظر قرار گیرند. در همین راستا، نتایج برخی مطالعات (OMAFRA, 2002) مؤید این مطلب است که بکارگیری عملیات خاک‌ورزی حفاظتی با کاهش ۱۵ درصدی هزینه‌های تولید، بهبود کارایی مصرف انرژی را در مقایسه با نظام خاک‌ورزی رایج به دنبال دارد. از اینرو، با توجه به تأثیر بسزای شدت عملیات خاک‌ورزی بر محتوی کربن آلی بعنوان جزء اساسی تأمین‌کننده پایداری و ثبات عملکرد در بوم‌نظام‌های زراعی (Forouzeh et al., 2008) و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین تأثیر نوع گیاه بر خصوصیات مختلف خاک، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نیمرخ خاک تحت تأثیر شدت عملیات خاک‌ورزی و کاشت سه گونه مهم زراعی گندم، جو و کلزا در شرایط آب و هوایی مشهد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف بررسی اثر نوع عملیات خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لایه‌های مختلف خاک تحت تأثیر کاشت سه گونه زراعی گندم، جو و کلزا، بصورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ به اجرا درآمد. خاک‌ورزی در سه سطح حداقل شامل کاربرد دیسک و لولر، متوسط بر پایه کاربرد گاواهن پنجه‌غازی، دیسک و لولر و رایج شامل اجرای دو نوبت گاواهن برگردان، دو نوبت دیسک و سه نوبت لولر، سه گونه گیاهی جو، کلزا و گندم در سه عمق نمونه‌برداری ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر خاک به ترتیب به عنوان فاکتورهای اصلی، فرعی و فرعی مدنظر قرار گرفتند. عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر کاشت برای هر فاکتور در اسفند ماه سال ۱۳۸۸ انجام شد.

قبل از اجرای آزمایش، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل میزان کربن آلی، عناصر معدنی نظیر نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس، اسیدیته، هدایت الکتریکی، بافت و وزن مخصوص ظاهری خاک، نمونه‌برداری به صورت جداگانه از سه لایه ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر در نیمرخ خاک انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از انجام آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil before the experiment

پتاسیم قابل دسترس Available K	فسفر قابل دسترس Available P	نیتروژن کل Total N	هدایت الکتریکی ($\mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$) EC	اسیدیته pH	وزن مخصوص ظاهری ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) Bulk density	ماده آلی (%) Organic matter (%)	کربن آلی (%) Organic carbon (%)	بافت Texture	عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)
-------------------------------	-----------------------------	--------------------	--	------------	--	---------------------------------	---------------------------------	--------------	----------------------------

	($\mu\text{mho.cm}^{-1}$)	(g.cm^{-3})							
	(بی بی ام) (ppm)								
0-10	0.092	0.16	1.63	7.79	489	54	94	272	
10-20	0.087	0.15	1.69	7.83	454	47	87	226	سیلتی لوم Silty loam
20-30	0.073	0.13	1.70	7.87	412	31	74	196	

ابعاد بلوک‌ها و کرت‌های فرعی و فرعی- فرعی به ترتیب برابر با ۶۳×۶۳ ، ۱۵×۲۰ و ۶۳×۲۰ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت هر سه گونه زراعی در نیمه اول آبان ماه به شرح ذیل انجام شد:

ارقام مورد کاشت گندم و جو به ترتیب گاسکوژن و ریجان بود که بر اساس تراکم بذر به ترتیب برابر با ۲۵۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار با استفاده از ردیفکار روی ردیف‌هایی به فاصله ۵۵ سانتی‌متر کاشته شدند. رقم مادونا کلزا روی ردیف‌هایی به فاصله ۵۵ سانتی-متر و با تراکم ۱۸/۱۸ بوته در متر مربع کاشته شد. کاشت هر سه گونه به صورت همزمان در هفته اول آبان ماه انجام گرفت. اولین آبیاری برای هر سه گونه بلافاصله بعد از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۱۰ روز یکبار تا پایان فصل رشد به شیوه جوی و پشته ادامه یافت. جهت جلوگیری از تأثیر زیست توده علف‌های هرز بر تغییرات خصوصیات خاک، کنترل دستی آنها طی سه نوبت قبل از بسته شدن کانوپی و همزمان با آن در طول فصل رشد هر سه گونه گیاهی صورت پذیرفت.

به منظور ارزیابی خصوصیات خاک، در پایان فصل رشد و بعد از برداشت گیاهان در تیر ماه، نمونه‌برداری به صورت تصادفی در هر کرت از سه لایه ۱۰-، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر خاک به طور جداگانه با استفاده از مته انجام شد. وزن مخصوص ظاهری خاک بر اساس روش کلوخه- پارافین تعیین شد (Rossi et al., 2008). بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری اندازه‌گیری گردید (Gee & Bauder, 1986). اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک نیز به ترتیب در گِل اشباع و عصاره گِل اشباع (Mc Lean, 1982) تعیین شدند. جهت تعیین محتوی کربن آلی خاک از روش اکسایش با دی‌کرومات (Walkley & Black, 1934) و برای تعیین میزان نیتروژن کل خاک از روش کج‌دال (Bremner, 1970) استفاده شد. محتوی فسفر و پتاسیم قابل دسترس به ترتیب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Olsen et al., 1954) و فلیم فتومتر (Varley, 1966) اندازه‌گیری شدند. به منظور محاسبه مقدار ماده آلی خاک از معادله (۱) استفاده شد (Polidori et al., 2008):

$$\% \text{OM} = \% \text{OC} \times 1.724 \quad \text{معادله (۱)}$$

که در این رابطه، OC و OM: به ترتیب مقدار کربن آلی و ماده آلی خاک می‌باشند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. مقایسات میانگین تیمارها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ($p \leq 0/05$) صورت پذیرفت. رسم شکل‌ها با نرم‌افزار اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر عملیات خاک‌ورزی، نوع گونه گیاهی و عمق نمونه‌برداری بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثرات ساده و متقابل خاک‌ورزی، نوع گیاه زراعی و عمق نمونه‌برداری بر محتوی کربن آلی، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، محتوی نیتروژن کل و فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک معنی‌دار ($p \leq 0/05$) بود. اگرچه اثر ساده خاک‌ورزی بر اسیدیته خاک معنی‌دار نبود، ولی اثرات متقابل تیمارهای مورد مطالعه بر اسیدیته خاک معنی‌دار ($p \leq 0/01$) بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر عملیات خاک‌ورزی و نوع گیاه زراعی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لایه‌های مختلف خاک

Table 2- Variance analysis (comparison means) of tillage and crop types on physical and chemical characteristics of soil different layers

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کربن آلی Organic carbon	ماده آلی Organic matter	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	نیترژن کل Total N	فسفر قابل استفاده Available P	پتاسیم قابل استفاده Available K
تکرار Replication	2	5.9704*	17.6778*	51.568**	98.975*	2398.454ns	2393.214**	85.039**	784.850ns
عملیات خاک‌ورزی (A) Tillage (A)	2	921.7926**	2740.9593**	773.975**	2.457ns	461510.898**	14251.216**	18850.887**	316531.190**
خطای اصلی Main error	4	0.3630	1.2037	1.642	8.605	1520.477	0.378	0.905	2159.456
نوع گیاه (B) Crop type (B)	2	47.100**	140.7370**	1887.457**	32.605**	156382.259**	984.643**	19760.387**	402860.578**
A × B	4	19.5648**	57.9630**	335.864**	148.512**	90242.491**	47.675**	4446.269**	57632.907**
خطای فرعی Sub error	12	0.0654	0.1710	0.358	0.969	2202.506	0.554	0.078	1995.165
عمق نمونه‌برداری (C) Sampling depth (C)	2	474.9593**	1405.9370**	2883.568**	325.716**	324326.454**	3388.248**	6568.171**	6812.896*
A×B	4	6.2074**	19.0907**	41.031**	453.790**	396215.741**	53.187**	67.346**	7497.114*
B×C	4	2.9037**	8.8630**	65.901**	472.549**	22342.296**	29.325**	157.927**	2337.488ns
A×B×C	8	5.8435**	17.2000**	81.059**	216.068**	33115.167**	15.716**	271.075**	10039.465**
خطای فرعی فرعی Sub-sub error	36	0.0988	0.2901	0.315	0.352	1829.318	0.610	0.176	1988.879
کل Total	80	-	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	1.0	0.99	0.39	0.8	4.91	0.65	0.42	11.96

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده عملیات خاک‌ورزی، نوع گیاه زراعی و عمق نمونه‌برداری بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 3- Mean comparison for simple effect of operation tillage, crop type and sampling depth on soil physical and chemical characteristics

تیمارها Treatments	کربن آلی (%) Organic carbon (%)	ماده آلی (%) Organic matter (%)	وزن مخصوص ظاهری (g.cm ⁻³) Bulk density (g.cm ⁻³)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر) EC (μmho.cm ⁻¹)	نیتروژن کل (پی‌پی‌ام) Total N (ppm)	فسفر قابل استفاده (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	پتاسیم قابل استفاده (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	
عملیات خاک‌ورزی Tillage operation	حداقل Minimum	0.116 a*	0.20 a	1.474 a	7.773 a	946.5 a	98.71 c	129.1 a	495.5 a
	متوسط Medium	0.1045 b	0.178 b	1.468 a	7.778 a	944.9 a	115.5 b	88.52 b	332.5 b
	رایج Conventional	0.0796 c	0.137 c	1.378 b	7.773 a	719.3 b	144.1 a	79.53 c	290.6 b
نوع گیاه زراعی Crop type	جو Barley	0.0957 c	0.165 c	1.489 a	7.783 a	787.6 c	116.4 b	76.96 c	264.1 c
	کلزا Canola	0.104 a	0.179 a	1.343 b	7.779 a	937.4 a	126.4 a	90.99 b	349.4 b
	گندم Wheat	0.0993 b	0.171 b	1.488 a	7.762 b	885.6 b	115.5 c	129.2 a	505.0 a
عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) Sampling depth (cm)	0 – 10	0.113 a	0.195 a	1.329 c	7.739 c	1185.0 a	130.3 a	115.7 a	382.5 a
	10 – 20	0.099 b	0.171 b	1.457 b	7.778 b	821.2 b	120.2 b	96.64 b	381.6 a
	20-30	0.0866 c	0.149 c	1.533 a	7.808 a	604.4 c	107.9 c	84.81 c	354.5 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند (p ≤ 0.05).

* Means with the same letter(s) in each column and for each component have not significantly difference based on Duncan's test (p ≤ 0.05).

عملیات خاک‌ورزی: اثر عملیات خاک‌ورزی بر محتوی کربن آلی و ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی و میزان نیتروژن کل و فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود، اما اثر آن روی اسیدیته خاک معنی‌دار نبود (جدول ۲). بکارگیری خاک‌ورزی حداقل باعث بهبود ۴۶ درصدی محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک در مقایسه با خاک‌ورزی رایج شد (جدول ۳). خاک‌ورزی رایج با تجزیه سریع‌تر بقایای گیاهی تحت تأثیر زیر و رو کردن خاک باعث پوسیدگی و تجزیه سریع‌تر مواد آلی شده که این امر در نتیجه کاهش درصد کربن آلی و به تبع آن کاهش محتوی ماده آلی خاک را به دنبال داشته است. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که بوم‌نظام‌های زراعی به دلیل تجزیه سریع ترکیبات آلی ناشی از اجرای خاک‌ورزی فشرده، در مقایسه با بوم‌نظام‌های طبیعی دارای محتوی کربن آلی و ماده آلی به مراتب پایین‌تری هستند (Bowman et al., 1999; Lal, 2002; Lal, 2004). برخی محققان (Follett et al., 2005; Lal & Kimble, 1997) نیز استفاده از نظام‌های بدون شخم را به عنوان راهکاری اکولوژیکی در زمینه بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک معرفی نمودند.

اعمال خاک‌ورزی رایج نسبت به عملیات خاک‌ورزی متوسط و حداقل، به ترتیب باعث کاهش ۷ و ۱۰ درصدی وزن مخصوص ظاهری خاک شد (جدول ۳). از آنجا که رابطه وزن مخصوص ظاهری با خلل و فرج خاک، معکوس است (Mohammadi et al., 2009)، مشخص است که اجرای خاک‌ورزی فشرده با زیر و رو کردن و بر هم زدن خاک موجب ایجاد تخلخل و بهبود وزن مخصوص ظاهری خاک در مقایسه با خاک‌ورزی‌های متوسط و حداقل شده است. از آنجا که وزن مخصوص ظاهری خاک، تابعی از بافت و ساختمان خاک است (Khajeh Pour, 2004)، بنظر می‌رسد هرچه بافت خاک ریزتر و درصد ماده آلی آن بیشتر باشد، دانه‌بندی خاک بیشتر توسعه پیدا کرده و وزن مخصوص ظاهری آن کمتر خواهد بود. البته بایستی به این نکته نیز توجه نمود که بکارگیری خاک‌ورزی فشرده به دلیل افزایش تراکم ناشی از تردد ماشین آلات می‌تواند علاوه بر تخریب خاکدانه‌ها، موجب ایجاد لایه سخت در لایه‌های زیرین در درازمدت شود که این امر نیاز به ماشین آلات را برای بر هم زدن لایه‌های عمقی خاک به منظور برگرداندن عناصر غذایی به لایه‌های سطحی و همچنین افزایش تخلخل خاک افزایش می‌دهد. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009) اظهار داشتند که خاک‌ورزی رایج نسبت به خاک‌ورزی متوسط و حداقل، سبب کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شد. افیونی و مصدقی (Afuni & Mosaddeghi, 2001) نیز با بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، گزارش نمودند که وزن مخصوص ظاهری خاک در اثر شخم رایج نسبت به سیستم بدون شخم کاهش یافت. نتایج مطالعه بلندمدت واین و رایمبولت (Yang & Kay, 1993) نیز مؤید این مطلب است که اعمال خاک‌ورزی رایج کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک را در مقایسه با نظام بدون خاک‌ورزی دنبال داشت.

اعمال خاک‌ورزی حداقل و متوسط به ترتیب افزایش ۳۲ و ۲۰ درصدی هدایت الکتریکی خاک را در مقایسه با خاک‌ورزی رایج موجب شد. با اعمال خاک‌ورزی رایج محتوی نیتروژن کل خاک در مقایسه با عملیات خاک‌ورزی حداقل و متوسط به ترتیب برابر با ۴۶

و ۲۵ درصد بهبود یافت. اعمال خاک‌ورزی حداقل و متوسط در مقایسه با خاک‌ورزی رایج افزایش محتوی فسفر قابل دسترس (به ترتیب برابر با ۶۲ و ۱۵ درصد) و پتاسیم قابل دسترس خاک (به ترتیب برابر با ۷۱ و ۲۶ درصد) را به دنبال داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش میزان نیتروژن خاک تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی رایج بواسطه برهم زدن بیشتر خاک و تجزیه سریع‌تر مواد آلی و بقایای گیاهی و به تبع آن آزاد شدن نیتروژن از خاک به فرم‌های مختلف، در مقایسه با دو نظام دیگر مربوط می‌باشد. از طرف دیگر، زیر و رو کردن زیاد خاک با تثبیت فسفر و پتاسیم (بویژه فسفر) در خاک، کاهش مقدار آنها را به دنبال داشته است. اعمال خاک‌ورزی رایج، سبب افزایش میزان نیتروژن و کاهش میزان فسفر و پتاسیم قابل دسترس در خاک شده است. برخی بررسی‌ها (Khajeh Pour, 2004) نیز نشان داده است که در طولانی‌مدت، خاک‌ورزی رایج سبب کاهش محتوی فسفر و پتاسیم خاک شده و با زیر و رو کردن مداوم خاک و تسریع در اکسیداسیون ماده آلی، محتوی نیتروژن خاک را نیز کاهش می‌دهد که این امر می‌تواند به دلیل افزایش نیاز به عناصر غذایی جهت بهبود حاصلخیزی خاک، هزینه‌های تولید را تحت تأثیر بالا رفتن میزان مصرف کودهای شیمیایی افزایش دهد و در نهایت، افزایش آلودگی‌های زیست محیطی را به دنبال داشته باشد. البته بایستی توجه داشت که شرایط آب و هوایی به ویژه درجه حرارت و عوامل محیطی نظیر میزان رطوبت خاک نیز می‌توانند پویایی و سرعت بازچرخش و تجزیه ماده آلی را در خاک تحت تأثیر قرار دهند. با این وجود، نتایج برخی مطالعات (Birch, 1985) نشان داده است که تجزیه آهسته، تدریجی و البته مداوم هوموس به عنوان یک ماده آلی پایدار می‌تواند در فراهمی نیتروژن مورد نیاز گیاهان در درازمدت مؤثر باشد، لذا بدین منظور می‌توان از سیستم‌های خاک‌ورزی حداقل و حفاظتی به عنوان راهکاری اکولوژیک همسو با طبیعت برای مدیریت بوم‌نظام‌های زراعی بهره جست. آلوآرز و اشتینباش (Alvarez & Steinbach, 2009) نیز کاهش محتوی نیتروژن خاک را در روش خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به روش خاک‌ورزی رایج گزارش نمودند. علاوه بر این، با توجه به این مطلب که محتوی ذخیره رطوبتی خاک در شرایط بهره‌گیری از نظام‌های خاک‌ورزی کاهش یافته و حفاظتی به مراتب بالاتر از نظام خاک‌ورزی رایج می‌باشد (Alvarez & Steinbach, 2009) و با در نظر گرفتن این مطلب که بخش زیادی از مناطق کشور دارای شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک هستند که آب عامل محدودکننده‌ای در این شرایط محسوب می‌شود، لذا می‌توان با بهره‌گیری از این نظام خاک‌ورزی علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، به دلیل افزایش ذخیره و محتوی رطوبتی خاک، ثبات تولید را نیز برای بوم‌نظام‌های زراعی کشور به ارمغان آورد.

نوع گیاه زراعی: اثر نوع گونه گیاهی بر کلیه صفات فیزیکی و شیمیایی شامل محتوی کربن آلی و ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل و فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۲). گیاه کلزا نسبت به جو سبب افزایش نه درصدی محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک شد؛ در حالیکه میزان این بهبود در مقایسه با گندم برابر با پنج درصد بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که گیاه کلزا می‌تواند بواسطه برجای گذاشتن بقایای گیاهی بیشتر در پایان فصل رشد در

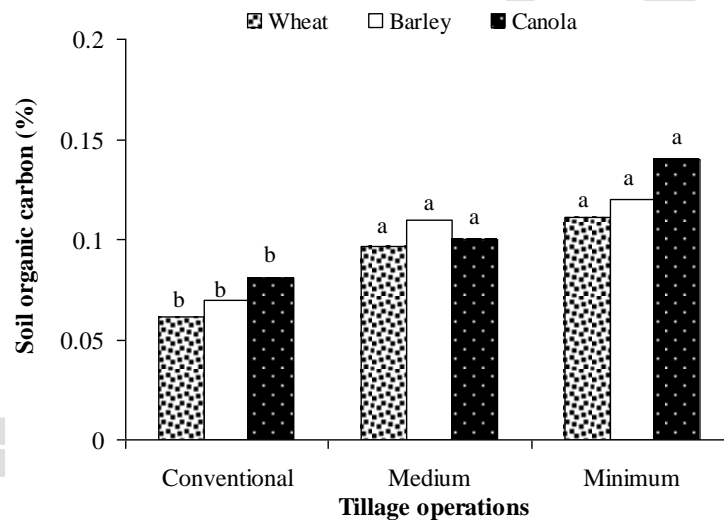
مقایسه با دو غله دیگر، باعث افزایش بیشتر درصد کربن آلی و ماده آلی خاک شده است. لذا می‌توان کاشت این گیاه را در راستای بهبود محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک‌های بوم‌نظام‌های زراعی کشور مدنظر قرار داد.

کاشت کلزا در مقایسه با گندم و جو، سبب افزایش وزن مخصوص ظاهری و کاهش اسیدیته خاک شد (جدول ۳). چنین به نظر می‌رسد که کاشت گندم و جو به دلیل دارا بودن سیستم ریشه‌ای افشان و توسعه یافته در لایه‌های مختلف خاک باعث افزایش بیشتر تخلخل و نفوذپذیری خاک در مقایسه با سیستم ریشه‌ای راست کلزا شده که این امر کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک را به دنبال داشته است. برخی تحقیقات (Gardner et al., 1999) نشان داده است که گیاهان دارای ریشه راست و عمیق‌تر نظیر کلزا در مقایسه با گونه‌های دارای سیستم ریشه‌ای افشان به میزان کمتری روی تخلخل و نفوذپذیری و به تبع آن، وزن مخصوص ظاهری خاک مؤثر می‌باشند. در ارتباط با نوسانات اسیدیته خاک نیز به نظر می‌رسد که گیاهان زراعی و حتی گونه‌ها و ارقام مختلف یک گیاه نیز قابلیت متفاوتی در ترشح مواد به محیط ریزوسفر دارند که در نتیجه باعث توانایی آنها در تغییر اسیدیته محیط مجاور ریشه‌ها می‌گردد (Gardner et al., 1988). نتایج برخی مطالعات (Ramroodi, 2007) نشان داده است که وجود ترکیبات آلی در خاک سطح‌الارض در مناطق نیمه خشک، می‌تواند تا حدی در کاهش pH خاک مؤثر باشد و احتمالاً فعل و انفعالات شیمیایی ناشی از کشت کلزا بویژه ترشحات سیستم ریشه‌ای در مقایسه با دو گیاه دیگر اثربخشی بیشتری روی کاهش اسیدیته خاک داشته است.

عمق نمونه‌برداری: اثر عمق نمونه‌برداری روی محتوی کربن آلی و ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، اسیدیته، نیتروژن کل و فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود (جدول ۲). با افزایش عمق نمونه‌برداری از صفر به ۳۰ سانتی‌متر، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل میزان کربن آلی، ماده آلی، هدایت الکتریکی و محتوی نیتروژن کل و فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک روندی کاهشی را نشان دادند؛ بطوریکه این صفات به ترتیب برابر با ۳۱، ۳۱، ۹۶، ۲۱، ۳۶ و ۸ درصد کاهش یافتند؛ در حالیکه میزان اسیدیته و وزن مخصوص ظاهری خاک به ترتیب برابر با ۱ و ۱۳ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که کاهش معنی‌دار درصد کربن و ماده آلی خاک در لایه‌های عمیق‌تر نیمرخ خاک تحت تأثیر تجمع کمتر ترکیبات آلی در لایه‌های عمقی خاک می‌باشد. نتایج برخی بررسی‌ها (Deen & Kataki, 2003) نیز مؤید کاهش محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک تحت تأثیر افزایش عمق نیمرخ خاک می‌باشد. رایس (Rice, 2000) با بررسی تأثیر افزایش عمق خاک بر محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک، اعلام داشت که رابطه بین این دو فاکتور منفی می‌باشد. ورامش و همکاران (Varamesh et al., 2010) نیز گزارش نمودند که با افزایش عمق خاک، بدلیل تجمع برخی عناصر در لایه‌های عمقی میزان اسیدیته خاک کاهش یافت. با افزایش عمق خاک احتمالاً به دلیل تجمع برخی املاح و حرکت عناصر بویژه عناصر متحرک از لایه‌های سطحی به عمقی تحت تأثیر آبیاری و بارندگی، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک کاهش یافته است.

افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک در لایه‌های عمیق‌تر نیمرخ خاک در مقایسه با لایه‌های سطحی‌تر مربوطه به کاهش میزان تخلخل و نفوذپذیری در این لایه‌ها بوده است. در همین راستا، محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009) نیز با بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک، اظهار داشتند که پایین‌ترین تخلخل و بیشترین وزن مخصوص ظاهری خاک برای لایه‌های عمیق‌تر نیمرخ خاک مشاهده شد. دین و کاتاکی (Deen & Kataki, 2003) نیز کاهش درصد کربن آلی و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک را با افزایش عمق نمونه‌برداری خاک گزارش کردند. به نظر می‌رسد که عدم معنی‌داری محتوی پتاسیم قابل دسترس در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک ناشی از قابلیت تحرک پایین این عنصر بوده است (Khajeh Pour, 2004).

اثر متقابل عملیات خاک‌ورزی و نوع گیاه زراعی بر درصد کربن آلی و ماده آلی خاک معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۲). بطوریکه بالاترین محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک به ترتیب با ۰/۱۴ و ۰/۲۴ درصد برای خاک‌ورزی حداقل و کاشت کلزا و کمترین میزان به ترتیب با ۰/۰۶ و ۰/۱۱ درصد برای عملیات رایج و کاشت گندم مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ۲).

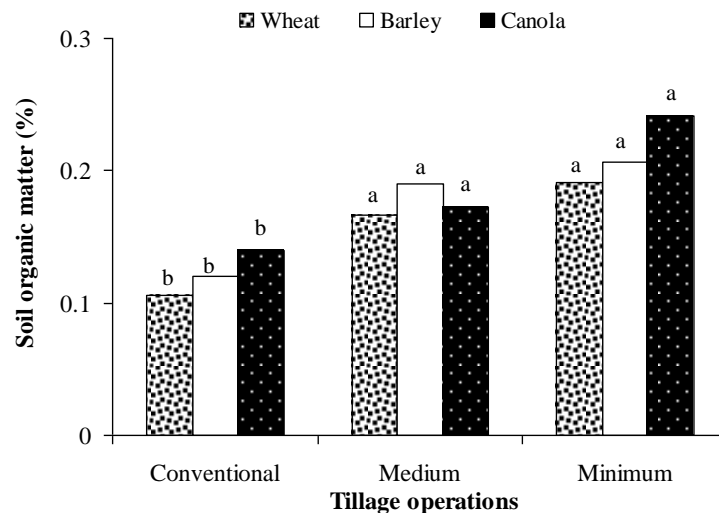


شکل ۱- اثر متقابل عملیات خاک‌ورزی و نوع گیاه زراعی بر محتوی کربن آلی خاک

Fig. 1- Interaction effect of tillage operation and crop type on organic carbon content of soil

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن (سطح احتمال پنج درصد) ندارند.

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($\alpha=0.05$).



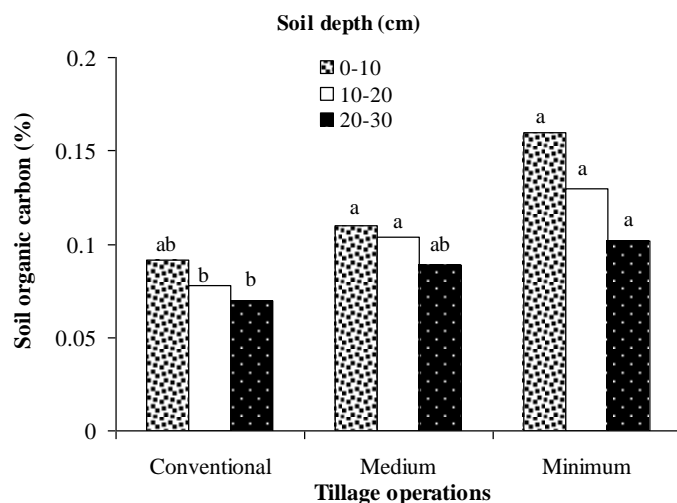
شکل ۲- اثر متقابل عملیات خاک‌ورزی و نوع گیاه زراعی بر محتوی ماده آلی خاک

Fig. 2- Interaction effect of tillage operation and crop type on organic matter content of soil

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن (سطح احتمال پنج درصد) ندارند.

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($\alpha=0.05$).

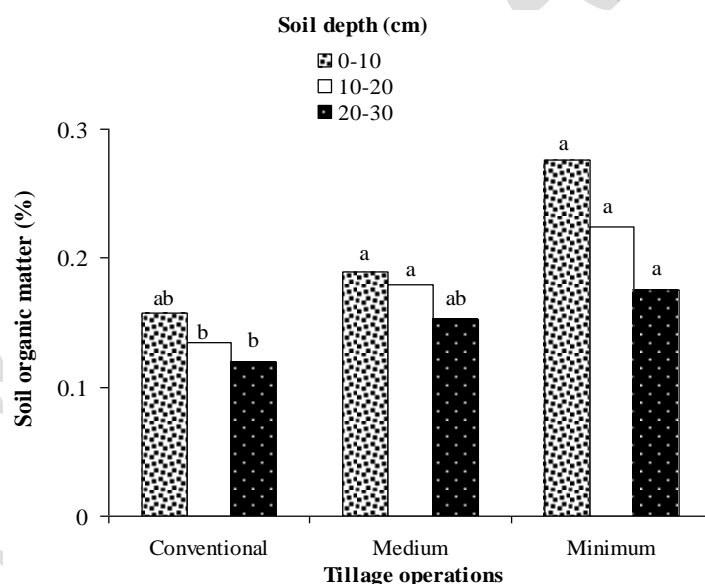
اگرچه کاشت کلزا نسبت به گندم و جو موجب افزایش معنی‌دار درصد کربن آلی و ماده آلی خاک شد، اما زمانی که اثر متقابل نوع گیاه با خاک‌ورزی رایج مطالعه شد، این تیمار برتری خود را از دست داد، به طوری که اثر متقابل نوع گیاه زراعی و عملیات خاک‌ورزی رایج نتوانست در مقایسه با کاشت کلزا سبب افزایش محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک شود (جدول ۲). بدین ترتیب، با توجه به نتایج چنین به نظر می‌رسد که تأثیر شدت عملیات خاک‌ورزی رایج در کاهش درصد کربن آلی و ماده آلی خاک به حدی بوده است که اثر مثبت کاشت کلزا بر بهبود محتوی کربن آلی و ماده آلی خاک را خنثی نموده است. این تغییرات تقریباً در مورد اثر متقابل عملیات خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری بر میزان کربن آلی و ماده آلی خاک نیز صادق بود، به طوری که بیشترین میزان این صفات برای عملیات خاک‌ورزی حداقل در لایه سطحی خاک مشاهده شد و کمترین میزان نیز برای عملیات خاک‌ورزی رایج در عمیق‌ترین لایه خاک بدست آمد. بیشترین درصد کربن آلی و ماده آلی برای خاک‌ورزی حداقل در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر خاک به ترتیب برابر با ۰/۱۶ و ۰/۲۸ درصد و کمترین میزان به ترتیب برابر با ۰/۰۷ و ۰/۱۲ درصد برای خاک‌ورزی رایج و لایه ۳۰-۲۰ سانتی‌متر حاصل گردید (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۳- اثر متقابل عملیات خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری بر محتوی کربن آلی خاک

Fig. 3- Interaction effect of tillage operation and sampling depth on organic carbon content of soil

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن (سطح احتمال پنج درصد) ندارند.
 * Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($\alpha=0.05$).



شکل ۴- اثر متقابل عملیات خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری بر محتوی ماده آلی خاک

Fig. 1- Interaction effect of tillage operation and sampling depth on organic matter content of soil

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن (سطح احتمال پنج درصد) ندارند.
 * Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($\alpha=0.05$).

با توجه به نتایج سایر مطالعات، چنین به نظر می‌رسد که عملیات خاک‌ورزی رایج با تجزیه سریع‌تر ماده آلی تحت تأثیر بر هم زدن و زیر و رو کردن خاک باعث کاهش درصد کربن آلی و ماده آلی خاک شده است. از طرف دیگر، به نظر می‌رسد که دستکاری کمتر خاک از طریق بکارگیری سیستم‌های شخم حداقل می‌تواند بواسطه تجزیه تدریجی و آهسته‌تر مواد، سبب افزایش درصد کربن آلی و ماده آلی خاک گردد (Deen & Kataki, 2003). لذا با توجه به پایین بودن محتوی کربن آلی و ماده آلی در خاک‌های بوم‌نظام‌های

زراعی کشور، چنین به نظر می‌رسد که می‌توان از نظام‌های خاک‌ورزی حداقل و کاهش یافته به عنوان راهکاری اکولوژیک برای بهبود ماده آلی خاک بهره جست.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، عملیات خاک‌ورزی محتوی کربن آلی و ماده آلی و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. به طوری که افزایش شدت عملیات خاک‌ورزی با برهم زدن خاک، کاهش محتوی کربن آلی، ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی و فسفر و پتاسیم قابل دسترس و افزایش محتوی نیتروژن کل را موجب شد. کاشت گونه‌های مختلف زراعی با تأثیر متفاوت بر محیط ریزوسفر، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. با افزایش عمق نمونه‌برداری از صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در نیمرخ خاک محتوی کربن آلی، ماده آلی و نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل دسترس کاهش و اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک بهبود یافت. بدین ترتیب، با توجه به تأثیر بسزای خاک‌ورزی بر کاهش محتوی کربن آلی خاک و با توجه به پایین بودن محتوی کربن آلی خاک‌های بوم‌نظام‌های زراعی کشور می‌توان از خاک‌ورزی‌های کاهش یافته و حفاظتی برای دستیابی به ثبات تولید بهره جست.

منابع

- Afuni, M., and Mosaddeghi, M.R. 2001. The effects of tillage methods on soil physical characteristics and bromide movement. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 5(2): 39-53. (In Persian)
- 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: 1-15.
- Angers, D.A., Bolinder, M.A., Carter, M.R., Gregorich, E.G., Drury, C.F., Liang, B.C., Voroney, R.P., Simard, R.R., Donald, R.G., Beyaert, R.P., and Martel, J. 1997. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research* 41: 191-201.
- Benegas, C.P. 1998. Effect of no-tillage systems on chemical and physical characteristics of soil in Paraguay. In: Kokubun, M. (Ed.), *No-Tillage Cultivation of Soybean and Future Research Needs in South America*. Working Report, vol. 13 JIRCAS, Ministry of Agriculture, Forest and Fishery, Ibaraki p. 19-28.
- Birch, H.F. 1985. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 1958 10(1): 9-31.
- Bowman, R.A., Vigil, M.F., Nielsen, D.C., and Anderson, R.L. 1999. Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. *Soil Science Society of America Journal* 63: 186-191.

- Bremner, J.M. 1970. Nitrogen total, regular Kjeldahl method, In: Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agronomy 9(1). A.S.A. Inc., S.S.S.A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA, p. 610-616.
- Chauhan, B.S., Yadav, A., and Malik, R.K. 2002. Zero tillage and its impact on soil properties: a brief review. In: Malik, R.K., Balyan, R.S., Yadav, A., Pahwa, S.K. (Eds.), Herbicide Resistance Management and Zero Tillage in Rice–Wheat System, March 4–6, 2002. CCSHAU, Hisar, India p. 109–114.
- Deen, W., and Kataki, P.K. 2003. Carbon sequestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment. Soil and Tillage Research 74: 143–150.
- Dom, R.F., Mehdi, B.B., Burgess, M.S.E., Madramootoo, C.A., Mehuys, G.R., and Callum, I.R. 2004. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. Soil and Tillage Research 84: 41-53.
- El Titi, A. 2010. Soil Tillage in Agroecosystems. Taylor and Francis, Nature 384 pp.
- Follett, R.F., Castellanos, J.Z., and Buenger, E.D. 2005. Carbon dynamics and sequestration in an irrigated Vertisol in Central Mexico. Soil and Tillage Research 83(1): 148-158.
- Forouzeh, M.R., Heshmati, G.A., Mesbah, H., and Ghanbarian, G.A. 2008. Effect of floodwater irrigation on carbon sequestration potential of *Helianthemum lippii* (L.) Pers., *Dendrostellera lessertii* Van Tiegh. and *Artemisia sieberi* Besser. in the Gareh Bygone plain: a case study. Pajouhesh and Sazandegi 78: 11-19. (In Persian with English Summary)
- Gardner, C.M.K., Laryea, K.B., and Unger, P.W. 1999. Soil physical constraints to plant growth and crop production. Land and Water Development Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 106 pp.
- Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L. 1988. Physiology of Crop Plants. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis, In: Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. 2nd Agronomy 9(1). A.S.A., Inc., S.S.S.A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA.
- Golchin, A., and Askari, H. 2005. Changes in some physical characteristics of soil affected by tillage. 9th Congress of Soil Science, 26-28 August, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute p. 145-146. (In Persian)
- Hajabbasi, M.A., and Hemmat, A. 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clayloam soil in central Iran. Soil and Tillage Research 56: 205–212.
- Jenkinson, D.S., and Powlson, D.S. 1976. The effects of biocide treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Soil Biochemistry 8: 209-213.
- Khajeh Pour, M.R. 2004. Principles and Basics of Agronomy. Publication of Isfahan Jihad Daneshgahi of Isfahan University, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Lal, L. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution 116: 353–362.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304: 1623–1627.

- Lal, R., and Kimble, J.M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49(1-3): 243-253.
- Lithourgidis, A.S., Dhima, K.V., Damalas, C.A., Vasilakoglou, I.B., and Eleftherohorinos, I.G. 2006. Tillage effects on wheat emergence and yield at varying seeding rates and on labor and fuel consumption. *Crop Science* 46: 1187-1192.
- Mahboubi, A.A., Lal, R., and Favsey, N.R. 1993. Twenty-eight years of tillage effect on two soils in Ohio. *Soil Science* 57: 506-512.
- Mc Conkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S.A., and Lafond, G.P. 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Plant and Soil* 74(1): 81-90.
- Mc Lean, E.D. 1982. Soil pH and lime requirement, In: *Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. Agronomy 9(1). A.S.A. Inc., S.S.S.A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA. 199-209.
- Mc-Vaya, K.A., Buddea, J.A., Fabrizzia, K., Mikhab, M., Ricea, C.W., Schlegelc, A.J., Petersona, D.E., Sweeneyd, D.W., and Thompson, C. 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Science* 70: 434-438.
- Mohammadi, K., Nabi Allahi, K., Aghaalikhani, M., and Khormali, F. 2009. Study on the effect of different tillage methods on the soil physical properties, yield and yield components of rainfed wheat. *Journal of Plant Production* 16(4): 77-91. (In Persian with English Summary)
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watenabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate, U.S. Department of Agriculture Cris, 939. USA.
- OMAFRA (Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2002. *Agronomy Guide for Field Crops*, Publication 811, p. 300.
- Polidori, A., Turpin, B.J., Davidson, C.I., Rodenburg, L.A., and Maimone, F. 2008. Organic PM_{2.5}: fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the pittsburgh aerosol. *Aerosol Science and Technology*, 42: 233-246.
- Ramroodi, M. 2007. Effect of agronomical techniques (cover crops, tillage systems and different nitrogen levels) on yield and quality of forage sorghum. PhD Thesis in Crop Ecology, Tehran University. (In Persian with English Summary)
- Rice, C.W. 2000. Soil organic C and N in rangeland soils under elevation CO₂ and land management. *Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements and Monitoring Conference* in Raleigh, North Carolina, October 3-5, p. 15-24.
- Rossi, A.M. Hirmas, D.R., Graham, R.C., and Sternberg, P.D. 2008. Bulk density determination by automated three-dimensional laser scanning. *Soil Science Society of America Journal* 72(6): 1591-1593.
- Singh, Y., Singh, V.P., Singh, G., Yadav, D., Sinha, R.K.P., Johnson, D.E., and Mortime, A.M. 2011. The implications of land preparation, crop establishment method and weed management on rice yield variation in the rice-wheat system in the Indo-Gangetic plains. *Field Crops Research* 121: 64-74.
- Tripathi, R.P., Sharma, P., and Singh, S. 2007. Influence of tillage and crop residue on soil physical properties and yields of rice and wheat under shallow water table conditions. *Soil and Tillage Research* 92: 221-227.
- Tullberg, J. 2010. Tillage, traffic and sustainability—a challenge for ISTRO. *Soil and Tillage Research* 111(1): 26-32.

- Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N., and Akbarinia, M. 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iranian Journal of Forest* 2(1): 25-35. (In Persian with English Summary)
- Varley, J.A. 1966. Automatic methods for the determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plant material. *Analyst* 91: 119 – 126.
- Vyn, T.J., and Raimbault, A. 1993. Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. *Agronomy Journal* 85: 1074-1079.
- Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the degtareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Wright, A.L., Dou, F., and Hons, F.M. 2007. Soil organic C and N distribution for wheat cropping systems after 20 years of conservation tillage in central Texas. *Agriculture, Ecosystems and Environment Journal* 121: 736-744.
- Yang, X.M., and Kay, B.D. 2001. Rotation and tillage effects on soil organic carbon sequestration in a Typic Hapludalf in southern Ontario. *Soil and Tillage Research* 59: 107–114.