اثر کشاورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد کنجد در تناوب با گندم

Effect of conservation agriculture on soil properties and sesame yield in the sesame-wheat rotation

صادق افضلی نیا[1*]، علی‌داد کرمی[2] و محمدجواد روستا[3]

۱. دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ، (نگارنده مسئول)

۲. ۲استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

۳. دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۹

چکیده

افضلی نیا، ص.، کرمی، ع.، روستا، م. ج.، اثر کشاورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد کنجد در تناوب با گندم **نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۱ - شماره ۳- پیاپند ۱۲۰ پائیز ۹۷:** ۴۰-۲۰

این تحقیق در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب فارس انجام شد (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳). تیمارهای تحقیق عبارت بودند از ۱) کم خاکورزی (شخم با خاک ورز مرکب و کاشت با خطی کار) ، ۲) کشت مستقیم گندم (رقم چمران) و کنجد (رقم داراب۲) به مدت چهار سال، ۳) کشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم وکشت مستقیم کنجد به مدت چهار سال، ٤) کشت مستقیم کنجد در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم وکشت مستقیم گندم به مدت چهار سال و ٥) خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگرداندار، دوبار دیسک و لولر و کاشت با خطی کار). نتایج نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش رطوبت خاک (حداکثر ۵۰ درصد) و کربن آلی خاک (حداکثر ۱۳۸ درصد) شدند. جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر معنی دار روش خاک ورزی قرار نگرفت، اما نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی کاهش یافت (حداکثر ۳۳ درصد). همچنین، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به ویژه کم‌خاک‌ورزی انتشار دی اکسید کربن از خاک را نسبت به خاک‌ورزی مرسوم کاهش دادند (حداکثر ۱۹ درصد). ضمنا روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد کنجد (حداکثر عملکرد کنجد در روش حفاظتی ۲۰۱۱ کیلوگرم در هکتار و در روش مرسوم ۲۰٤٥ کیلوگرم در هکتار) نشدند. بنابراین در مناطق گرم استان فارس، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌توانند جایگزین خاک‌ورزی مرسوم در تهیه زمین کنجد گردند.

واژه های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک، روش‌های مختلف خاک‌ورزی، کربن آلی خاک، کنجد، نفوذ آب در خاک

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: . sja925@mail.usask.ca

مقدمه

روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل مزایای فراوانی که در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم دارند، در حال گسترش در جهان هستند. این روش‌ها، خصوصیات خاک و محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهند و بر محیط زیست نیز مؤثرند، اما نحوه تأثیر آن‌ها تابع نوع خاک، شرایط اقلیمی و نوع محصول می‌باشد. بنابراین، برای استفاده علمی و دقیق از این روش‌های خاک‌ورزی، بررسی نتایج تحقیقات گذشته در این زمینه و همچنین انجام تحقیقات منطقه‌ای و محصولی در کشور ضرورت دارد. روش‌های خاک‌ورزی و به خصوص خاک‌ورزی حفاظتی رطوبت خاک را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج تحقیقات انجام شده در رومانی نشان می‌دهد که در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک، کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش رطوبت خاک می‌شود (Rusu, 2005). مقایسه روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در ایتالیا نشان داد که روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم موجب کاهش تبخیر از سطح خاک شد (De Vita *et al.*, 2007). از سوی دیگر، نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در کشت گندم پس از برداشت برنج، باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود (Erenstein & Laxmi, 2008).

روش‌های خاک‌ورزی و به‌ویژه خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر رطوبت خاک، خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج تحقیقات در استان فارس نشان داد که خرد کردن بقایا و مدفون کردن آن باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک در تناوب گندم-ذرت می‌شود (Behaeen *et al.*, 2011). نتایج بررسی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر فرسایش خاک در ایتالیا نیز نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم فرسایش خاک را به طور معنی‌داری کاهش داد (Freebairn *et al.*, 1986). استفاده از بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش هدایت آبی (هیدرولیکی) و ضریب جذب آب در خاک می‌شود که دلیل آن می تواند افزایش فعالیت موجودات زنده از قبیل کرم‌های خاکی در خاک باشد (McGarry *et al.*, 2002). تخلخل خاک نیز تحت تأثیر استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم مقدار خلل و فرج خاک را افزایش می‌دهد (Botta *et al.*, 2009). همچنین نتایج تحقیقات نشان داده‌است که استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک باعث افزایش ماده آلی خاک می‌شود (Madejon *et al.*, 2009; Garcia-Orenes *et al.*, 2009). نفوذ آب در خاک نیز تحت تأثیر روش خاک‌ورزی قرار می گیرد، به طوری که نتایج بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و آبیاری بر نفوذ آب در خاک در استان فارس نشان داد که بیش‌ترین نفوذ تجمعی آب در خاک از ترکیب تیمار آبیاری بارانی و کم‌خاک‌ورزی حاصل گردیده است (Dehghanian & Afzalinia, 2011).

واکنش عملکرد محصول به روش‌های

خاک‌ورزی حفاظتی بر اساس نوع محصول، شرایط آب و هوایی و نوع خاک منطقه متفاوت می‌باشد. نتایج بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزاء عملکرد کنجد در جیرفت نشان داد که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد و وزن هزاردانه کنجد داشت، به طوری که خاک‌ورزی مرسوم منطقه دارای کمترین عملکرد و کم‌خاک ورزی همراه با سوزاندن بقایا دارای بیشترین عملکرد کنجد بود (Momeni *et al.*, 2012). نتایج ارزیابی یک نوع کارنده جدید بذر کنجد در روش‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که یکنواختی توزیع بذر و درصد سبز شدن بذر در این کارنده، در روش بی‌خاک‌ورزی کمتر از روش‌های کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بود (Topakci *et al.*, 2011). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که روش خاک‌ورزی و مقدار بقایا اثر معنی‌داری بر عملکرد کنجد داشتند، به گونه‌ای که عملکرد کنجد در خاک‌ورزی مرسوم کمتر از روش‌های حفاظتی بود و وجود بقایا نیز بر عملکرد کنجد تأثیر منفی می گذاشت (Saffar and Kouchaki, 2002). نتایج بررسی اثر روش‌های مختلف تهیه زمین بر عملکرد کنجد در ترکیه نشان داد که تهیه زمین با استفاده از گاواهن دوار بیشترین عملکرد کنجد را به همراه دارد (Polat *et al.*, 2006). همچنین، مقایسه اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد کنجد در آنتالیای ترکیه نیز نشان داد که کم‌خاک‌ورزی عملکرد کنجد را در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی افزایش می‌دهد و به عنوان روش مناسب خاک‌ورزی کنجد قابل توصیه می‌باشد (Uzun *et al.*, 2012).

بر اساس نتایجی که از تحقیقات در مناطق مختلف و محصولات گوناگون به دست آمده‌است، ضرورت انجام تحقیق در مورد روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط اقلیمی و محصولات مختلف احساس می‌شود. بنابراین، این تحقیق با هدف مقایسه روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی با خاک‌ورزی مرسوم از نظر خصوصیات خاک و عملکرد کنجد در تناوب گندم-کنجد در منطقه گرم استان فارس (شهرستان داراب) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بختاجرد در شهرستان داراب با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه به مدت چهار سال (۱۳۸۹ تا ۳۹۲۱) انجام شد. به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع تحقیق دو نمونه مرکب از مزرعه محل آزمایش تهیه و صفات مورد نظراندازه‌گیری شدند (جدول۱).

جدول۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیائی خاک محل انجام تحقیق

Table 1. Soil physico-chemical properties at the studied site

عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	نیتروژن (ppm)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته Acidity pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS/m)	جرم مخصوص ظاهری خاک Soil bulk density (g/cm^3)	بافت خاک Soil texture
0-10	46	18	36	0.07	3.92	233.4	0.67	7.6	1.22	1.40	Loamy
10-20	49	18	33	0.05	2.78	16.6	0.54	7.8	0.86	1.44	Loamy

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار در تناوب گندم-کنجد انجام شد. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از ۱) کم خاک ورزی (T_1)، ۲) کشت مستقیم گندم و کنجد به مدت چهار سال (T_2)، ۳) کشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم وکشت مستقیم کنجد به مدت چهار سال (T_3)، ۴) کشت مستقیم کنجد در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم وکشت مستقیم گندم به مدت چهار سال (T_4) و ۵) خاک‌ورزی مرسوم (T_5). تیمارهای سه و چهار (T_3 و T_4) برای بررسی اثر تناوب خاک‌ورزی یعنی قطع روند کشت مستقیم توسط خاک‌ورزی مرسوم در یک فصل زراعی در این تحقیق گنجانده شد. در روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد و با یک بار حرکت خطی کار کشت مستقیم در مزرعه کشت انجام گرفت. در روش کم‌خاک‌ورزی از یک دستگاه خاک‌ورز مرکب استفاده شد و عملیات خاک‌ورزی در یک مرحله انجام گرفت و سپس برای کشت گندم و کنجد از خطی‌کار استفاده گردید. در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاوآهن برگردان‌دار و دیسک انجام شد و گندم و کنجد با استفاده از خطی‌کار کشت گردید. مزرعه آزمایش در شروع تحقیق به صورت آیش بود، بنابراین در شروع آزمایش بقایای اندکی (بیش‌تر بقایای علف‌های هرز) در مزرعه وجود داشت. در سال‌های بعد در تمام تیمارهای آزمایش، بقایای ایستاده گندم در زمین حفظ شد و بقایای خارج شده از انتهای کمباین به بیرون از زمین برده شد (برای جلوگیری از ایجاد مزاحمت برای کارنده)، ضمن این که تمام بقایای کنجد (بقایای باقی‌مانده پس از برداشت) در کرت‌ها حفظ شد. ابعاد کرت های آزمایش ۳۰×۶ متر بود و گندم رقم چمران به مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در نیمه دوم آبان و کنجد رقم داراب ۲ به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار در نیمه اول تیر ماه در کرت‌ها کشت شد. میزان کود مصرفی بر اساس نیاز کودی مزرعه در سال‌های مختلف، متفاوت بود (جدول ۲) که تمامی کود فسفات و پتاس و یک سوم کود اوره در زمان کاشت و توسط کارنده به کرت‌ها داده‌شد و بقیه کود اوره در دو مرحله به صورت سرک و با دست در مزرعه پخش شد. سایر عملیات زراعی شامل آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها در تمام تیمارها به طور یکسان اعمال شد. برای مقایسه روش‌های مختلف خاک‌ورزی، شاخص هایی مانند درصد رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، نفوذپذیری خاک به روش استوانه دوگانه، درصد کربن آلی خاک، انتشار دی اکسیدکربن از خاک و عملکرد کنجد اندازه‌گیری شدند.

روش اندازه‌گیری پارامترها

رطوبت خاک در هر سال با استفاده از دستگاه TDR در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک و قبل از پوشش کامل سطح مزرعه توسط گیاه و پیش از آبیاری اندازه‌گیری شد. در هر کرت رطوبت سه نقطه اندازه گیری شد و میانگین آنها به عنوان رطوبت آن کرت در نظر گرفته شد (۶۰ نمونه در هر سال). با توجه به این‌که عدد قرائت شده

جدول ۲- کود شیمیایی داده شده به تیمارها در سال های مختلف

Table 2. Chemical fertilizers applied to the treatments in different years of the experiment

سال Year	کود اوره Urea (kg/ha)	کود فسفات Phosphate (kg/ha)	کود پتاس Potash (kg/ha)
سال اول First year	400	150	100
سال دوم Second year	400	100	50
سال سوم Third year	400	100	50
سال چهارم Fourth year	400	100	50

توسط TDR برای رطوبت خاک، نشان دهنده رطوبت حجمی خاک است، با تقسیم اعداد قرائت شده بر جرم مخصوص ظاهری خاک در آن تیمار، رطوبت خاک در هر تیمار بر پایه وزن خاک خشک به دست آمد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، قبل از شروع تحقیق و اعمال تیمارها و همچنین در پایان هر تناوب (قبل از برداشت محصول) با استفاده از استوانه‌های نمونه‌گیری از اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری هرکرت (از هر کرت یک نمونه و در مجموع ۲۰ نمونه در سال)، نمونه‌برداری شد. نمونه‌های دست نخورده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد درآون خشک شدند و با استفاده از رابطه ۱ جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید:

معادله (۱)

$$BD = \frac{W_d}{V}$$

که در آن BD جرم مخصوص ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)، W_d جرم خاک خشک (g) و V حجم کل خاک (cm^3) می‌باشد. برای اندازه گیری نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک از روش استوانه دو گانه در زمان برداشت محصول دوم (پایان تناوب) استفاده شد. به این ترتیب، ابتدا یک استوانه با قطر ۷۰ سانتی متر و ارتفاع ۲۵ سانتی متر به اندازه ۵ سانتی متر در خاک فرو برده‌شد و سپس استوانه دیگری با قطر ۵۰ سانتی متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر در داخل استوانه اول و به اندازه ۵ سانتی متر در خاک فرو برده‌شد. داخل هر دو استوانه آب ریخته شد و سپس در فاصله زمانی ۱ تا ۱۰ دقیقه هر یک دقیقه، در فاصله زمانی ۱۰ تا ۳۰ دقیقه هر ۵ دقیقه، در فاصله زمانی ۳۰ تا ۶۰ دقیقه هر ۱۰ دقیقه، در فاصله زمانی ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه هر۲۰ دقیقه و در نهایت در زمان ۱۵۰ دقیقه میزان نفوذ آب در داخل استوانه دوم که با واحد سانتی متر مدرج شده بود، یادداشت گردید. سپس بر اساس اطلاعات ثبت شده، میزان نفوذ تجمعی آب در خاک و هم چنین سرعت نفوذ آب در خاک در زمان ۱۵۰ دقیقه برای هر کرت محاسبه شد (در هر کرت یک بار اندازه گیری در سال و در مجموع ۲۰ نمونه در سال).

برای تعیین مقدار کربن آلی خاک، در پایان سال اول و سال چهارم انجام آزمایش (بعد از برداشت محصول)، از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰

سانتی‌متری خاک در هر کرت نمونه‌ی مرکب برداشته شد و سپس نمونه ها خشک شدند (یک نمونه در هر کرت و در مجموع ۲۰ نمونه). نمونه ها پس از غربال با الک ۲ میلی‌متری، به آزمایشگاه منتقل شدند و درصد کربن آلی آن ها به عنوان شاخصی از ماده ی آلی خاک تعیین شد (Nelson & Sommer, 1982). دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک به روش مزرعه‌ای و در پایان سال چهارم انجام تحقیق قبل از برداشت محصول اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ابتدا ۲۰ میلی لیتر محلول هیدروکسید سدیم یک نرمال در ظرف‌های شیشه‌ای درپوش دار با قطر ۷ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر ریخته شد و ظرف ها پس از بسته شدن درپوش هایشان به مزرعه منتقل شدند. در مزرعه، درپوش شیشه‌ها باز شد، شیشه‌ها روی سه پایهٔ فلزی قرار داده‌شدند و بلافاصله استوانهٔ فلزی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر روی آنها قرار داده شد، به طوری که استوانه‌ها ۲ سانتی‌متر در خاک فرو رفتند. پس از ۲۴ ساعت، استوانه‌های فلزی برداشته شدند و بلافاصله درپوش شیشه‌ها روی آن‌ها قرار داده شد. شیشه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و میزان دی اکسید کربن جذب شده به وسیلهٔ هیدروکسید سدیم موجود در شیشه‌ها به روش اندرسون (Anderson, 1982) اندازه‌گیری شد (یک نمونه در هر کرت و در مجموع ۲۰ نمونه). برای تعیین عملکرد کنجد، از قسمت‌های مختلف کرت به صورت تصادفی و با حذف حاشیه ها، جمعاً ده مترمربع از مساحت هر کرت برداشت شد و بر اساس آن عملکرد محصول در هر هکتار محاسبه شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها از کرت‌های مورد نظر، داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

رطوبت خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که از نظر آماری اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر حفظ

جدول ۳-تجزیه واریانس داده‌های رطوبت خاک

Table 3. Variance analysis for soil moisture content

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال چهارم Forth year
تکرار Replication	3	0.06 ns	1.1 ns	0.4*	0.45*
تیمار Treatment	4	14.2**	3.1*	2.1**	1.6**
خطا Error	12	25.4	7.9	1.03	1.14
ضریب تغییرات Coefficient of variation		9.3	6.0	2.2	2.7

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می باشند.

ns, *, and ** represent non-significance, significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

رطوبت در خاک در تمام سال‌های انجام تحقیق معنی‌دار بود (جدول ۳). دلیل معنی دار بودن اختلاف بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر حفظ رطوبت در خاک، حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به خصوص در تیمار بی‌خاک‌ورزی می‌باشد. اصولاً یکی از مزایای استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی، حفظ رطوبت خاک و کاهش مصرف آب می باشد. تأثیر معنی‌دار روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر رطوبت خاک در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده‌است (De Erenstein & Vita *et al.*, 2007; Rusu, 2005; Laxmi, 2008).

نتایج مقایسه میانگین رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر حفظ رطوبت خاک اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار حفظ رطوبت درتمام سال‌ها مربوط به تیمار کشت مستقیم بود و اختلاف این تیمار با تیمار خاک‌ورزی مرسوم معنی‌دار بود (جدول ۴). در تمام سال‌های انجام تحقیق غیر از سال دوم و چهارم، کم‌ترین مقدار رطوبت خاک متعلق به تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود. در سال دوم نیز بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک در تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنجد در سال سوم اتفاق افتاد، ولی رطوبت خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم اختلاف معنی‌داری با بیش‌ترین رطوبت خاک در این سال نداشت. در این سال کم‌ترین مقدار رطوبت خاک مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی بود. به طور کلی در سال‌های مختلف انجام تحقیق، تیمارهای حاوی کشت مستقیم در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش حفظ رطوبت در خاک از ۲ درصد در سال دوم (تیمار T_4 نسبت به تیمار T_5) تا ۴۰ درصد در سال اول (تیمار T_2 نسبت به تیمار T_5) شدند (میانگین افزایش چهارساله، ۹/۵ درصد). دلیل متفاوت بودن اثر خاک ورزی حفاظتی بر حفظ رطوبت خاک در سال های مختلف، تفاوت در شرایط جوی و مقدار بقایای موجود در مزرعه بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقدارحفظ رطوبت در خاک رابطه مستقیمی با میزان حفظ بقایا در سطح خاک دارد و چون از بی‌خاک‌ورزی تا خاک‌ورزی مرسوم، مقدار بقایای باقی مانده در سطح خاک کاهش می یابد، لذا میزان حفظ رطوبت نیز کاهش پیدا می‌کند. البته باید توجه داشت که تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر حفظ رطوبت خاک تابع فصل کشت و زمان اندازه‌گیری رطوبت در طول فصل رشد گیاه می‌باشد، به طوری که در فصل گرم (کشت صیفی) تفاوت بین خاک‌ورزی حفاظتی به ویژه کشت مستقیم با خاک‌ورزی مرسوم از نظر حفظ رطوبت محسوس‌تر است و نقش وجود بقایا در فصل گرم اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند. همچنین در فصل گرم نیز تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر حفظ رطوبت در اول فصل کشت با انتهای فصل متفاوت است. در ابتدای فصل، تنها تعیین کننده تفاوت در میزان رطوبت خاک نوع خاک‌ورزی و میزان بقایای گیاهی است، در حالی که در انتهای فصل به دلیل پوشش کامل سطح مزرعه با گیاه کاشته شده، نقش بقایای گیاهی در حفظ رطوبت خاک کاهش می‌یابد.

در ضمن، در اکثر سال های انجام تحقیق، تفاوت بین تیمارهای حاوی کشت مستقیم (تیمارهای T_2، T_3 و T_4) از نظر رطوبت خاک معنی دار نبود که با توجه به شباهت این تیمارها از لحاظ مقدار به هم خوردگی خاک و حفظ بقایا در سطح خاک، عدم اختلاف معنی داربین این تیمارها قابل پیش بینی بود. همچنین مقایسه میانگین دوره چهار ساله رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک مربوط به تیمارهای حاوی کشت مستقیم (تیمارهای T_2، T_3 و T_4) بود و خاک‌ورزی مرسوم کم‌ترین میانگین رطوبت را به خود اختصاص داد (جدول ۴). به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفا ظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث افزایش حفظ رطوبت در خاک می‌شوند که این نتایج با یافته‌های حاصل از تحقیقات گذشته همخوانی دارد (Freebairn *et al.,* 1986; Liu *et al.,* 2005; Afzalinia *et al.,* 2011).

جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس داده های جرم مخصوص ظاهری خاک در سال های مختلف انجام تحقیق نشان داد که روش خاک ورزی در تمام سال ها به غیر از سال دوم در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک، اثر معنی داری بر جرم مخصوص ظاهری خاک نداشته‌است (جدول ۵). همچنین نتایج مربوط به داده‌های قبل از شروع آزمایش (قبل از اعمال تیمارها) نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک وجود نداشت که نشان دهنده یکنواختی کرت‌های انتخاب شده از نظر فشردگی خاک است. علیرغم متفاوت بودن میزان به هم خوردگی خاک و نحوه مدیریت بقایای گیاهی محصول قبل در روش ها ی مختلف خاک ورزی، روش خاک ورزی تأثیر معنی داری بر جرم مخصوص ظاهری خاک نداشته است که نشان دهنده عدم افزایش فشردگی خاک با بافت متوسط تحت روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی است.

جدول۴-مقایسه میانگین رطوبت خاک (درصد) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

Table 4. Mean comparison for soil moisture content as affected by different tillage methods

تیمار Treatment	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال چهارم Forth year	میانگین Average
T_1	16.1^{ab}	12.0^{b}	13.2^{b}	11.5^{ab}	13.2^{c}
T_2	18.0^{a}	13.6^{a}	14.2^{a}	11.7^{a}	14.4^{a}
T_3	15.0^{bc}	13.2^{ab}	14.0^{a}	12.0^{a}	13.6^{b}
T_4	16.0^{ab}	14.3^{a}	13.1^{b}	10.4^{c}	13.4^{b}
T_5	12.9^{c}	14.0^{a}	12.5^{c}	11.1^{b}	12.6^{c}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می باشد.

Similar letter(s) in each column indicate no significant difference between means based on Dunan's multiple range test at 0.05 probability level.

جدول ۵-تجزیه واریانس داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک

Table 5. Variance analysis for soil bulk density

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	قبل از شروع Prior to the experiment		سال اول First year		سال دوم Second year		سال سوم Third year		سال چهارم Forth year	
		عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20
تکرار Replication	3	0.001 ns	0.004 ns	0.005 ns	0.004 ns	0.001 ns	0.003 ns	0.0004 ns	0.002 ns	0.002 ns	0.002 ns
تیمار Treatment	4	0.003 ns	0.003 ns	0.003 ns	0.013 ns	0.016 *	0.001 ns	0.0011 ns	0.004 ns	0.002 ns	0.002 ns
خطا Error	12	0.009	0.005	0.004	0.007	0.004	0.004	0.0024	0.003	0.001	0.001

ns و * به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می باشند.

ns and * represent non-significance and significance at 0.05 probability level, respectively.

مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار های مختلف خاک ورزی نشان داد که تیمار های خاک‌ورزی از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک در سال‌های مختلف، رفتارهای متفاوتی داشته‌اند ولی به طور کلی، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک و در نتیجه افزایش فشردگی خاک نشده‌اند (جدول ۶). نکته قابل توجه این که در اکثر سال‌های انجام تحقیق، جرم مخصوص ظاهری تیمار خاک‌ورزی مرسوم کم‌ترین مقدار نبوده‌است که نشان می‌دهد به هم خوردگی زیاد خاک در این روش خاک‌ورزی و پودر شدن بیش از حد آن، باعث می‌شود که رس خاک در اثر آبیاری‌های پیاپی به صورت متراکم درآمده و در انتهای فصل رشد، جرم مخصوص آن به حد جرم مخصوص ظاهری تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی برسد (Afzalinia & Zabihi, 2014). تیمار کم‌خاک‌ورزی در اکثر سال‌ها کم‌ترین جرم مخصوص را به خود اختصاص داده یا جرم مخصوص آن نزدیک به حداقل جرم مخصوص اندازه‌گیری شده، بوده‌است (به ویژه در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک) که نشان می‌دهد این روش از مزایای هر دو روش بی‌خاک‌ورزی (حفظ بقایا) و خاک‌ورزی مرسوم (دستکاری‌کردن خاک) برخوردار است. البته باید توجه داشت که این نتایج مربوط به اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک در انتهای فصل رشد است، در حالی که از شروع فصل رشد تا اواسط آن، جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به ویژه کشت مستقیم به مراتب بیش‌تر از جرم مخصوص ظاهری خاک در خاک‌ورزی مرسوم است (Afzalinia & Zabihi, 2014). در تمام روش های خاک ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری خاک بیش از مقدار این پارامتر در عمق ۰-۱۰ سانتی متر بود که این نتیجه منطقی است، زیرا

عمق پایین تر به دلیل داشتن درصد رس بیش‌تر و تمرکز فشارهای خارجی وارد بر خاک در لایه‌های پایین، معمولاً دارای جرم مخصوص ظاهری بیش تری می‌باشد. همچنین، میانگین چهارساله جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در هر دو عمق خاک (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر) با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. در منابع علمی، در مورد اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک نتایج مختلفی ارائه شده‌است که برخی نشان دهنده افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک تحت اثر خاک‌ورزی حفاظتی است (Fabrizzi *et al.,* 2005; Liu *et al.,* 2005; Taser & Metinoglu, 2005)، در حالی که برخی حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک است (Rasouli *et al.,* 2012; Logsdon & Karlen, 2004).

نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک

نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک نشان داد که روش خاک ورزی در سه سال اول انجام پژوهش، اثر معنی‌داری بر نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک داشته است، ولی نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در سال چهارم تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های خاک‌ورزی نبوده است (جدول ۷). با توجه به متفاوت بودن میزان به هم خوردگی خاک در روش ها ی مختلف خاک ورزی، متفاوت بودن میزان نفوذ پذیری خاک در برابر آب قابل توجیه می باشد. از طرف دیگر، تغییرات در خصوصیات فیزیکی خاک در اثر روش‌های خاک‌ورزی معمولاً تدریجی و زمان‌بر است، بنابراین معنی‌دار نشدن اثر روش‌های خاک‌ورزی بر نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در سال چهارم، احتمالاً به دلیل سازگاری خاک با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در اثر افزایش ماده آلی و بهبود خصوصیات خاک بوده است.

جدول ۶- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

Table 6. Mean comparison for soil bulk density (g/cm^3) as affected by different tillage methods

تیمار	سال اول		سال دوم		سال سوم		سال چهارم		میانگین	
Treatment	First year		Second year		Third year		Forth year		Average	
	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20
T_1	1.38[a]	1.50[a]	1.20[b]	1.39[a]	1.36[a]	1.42[a]	1.36[a]	1.43[a]	1.33[a]	1.44[a]
T_2	1.39[a]	1.43[a]	1.28[ab]	1.36[a]	1.39[a]	1.44[a]	1.38[a]	1.47[a]	1.36[a]	1.43[a]
T_3	1.37[a]	1.38[a]	1.29[a]	1.39[a]	1.40[a]	1.48[a]	1.39[a]	1.47[a]	1.36[a]	1.43[a]
T_4	1.40[a]	1.42[a]	1.29[a]	1.39[a]	1.36[a]	1.42[a]	1.37[a]	1.44[a]	1.36[a]	1.42[a]
T_5	1.32[a]	1.34[a]	1.36[a]	1.41[a]	1.37[a]	1.47[a]	1.41[a]	1.48[a]	1.37[a]	1.43[a]

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می باشد.

Similar letter(s) in each column indicate no significant difference between means based on Dunan's multiple range test at 0.05 probability level.

جدول ۷-تجزیه واریانس داده‌های نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک

Table 7. Variance analysis for soil water cumulative infiltration and infiltration rate

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	سال اول First year		سال دوم Second year		سال سوم Third year		سال چهارم Forth year	
		نفوذ تجمعی Cumulative infiltration (cm)	سرعت نفوذ Infiltration rate (mm/min)	نفوذ تجمعی Cumulative infiltration (cm)	سرعت نفوذ Infiltration rate (mm/min)	نفوذ تجمعی Cumulative infiltration (cm)	سرعت نفوذ Infiltration rate (mm/min)	نفوذ تجمعی Cumulative infiltration (cm)	سرعت نفوذ Infiltration rate (mm/min)
تکرار Replication	3	1.7 ns	0.008 ns	2.87 ns	0.13 ns	5.44 ns	0.024 ns	3.66 ns	0.017 ns
تیمار Treatment	4	37.7 **	0.170 **	31.08 *	0.137 *	40.71 *	0.182 *	4.39 ns	0.02 ns
خطا Error	12	3.9	0.017	8.82	0.04	8.28	0.037	7.09	0.032

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می باشند.

ns, *, and ** represent non-significance, significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین تیمار های مختلف خاک ورزی از نظر نفوذ تجمعی وسرعت نفوذ آب در خاک نشان داد که نفوذ تجمعی وسرعت نفوذ آب در خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم در تمام سال‌های انجام پژوهش بیش ترین مقدار بوده است یا با بیش‌ترین مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک اختلاف معنی‌دار نداشته است که علت آن به هم خوردگی بیشتر خاک در این تیمارمی باشد (جدول ۸). در سال چهارم انجام پژوهش، نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم اختلاف معنی‌داری با مقدار این پارامترها در تیمار خاک‌ورزی مرسوم نداشت که دلیل آن می‌تواند وجود بقایا و ریشه گیاه در خاک (افزایش ماده آلی خاک) و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک باشد. بنابراین هرچند به هم خوردگی هر ساله خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم باعث می‌شود که میزان نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در این تیمار در مقایسه با بقیه تیمار ها بیش‌تر باشد، اما در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم نیز مقدار این پارامترها با گذشت زمان و سازگاری خاک با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به مقدار آن‌ها در خاک‌ورزی مرسوم نزدیک شده است. مقایسه میانگین چهار ساله نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نیز نشان داد که تیمار خاک‌ورزی مرسوم بیش‌ترین مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک را داشت و با تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی اختلاف معنی‌دار داشت. دستکاری بیش‌تر خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم باعث شده است تا مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در این تیمار بیش‌تر از مقدار آن‌ها در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی گردد.

جدول ۸- مقایسه میانگین نفوذ تجمعی (cm) و سرعت نفوذ آب به خاک (mm/min) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

Table 8. Mean comparison for soil water cumulative infiltration (cm) and infiltration rate (mm/min) as affected by different tillage methods

تیمار Treatment	سال اول First year		سال دوم Second year		سال سوم Third year		سال چهارم Forth year	
	نفوذ تجمعی Cumulative infiltration (cm)	سرعت نفوذ Infiltration rate (mm/min)	نفوذ تجمعی Cumulative infiltration (cm)	سرعت نفوذ Infiltration rate (mm/min)	نفوذ تجمعی Cumulative infiltration (cm)	سرعت نفوذ Infiltration rate (mm/min)	نفوذ تجمعی Cumulative infiltration (cm)	سرعت نفوذ Infiltration rate (mm/min)
T_1	11.2^{b}	0.75^{b}	21.0^{ab}	1.40^{ab}	13.1^{bc}	0.87^{bc}	5.1^{a}	0.34^{a}
T_2	9.6^{b}	0.80^{b}	21.3^{ab}	1.42^{ab}	13.3^{bc}	0.89^{bc}	6.0^{a}	0.40^{a}
T_3	10.5^{b}	0.70^{b}	14.3^{b}	0.95^{b}	9.7^{c}	0.64^{c}	6.6^{a}	0.44^{a}
T_4	9.1^{b}	0.60^{b}	16.0^{b}	1.07^{b}	14.9^{ab}	1.00^{ab}	8.0^{a}	0.53^{a}
T_5	16.7^{a}	1.11^{a}	25.9^{a}	1.73^{a}	18.9^{a}	1.23^{a}	6.8^{a}	0.45^{a}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می باشد.

Similar letter(s) in each column indicate no significant difference between means based on Dunan's multiple range test at 0.05 probability level.

کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس مقدار کربن آلی خاک در انتهای سال اول و چهارم انجام تحقیق نشان داد که از لحاظ آماری اثر روش های مختلف خاک ورزی بر مقدار کربن آلی در سال اول فقط در عمق ۰-۱۰ (درسطح پنج درصد) و در سال دوم در هر دو عمق ۰-۱۰ (درسطح یک درصد) و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری (درسطح پنج درصد) خاک معنی داربود (جدول ۹). با توجه به این که در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی خاک کم‌تر دستکاری می‌شود، برگردان نمی‌گردد و به طور متوسط بیش از ۵۰ بقایای گیاهی در سطح خاک حفظ می‌شود، بنابراین معنی‌دار بودن اثر خاک‌ورزی بر کربن آلی خاک در این پژوهش قابل توجیه‌است. ضمن این که نحوه تأثیر روش خاک‌ورزی بر کربن آلی خاک در انتهای سال اول (در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری و در سطح پنج درصد) و سال چهارم (در هر دو عمق و در سطح یک درصد در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک) نشان می دهد که با گذشت زمان اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر کربن آلی خاک نیز افزایش می یابد.

نتایج مقایسه میانگین مقدار کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف نشان داد که در انتهای سال اول انجام پژوهش، تیمارهای T_3 و T_4 (تیمارهای کشت مستقیم) دارای بیشترین مقدار کربن آلی خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک بودند و تیمارهای T_1 و T_5 (تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم) کمترین مقدار کربن آلی خاک را به خود اختصاص دادند (جدول ۱۰). در انتهای سال اول، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر کربن آلی خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری وجود نداشت و همه میانگین‌ها در یک گروه آماری قرارگرفتند. همچنین، نتایج مقایسه میانگین مقدار کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در انتهای سال چهارم نشان داد که بالاترین مقدار کربن آلی در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک با میانگین ۱/۱۹ درصد از اعمال روش کشت مستقیم گندم و کنجد به دست آمد و کم ترین مقدار کربن

جدول ۹- تجزیه واریانس داده‌های میزان کربن آلی خاک در روشهای مختلف خاک‌ورزی

Table 9. Variance analysis for soil organic carbon as affected by different tillage methods

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	سال اول First year		انتهای آزمایش End of study	
		عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20
تکرار Replication	3	0.002^{ns}	0.003^{ns}	0.03^{ns}	0.07*
تیمار Treatment	3	0.02*	0.005^{ns}	0.27**	0.06*
خطا Error	12	0.07	0.05	0.5	0.18

ns ، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می باشند.

ns, *, and ** represent non-significance, significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

آلی خاک در این عمق با میانگین ۰/۵۰ درصد مربوط به روش کشت مرسوم بود (جدول ۱۰). بنابراین کشت مستقیم گندم و کنجد کربن آلی لایه ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک را در انتهای سال چهارم نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم به میزان ۱۳۸ درصد افزایش داد. مقدار کربن آلی حاصل از تیمارهای T_3 (کشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم وکشت مستقیم کنجد در تمام مدت انجام پژوهش) و T_4 (کشت مستقیم کنجد در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم وکشت مستقیم گندم درتمام مدت انجام پژوهش)، کم‌تر از مقدار حاصل از تیمار کشت مستقیم گندم و کنجد بود که نشان دهنده تأثیر منفی قطع روند کشت مستقیم با خاک‌ورزی مرسوم (تناوب خاک‌ورزی) بر مقدار کربن آلی خاک است. همچنین در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک، مقدار کربن آلی به دست آمده از کم‌خاک‌ورزی نیز بیش‌تر از مقدار به دست آمده آن از خاک‌ورزی مرسوم بود. دلیل کاهش مقدار کربن آلی خاک در سیستم خاک ورزی مرسوم به هم خوردگی کامل خاک در این تیمار می باشد که اکسید شدن کربن آلی خاک را تسریع کرده و هدر روی آن را افزایش می هد. نتایج مقایسه میانگین کربن آلی در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در انتهای سال چهارم نشان داد که تمام تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند و اختلاف معنی‌داری با هم ندارند، در حالی که تیمار خاک‌ورزی مرسوم با کم‌ترین مقدار کربن آلی خاک، در گروه جداگانه‌ای قرار گرفت (جدول ۱۰). در این عمق نیز تیمار کشت مستقیم گندم و کنجد بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک را به خود اختصاص داد. در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک، تیمار کشت مستقیم گندم وکنجد کربن آلی خاک را نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم به میزان ۶۸ افزایش داد که این افزایش در مقایسه با افزایش در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک کم‌تر است. چون تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی

بقایای گیاهی را بیشتر در لایه سطحی خاک حفظ می کنند، بنابراین طبیعی است که کربن آلی لایه سطحی خاک بیش‌تر تحت تأثیر روش خاک‌ورزی قرار گیرد و روش خاک‌ورزی اثر کم‌تری بر کربن آلی لایه ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک داشته باشد. بنابراین نتایج این پژوهش نشان داد که روش های خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک ورزی و بی خاک ورزی) بیش‌ترین تاثیر را در بالا بردن مقدار کربن آلی و بهبود ساختمان لایه سطحی خاک دارند و این اثرگذاری با گذشت زمان افزایش می یابد. در حالی که خاک‌ورزی مرسوم با به هم زدن کامل خاک باعث تسریع اکسایش کربن آلی خاک و در نتیجه آزاد شدن عناصر غذایی موجود در آن می شود و پتانسیل هدر روی کربن از خاک را تحریک می کند. در تیمار خاک‌ورزی مرسوم نیز کربن آلی خاک در انتهای سال چهارم نسبت به مقدار آن در انتهای سال اول در هر دو عمق خاک افزایش نشان داد (با نرخ رشد کم) که دلیل آن مخلوط کردن بقایای گیاهی با خاک در این تیمار می باشد. نتایج تحقیقات گذشته نیز نشان می دهد که خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش مواد آلی در لایه‌های سطحی خاک می‌شود (Madejon *et al.*, 2009).

انتشار دی اکسید کربن از خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به مقدار دی اکسیدکربن متصاعد شده ازخاک در سیستم های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر مقدار دی‌اکسید کربن متصاعد شده از خاک داشته‌است (جدول ۱). با توجه به این که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک شده‌اند (جدول ۱۰) و همچنین متفاوت بودن به هم خوردگی خاک در تیمارهای مختلف، تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی بر مقدار دی‌اکسیدکربن متصاعد شده ازخاک قابل توجیه می‌باشد.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

Table 10. Mean comparison for soil organic carbon as affected by different tillage methods

تیمار Treatment	سال اول First year		انتهای آزمایش End of study	
	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20	عمق Depth (cm) 0-10	عمق Depth (cm) 10-20
T_1	0.41^{b}	0.38^{a}	0.87^{b}	0.72^{a}
T_2	0.43^{b}	0.44^{a}	1.19^{a}	0.79^{a}
T_3	0.48^{ab}	0.35^{a}	0.86^{b}	0.67^{a}
T_4	0.59^{a}	0.39^{a}	0.68^{bc}	0.73^{a}
T_5	0.42^{b}	0.35^{a}	0.50^{c}	0.47^{b}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می باشد.

Similar letter(s) in each column indicate no significant difference between means based on Dunan's multiple range test at 0.05 probability level.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس داده‌های دی اکسیدکربن منتشر شده از تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

Table 11. Variance analysis for emitted carbon dioxide by different tillage methods

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares	Fمقدار F value
تکرار Replication	3	145.7	1.73^{ns}
تیمار Treatment	4	422.0	5.02^{*}
خطا Error	12	84.1	

ns و * به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می باشند.

ns and * represent non-significance and significance at 0.05 probability level, respectively.

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر مقدار دی اکسیدکربن متصاعد شده ازخاک نشان داد که کم‌ترین مقدار دی اکسیدکربن منتشر شده ازخاک متعلق به تیمار کم‌خاک‌ورزی بود و این تیمار از نظر دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک، با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۱۲). تیمار خاک‌ورزی مرسوم بیش‌ترین مقدار دی‌اکسیدکربن منتشر شده ازخاک را به خود اختصاص داد و بعد از این تیمار، تیمارهای حاوی کشت مستقیم قرار گرفتند. تیمارهای حاوی کشت مستقیم از نظر مقدار دی‌اکسیدکربن منتشر شده ازخاک با تیمار خاک‌ورزی مرسوم اختلاف معنی‌دار نداشتند که نشان می دهد که در تیمارهای حاوی کشت مستقیم به دلیل وجود بقایای گیاهی در سطح خاک، فعالیت بیشتر ریزجانداران خاک باعث افزایش دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک گردیده‌است. همچنین در تیمار خاک‌ورزی مرسوم نیز به هم خوردگی زیاد خاک باعث افزایش دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک شده‌است. علاوه بر مقدار به هم خوردگی خاک، نحوه و کیفیت به هم خوردگی خاک نیز بر مقدار اکسید شدن کربن آلی خاک مؤثر است و شاید نقش پر رنگ تری هم داشته باشد. در کم خاک‌ورزی، خاک فقط شکسته می شود و بدون برگردان شدن، سرجای اولیه خود قرار می گیرد، در حالی که در خاک‌ورزی مرسوم ضمن این‌که شدت به هم خوردن خاک زیاد است، خاک برگردان هم می شود و در معرض نور خورشید قرار می گیرد. بنابراین به هم خوردگی خاک در کم خاک ورزی اثر چندانی بر اکسید شدن کربن آلی خاک ندارد. ضمن این‌که در کرت‌های خاک‌ورزی مرسوم نیز همان مقدار بقایای گیاهی وجود داشته که در بی‌خاک‌ورزی موجود بوده است، با این تفاوت که در خاک‌ورزی مرسوم این بقایا با خاک مخلوط می‌شوند و در بی‌خاک‌ورزی در سطح خاک می‌مانند. لذا، دلیل کمتر بودن انتشار دی اکسید کربن در کم‌خاک‌ورزی، بقایای کمتر (در سطح خاک) نسبت به بی‌خاک‌ورزی و ناچیز بودن نقش به هم خوردگی خاک در این

جدول ۱۲- مقایسه میانگین مقدار دی اکسیدکربن منتشر شده از تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

Table 12. Mean comparison for emitted carbon dioxide by different tillage methods

تیمار Treatment	دی اکسیدکربن متصاعد شده Emitted carbon dioxide ($mg\ Co_2/m^2.hr$)
T_1	117.2^b
T_2	134.2^a
T_3	132.4^a
T_4	137.8^a
T_5	145.2^a

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می باشد.

Similar letter(s) in each column indicate no significant difference between means based on Dunan's multiple range test at 0.05 probability level.

تیمار در میزان انتشار گاز دی اکسید کربن از خاک می باشد. البته علیرغم بالا بودن مقدار گاز دی اکسیدکربن منتشر شده ازخاک، افزایش کربن آلی خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی در این تحقیق (جدول ۱۰) نشان دهنده نقش مثبت روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در افزایش تثبیت کربن در خاک و مقدار خالص کربن آلی (تفاضل کربن تولید شده و اکسید شده) در خاک می‌باشد که به نوبه خود باعث کاهش اثرات مضر زیست محیطی می شود.

عملکرد کنجد

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد کنجد در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که عملکرد کنجد در سال دوم و چهارم انجام تحقیق تحت تأثیر معنی‌دار (سطح احتمال ۵٪) روش‌های خاک‌ورزی قرار گرفته‌است و در بقیه سال‌ها، اختلاف بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (جدول ۱۳). با توجه به این که در استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی توقع افزایش عملکرد محصول به خصوص در کوتاه مدت مدنظر نیست و چنانچه عملکرد محصول در سطح خاک‌ورزی مرسوم حفظ شود کافی است، بنابراین عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم از نظر عملکرد کنجد در برخی سال‌ها، نتیجه مثبتی تلقی می شود.

جدول ۱۳- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد کنجد

Table 13. Variance analysis for sesame yield

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال چهارم Forth year
تکرار Replication	3	28221^{ns}	83422^{ns}	351451^{ns}	50453^{ns}
تیمار Treatment	4	22882^{ns}	145057*	155003^{ns}	284775*
خطا Error	12	1069512	707406	5665433	1540094

ns و * به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می باشند.

ns and * represent non-significance and significance at 0.05 probability level, respectively.

نتایج مقایسه میانگین عملکرد کنجد در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که در سال‌های اول و سوم تمام میانگین‌ها در یک کلاس آماری قرار گرفته‌اند و اختلاف معنی‌داری با هم نداشته‌اند (جدول ۱۴). در این سال‌ها، تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی عملکردی نزدیک به عملکرد خاک‌ورزی مرسوم و بعضی مواقع بیش‌تر داشته‌اند که نشان دهنده سازگاری مناسب کنجد با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد. در سال‌های دوم و چهارم، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر عملکرد کنجد مشاهده شد، به گونه‌ای که در سال دوم، تیمار کم‌خاک‌ورزی بیش‌ترین عملکرد را به خود اختصاص داد که اختلاف این تیمار فقط با عملکرد تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنجد در سال سوم (T_4) که کم‌ترین عملکرد را داشت، معنی دار بود. در سال چهارم هرچند تیمار خاک‌ورزی مرسوم بیش‌ترین عملکرد کنجد را به خود اختصاص داد، اما عملکرد این تیمار با عملکرد تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم گندم و کنجد در تمام مدت انجام تحقیق، اختلاف معنی‌دار نداشت. در این سال نیز تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنجد در سال سوم (T_4) که در اکثر سال ها (غیر از سال سوم انجام تحقیق که تیمار خاک‌ورزی مرسوم محسوب می شود) کم‌ترین عملکرد را به خود اختصاص داده بود، کم‌ترین عملکرد کنجد را داشت. در سال سوم، در تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنجد در سال سوم (T_4)، کنجد به صورت مرسوم کشت شده بود (با خاک‌ورزی مرسوم) و به همین دلیل دارای عملکرد بالایی بود. در اکثر سال‌های انجام تحقیق، برخی تیمارهای کشت مستقیم عملکردی نزدیک به عملکرد تیمار خاک‌ورزی مرسوم و حتی در برخی موارد بیش‌تر از عملکرد این تیمار داشته‌است که نشان دهنده امکان جایگزینی روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به جای خاک‌ورزی مرسوم در محصول کنجد در مناطق گرم استان فارس می‌باشد. همچنین مقایسه میانگین چهار ساله عملکرد کنجد در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت و همه تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج برخی از

جدول ۱۴– مقایسه میانگین عملکرد کنجد در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

Table 14. Mean comparison for sesame yield as affectd by different tillage methods

Treatment تیمار	First year yield عملکرد سال اول (kg/ha)	Second year yield عملکرد سال دوم (kg/ha)	Third year yield عملکرد سال سوم (kg/ha)	Fourth year yield عملکرد سال چهارم (kg/ha)	Average yield میانگین عملکرد (kg/ha)
T_1	1451[a]	1662[a]	1562[a]	1300[ab]	1494[a]
T_2	1371[a]	1418[ab]	1762[a]	1125[b]	1419[a]
T_3	1480[a]	1401[ab]	1825[a]	1149[ab]	1464[a]
T_4	1321[a]	1154[b]	2011[a]	1059[b]	1386[a]
T_5	1313[a]	1269[ab]	2045[a]	1721[a]	1587[a]

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می باشد.

Similar letter(s) in each column indicate no significant difference between means based on Dunan's multiple range test at 0.05 probability level.

تحقیقات گذشته بیانگر افزایش عملکرد کنجد در روش کم خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم است (Polat *et al.*, 2006; Uzun *et al.*, 2012; Momeni *et al.*, 2012).

نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش ماده آلی و ذخیره رطوبت در خاک می شوند که می تواند بهبود ساختمان خاک و کاهش مصرف آب را به دنبال داشته باشد. همچنین، تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی کربن آلی خاک را افزایش داد و دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک را کاهش داد. جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای خاک ورزی حفاظتی و مرسوم نیز در انتهای فصل رشد تفاوت معنی داری با هم نداشتند. روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک را کاهش دادند که به نظر می رسد با تداوم استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی و افزایش ماده آلی خاک، مشکل کاهش نفوذ آب در خاک در روش‌های حفاظتی نیز حل شود. عدم اختلاف معنی‌دار بین عملکرد کنجد در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در اکثر سال های انجام تحقیق و نزدیک بودن عملکرد کنجد در تیمارها خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم، نشان داد که با در نظر گرفتن سایر مزایای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، این روش‌ها می توانند جایگزین خاک‌ورزی مرسوم در تهیه زمین کنجد در مناطق گرم استان فارس گردند.

سپاسگزاری

از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس و مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به خاطر حمایت مالی از این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Afzalinia, S., and Zabihi, J. 2014. Soil compaction variation during corn growing season
under conservation tillage. *Soil and Tillage Research,* 137: 1-6.

Afzalinia, S., Behaeen, M. A., Karami, A., Dezfuli, A., and Ghasari, A. 2011. Effect of
conservation tillage on the soil properties and cotton yield. In: Proceedings of *11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture*, Sept., 21-23, Istanbul, Turkey, pp. 36.

Anderson, J. P. E. 1982. Soil Respiration. In: Methods of soil analysis, Part 2, 2nd ed. Page,
A. L. Miller, R. H. Keeneg, D. R. (eds.), *American Society of Agronomy*, Madison, PP. 831-871.

Behaeen, M. A., Afzalinia, S., and Roozbeh, M. 2011. Impact of crop residue management on
the crop yield, soil organic matter, and soil properties in irrigated wheat-corn rotation. In: Proceedings of *11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture*, Sept., 21-23, Istanbul, Turkey, pp. 371.

Botta, G. F., Becerra, A. T., and Melcon, F. B. 2009. Seedbed compaction produced by
traffic on four tillage regimes in the rolling Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*, 105 (1): 128-134.

Dehghanian, S. E., and Afzalinia, S. 2011. Effect of conservation tillage and irrigation
methods on the soil infiltration rate. In: Proceedings of *International workshop on Conservation Agriculture Systems and Its Impact on Water Productivity*, Sept., 12-13, Karaj, Iran, pp. 47-55.

De Vita P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M. 2007. No-tillage and
conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2): 69-78.

Erenstein, O., and Laxmi, V. 2008. Zero tillage impacts in India's rice–wheat systems: A
review. *Soil and Tillage Research*, 100: 1–14.

Fabrizzi, K. P., Garc´, F. O., Costa, J. L., and Picone, L. I. 2005. Soil water dynamics,
physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*, 81: 57-69.

Freebairn, D. M, Ward, L. D., Clarke, A. L., and Smith, G. D. 1986. Research and development of reduced tillage systems for vertisols in Queensland, Australia. *Soil and Tillage Research,* 8: 211-229.

Garcıa-Orenes, F., Cerda, A., Mataix-Solera, J., Guerrer, C., Bod, M. B., Arcenegui, V.,

Zornoza, R., and Sempere, J. G. 2009. Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, 106: 117-123.

Liu, S., Zhang, H., Dai, Q., Huo, H., Xu, Z. K., and Ruan, H. 2005. Effects of no-tillage plus

inter-planting and remaining straw on the field on cropland eco-environment and wheat growth. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao,* 16(2): 393-396.

Logsdon, S. D., and Karlen, D. L. 2004. Bulk density as a soil quality indicator during

conversion to no-tillage. *Soil and Tillage Research*, 78: 143–149.

Madejón, E., Murillo, J. M., Moreno, F., López, M. V., Arrue, J. L., Alvaro-Fuentes, J., and

Cantero, C. 2009. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research,* 105 (1): 55-62.

McGarry, D., Bridge, B. J., and Radford, B. J. 2000. Contrasting soil physical properties after

zero and traditional tillage of an alluvial soil in semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research,* 53: 105-115.

Momeni, D. 2012. Effects of tillage and planting methods on yield and yield components of

sesame in Jiroft and Kahnouj region. *Journal of Oilseed Plants of Iran*, 1 (1): 65-73. (In Persian with English abstract).

Nelson, D. W., and Sommer, L. E. 1982. *Total carbon, organic carbon, and organic*

matter. In. Page, A.L. (Eds.). Methods of soil analysis. 2nd Ed. ASA Monogr. 9(2).

American Society of Agronomy, Madison, WI., USA. pp. 539-579.

Polat, R., Saglam, R., Aydemir, S., and Cikman, A. 2006. Effects of different tillage methods

on soil physical properties under second crop sesame in the Harran Plain, southeast Turkey. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(4): 613-618.

Rasouli, F., Kiani Pouya, A., and Afzalinia, S. 2012. Effect of conservation tillage

methods
on soil salinity. In: Proceedings of *8th International Soil Science Congress*, May 15-17, Izmir, Turkey, pp. 171.

Rusu, T. 2005. The influence of minimum tillage systems upon the soil properties, yield and
energy efficiency in some arable crops. *Journal of Central European Agriculture*, 6(3): 287-294.

Saffar, M., and Kouchaki, A. 2002. Sesame yield and yield components responses to tillage
methods and residue managments in different rotations. *Agricultural Sciences and Technology*, 16 (1): 27-34.

Taser, O., and Metinoglu, F. 2005. Physical and mechanical properties of a clay soil as
affected by tillage systems for wheat growth. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-soil and Plant,* 55: 186-191.

Topakci, M., Karayel, D. Canakci, M., Furat, S., and Uzun, B. 2011. Sesame hill dropping
performance of a vacuum seeder for different tillage practices. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(2): 203-209.

Uzun, B., Yol, E., Furat, Ş., Topak, M., Anak, M., and Karayel, D. 2012. Th e eff ects of diff
erent tillage methods on the post-wheat second crop sesame: seed yield, energy budget, and economic return. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36: 399-407.

Effect of conservation agriculture on soil properties and sesame yield in the sesame-wheat rotation

S. Afzalinia[1*], A. Karam[2], and M. J. Rousta[3]

1. Associate Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran. (corresponding author).
2. Asistant Professor, Department of Soil and Water Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran. .
3. Associate Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.

Received: April 2018 Accepted: October 2018

Extended Abstract

Afzalinia, S., Karam, A. and Rousta, M. J., Effect of conservation agriculture on soil properties and sesame yield in the sesame-wheat rotation
Applied Research in Field Crops Vol 31, No. 3, 2018 Page:4-6: 20-40(in Persian)

Introduction: Conservation tillage methods offer considerable advantages compared to the conventional tillage; therefore, these tillage methods are widely disseminated throughout the world. Conservation tillage affects soil properties, environment, and crop yield. Results of research studies show that conservation tillage saves water in wheat production compared to the conventional tillage (Erenstein & Laxmi, 2008). Conservation tillage also increases soil organic carbon (Madejon *et al.*, 2009) and sesame yield (Uzun *et al.*, 2012) as compared to the conventional tillage. This study was performed to evaluate the effects of conservation tillage practices on soil properties and sesame yield in sesame-wheat crop rotation under hot climatic condition of Fars province.

Materials and Methods: The study was conducted using a randomized complete block experimental design with five treatments and four replications in Fars province from 2010 to 2013. Treatments included; 1) reduced tillage (T_1), 2) wheat and sesame direct seeding (T_2), 3) sesame direct seeding for four years, wheat direct seeding for the first two years and the fourth year, and conventional planting in the third year (T_3), 4) wheat direct seeding for four years, sesame direct seeding for the first two years and the fourth year, and conventional planting in the third year (T_4), and 5) conventional tillage (T_5). Soil bulk density was measured

Email address of the corresponding author: sja925@mail.usask.ca

at two soil depths including 0 to 10 and 10 to 20 cm using core samplers. Soil moisture content was measured using TDR at the soil depth of 0 to 20 cm. Soil water cumulative infiltration and infiltration rate were determined using double ring method. Soil organic carbon was measured by analyzing mixed soil samples in laboratory, and carbon dioxide emission from the soil was determined in the field using Anderson method. Sesame yield was calculated by harvesting 10 m^2 area of each experimental plot. Collected data were analyzed using SAS software and Duncan's multiple range test was used to compare the treatments means.

Results and Discussion: Results of this research indicated that tillage methods had significant effect on soil moisture content so that the maximum soil moisture content obtained from the no-till method and the conventional tillage gave the lowest soil moisture content. Tillage methods had no significant effect on soil bulk density; therefore, conservation tillage methods did not considerably increase soil compaction. Results also showed that soil water cumulative infiltration and infiltration rate were affected by tillage methods in such a way that conservation tillage practices decreased soil water infiltration rate compared to the conventional tillage. Conservation tillage methods also increased soil organic carbon and decreased carbon dioxide emission from the soil as compared to the conventional tillage. Meanwhile, conservation tillage methods did not significantly decrease sesame yield relative to the conventional tillage. Different soil tillage methods in the first and third years of the experiment did not significantly affect sesame yield and therefore all the sesame yield means fell into the same statistical category. During these years, conservation tillage produced yields which were either close to or sometimes more than those of conventional tillage, indicating that sesame has developed an adaptation to conversation tillage practices. In the second and fourth years, significant differences were observed among soil tillage practices in terms of sesame yield where the reduced tillage produced the highest sesame yield in the second year, which had a significant difference from the yield obtained from direct wheat seeding and conventional sesame planting in the third year (T4), which had given the lowest yield of sesame.

Conclusions: The results showed that conservation tillage methods increased soil moisture retention (at most 50%) and soil organic carbon (138%) relative to the conventional tillage. Soil bulk density was not affected by tillage methods, while conservation tillage methods reduced soil water cumulative infiltration and infiltration rate compared to the conventional tillage by at most 33%. Conservation tillage methods reduced carbon dioxide emission from the soil by 19%. Meanwhile, conservation tillage methods did not reduce sesame yield compared to conventional methods.

Acknowledgments: The authors would like to acknowledge the financial support extended by the Agriculture Organization of Fars province and Agricultural Engineering Research Institute.

Keywords: Tillage methods, soil bulk density, soil moisture content, soil organic carbon, sesame, soil water infiltration rate

References:

Erenstein, O., and Laxmi, V. 2008. Zero tillage impacts in India's rice–wheat systems: A

review. *Soil & Tillage Research*, 100: 1–14.

Madejón, E., Murillo, J. M., Moreno, F., López, M. V., Arrue, J. L., Alvaro-Fuentes, J., and

Cantero, C. 2009. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil & Tillage Research,* 105 (1): 55-62.

Uzun, B., Yol, E., Furat, Ş., Topak, M., Anak, M., and Karayel, D. 2012. The effects of

different tillage methods on the post-wheat second crop sesame: seed yield, energy budget, and economic return. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36: 399-407.