

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^۱، علی داد کرمی^۲ و محمدجواد روستا^۳

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. استادیار 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 - پیاپی 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 داراب ۲) به مدت چهار سال، ۳) کشت مستقیم گندم در سال های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم کنجد به مدت چهار سال، ۴) کشت مستقیم کنجد در سال های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم گندم به مدت چهار سال و ۵) خاکورزی مرسوم (شخم با گاواهن برگرداندار، دوبار دیسک و لولر و کاشت با خطی کار). نتایج نشان داد که روش های 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 خاکورزی قرار نگرفت، اما نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک تحت تأثیر تیمارهای خاکورزی حفاظتی کاهش یافت (حداکثر ۳۳ درصد). همچنین، روش های خاکورزی حفاظتی به ویژه کم خاکورزی انتشار دی اکسید کربن از خاک را نسبت به خاکورزی مرسوم کاهش دادند (حداکثر ۱۹ درصد). ضمناً روش های خاکورزی حفاظتی در مقایسه با خاکورزی مرسوم، باعث کاهش معنی دار عملکرد کنجد (حداکثر عملکرد کنجد در روش حفاظتی ۲۰۱۱ کیلوگرم در هکتار و در روش مرسوم ۲۰۴۵ کیلوگرم در هکتار) نشدند. بنابراین در مناطق گرم استان فارس، روش های خاکورزی حفاظتی می توانند جایگزین خاکورزی مرسوم در تهیه زمین کنجد گردند.

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

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

مقدمه

فارس نشان داد که خرد کردن بقایا و مدفون کردن آن باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک در تناوب گندم-ذرت می شود (Behaen *et al.*, 2011). نتایج بررسی اثر خاک ورزی حفاظتی بر فرسایش خاک در ایتالیا نیز نشان داد که خاک ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک ورزی مرسوم فرسایش خاک را به طور معنی داری کاهش داد (Freebairn *et al.*, 1986). استفاده از بی خاک ورزی باعث افزایش هدایت آبی (هیدرولیکی) و ضریب جذب آب در خاک می شود که دلیل آن می تواند افزایش فعالیت موجودات زنده از قبیل کرم های خاکی در خاک باشد (McGarry *et al.*, 2002). تخلخل خاک نیز تحت تأثیر استفاده از خاک ورزی حفاظتی قرار می گیرد، به طوری که روش بی خاک ورزی در مقایسه با خاک ورزی مرسوم مقدار خلل و فرج خاک را افزایش می دهد (Botta *et al.*, 2009). همچنین نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از خاک ورزی حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک باعث افزایش ماده آلی خاک می شود (Madejon *et al.*, 2009; Garcia-). نفوذ آب در خاک نیز تحت تأثیر روش خاک ورزی قرار می گیرد، به طوری که نتایج بررسی اثر روش های خاک ورزی 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 کم خاک ورزی حاصل گردیده است (Dehghanian & Afzalnia, 2011). واکنش عملکرد محصول به روش های

روش های خاک ورزی حفاظتی به دلیل مزایای فراوانی که در مقایسه با خاک ورزی مرسوم دارند، در حال گسترش در جهان هستند. این روش ها، خصوصیات خاک و محصول را تحت تأثیر قرار می دهند و بر محیط زیست نیز مؤثرند، اما نحوه تأثیر آن ها تابع نوع خاک، شرایط اقلیمی و نوع محصول می باشد. بنابراین، برای استفاده علمی و دقیق از این روش های خاک ورزی، بررسی نتایج تحقیقات گذشته در این زمینه و همچنین انجام تحقیقات منطقه ای و محصولی در کشور ضرورت دارد. روش های خاک ورزی و به خصوص خاک ورزی حفاظتی رطوبت خاک را به شدت تحت تأثیر قرار می دهند. نتایج تحقیقات انجام شده در رومانی نشان می دهد که در عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک، کم خاک ورزی نسبت به خاک ورزی مرسوم باعث افزایش رطوبت خاک می شود (Rusu, 2005). مقایسه روش بی خاک ورزی و خاک ورزی مرسوم در ایتالیا نشان داد که روش بی خاک ورزی در مقایسه با خاک ورزی مرسوم موجب کاهش تبخیر از سطح خاک شد (De Vita *et al.*, 2007). از سوی دیگر، نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از خاک ورزی حفاظتی در کشت گندم پس از برداشت برنج، باعث صرفه جویی در مصرف آب می شود (Erenstein & Laxmi, 2008). روش های خاک ورزی و به ویژه خاک ورزی حفاظتی علاوه بر رطوبت خاک، خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک را نیز تحت تأثیر قرار می دهند. نتایج تحقیقات در استان

مقایسه اثر روش های مختلف خاک ورزی بر عملکرد کنجد در آنتالیای ترکیه نیز نشان داد که کم خاک ورزی عملکرد کنجد را در مقایسه با خاک ورزی مرسوم و بی خاک ورزی افزایش می دهد و به عنوان روش مناسب خاک ورزی کنجد قابل توصیه می باشد (Uzun et al., 2012). بر اساس نتایجی که از تحقیقات در مناطق مختلف و محصولات گوناگون به دست آمده است، ضرورت انجام تحقیق در مورد روش های خاک ورزی حفاظتی در شرایط اقلیمی و محصولات مختلف احساس می شود. بنابراین، این تحقیق با هدف مقایسه روش های خاک ورزی حفاظتی با خاک ورزی مرسوم از نظر خصوصیات خاک و عملکرد کنجد در تناوب گندم-کنجد در منطقه گرم استان فارس (شهرستان داراب) انجام شد.

مواد و روش ها

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 ۱۳۹۲) انجام شد. به منظور تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع تحقیق دو نمونه مرکب از مزرعه محل آزمایش تهیه و صفات مورد نظر اندازه گیری شدند (جدول ۱).

خاک ورزی حفاظتی بر اساس نوع محصول، شرایط آب و هوایی و نوع خاک منطقه متفاوت می باشد. نتایج بررسی اثر روش های خاک ورزی بر عملکرد و اجزاء عملکرد کنجد در جیرفت نشان داد که روش خاک ورزی اثر معنی داری بر عملکرد و وزن هزاردانه کنجد داشت، به طوری که خاک ورزی مرسوم منطقه دارای کمترین عملکرد و کم خاک ورزی همراه با سوزاندن بقایا دارای بیشترین عملکرد کنجد بود (Momeni et al., 2012). نتایج ارزیابی یک نوع کارنده جدید بذر کنجد در روش های مختلف خاک ورزی نشان داد که یکنواختی توزیع بذر و درصد سبز شدن بذر در این کارنده، در روش بی خاک ورزی کمتر از روش های کم خاک ورزی و خاک ورزی مرسوم بود (Topakci et al., 2011). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که روش خاک ورزی و مقدار بقایا اثر معنی داری بر عملکرد کنجد داشتند، به گونه ای که عملکرد کنجد در خاک ورزی مرسوم کمتر از روش های حفاظتی بود و وجود بقایا نیز بر عملکرد کنجد تأثیر منفی می گذاشت (Saffar and Kouchaki, 2002). نتایج بررسی اثر روش های 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،

جدول ۱- ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام تحقیق

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

عمق	شن	رس	سیلت	نیترژن	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	اسیدیته	هدایت الکتریکی	جرم مخصوص	بافت خاک
Depth (cm)	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	Organic carbon (%)	Acidity pH	Electrical conductivity (dS/m)	ظاهری خاک Soil bulk density (g/cm ³)	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

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 باقی مانده پس از برداشت) در کرت‌ها حفظ شد. ابعاد کرت‌های آزمایش 6×30 متر بود و گندم رقم چمران به مقدار 180 کیلوگرم در هکتار در نیمه دوم آبان و کنجد رقم داراب 2 به مقدار 15 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 داده شد 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، شاخص‌هایی مانند درصد رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، نفوذپذیری خاک به روش استوانه دوگانه، درصد کربن آلی خاک، انتشار دی اکسید کربن از خاک و عملکرد کنجد اندازه‌گیری شدند.

روش اندازه‌گیری پارامترها

رطوبت خاک در هر سال با استفاده از دستگاه TDR در عمق $0-20$ سانتی‌متری خاک و قبل از پوشش کامل سطح مزرعه توسط گیاه و پیش از آبیاری اندازه‌گیری شد. در هر کرت رطوبت سه نقطه اندازه‌گیری شد و میانگین آنها به عنوان رطوبت آن کرت در نظر گرفته شد (60 نمونه در هر سال). با توجه به این که عدد قرائت شده

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 و کشت 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 و کشت 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 خطی کار استفاده گردید. در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاواهن برگردان‌دار و دیسک انجام شد و گندم و کنجد با استفاده از خطی کار 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

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

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

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 برده شد 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 برده شد. 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 هر ۲۰ 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

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 استوانه های نمونه گیری از اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متری هر کرت (از هر کرت یک نمونه و در مجموع ۲۰ نمونه در سال)، نمونه برداری شد. نمونه های دست نخورده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در آون خشک شدند و با استفاده از رابطه ۱ جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید:

$$\text{معادله (۱)} \\ BD = \frac{W_d}{V}$$

که در آن BD جرم مخصوص ظاهری خاک (g.cm^{-3})، W_d جرم خاک خشک (g) و V حجم کل خاک (cm^3) می باشد. برای اندازه گیری نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک از روش استوانه دو گانه در زمان برداشت محصول

برداشته شدند و بلافاصله درپوش شیشه‌ها روی آن‌ها قرار داده شد. شیشه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و میزان دی اکسید کربن جذب شده به وسیله 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 کنگد، از قسمت‌های مختلف کرت به صورت تصادفی و با حذف حاشیه‌ها، 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

سانتی‌متری خاک در هر کرت نمونه‌ی مرکب برداشته شد و سپس نمونه‌ها خشک شدند (یک نمونه در هر کرت و در مجموع ۲۰ نمونه). نمونه‌ها پس از غربال با الک ۲ میلی‌متری، به آزمایشگاه منتقل شدند و درصد کربن آلی آن‌ها به عنوان شاخصی از ماده‌ی 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 ظرف‌ها پس از بسته شدن درپوش هایشان به مزرعه منتقل شدند. در مزرعه، درپوش شیشه‌ها باز شد، شیشه‌ها روی سه پایه فلزی قرار داده شدند و بلافاصله استوانه 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

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
ضرب تغییرات		9.3	6.0	2.2	2.7

Coefficient of variation

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

تحقیق، تیمارهای حاوی کشت مستقیم در مقایسه با خاک ورزی 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 می توان نتیجه گرفت که مقدار حفظ رطوبت در خاک رابطه مستقیمی با میزان حفظ بقایا در سطح خاک دارد و چون از بی خاک ورزی تا خاک ورزی مرسوم، مقدار بقایای باقی مانده در سطح خاک کاهش می یابد، لذا میزان حفظ رطوبت نیز کاهش پیدا می کند. البته باید توجه داشت که تأثیر خاک ورزی حفاظتی بر حفظ رطوبت خاک تابع فصل کشت و زمان اندازه گیری رطوبت در طول فصل رشد گیاه می باشد، به طوری که در فصل گرم (کشت صیفی) تفاوت بین خاک ورزی حفاظتی به ویژه کشت مستقیم با خاک ورزی مرسوم از نظر حفظ رطوبت محسوس تر است و نقش وجود بقایا در فصل گرم اهمیت بیش تری پیدا می کند. همچنین در فصل گرم نیز تأثیر خاک ورزی 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 خاک ورزی 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 می یابد.

رطوبت در خاک در تمام سال های انجام تحقیق معنی دار بود (جدول ۳). دلیل معنی دار بودن اختلاف بین تیمارهای خاک ورزی از نظر حفظ رطوبت در خاک، حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک در تیمارهای خاک ورزی حفاظتی و به خصوص در تیمار بی خاک ورزی می باشد. اصولاً یکی از مزایای استفاده از خاک ورزی حفاظتی، حفظ رطوبت خاک و کاهش مصرف آب می باشد. تأثیر معنی دار روش های خاک ورزی حفاظتی بر رطوبت خاک در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است (Erenstein & Vita *et al.*, 2007; Rusu, 2005; Laxmi, 2008).

نتایج مقایسه میانگین رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک ورزی نشان داد که بین تیمارهای خاک ورزی از نظر حفظ رطوبت خاک اختلاف معنی داری وجود دارد، به طوری که بیش ترین مقدار حفظ رطوبت در تمام سال ها مربوط به تیمار کشت مستقیم بود و اختلاف این تیمار با تیمار خاک ورزی مرسوم معنی دار بود (جدول ۴). در تمام سال های انجام تحقیق غیر از سال دوم و چهارم، کم ترین مقدار رطوبت خاک متعلق به تیمار خاک ورزی مرسوم بود. در سال دوم نیز بیش ترین مقدار رطوبت خاک در تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنگد در سال سوم اتفاق افتاد، ولی رطوبت خاک در تیمار خاک ورزی مرسوم اختلاف معنی داری با بیش ترین رطوبت خاک در این سال نداشت. در این سال کم ترین مقدار رطوبت خاک مربوط به تیمار کم خاک ورزی بود. به طور کلی در سال های مختلف انجام

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 سانتی متری خاک، اثر معنی داری بر جرم مخصوص ظاهری خاک نداشته است (جدول ۵). همچنین نتایج مربوط به داده های قبل از شروع آزمایش (قبل از اعمال تیمارها) نیز نشان داد که اختلاف معنی داری بین تیمارهای خاک ورزی از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک وجود نداشت که نشان دهنده یکنواختی کرت های انتخاب شده از نظر فشردگی خاک است. علیرغم متفاوت بودن میزان به هم خوردگی خاک و نحوه مدیریت بقایای گیاهی محصول قبل در روش های 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 روش های خاک ورزی حفاظتی است.

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 دار بین این تیمارها قابل پیش بینی بود. همچنین مقایسه میانگین دوره چهار ساله رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک ورزی نشان داد که بیشترین مقدار رطوبت خاک مربوط به تیمارهای حاوی کشت مستقیم (تیمارهای T_2 ، T_3 و T_4) بود و خاک ورزی مرسوم کمترین میانگین رطوبت را به خود اختصاص داد (جدول ۴). به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که روش های خاک ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک ورزی مرسوم، باعث افزایش حفظ رطوبت در خاک می شوند که این نتایج با یافته های حاصل از تحقیقات گذشته همخوانی دارد (Freebairn *et al.*, 1986; Liu *et al.*, 2005; Afzalnia *et al.*, 2011).

جدول ۴-مقایسه میانگین رطوبت خاک (درصد) در روش های مختلف خاک ورزی

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 میانگین ها 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 داده های جرم مخصوص ظاهری خاک

Table 5. Variance analysis for soil bulk density

منابع تغییر Sources of freedom variation	درجه آزادی Degree of freedom	قبل از شروع		سال اول		سال دوم		سال سوم		سال چهارم	
		Prior to the experiment		First year		Second year		Third year		Forth year	
		عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق
		Depth (cm)	Depth (cm)	Depth (cm)	Depth (cm)	Depth (cm)	Depth (cm)	Depth (cm)	Depth (cm)	Depth (cm)	Depth (cm)
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	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 معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ می باشند.

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

جرم مخصوص را به خود اختصاص داده یا جرم مخصوص آن نزدیک به حداقل جرم مخصوص اندازه گیری شده، بوده است (به ویژه در عمق ۰-۱۰ سانتی متری خاک) که نشان می دهد این روش از مزایای هر دو روش بی خاک ورزی (حفظ بقایا) و خاک ورزی مرسوم (دستکاری کردن خاک) برخوردار است. البته باید توجه داشت که این نتایج مربوط به اندازه گیری 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 خاک ورزی حفاظتی و به ویژه کشت مستقیم به مراتب بیش تر از جرم مخصوص ظاهری خاک در خاک ورزی مرسوم است (Afzaliniya & 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

مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مختلف خاک ورزی نشان داد که تیمارهای خاک ورزی از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک در سال های مختلف، رفتارهای متفاوتی داشته اند ولی به طور کلی، روش های خاک ورزی حفاظتی باعث افزایش معنی دار جرم مخصوص ظاهری خاک و در نتیجه افزایش فشردگی خاک نشده اند (جدول ۶). نکته قابل توجه این که در اکثر سال های انجام تحقیق، جرم مخصوص ظاهری تیمار خاک ورزی مرسوم کم ترین مقدار نبوده است که نشان می دهد به هم خوردگی زیاد خاک در این روش خاک ورزی و پودر شدن بیش از حد آن، باعث می شود که رس خاک در اثر آبیاری های پیاپی به صورت متراکم درآمده و در انتهای فصل رشد، جرم مخصوص آن به حد جرم مخصوص ظاهری تیمارهای خاک ورزی حفاظتی برسد (Afzaliniya & Zabihi, 2014). تیمار کم خاک ورزی در اکثر سال ها کم ترین

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 معنی داری 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 معنی دار روش های خاک ورزی نبوده است (جدول ۷). با توجه به متفاوت بودن میزان به هم خوردگی خاک در روش های مختلف خاک ورزی، متفاوت بودن میزان نفوذ پذیری خاک در برابر آب قابل توجه می باشد. از طرف دیگر، تغییرات در خصوصیات فیزیکی خاک در اثر روش های خاک ورزی معمولاً تدریجی و زمان بر است، بنابراین معنی دار نشدن اثر روش های خاک ورزی بر نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در سال چهارم، احتمالاً به دلیل سازگاری خاک با روش های خاک ورزی حفاظتی در اثر افزایش ماده آلی و بهبود خصوصیات خاک بوده است.

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

نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک

جدول ۶- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) در روش های مختلف خاک ورزی

Table 6. Mean comparison for soil bulk density (g/cm^3) 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	
	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	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 میانگین ها 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 داده های 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 Fourth 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)		
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 معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ و اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ می باشند.

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

در این تیمار در مقایسه با بقیه تیمارها بیشتر باشد، اما در تیمارهای کم خاک و رزی و کشت مستقیم نیز مقدار این پارامترها با گذشت زمان و سازگاری خاک با روش های خاک و رزی حفاظتی به مقدار آنها در خاک و رزی مرسوم نزدیک شده است. مقایسه میانگین چهار ساله نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای مختلف خاک و رزی نیز نشان داد که تیمار خاک و رزی مرسوم بیشترین مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک را داشت و با تیمارهای خاک و رزی حفاظتی اختلاف معنی دار داشت. دستکاری بیش تر خاک در تیمار خاک و رزی مرسوم باعث شده است تا مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در این تیمار بیش تر از مقدار آنها در تیمارهای خاک و رزی حفاظتی گردد.

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف خاک و رزی از نظر نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک نشان داد که نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در تیمار خاک و رزی مرسوم در تمام سال های انجام پژوهش بیش ترین مقدار بوده است یا با بیش ترین مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک اختلاف معنی دار نداشته است که علت آن به هم خوردگی بیشتر خاک در این تیمار می باشد (جدول ۸). در سال چهارم انجام پژوهش، نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای کم خاک و رزی و کشت مستقیم اختلاف معنی داری با مقدار این پارامترها در تیمار خاک و رزی مرسوم نداشت که دلیل آن می تواند 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 خاک و رزی مرسوم باعث می شود که میزان نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک

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

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 T₃ و T₄ (تیمارهای کشت مستقیم) دارای بیشترین مقدار کربن آلی خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی متری خاک بودند و تیمارهای T₁ و T₅ (تیمارهای کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم) کمترین مقدار کربن آلی خاک را به خود اختصاص دادند (جدول ۱۰). در انتهای سال اول، اختلاف معنی داری بین تیمارها از نظر کربن آلی خاک در عمق ۰-۱۰-۲۰ سانتی متری وجود نداشت و همه میانگین‌ها در یک گروه آماری قرار گرفتند. 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 سانتی متری خاک با میانگین ۱/۱۹ درصد از اعمال روش کشت مستقیم گندم و کنگد به دست آمد و کمترین مقدار کربن

نتایج تجزیه واریانس مقدار کربن آلی خاک در انتهای سال اول و چهارم انجام تحقیق نشان داد که از لحاظ آماری اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر مقدار کربن آلی در سال اول فقط در عمق ۰-۱۰ (در سطح پنج درصد) و در سال دوم در هر دو عمق ۰-۱۰ (در سطح یک درصد) و ۱۰-۲۰ سانتی متری (در سطح پنج درصد) خاک معنی دار بود (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 معنی دار بودن اثر خاک‌ورزی بر کربن آلی خاک در این پژوهش قابل توجیه است. ضمن این که نحوه تأثیر روش خاک‌ورزی بر کربن آلی خاک در انتهای سال اول (در عمق ۰-۱۰ سانتی متری و در سطح پنج درصد) و سال چهارم (در هر دو عمق و در سطح یک درصد در عمق ۰-۱۰ سانتی متری خاک) نشان می‌دهد که با

جدول ۹- تجزیه واریانس داده های میزان کربن آلی خاک در روشهای مختلف خاک ورزی

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)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)
		0-10	10-20	0-10	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 معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ و اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ می باشند. ns, *, and ** represent non-significance, significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

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 دهد. نتایج مقایسه میانگین کربن آلی در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری خاک در انتهای سال چهارم نشان داد که تمام تیمارهای خاک ورزی حفاظتی در یک گروه آماری قرار گرفته اند و اختلاف معنی داری با هم ندارند، در حالی که تیمار خاک ورزی مرسوم با کمترین مقدار کربن آلی خاک، در گروه جداگانه ای 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 سانتی متری خاک، تیمار کشت مستقیم گندم و کنجد کربن آلی خاک را نسبت به تیمار خاک ورزی مرسوم به میزان ۶۸٪ افزایش داد که این افزایش در مقایسه با افزایش در لایه ۰-۱۰ سانتی متری خاک کم تر است. چون تیمارهای خاک ورزی حفاظتی

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 سانتی متری خاک را در انتهای سال چهارم نسبت به روش خاک ورزی مرسوم به میزان ۱۳۸ درصد افزایش داد. مقدار کربن آلی حاصل از تیمارهای T₃ (کشت مستقیم گندم در سال های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم کنجد در تمام مدت انجام پژوهش) و T₄ (کشت مستقیم کنجد در سال های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم گندم در تمام مدت انجام پژوهش)، کم تر از مقدار حاصل از تیمار کشت مستقیم گندم و کنجد بود که نشان دهنده تأثیر منفی قطع روند کشت مستقیم با خاک ورزی مرسوم (تناوب خاک ورزی) بر مقدار کربن آلی خاک است. همچنین در عمق ۰-۱۰ سانتی متری خاک، مقدار کربن آلی به دست آمده از کم خاک ورزی نیز بیش تر از مقدار به دست آمده آن از خاک ورزی مرسوم

در این تیمار می باشد. نتایج تحقیقات گذشته نیز نشان می دهد که خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی و بی خاک ورزی) در مقایسه با خاک ورزی مرسوم باعث افزایش مواد آلی در لایه های سطحی خاک می شود (Madejon *et al.*, 2009).

انتشار دی اکسید کربن از خاک

نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به مقدار دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک در سیستم های مختلف خاک ورزی نشان داد که روش خاک ورزی اثر معنی داری بر مقدار دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک داشته است (جدول ۱). با توجه به این که روش های خاک ورزی حفاظتی باعث افزایش معنی دار کربن آلی خاک شده اند (جدول ۱۰) و همچنین متفاوت بودن به هم خوردگی خاک در تیمارهای مختلف، تأثیر معنی دار روش خاک ورزی بر مقدار دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک قابل توجه می باشد.

بقایای گیاهی را بیشتر در لایه سطحی خاک حفظ می کنند، بنابراین طبیعی است که کربن آلی لایه سطحی خاک بیش تر تحت تأثیر روش خاک ورزی قرار گیرد و روش خاک ورزی اثر کمتری بر کربن آلی لایه ۱۰-۲۰ سانتی متری خاک داشته باشد. بنابراین نتایج این پژوهش نشان داد که روش های خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی و بی خاک ورزی) بیشترین تأثیر 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 خاک ورزی 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 خاک ورزی 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

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

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)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)	عمق Depth (cm)
T ₁	0-10 0.41 ^b	10-20 0.38 ^a	0-10 0.87 ^b	10-20 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 میانگین ها 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 داده های دی اکسید کربن منتشر شده از تیمارهای مختلف خاک و رزی

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

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

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

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

شده است. 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 پررنگ تری هم داشته باشد. در کم خاک و رزی، خاک فقط شکسته می شود و بدون برگردان شدن، سر جای اولیه خود قرار می گیرد، در حالی که در خاک و رزی مرسوم ضمن این که 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 و رزی اثر چندانی بر اکسید شدن کربن آلی خاک ندارد. ضمن این که در کرت های خاک و رزی مرسوم نیز همان مقدار بقایای گیاهی وجود داشته که در بی خاک و رزی موجود بوده است، با این تفاوت که در خاک و رزی مرسوم این بقایا با خاک مخلوط می شوند و در بی خاک و رزی در سطح خاک می مانند. لذا، دلیل کمتر بودن انتشار دی اکسید کربن در کم خاک و رزی، بقایای کمتر (در سطح خاک) نسبت به بی خاک و رزی و ناچیز بودن نقش به هم خوردگی خاک در این

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای خاک و رزی از نظر مقدار دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک نشان داد که کم ترین مقدار دی اکسید کربن منتشر شده از خاک متعلق به تیمار کم خاک و رزی بود و این تیمار از نظر دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک، با بقیه تیمارها اختلاف معنی دار داشت (جدول ۱۲). تیمار کم خاک و رزی مرسوم بیشترین مقدار دی اکسید کربن منتشر شده از خاک را به خود اختصاص داد و بعد از این تیمار، تیمارهای حاوی کشت مستقیم قرار گرفتند. تیمارهای حاوی کشت مستقیم از نظر مقدار دی اکسید کربن منتشر شده از خاک با تیمار کم خاک و رزی مرسوم اختلاف معنی دار 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 گردیده است. همچنین در تیمار کم خاک و رزی مرسوم نیز به هم خوردگی زیاد خاک باعث افزایش دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک

جدول ۱۲- مقایسه میانگین مقدار دی اکسید کربن منتشر شده از تیمارهای مختلف خاک و ریزی

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

تیمار Treatment	دی اکسید کربن 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.

نشان داد که عملکرد کنگد در سال دوم و چهارم انجام تحقیق تحت تأثیر معنی دار (سطح احتمال ۰۰۵) روش‌های خاک و ریزی قرار گرفته است و در بقیه سال‌ها، اختلاف بین تیمارها از نظر آماری معنی دار نبوده است (جدول ۱۳). با توجه به این که در استفاده از خاک و ریزی حفاظتی توقع افزایش عملکرد محصول به خصوص در کوتاه مدت مدنظر نیست و چنانچه عملکرد محصول در سطح خاک و ریزی مرسوم حفظ شود کافی است، بنابراین عدم اختلاف معنی دار بین تیمارهای خاک و ریزی حفاظتی و مرسوم از نظر عملکرد کنگد در برخی سال‌ها، نتیجه مثبتی تلقی می شود.

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

عملکرد کنگد

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد کنگد در تیمارهای مختلف خاک و ریزی

جدول ۱۳- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد کنگد

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 معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ می باشند.

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

respectively.

نداشت. در این سال نیز تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنجد در سال سوم (T₄) که در اکثر سال ها (غیر از سال سوم انجام تحقیق که تیمار خاک ورزی مرسوم محسوب می شود) کم ترین عملکرد را به خود اختصاص داده بود، کم ترین عملکرد کنجد را داشت. در سال سوم، در تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنجد در سال سوم (T₄)، کنجد به صورت مرسوم کشت شده بود (با خاک ورزی مرسوم) و به همین دلیل دارای عملکرد بالایی بود. در اکثر سال های انجام تحقیق، برخی تیمارهای کشت مستقیم عملکردی نزدیک به عملکرد تیمار خاک ورزی مرسوم و حتی در برخی موارد بیش تر از عملکرد این تیمار داشته است که نشان دهنده امکان جایگزینی روش های خاک ورزی حفاظتی به جای خاک ورزی مرسوم در محصول کنجد در مناطق گرم استان فارس می باشد. همچنین مقایسه میانگین چهار ساله عملکرد کنجد در تیمارهای مختلف خاک ورزی نشان داد که اختلاف معنی داری بین تیمارها وجود نداشت و همه تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج برخی از

نتایج مقایسه میانگین عملکرد کنجد در تیمارهای مختلف خاک ورزی نشان داد که در سال های اول و سوم تمام میانگین ها در یک کلاس آماری قرار گرفته اند و اختلاف معنی داری با هم نداشته اند (جدول ۱۴). در این سال ها، تیمارهای خاک ورزی حفاظتی عملکردی نزدیک به عملکرد خاک ورزی مرسوم و بعضی مواقع بیش تر داشته اند که نشان دهنده سازگاری مناسب کنجد با روش های خاک ورزی حفاظتی می باشد. در سال های دوم و چهارم، اختلاف معنی داری بین تیمارهای خاک ورزی از نظر عملکرد کنجد مشاهده شد، به گونه ای که در سال دوم، تیمار کم خاک ورزی بیش ترین عملکرد را به خود اختصاص داد که اختلاف این تیمار فقط با عملکرد تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم کنجد در سال سوم (T₄) که کم ترین عملکرد را داشت، معنی دار بود. در سال چهارم هر چند تیمار خاک ورزی مرسوم بیش ترین عملکرد کنجد را به خود اختصاص داد، اما عملکرد این تیمار با عملکرد تیمارهای کم خاک ورزی و کشت مستقیم گندم و کنجد در تمام مدت انجام تحقیق، اختلاف معنی دار

جدول ۱۴- مقایسه میانگین عملکرد کنجد در تیمارهای مختلف خاک ورزی

Table 14. Mean comparison for sesame yield as affected 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 میانگین ها 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.

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.

تحقیقات گذشته بیانگر افزایش عملکرد کنگد 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 می‌شوند که می‌تواند 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 خاک‌ورزی 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 می‌رسد 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 کنگد در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در اکثر سال‌های انجام تحقیق و نزدیک بودن عملکرد کنگد در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم، نشان داد که با در نظر گرفتن سایر مزایای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، این روش‌ها می‌توانند جایگزین خاک‌ورزی مرسوم در تهیه زمین کنگد در مناطق گرم استان فارس گردند.

References

- Afzalnia, S., and Zabihi, J. 2014. Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, 137: 1-6.
- Afzalnia, S., Behaen, 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. Keeney, D. R. (eds.), *American Society of Agronomy*, Madison, PP. 831-871.
- Behaen, M. A., Afzalnia, 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 Afzalnia, 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.
- Garcia-Orenes, F., Cerda, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, 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 Afzalnia, 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 managements 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. 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.