

اثر خاک ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد ذرت در تناوب با گندم

صادق افضلی نیا^{۱*}، علی داد کرمی^۲

۱. دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز

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

آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۸/۹)

چکیده

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از (۱) کم‌خاک‌ورزی، (۲) کشت مستقیم گندم و ذرت به مدت چهار سال، (۳) کشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم ذرت به مدت چهار سال، (۴) کشت مستقیم ذرت در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم گندم به مدت چهار سال و (۵) خاک‌ورزی مرسوم. نتایج نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش ذخیره رطوبت در خاک شدند (حداکثر ۲۵٪)، اما ماده آلی را افزایش ندادند. تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی در اکثر سال‌های انجام تحقیق باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک (حداکثر ۱۳٪) و کاهش نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک (حداکثر ۲۵٪) شدند. عملکرد ذرت در اکثر سال‌های انجام تحقیق تحت تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی قرار نگرفت.

واژه‌های کلیدی: کشت مستقیم، کم‌خاک‌ورزی، کربن آلی خاک

مقدمه

فرسایش بادی و آبی، تخریب ساختمان خاک، کاهش ماده آلی خاک، مصرف آب زیاد، مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی، عدم کشت به موقع محصول و در نهایت افزایش هزینه‌های تولید، از معایب خاک‌ورزی مرسوم و از بین بردن بقایای گیاهی محسوب می‌شوند. بنابراین، با توجه به شرایط آب و هوایی خاص کشورمان، باید به دنبال روش‌های جایگزین از جمله روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بود. برای استفاده علمی و دقیق از روش‌های خاک‌ورزی جدید نیز، بررسی نتایج تحقیقات گذشته در این زمینه و همچنین انجام تحقیقات منطقه‌ای و محصولی در کشور ضرورت دارد. رطوبت خاک از جمله فاکتورهایی است که به شدت تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و به خصوص خاک‌ورزی حفاظتی قرار می‌گیرد. نتایج تحقیقات انجام شده در رومانی نیز بیانگر افزایش حفظ رطوبت خاک در روش کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک است (Rusu, 2005). همچنین نتایج مقایسه روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در ایتالیا نشان دهنده کاهش

تبخیر از سطح خاک در روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (De Vita et al., 2007). همچنین یکی از مزایای استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در کشت گندم پس از برداشت برنج صرفه‌جویی در مصرف آب ذکر شده است (Erenstein & Laxmi, 2008).

روش‌های خاک‌ورزی اثر قابل توجهی بر مصرف انرژی و سوخت در مرحله تهیه زمین و کاشت محصول دارند. نتایج تحقیقی در رومانی نشان داد که در محصولات ذرت، سویا و گندم روش کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم مصرف سوخت را ۱۲/۴ تا ۲۵/۳ لیتر در هکتار و توان مورد نیاز را ۲۳/۶ تا ۴۲/۸ درصد کاهش می‌دهد (Rusu, 2005). همچنین نتایج تحقیقات انجام شده در استان فارس صرفه‌جویی ۷۷ درصدی در مصرف سوخت و ۸۴ درصدی در زمان مورد نیاز جهت تهیه زمین و کاشت محصول را در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نشان می‌دهد (Afzalinia et al., 2009). روش‌های خاک‌ورزی و به‌ویژه خاک‌ورزی حفاظتی خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. بررسی اثر مدیریت بقایای گیاهی بر خصوصیات خاک در تناوب گندم-ذرت در استان فارس نشان داد که خرد کردن بقایا و مدفون کردن آن باعث کاهش جرم مخصوص

نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار تا عمق ۳۰ سانتی‌متر دیسک) است (De Vita et al., 2007). همچنین نتایج بررسی دیگری در ایتالیا نشان می‌دهد که عملکرد گندم در روش خاک‌ورزی حفاظتی ۱۲ درصد بیش‌تر از روش خاک‌ورزی مرسوم (شخم بدون بقایا) است (Freebairn et al., 1986). در شرایط کشت آبی، معمولاً عملکرد محصول در خاک‌ورزی حفاظتی کم‌تر یا برابر با عملکرد محصول در خاک‌ورزی مرسوم است. نتایج تحقیقات انجام شده در استان فارس کاهش عملکرد پنبه را در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر) نشان می‌دهد (Afzalnia et al., 2011). بر اساس نتایج مختلفی 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 ذرت در تناوب گندم-ذرت در منطقه معتدل استان فارس انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در اراضی زراعی شهرستان مرودشت با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه به مدت چهار سال اجرا شد. به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع تحقیق دو نمونه مرکب از مزرعه محل آزمایش تهیه و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام تحقیق

عمق (cm)	EC (dS/m)	pH	O.C (درصد)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
۱۰-۰	۱/۱	۸/۱	۰/۸۵	۹/۵	۳۱۱	۴۲	۴۴	۱۴	رسی
۲۰-۱۰	۰/۹۵	۸/۱	۰/۷۹	۸/۸	۲۶۷	۴۱	۴۴	۱۵	رسی

وکشت مستقیم ذرت به مدت چهار سال (T₃)، (۴) کشت مستقیم ذرت در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر) آن در سال سوم و کشت مستقیم گندم به مدت چهار سال (T₄) و (۵) خاک‌ورزی مرسوم (T₅). مزرعه آزمایش در شروع تحقیق به صورت آیش بود، بنابراین در شروع آزمایش بقایای اندکی (بیش‌تر بقایای علف‌های هرز) در مزرعه وجود داشت. در روش کشت مستقیم

ظاهری و شاخص مخروطی خاک می‌شود (Behaen et al., 2011). نتایج بررسی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک در ایتالیا نیز نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم فرسایش خاک را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (Freebairn et al., 1986). استفاده از روش بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش فعالیت موجودات زنده در خاک از قبیل کرم‌های خاکی می‌گردد که این امر موجب افزایش هدایت آبی (هیدرولیکی) و ضریب جذب آب در خاک می‌شود (McGarry et al., 2002). استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی خلل و فرج خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد به طوری که مقدار خلل و فرج خاک در سامانه بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم بیش‌تر است (Botta et al., 2009). همچنین نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک باعث افزایش ماده آلی خاک می‌شود (Madejon et al., 2009; Garcia, 2009). نتایج بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و آبیاری بر نفوذ آب در خاک در استان فارس نشاد داد که بیش‌ترین نفوذ تجمعی آب در خاک از ترکیب تیمار آبیاری بارانی و کم‌خاک‌ورزی حاصل می‌گردد (Afzalnia & Dehghanian, 2011).

واکنش عملکرد محصول به روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی تابع نوع محصول، شرایط آب و هوایی منطقه و سامانه کشت (دیم یا آبی) می‌باشد. در شرایط دیم که رطوبت عامل محدود کننده عملکرد محصول است، معمولاً خاک‌ورزی حفاظتی افزایش عملکرد محصول را به دنبال دارد. نتایج مقایسه روش بی‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی مرسوم در شرایط دیم در ایتالیا بیانگر افزایش عملکرد گندم (بیش از ۵۰٪) در روش بی‌خاک‌ورزی

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار اجرا شد و روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در تناوب گندم-ذرت با هم مقایسه شدند. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از (۱) کم‌خاک‌ورزی (T₁)، (۲) کشت مستقیم گندم و ذرت به مدت چهار سال (T₂)، (۳) کشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر) آن در سال سوم

روش اندازه‌گیری پارامترها

رطوبت خاک در هر سال با استفاده از دستگاه TDR در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. با توجه به این که عدد قرائت شده 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. جهت تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، قبل از شروع تحقیق و اعمال تیمارها و همچنین در پایان هر تناوب با استفاده از استوانه‌های نمونه‌گیری از اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری هر کرت نمونه‌برداری شد. نمونه‌های دست نخورده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و با استفاده از رابطه ۱ جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید:

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

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 اندازه‌گیری نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک از روش استوانه دوگانه در زمان برداشت محصول دوم (پایان تناوب) استفاده شد. به این ترتیب، ابتدا یک استوانه با قطر ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر به اندازه ۵ سانتی‌متر در خاک فرو برده شد و سپس استوانه دیگری با قطر ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر در داخل استوانه اول و به اندازه ۵ سانتی‌متر 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 سانتی‌متر مدرج شده بود، یادداشت گردید. سپس بر اساس اطلاعات ثبت شده، میزان نفوذ تجمعی آب در خاک و همچنین سرعت نفوذ آب در خاک در زمان ۱۵۰ دقیقه محاسبه شد.

برای تعیین مقدار کربن آلی خاک، در پایان اجرای آزمایش از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در هر کرت نمونه‌ای مرکب برداشته شد و سپس نمونه‌ها خشک شدند. 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). در هر کرت بوته‌های ذرت در قطعه‌ای به مساحت شش متر مربع (دو ردیف کشت به طول چهار متر) در مرحله‌ی خمیری دانه کف بر شد و

(بی‌خاک‌ورزی) قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد و با یک بار حرکت مستقیم‌کار در مزرعه عمل 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 از خطی‌کار و برای کشت ذرت از ردیف‌کار استفاده گردید. در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاواهن برگردان‌دار و دیسک انجام شد و گندم توسط خطی‌کار و ذرت توسط ردیف‌کار کشت گردید. تیمارهای سه و چهار برای بررسی اثر تناوب خاک‌ورزی یعنی قطع روند کشت مستقیم توسط خاک‌ورزی مرسوم در یک فصل زراعی در این تحقیق گنجانده شد. مشخصات ادوات استفاده شده در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. ابعاد کرت‌های آزمایش 6×30 متر بود و گندم رقم چمران به مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در نیمه دوم آبان و ذرت رقم ۷۰۴ به مقدار ۲۵ 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 که تمامی کود فسفات (حدود ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاس (حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و یک سوم کود اوره (حدود ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) 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، صفاتی مانند درصد رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، نفوذپذیری خاک به روش استوانه دوگانه، درصد کربن آلی و عملکرد محصول اندازه‌گیری شدند. همچنین با توجه به این که تغییرات در خصوصیات فیزیکی خاک در اثر روش‌های خاک‌ورزی معمولاً تدریجی و زمان‌بر است، این آزمایش به مدت چهار سال تکرار شد.

جدول ۲. مشخصات ماشین‌ها و ادوات استفاده شده در این تحقیق

نوع ادوات	مشخصات
گاواهن	برگردان‌دار، چهار خیش و دو طرفه
دیسک	کششی، دارای چهار گروه بشقاب و ۶ بشقاب در هر گروه
خاک‌ورز مرکب	خاک ورز مرکب ترامیکس، سوار شونده و عرض کار ۳ متر
ردیف‌کار کشت مستقیم	ردیف‌کار برتینی، ۵ ردیفه و با عرض کار ۳ متر
خطی‌کار کشت مستقیم	بذرکار-کودکار اسفوجیا، ۱۷ ردیفه، عرض کار ۳ متر و شیاربازکن دیسکی

حفاظتی بود (جدول ۴). در سال چهارم نیز علیرغم معنی‌دار نبودن اختلاف تیمارها، بیش‌ترین مقدار رطوبت مربوط به تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بود. حداکثر افزایش حفظ رطوبت خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در سال‌های مختلف انجام تحقیق، ۲ تا ۲۵ درصد بود، در حالی که حداکثر افزایش در میانگین چهار ساله حدود ۸ درصد بود. همچنین، در اکثر سال‌های اجرای تحقیق، خاک‌ورزی مرسوم کم‌ترین مقدار رطوبت خاک را به خود اختصاص داد. 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. همچنین مقایسه میانگین دوره چهار ساله رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک مربوط به تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بود و خاک‌ورزی مرسوم کم‌ترین میانگین رطوبت را به خود اختصاص داد (جدول ۴). به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث افزایش حفظ رطوبت در خاک می‌شوند که با نتایج حاصل از تحقیقات گذشته همخوانی دارد (Freebairn et al., 1986; Liu et al., 2005; Afzalnia et al., 2011).

جدول ۴. مقایسه میانگین رطوبت خاک (%) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی در سال‌های انجام تحقیق

سال	سال	سال	سال	سال	سامانه
چهارم	سوم	دوم	اول	اول	خاک‌ورزی
۱۵/۹ab	۱۸/۶a	۱۴/۹a	۱۶/۶bc	۱۳/۳b	T ₁
۱۵/۵bc	۱۷/۶a	۱۲/۵bc	۱۷/۱b	۱۴/۸a	T ₂
۱۶/۳a	۱۷/۹a	۱۴/۰ab	۱۸/۳a	۱۵/۱a	T ₃
۱۵/۵bc	۱۸/۰a	۱۲/۷bc	۱۷/۳ab	۱۳/۹ab	T ₄
۱۵/۱c	۱۷/۹a	۱۲/۰c	۱۵/۷c	۱۴/۸a	T ₅

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن $\alpha = 0.05$).

پس از توزین، مقدار علوفه در هکتار محاسبه شد. قابل ذکر است که آزمایش بر اساس تناوب غالب منطقه یعنی ذرت دانه‌ای-گندم طراحی شده بود، اما از شروع سال دوم مشاهده شد که به دلیل خشک‌سالی و کمبود آب، تناوب منطقه به ذرت علوفه‌ای-گندم در حال تغییر است. بنابراین در این تحقیق، ذرت در سال اول به صورت دانه‌ای و در سه سال بعدی به صورت علوفه‌ای برداشت شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها از کرت‌های مورد نظر، داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت 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 رطوبت در خاک در تمام سال‌های انجام تحقیق غیر از سال چهارم، معنی‌دار بود (جدول ۳). در سال چهارم به دلیل اندازه‌گیری رطوبت در انتهای فصل رشد محصول و پوشش کامل مزرعه توسط گیاه، اثر وجود بقایای گیاهی در حفظ رطوبت خاک کمرنگ شده و در نتیجه اختلاف تیمارها از نظر حفظ رطوبت معنی‌دار نشده است. با توجه به این‌که در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به خصوص بی‌خاک‌ورزی بقایای گیاهی در سطح خاک حفظ می‌گردد، بنابراین معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر حفظ رطوبت در خاک در اکثر سال‌های تحقیق، قابل پیش‌بینی می‌باشد.

جدول ۳. تجزیه واریانس داده‌های رطوبت خاک در سال‌های انجام تحقیق (اعداد ارائه شده در جدول مقادیر F هستند).

منابع تغییرات	سال	سال	سال	سال
	اول	دوم	سوم	چهارم
تکرار	۱۲/۶۳**	۶/۷۹**	۰/۷۷ ^{ns}	۲/۴۲ ^{ns}
تیمار (سامانه خاک‌ورزی)	۳/۴۹*	۸/۳۲**	۶/۸۱**	۱/۲۳ ^{ns}
ضریب تغییرات	۵/۵	۳/۹	۷/۰	۳/۸

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

نتایج مقایسه میانگین رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر حفظ رطوبت خاک در تمام سال‌ها غیر از سال چهارم وجود داشت، به طوری که بیش‌ترین مقدار حفظ رطوبت در تمام سال‌ها، مربوط به یکی از تیمارهای خاک‌ورزی

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 بود. با توجه به این- که میزان به هم خوردگی خاک و نحوه مدیریت بقایای گیاهی محصول قبل در روش‌های مختلف خاک‌ورزی متفاوت می‌باشد، بنابراین تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک قابل توجه می‌باشد.

جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک در سال‌های مختلف انجام تحقیق نشان داد که روش خاک‌ورزی در تمام سال‌ها به غیر از اندازه‌گیری مربوط به قبل از شروع آزمایش (قبل از اعمال تیمارها)، اثر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری خاک حداقل در یکی از عمق‌های نمونه‌گیری (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰) داشته‌است (جدول ۵). نتایج مربوط به داده‌های قبل از شروع آزمایش (قبل از اعمال تیمارها) نشان داد

جدول ۵. تجزیه واریانس داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک (اعداد ارائه شده در جدول مقادیر F هستند).

منابع تغییر	قبل از شروع		سال اول		سال دوم		سال سوم		سال چهارم	
	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق	عمق
	۱۰-۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰	۱۰-۲۰
تکرار	۳/۳۷ ^{ns}	۱/۱۰ ^{ns}	۱/۰۷ ^{ns}	۴/۳۴*	۳/۶۴*	۲/۳۱ ^{ns}	۱۰/۹۵**	۰/۳۵ ^{ns}	۲/۱۳ ^{ns}	۱/۸۶ ^{ns}
تیمار	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۴۲ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۳/۴۳*	۱۰/۴۴**	۱/۰۴ ^{ns}	۲۲/۸۰**	۱/۵۰ ^{ns}	۵/۴۲**	۲/۹۰*

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

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 روش‌های خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک بیش از مقدار این پارامتر در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر بود که این نتیجه منطقی است، زیرا عمق پایین‌تر به دلیل داشتن درصد رس بیشتر و تمرکز فشارهای خارجی وارد بر خاک در لایه‌های پایین، معمولاً دارای جرم مخصوص ظاهری بیشتر می‌باشد. همچنین، میانگین چهارساله جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در هر دو عمق خاک (۱۰-۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر) با هم اختلاف معنی‌دار داشتند به گونه‌ای که تیمار کشت مستقیم گندم و ذرت (تیمار ۲) بیش‌ترین جرم مخصوص را به خود اختصاص داد و کم‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری نیز متعلق به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی بود. 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).

مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که تیمارهای خاک‌ورزی از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک در سال‌های مختلف، رفتارهای متفاوتی داشته‌اند (جدول ۶). در اکثر سال‌های انجام تحقیق، بیش‌ترین جرم مخصوص ظاهری خاک مربوط به روش کشت مستقیم یا تیمار حاوی کشت مستقیم بوده‌است. 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 پایپی 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 که نشان می‌دهد این روش از مزایای هر دو روش بی‌خاک‌ورزی (حفظ بقایا) و خاک‌ورزی مرسوم (دستکاری کردن خاک) برخوردار است. نکته قابل توجه این است که جرم مخصوص ظاهری تیمارهای T₃ و T₄ در در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک در سال سوم انجام تحقیق بسیار نزدیک به جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم در همین عمق بود که دلیل این پدیده، انجام خاک‌ورزی مرسوم در سال سوم در این تیمارها می‌باشد. البته باید توجه داشت که این نتایج مربوط به

جدول ۶. مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm³) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

تیمار	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	میانگین
	عمق ۲۰-۱۰	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰
T ₁	۱/۳۳a	۱/۴۲a	۱/۲۳b	۱/۳۹a	۱/۴۵a
T ₂	۱/۳۰a	۱/۳۸a	۱/۳۳a	۱/۴۵a	۱/۴۷a
T ₃	۱/۳۳a	۱/۳۵ab	۱/۳۳a	۱/۳۹a	۱/۳۵b
T ₄	۱/۳۴a	۱/۳۹a	۱/۴۰a	۱/۳۵a	۱/۳۷b
T ₅	۱/۳۰a	۱/۲۶b	۱/۳۲a	۱/۳۳a	۱/۳۷b

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی داری ندارند (دانکن $\alpha = 0.05$).

نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک نشان داد که روش خاک‌ورزی در تمام سال‌های اجرای پروژه به جز سال اول، تأثیر معنی‌داری بر نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک نداشته‌است (جدول ۷). با توجه به متفاوت بودن میزان به‌هم‌خوردگی خاک و مدیریت بقایای گیاهی در روش‌های مختلف خاک‌ورزی، متفاوت بودن

میزان نفوذپذیری خاک در برابر آب قابل توجه می‌باشد. 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 اول، احتمالاً به دلیل در اختیار نبودن زمان لازم برای این تغییرات بوده‌است.

جدول ۷- تجزیه واریانس داده‌های نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک (اعداد ارائه شده مقادیر F هستند).

منابع تغییر	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم
	نفوذ تجمعی	سرعت نفوذ	نفوذ تجمعی	سرعت نفوذ
تکرار	۲/۹۴ ^{ns}	۲/۹۵ ^{ns}	۰/۶۰ ^{ns}	۰/۶۹ ^{ns}
تیمار	۰/۵۲ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}	۱۷/۹۹ ^{**}	۱۷/۸۲ ^{**}

ns و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشند.

تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نیز نشان داد که اختلاف تیمارها معنی‌دار بود و تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بیش‌ترین مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب به خاک را داشت و با تیمارهای کشت مستقیم اختلاف معنی‌دار داشت. دستکاری بیش‌تر خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی باعث شده‌است تا مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در این تیمارها بیش‌تر از مقدار آن‌ها در تیمارهای حاوی کشت مستقیم گردد.

کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس میزان کربن آلی خاک در انتهای آزمایش نشان داد که کربن آلی خاک در هر دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک تحت تأثیر روش خاک‌ورزی قرار نگرفته‌است (جدول ۹). البته با توجه به حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی از نظر نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک نشان داد که نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در اکثر سال‌های انجام تحقیق بیش‌ترین مقدار بوده‌است یا با بیش‌ترین مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک اختلاف معنی‌دار نداشته‌است (جدول ۸). همچنین در تمام سال‌های انجام تحقیق، کم‌ترین مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ متعلق به تیمار کشت مستقیم بود. این نتایج نشان داد که در خاک‌های نیمه‌سنگین و سنگین، خاک‌ورزی و شخم زدن خاک (به‌هم‌خوردن خاک) تأثیر زیادی بر نفوذپذیری خاک دارد و روش کشت مستقیم در کوتاه مدت باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. در حالی که کم‌خاک‌ورزی که در آن لایه سطحی خاک خاک‌ورزی می‌شود، دارای نفوذپذیری در حد خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد. مقایسه میانگین چهار ساله نفوذ

ریزجانداران خاک به دلیل وجود بقایای گیاهی در روش‌های خاک حفاظتی، باعث اکسید شدن مقداری از کربن آلی خاک در این تیمارها شده است.

در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، انتظار این بود که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی کربن آلی خاک را به ویژه در لایه سطحی افزایش دهد که این اتفاق نیفتاد. به نظر می‌رسد افزایش فعالیت

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

تیمار	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	میانگین
	نفوذ	نفوذ	نفوذ	نفوذ	نفوذ
	تجمعی	تجمعی	تجمعی	تجمعی	تجمعی
T ₁	۳۸/۲a	۴۸/۴a	۱۸/۶c	۷۱/۱a	۴۹/۱a
T ₂	۳۴/۸a	۴۹/۳bc	۲۱/۸bc	۶۸/۸ab	۴۳/۷bc
T ₃	۳۳/۳a	۴۱/۶cd	۳۳/۰a	۶۰/۴b	۴۲/۱c
T ₄	۳۷/۴a	۳۸/۷d	۱۷/۵c	۴۹/۸c	۳۵/۸d
T ₅	۴۰/۱a	۵۳/۵b	۲۷/۶ab	۷۱/۲a	۴۸/۱ab

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی داری ندارند (دانکن $\alpha = 0.05$).

جدول ۹. تجزیه واریانس داده‌های میزان کربن آلی خاک در سامانه‌های خاک‌ورزی در انتهای آزمایش

کربن آلی خاک	
عمق	عمق
۱۰-۲۰	۱۰-۰
۵/۷۹ *	۵/۷۴*
۰/۶۹ ^{ns}	۰/۸۴ ^{ns}

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

در روش‌های حفاظتی اکثر بقایا در سطح خاک حفظ شد. بنابراین بقایای مخلوط شده با خاک در خاک‌ورزی مرسوم نیز باعث افزایش کربن آلی خاک در این تیمار شده‌است و مقدار کربن آلی خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم را به مقدار کربن آلی خاک در روش‌های حفاظتی نزدیک کرده‌است.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین کربن آلی خاک تحت تاثیر سامانه‌های خاک‌ورزی در انتهای آزمایش

تیمار	کربن آلی خاک (%)	
	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰
T ₁	۰/۸۴a	۰/۸۸a
T ₂	۰/۸۴a	۰/۸۵a
T ₃	۰/۸۸a	۰/۹۲a
T ₄	۰/۸۸a	۰/۹۳a
T ₅	۰/۸۹a	۰/۹۰a

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن $\alpha = 0.05$).

عملکرد ذرت

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد ذرت در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که عملکرد ذرت فقط در سال اول انجام تحقیق تحت تاثیر معنی‌دار روش‌های خاک‌ورزی قرار گرفته‌است (سطح احتمال ۵٪) و در بقیه سال‌ها، اختلاف بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبوده‌است (جدول ۱۱). 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

نتایج مقایسه میانگین میزان کربن آلی خاک در هر دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نیز نشان داد که تمام تیمارهای خاک‌ورزی در هر دو عمق خاک در یک طبقه آماری قرار گرفتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۱۰). با توجه به حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، پیش‌بینی می‌شد که تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی کربن آلی خاک را در مقایسه با روش مرسوم به ویژه در لایه سطحی افزایش دهد. بنابراین به نظر می‌رسد وجود بقایای گیاهی در سطح خاک در مناطق معتدل که معمولاً دارای رطوبت بیشتری هستند (رطوبت هوا و خاک)، فعالیت ریزجانداران خاک را تشدید کرده و این موجودات زنده مقداری از کربن آلی ذخیره شده در خاک را اکسید نموده‌اند. از طرف دیگر، میزان بقایای حفظ شده در تمام تیمارهای این تحقیق (خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم) یکسان بود با این تفاوت که در روش خاک‌ورزی مرسوم تمام بقایای حفظ شده در کرت، با خاک مخلوط گردید، در حالی که

کافی است، بنابراین عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم از نظر عملکرد ذرت در اکثر سال‌ها، نتیجه مثبتی تلقی می‌شود.

جدول ۱۱. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد ذرت (اعداد ارائه شده در جدول مقادیر F هستند).

منابع تغییر	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم
تکرار	۳/۴۹*	۰/۴۷ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}	۲/۱۵ ^{ns}
تیمار	۱۱/۲۰**	۰/۶۵ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}	۱/۹۴ ^{ns}

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

نتایج مقایسه میانگین عملکرد ذرت در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که به غیر از سال اول، در بقیه سال‌ها تمام میانگین‌ها در یک کلاس آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۱۲). در سال اول، تیمار خاک‌ورزی مرسوم دارای بیش‌ترین عملکرد دانه بود و این تیمار با دو تیمار کم خاک‌ورزی و تیمار کشت مستقیم گندم و ذرت (T₁ و T₂) اختلاف معنی‌دار نداشت. تیمار کشت مستقیم ذرت و کشت مرسوم گندم در سال سوم (T₃)، کم‌ترین عملکرد ذرت را به خود اختصاص داد که با عملکرد ذرت در تیمار کشت مستقیم گندم و کشت مرسوم ذرت در سال سوم (T₃) اختلاف معنی‌دار نداشت. دلیل اختلاف شدید عملکرد تیمارهای کشت مستقیم (T₂، T₃ و T₄) با عملکرد تیمارهای کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در سال اول، حفظ تمام بقایای گندم در کرت‌های آزمایش بود که کشت بذر با بذرکارهای کشت مستقیم را با مشکل مواجه کرد، در حالی که در سال‌های بعد فقط بقایای ایستاده گندم در کرت‌ها حفظ شد و بقایای خارج شده از انتهای کمباین از کرت‌ها بیرون برده شد. در سال‌های دوم تا چهارم، تمام تیمارهای خاک‌ورزی از نظر عملکرد ذرت (عملکرد علوفه) در یک گروه آماری قرار گرفتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. در اکثر سال‌های انجام تحقیق، تیمار کم‌خاک‌ورزی (T₁) و تیمار کشت مستقیم گندم و ذرت (T₂) عملکردی نزدیک به عملکرد تیمار خاک‌ورزی مرسوم و حتی در یک مورد بیش‌تر از عملکرد این تیمار داشتند که نشان دهنده امکان جایگزینی روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به جای خاک‌ورزی مرسوم در کشت ذرت در مناطق معتدل استان فارس می‌باشد. هر چند به دلیل کشت ذرت به روش مرسوم در تیمار کشت مستقیم ذرت در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و کشت مستقیم گندم به مدت چهار سال (T₄) در سال سوم، عملکرد این تیمار سال سوم به عملکرد

تیمار خاک‌ورزی مرسوم در این سال بسیار نزدیک بود، اما عملکرد این تیمار با تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی در سال سوم تفاوت معنی‌داری نداشت. ضمن این که این تیمار در سال چهارم کمترین عملکرد را داشت. بنابراین، به نظر می‌رسد خاک‌ورزی تناوبی (قطع روند کشت مستقیم با اجرای خاک‌ورزی مرسوم در یک فصل زراعی مشخص) در اجرای خاک‌ورزی حفاظتی، معایب خاک‌ورزی حفاظتی را به طور معنی‌دار و پایدار کاهش نمی‌دهد و اجرای آن لزومی ندارد.

جدول ۱۲. مقایسه میانگین عملکرد ذرت (kg/ha) در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

تیمار	سال اول (عملکرد دانه)	سال دوم (عملکرد علوفه)	سال سوم (عملکرد علوفه)	سال چهارم (عملکرد علوفه)
T ₁	۱۰۹۲۰a	۴۳۲۷۵a	۴۷۶۰۳a	۵۱۰۰۹a
T ₂	۹۵۱۹a	۴۲۱۸۷a	۴۶۴۰۵a	۴۴۳۴۳a
T ₃	۶۹۳۰b	۴۰۱۹۲a	۴۴۲۱۱a	۴۴۱۸۵a
T ₄	۷۳۲۱b	۴۰۵۱۷a	۴۷۴۰۵a	۴۱۸۸۴a
T ₅	۱۱۳۹۳a	۴۳۲۰۹a	۴۷۵۲۹a	۵۱۶۱۰a
ضریب تغییرات	۱۳/۲	۲۱/۵	۸/۷	۸/۶

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن $\alpha = 0.05$).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش ذخیره رطوبت در خاک شدند که می‌تواند کاهش مصرف آب را به دنبال داشته باشد. از طرف دیگر، به دلیل کاهش میزان دستکاری خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به خصوص در بافت خاک سنگین، نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم کاهش یافت. همچنین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، جرم مخصوص ظاهری خاک را به مقدار اندکی افزایش دادند. عملکرد ذرت در اکثر سال‌های انجام تحقیق تحت تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی قرار نگرفت. نتایج همچنین نشان داد که قطع روند کشت مستقیم با اعمال خاک‌ورزی مرسوم در یک فصل زراعی مشخص در تیمارهای T₃ و T₄ (خاک‌ورزی تناوبی)، اثر مثبتی ندارد و اجرای آن ضروری نیست. بنابراین در صورتی که اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به خوبی مدیریت شود و دولت حمایت‌های فنی و مالی لازم را انجام دهد، این روش‌ها می‌توانند جایگزین خاک‌ورزی مرسوم در تهیه زمین و کاشت ذرت در مناطق معتدل استان فارس گردند.

استخری که این تحقیق در مزرعه ایشان انجام شد، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

سپاسگزاری

از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس به خاطر حمایت مالی از این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از آقای فرزاد

REFERENCES

- Afzalinea, S. & Zabihi, J. (2014). Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, 137, 1-6.
- Afzalinea, S., Dehghanian, E. & Talati, M. H. (2009). Effect of conservation tillage on soil physical properties, fuel consumption, and wheat yield. In: *Proceedings of 4th Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering*, Oct., 1-3, Rousse, Bulgaria, pp. 137-141.
- Afzalinea, S., Behaen, M. A. Karami, A. Dezfuli, A. & 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.
- Behaen, M. A., Afzalinea, S. & 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. & 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. & Afzalinea, 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. & 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. & Laxmi, V. (2008). Zero tillage impacts in India's rice-wheat systems: A review. *Soil & Tillage Research*, 100, 1-14.
- Fabrizzi, K. P. Garc', F. O. Costa, J. L. & 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. & 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., Guerrer, C., Bod, M. B., Arcenegui, V., Zornoza, R. & 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. & 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. & Karlen, D. L. (2004). Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Soil & Tillage Research*, 78, 143-149.
- Madejón, E., Murillo, J. M., Moreno, F., López, M. V., Arrue, J. L., Alvaro-Fuentes, J. & 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. & Radford, B. J. (2000). Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in semi-arid subtropics. *Soil & Tillage Research*, 53, 105-115.
- Nelson, D. W. & 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.
- Rasouli, F., Kiani Pouya, A. & Afzalinea, 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.
- Taser, O. & 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.