Archive of SID

تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۰/ شماره ۷۲/ بهار و تابستان ۱۳۹۸/ص ۱۷۸-۱۶۳

اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک، ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف سوخت و عملکرد گندم در تناوب با ذرت

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

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب: دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ استادیار بخش تحقیقات خاک و آب؛ و 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: ۹۶/۷/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۸

چکیده

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار به مدت چهار سال در شهرستان مرودشت فارس 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 وکشت مستقیم ذرت به مدت چهار سال، ٤) 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 ٥) خاک‌ورزی مرسوم. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث کاهش مصرف سوخت به‌ترتیب به‌میزان ۸۰ و ۵۸ درصد شده‌اند. ظرفیت مزرعه‌ای موثر برای تهیهٔ زمین و کاشت در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی، نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم، به‌ترتیب شش و سه برابر گردید. همچنین، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، باعث افزایش ذخیرهٔ رطوبت در خاک، حداکثر به‌میزان ۳۲ درصد، شده‌اند. هرچند روش‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر پایداری خاکدانه‌ها نداشته‌اند، اما خاکدانه‌ها در روش‌های حفاظتی دارای شاخص‌های پایدارتری بودند. عملکرد گندم در سه سال اول تحقیق تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های خاک‌ورزی بوده است (در اکثر این سال‌ها، خاک‌ورزی مرسوم عملکرد بیشتری داشت)، اما در سال آخر اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر عملکرد گندم مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی

پایداری خاکدانه، کشت مستقیم، کم‌خاک‌ورزی

مقدمه

روش‌های خاک‌ورزی می‌توانند عوامل دخیل در تولید محصولات کشاورزی از جمله ساختمان خاک، مادهٔ آلی خاک، مصرف آب آبیاری، مصرف سوخت‌های فسیلی، تاریخ کاشت محصول و هزینه‌های تولید را تحت تأثیر قرار دهند. روند اصلاح روش‌های خاک‌ورزی و معرفی روش‌های جدید تهیهٔ زمین به‌گونه‌ای است که آثار منفی خاک‌ورزی بر عوامل گفته شده کاهش یابد و منابع تولید، پایداری بیشتری داشته باشند. بنابراین، ظهور روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و توسعهٔ آنها در جهان نیز در همین راستا بوده است. در مورد اثرهای مثبت و منفی اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در محصولات مختلف کشاورزی تحقیقات زیادی شده

* نگارنده مسئول: Email: sja925@mail.usask.ca

http://doi: 10.22092/idser.2017.110602.1220

www.SID.ir

Archive of SID

است که بررسی نتایج این تحقیقات و همچنین تحقیقات منطقه‌ای و محصولی در کشور در این زمینه، کمک زیادی به اجرای صحیح و علمی این روش‌ها در کشور می‌کند. روش‌های خاک‌ورزی، به‌ویژه خاک‌ورزی حفاظتی، رطوبت خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج تحقیقات روسو (Rusu, 2005) در رومانی نشان داده است که روش کم‌خاک‌ورزی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، رطوبت بیشتری را در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک حفظ می‌کند. در تحقیقی در شمال اردن، مشاهده شده است که خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی)، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، رطوبت بیشتری را در خاک حفظ می‌کند (Al-Issa & Samarah, 2007). مقایسهٔ روش‌های خاک‌ورزی از نظر حفظ رطوبت خاک در تناوب گندم- برنج نشان می‌دهد که روش بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، رطوبت بیشتری را در شرایط آب و هوایی خشک حفظ می‌کند (Liu *et al.*, 2005). در ایتالیا، نتایج مقایسهٔ روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر حفظ رطوبت نشان‌دهندهٔ کاهش تبخیر از سطح خاک در روش بی‌خاک‌ورزی است (De Vita *et al.*, 2007). از طرف دیگر، یکی از مزایای استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در کشت گندم پس از برداشت برنج صرفه‌جویی در مصرف آب ذکر شده است (Erenstein & Laxmi, 2008).

برای محاسبهٔ بُعد فرکتالی[1] پدیده‌های طبیعی از جمله خاکدانه‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که اکثر آنها تجربی است. در مورد سری‌های مکانی یا زمانی، بُعد فرکتالی را می‌توان با محاسبهٔ تابع نیم‌تغییرنما (واریوگرام) به‌صورت کمّی بیان کرد (Webster & Oliver, 2001). نتایج بررسی تاثیر روش‌های خاک‌ورزی بر بُعد فرکتالی خاکدانه‌ها نشان می‌دهد که بین بُعد فرکتال خاکدانه‌ها در روش‌های مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و روش بی‌خاک‌ورزی دارای کوچک‌ترین بُعد فرکتالی است (Pirmoradian *et al.*, 2005). روش‌های خاک‌ورزی همچنین اثر قابل توجهی بر مصرف انرژی و سوخت در مرحلهٔ تهیهٔ زمین و کاشت بذر دارند. نتایج تحقیقی در رومانی نشان می‌دهد که در تولید 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). نتایج تحقیقات در استان فارس نیز صرفه‌جویی در مصرف سوخت (به‌میزان ۷۷ درصد) و مدت زمان مورد نیاز برای تهیهٔ زمین و کاشت محصول را (به‌میزان ۸۴ درصد) در خاک‌ورزی حفاظتی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، نشان می‌دهد (Afzalinia *et al.*, 2009).

واکنش عملکرد گندم به روش‌های خاک‌ورزی بسته به شرایط آب و هوایی منطقه و سیستم کشت (دیم یا آبی) متفاوت است. نتایج مقایسهٔ روش بی‌خاک‌ورزی با روش خاک‌ورزی مرسوم در شرایط دیم در ایتالیا نشان می‌دهد که روش بی‌خاک‌ورزی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، عملکرد گندم را بیش از ۵۰ درصد افزایش می‌دهد (De Vita *et al.*, 2007). نتایج تحقیق در شمال اردن نشان داده است که خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، عملکرد بیشتری دارد (Al-Issa & Samarah, 2007). نتایج مطالعات در داکوتای شمالی نشان می‌دهد که عملکرد و کیفیت دانهٔ ارقام گندم تحت تاثیر روش‌های خاک‌ورزی قرار نمی‌گیرد و رقمی که برای شرایط خاک‌ورزی مرسوم معرفی گردد، می‌تواند در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نیز کشت شود (Carr *et al.*, 2003).

1- Fractal Dimension

www.SID.ir

Archive of SID

توماسون و همکاران (Thomason *et al.*, 2005) عملکرد پنج رقم گندم زمستانه را در روش‌های مختلف خاک‌ورزی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عملکرد گندم تحت تاثیر تیمارهای خاک‌ورزی قرار نمی‌گیرد. در جمهوری چک نیز بررسی واکنش ارقام مختلف گندم زمستانه در برابر روش خاک‌ورزی نشان داده است که عملکرد گندم تحت تأثیر روش خاک‌ورزی قرار نمی گیرد (Vaclav *et al.*, 2009)، در حالی‌که نتایج تحقیقات کومودینی و همکاران (Kumudini *et al.*, 2008) نشان می‌دهد که عملکرد رقم‌های گندم زمستانه در روش بی‌خاک‌ورزی کمتر است تا در روش خاک‌ورزی مرسوم. نتایج بررسی اثر روش خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در چین نیز نشان داده است که روش بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با روش خاک‌ورزی مرسوم وزن هزاردانهٔ گندم را افزایش اما عملکرد را کاهش می‌دهد (Liu *et al.*, 2005). سینگر و همکاران (Singer *et al.*, 2004) اثر روش‌های خاک‌ورزی را برعملکرد دانهٔ گندم پاییزه بررسی کردند و دریافتند که عملکرد دانه در روش بی‌خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری کمتر از عملکرد آن در روش‌های متداول خاک‌ورزی و شخم با گاو آهن قلمی است.

بر اساس نتایجی که از تحقیقات در مناطق مختلف و محصولات گوناگون به دست آمده‌است، ضرورت تحقیق در مورد اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط اقلیمی و محصولات مختلف احساس می‌شود. این تحقیق با هدف مقایسهٔ روش خاک‌ورزی حفاظتی با روش خاک‌ورزی مرسوم از نظر خصوصیات خاک، مصرف سوخت، ظرفیت مزرعه‌ای و عملکرد گندم در تناوب گندم- ذرت در منطقهٔ معتدل استان فارس اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در زمین‌های کشاورزی شهرستان مرودشت فارس در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه به‌مدت چهار سال (از ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲) اجرا شد. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از شروع تحقیق دو نمونه مرکب از مزرعهٔ محل آزمایش تهیه و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای تحقیق

عمق (سانتی‌متر)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	O.C (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
۰-۱۰	۱/۱	۸/۱	۰/۸۵	۹/۵	۳۱۱	۴۲	۴۴	۱۴	رسی
۱۰-۲۰	۰/۹۵	۸/۱	۰/۷۹	۸/۸	۲۶۷	۴۱	۴۴	۱۵	رسی

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار اجرا شد و روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم از نظر خصوصیات خاک، مصرف سوخت، ظرفیت مزرعه‌ای و عملکرد گندم در تناوب گندم-ذرت با هم مقایسه شدند. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از ۱) کم‌خاک‌ورزی (T_1)، ۲) کشت مستقیم گندم و ذرت به‌مدت چهار سال (T_2)، ۳) کشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم وکشت مستقیم ذرت به‌مدت چهار سال (T_3)، ۴) کشت مستقیم ذرت در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم

www.SID.ir

Archive of SID

وکشت مستقیم گندم به‌مدت چهار سال (T_4) و ۵) خاک‌ورزی مرسوم (T_5). مزرعهٔ آزمایش در شروع تحقیق به‌صورت آیش بود، بنابراین در شروع آزمایش بقایایی اندک و بیشتر بقایای علف‌های هرز، در مزرعه وجود داشت. در تمام تیمارهای تحقیق، بقایای ایستادهٔ گندم در زمین حفظ و بقایای خارج شده از انتهای کمباین به بیرون از زمین برده شد، ضمن اینکه تمام بقایای ذرت (دانه‌ای در سال اول و علوفه‌ای در سه سال بعدی) در کرت‌ها حفظ شد. در روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) قبل از کاشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی روی زمین اجرا نشد و با یک بار حرکت مستقیم‌کار در مزرعه، مرحلهٔ کاشت انجام گرفت.

در روش کم‌خاک‌ورزی، از یک دستگاه خاک‌ورز مرکب استفاده شد و عملیات خاک‌ورزی با عمق حدود ۱۵ سانتی‌متر در یک مرحله انجام گرفت؛ برای کشت گندم از خطی‌کار و برای کشت ذرت از ردیف‌کار استفاده گردید. در روش مرسوم، برای خاک‌ورزی از گاوآهن برگردان‌دار و دیسک استفاده شد و گندم با خطی‌کار و ذرت با ردیف‌کار کشت گردید. تیمارهای T_3 و T_4 برای بررسی اثر تناوب خاک‌ورزی یعنی قطع روند کشت مستقیم با خاک‌ورزی مرسوم در یک فصل زراعی در این تحقیق گنجانده شد. در این تیمارها برای قطع روند کشت مستقیم، سال سوم اجرای تحقیق انتخاب شد تا با توجه به تعداد سال‌های اجرای تحقیق (چهار سال)، بعد از حداقل دو سال کشت مستقیم (حداقل چهار کشت)، روند کشت مستقیم با استفاده از خاک‌ورزی مرسوم در یک فصل زراعی قطع شود و در این تیمارها بعد از یک فصل خاک‌ورزی مرسوم، حداقل یک سال (دو کشت)، کشت مستقیم اجرا شود. مشخصات ادوات استفاده شده در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. ابعاد کرت‌های آزمایش ۳۰×۶ متر در نظر گرفته شد و گندم رقم چمران به‌مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در نیمهٔ دوم آبان و ذرت رقم ۷۰۴ به‌مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار در نیمهٔ اول تیرماه 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 با کارنده به کرت‌ها داده‌شد و بقیهٔ کود اوره در دو مرحله به‌صورت 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 به‌طور یکسان اعمال شد. برای مقایسهٔ روش‌های مختلف خاک‌ورزی، صفاتی مانند درصد رطوبت خاک، پایداری خاکدانه‌ها، دی اکسید کربن متصاعد شده از خاک، ظرفیت مزرعه‌ای ماشین برای تهیهٔ زمین و کاشت، درصد برگردان شدن بقایای گیاهی، مصرف سوخت و عملکرد محصول اندازه‌گیری شدند.

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

نوع ادوات	مشخصات
گاوآهن	برگردان‌دار، چهار خیش و دو طرفه
دیسک	کششی، دارای چهار گروه بشقاب و ۶ بشقاب در هر گروه
خاک‌ورز مرکب	خاک‌ورز مرکب ترامیکس، سوارشونده و عرض‌کار ۳ متر
ردیف‌کار کشت مستقیم	ردیف‌کار برتینی، ۵ ردیفه و با عرض‌کار ۳ متر
خطی‌کار کشت مستقیم	بذرکار-کودکار اسفوجیا، ۱۷ ردیفه، عرض‌کار ۳ متر و شیاربازکن دیسکی

www.SID.ir

Archive of SID

روش اندازه‌گیری پارامترها

رطوبت خاک در هر سال با استفاده از دستگاه TDR[1] در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه عدد قرائت شده با TDR برای رطوبت خاک، نشان‌دهندهٔ رطوبت حجمی خاک است، با تقسیم اعداد قرائت شده بر جرم مخصوص ظاهری خاک در آن تیمار، رطوبت خاک در هر تیمار بر پایهٔ وزن خاک خشک به‌دست آمد. میزان دی‌اکسید کربن متصاعد شده از خاک به روش مزرعه‌ای و در پایان سال چهارم اجرای تحقیق اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ابتدا ۲۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم یک نرمال در ظرف‌های شیشه‌ای درپوش‌دار با قطر ۷ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر ریخته شد؛ ظرف‌ها پس از بسته‌شدن درپوش‌هایشان به مزرعه منتقل شدند. در مزرعه، درپوش شیشه‌ها باز شد و شیشه‌ها روی سه پایهٔ فلزی قرار داد ه‌شدند و بلافاصله استوانهٔ فلزی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر روی آنها قرار داده شد به‌طوری‌که 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 دی‌اکسید کربن جذب شده ب وسیلهٔ هیدروکسید سدیم موجود در شیشه‌ها به روش اندرسون (Anderson, 1982) اندازه‌گیری شد.

برای بررسی پایداری خاکدانه‌ها، از سه معیار قطر متوسط وزنی (*MWD*)، قطر متوسط هندسی (*GMD*) و بعد فرکتالی خاکدانه‌ها استفاده شد که کاهش بعد فرکتالی و افزایش قطر متوسط وزنی و هندسی نشان‌دهندهٔ افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک است. برای تعیین این معیارها، در هر کرت از دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک نمونه مرکب برداشته شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و سنگریزه‌های درشت، ریشه‌ها و بقایای گیاهی از نمونه‌ها جدا شدند. با استفاده از سری الک خشک با قطرهای ۰/۴۲، ۰/۸۴، ۲، ۴/۷۵، ۶/۴، ۱۲/۷ و ۳۸ میلی‌متر، توزیع اندازهٔ خاکدانه‌های هواخشک تعیین گردید. برای محاسبهٔ *MWD* و *GMD* از روابط ۱ و ۲ استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \bar{x}_i W_i \qquad (۱)$$

$$GMD = \exp\left[\left(\sum_{i=1}^{n} w_i \log \bar{x}_i\right) / \sum_{i=1}^{n} w_i \right] \qquad (۲)$$

که در آنها،

MWD و *GMD* = به‌ترتیب قطر متوسط وزنی و هندسی (میلی‌متر)؛ w_i = جرم خاکدانه‌ها در یک کلاس اندازه‌ای با میانگین قطری $\bar{x}_i$؛ i = شمارهٔ غربال؛ و n = تعداد غربال.

با استفاده از توزیع اندازهٔ خاکدانه‌ها و به‌کارگیری رابطهٔ ۳ (Tyler & Wheatcraft, 1992) بُعد فرکتالی محاسبه شد و خاکدانه‌ها در هفت کلاس ۰ تا ۰/۴۲، ۰/۴۲ تا ۰/۸۴، ۰/۸۴ تا ۲، ۲ تا ۴/۷۵، ۴/۷۵ تا ۶/۴، ۶/۴ تا ۱۲/۷ و ۱۲/۷ تا ۳۸ میلی‌متر تفکیک شدند.

$$\frac{M(x < X)}{M_t} = \left(\frac{x}{XL}\right)^{3-D_m} \qquad (۳)$$

که در آن،

D_m = بُعد فرکتال جرمی؛ $M(x<X)$ = جرم تجمعی خاکدانه‌ها روی غربال‌ها با اندازه‌های کوچک‌تر از X ؛ M_t = جرم کل خاکدانه‌ها (باقی‌مانده روی تمام غربال‌ها)؛ XL = بالاترین اندازهٔ منفذ غربال؛ و x = میانگین قطر خاکدانه‌ها در هر کلاس.

1- Time Domain Reflectometry

www.SID.ir

Archive of SID

قبل و بعد از تهیهٔ زمین و کاشت، بقایای گیاهی در سطحی برابر یک متر مربع (قاب ۱×۱ متر) در هر کرت جمع‌آوری و با استفاده از رابطهٔ ۴ میزان برگردان شدن بقایای گیاهی محاسبه شد:

$$IR = \frac{W_b - W_a}{W_b} \times 100 \qquad (۴)$$

که در آن،

IR = برگردان شدن بقایای گیاهی (درصد)؛ W_b = وزن خشک بقایای گیاهی (کیلوگرم) قبل از آغاز عملیات تهیهٔ زمین؛ و W_a = وزن خشک بقایای گیاهی (کیلوگرم) بعد از تهیهٔ زمین.

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در هر یک از تیمارهای خاک‌ورزی با استفاده از رابطهٔ ۵ محاسبه شد:

$$C_e = \frac{A}{T_t} \qquad (۵)$$

که در آن،

C_e = ظرفیت مزرعه‌ای (هکتار بر ساعت)؛ A = مساحت کار شده (هکتار) و T_t = مدت زمان کل انجام کار (ساعت).

میزان سوخت مصرفی برای اجرای عملیات در هر تیمار به روش باک‌پر اندازه‌گیری شد و با توجه به مساحت کرت‌ها، مقدار مصرف سوخت در هر هکتار به‌دست آمد. گفتنی است که فاکتورهای برگردان شدن بقایای گیاهی، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و مصرف سوخت برای سه روش کلی خاک‌ورزی شامل خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی (سه تیمار) و برای یک بار در خلال تحقیق اندازه‌گیری شدند، زیرا تیمارهای T_3 و T_4 تغییری در مقدار این فاکتورها ایجاد نمی کردند. برای تعیین عملکرد گندم، جمعاً ۱۰ متر مربع از مساحت هر کرت برداشت شد (از قسمت‌های مختلف کرت به‌صورت تصادفی و با حذف حاشیه‌ها) و پس از جداسازی دانه از کاه، عملکرد گندم در هر کرت بر حسب کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. داده‌ها پس از جمع‌آوری شدن از کرت‌های مورد نظر، با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند و برای مقایسهٔ میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

رطوبت خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان می‌دهد که از نظر آماری اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر حفظ رطوبت در خاک در تمام سال‌هایی که تحقیق ادامه داشته، معنی‌دار است (جدول ۳). با توجه به اینکه در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به‌خصوص بی‌خاک‌ورزی، بقایای گیاهی در سطح خاک حفظ می‌شوند، بنابراین معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر حفظ رطوبت در خاک قابل پیش‌بینی است.

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس داده‌های رطوبت خاک (اعداد ارائه شده در جدول مقادیر F هستند)

منابع تغییرات	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم
تکرار	۱/۶۷ ns	۲/۸۸ ns	۰/۷۷ns	۱/۱۴ns
تیمار (سامانه خاک‌ورزی(	۴/۰۴*	۱۸/۱۳**	۶/۸۳**	۳/۶۸ *
ضریب تغییرات	۵/۸	۴/۸	۷/۰	۶/۹

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج مقایسهٔ میانگین رطوبت خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان می‌دهد که رطوبت خاک در تمام دورهٔ تحقیقات تحت تأثیر معنی‌داری تیمارهای خاک‌ورزی قرار داشته است، به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار حفظ رطوبت در تمام سال‌ها در یکی از تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی دیده می‌شود (جدول ۴). تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، در سال‌های مختلف اجرای تحقیق رطوبت خاک را بین ۴ تا ۳۲ درصد افزایش داده‌اند (حداکثر افزایش)، در حالی‌که حداکثر افزایش در میانگین چهار ساله حدود ۱۴ درصد است. همچنین، در اکثر این سال‌ها، کمترین مقدار رطوبت خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شده است. باید توجه داشت که دو عامل فصل کشت و زمان اندازه‌گیری رطوبت خاک در طول فصل رشد گیاه، مقدار رطوبت خاک در خاک‌ورزی حفاظتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، به‌طوری‌که در فصل گرم (کشت صیفی) تفاوت بین خاک‌ورزی حفاظتی، به‌ویژه کشت مستقیم، با خاک‌ورزی مرسوم از نظر حفظ رطوبت محسوس‌تر است و نقش وجود بقایا در فصل گرم اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در فصل گرم نیز تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر حفظ رطوبت در اول فصل کشت با انتهای فصل کشت متفاوت است. در ابتدای فصل کشت، تنها عامل تعیین‌کنندهٔ تفاوت در میزان رطوبت خاک، نوع خاک‌ورزی و میزان بقایای گیاهی است، در حالی‌که در انتهای فصل کشت، به‌دلیل پوشش کامل سطح مزرعه با گیاه کاشته شده، نقش بقایای گیاهی در حفظ رطوبت خاک کاهش می‌یابد. مقایسهٔ میانگین مقدار رطوبت خاک در دورهٔ چهار ساله در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نیز نشان می‌دهد که تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، رطوبت بیشتری در خاک حفظ کرده‌اند (جدول ۴). به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث افزایش حفظ رطوبت در خاک می‌شوند که با نتایج حاصل از تحقیقات گذشته (Freebairn *et al.*, 1986; Liu *et al.*, 2005; Afzalinia *et al.*, 2011) همخوانی دارد.

جدول ٤- مقایسهٔ میانگین رطوبت خاک (درصد) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

سامانه خاک‌ورزی	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	میانگین
T_1	۱۵/۲c	۱۸/۸c	۱۴/۴a	۱۵/۶a	۱۶/۰ab
T_2	۱۷/۱ab	۲۰/۳ab	۱۲/۱bc	۱۳/۴b	۱۵/۷bc
T_3	۱۷/۶a	۲۱/۷a	۱۳/۵ab	۱۳/۵b	۱۶/۶a
T_4	۱۶/۰bc	۱۹/۷bc	۱۲/۲bc	۱۳/۹b	۱۵/۵bc
T_5	۱۶/۹ab	۱۶/۴d	۱۱/۵c	۱۳/۴b	۱۴/۶c

در هر ستون، میانگین‌های که دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

انتشار گاز دی‌اکسید کربن از خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های دی‌اکسید کربن منتشر شده از خاک در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی نشان می‌دهد که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر مقدار گاز دی‌اکسید کربن متصاعد شده از خاک داشته است (جدول ۵). در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی مقدار بقایای حفظ شده در سطح خاک و میزان برهم خوردگی خاک متفاوت است، بنابراین فعالیت ریزجانداران خاک در این تیمارها متفاوت و در نتیجه مقدار دی‌اکسید کربن متصاعد شده از خاک نیز متفاوت است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- تجزیهٔ واریانس داده‌های دی‌اکسیدکربن منتشر شده از خاک در روش‌های خاک‌ورزی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
تکرار	۳	۵۱۴/۳	۴/۲۶ *
تیمار	۴	۵۲۵۹/۴	۴۳/۵۷ **
خطا	۱۲	۱۲۰/۷	
ضریب تغییرات	۶/۱		

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

نتایج مقایسهٔ میانگین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر دی‌اکسید کربن منتشر شده از خاک نشان می‌دهد که تیمارها از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری دارند، به‌طوری‌که تیمار کم‌خاک‌ورزی (T_1) دارای کمترین مقدار دی‌اکسید کربن منتشر شده از سطح خاک و تیمار کشت مستقیم ذرت و کشت مرسوم گندم در سال سوم (T_3) دارای بیشترین دی‌اکسید کربن متصاعد شده است (جدول ۶). دلیل افزایش دی اکسید کربن متصاعد شده از سطح خاک در تیمارهای حاوی کشت مستقیم وجود بقایای زیاد در سطح خاک است که فعالیت ریزجانداران خاک را تشدید می‌کند. همچنین، حفظ رطوبت بیشتر در خاک در روش کشت مستقیم، به افزایش فعالیت ریزجانداران خاک در این تیمارها کمک می‌کند. به‌هم خوردگی بیشتر خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم می‌توانست باعث افزایش دی‌اکسید کربن منتشر شده از خاک در این تیمار در مقایسه با تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی گردد، اما احتمالاً پایین بودن دمای خاک در منطقهٔ معتدل (شهرستان مرودشت فارس)، اکسید شدن مادهٔ آلی خاک را در این تیمار کند کرده است.

جدول ٦- مقایسهٔ میانگین دی‌اکسیدکربن منتشر شده از خاک در روش‌های خاک‌ورزی

تیمار	مقدار دی اکسیدکربن متصاعد شده از خاک (میلی گرم دی اکسید کربن بر متر مربع در ساعت)
T_1	۱۲۱/۹c
T_2	۲۰۷/۷a
T_3	۲۱۳/۱a
T_4	۱۷۹/۸b
T_5	۱۷۵/۶b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

پایداری خاکدانه‌ها

مقایسهٔ میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک، پیش از اعمال تیمارها و در پایان تحقیق، نشان می‌دهد که پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها از شروع آزمایش به انتهای آزمایش بهبود یافته‌اند و تیمارهای خاک‌ورزی باعث بهبود کمّی ساختمان خاک شده‌اند (جدول ۷). بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۷، با گذشت زمان و تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی، در پایان تحقیق بُعد فرکتالی کاهش یافته و شاخص‌های MWD و GMD به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. این موضوع نشان می‌دهد که در منطقهٔ اجرای تحقیق، تیمارها به‌طور معنی‌داری تاثیرگذار بوده‌اند و توانسته‌اند ساختمان خاک را بهبود بخشند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- مقایسهٔ میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک در آغاز و پایان تحقیق

تیمار	بُعد فرکتال جرمی	قطر متوسط وزنی (میلی متر)	قطر متوسط هندسی (میلی متر)
قبل از آغاز پروژه (Y_1)	۲/۴۶۱ a	۱۰/۴۳۴ b	۲/۱۰۱ b
بعد از پایان اجرای پروژه (Y_2)	۲/۴۴۱ a	۱۲/۵۳۹ a	۲/۲۷۴ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک با هم اختلاف معنی‌دار دارند و احتمالاً دورهٔ چهار سالهٔ آزمایش باعث شده است تا پارامترهای کمّی ساختمان خاک (D_m، MWD و GMD) تحت تاثیر تیمارهای خاک‌ورزی تغییر کنند (جدول ۸). هرچند انتظار می‌رفت که در لایهٔ سطحی خاک، به‌دلیل بالاتر بودن مقدار کربن آلی، ساختمان خاک وضعیت بهتری داشته باشد ولی به‌دلیل اعمال تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به‌هم خوردگی کمتر خاک و تخریب کمتر ساختمان خاک، خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها در لایهٔ زیرین خاک (عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری) افزایش یافته و با خاکدانه‌سازی در لایهٔ سطحی اختلاف معنی‌دار پیدا کرده است. احتمالاً فرصت برای انتقال کربن آلی از سطح به لایهٔ پایین‌تر و تجزیه و فساد ریشه‌های گیاهان در لایهٔ دوم، شرایط را برای بهبود ساختمان خاک مهیاتر کرده‌است.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تیمارهای خاک‌ورزی و حفظ بقایا در سراسر چهار سال تحقیق باعث شده‌اند تا کمیت پارامترهای ارزیابی ساختمان بهبود یابد؛ این بهبود ساختمان در هر دو لایهٔ سطحی خاک اتفاق افتاده، اما در لایهٔ دوم موثرتر بوده است.

جدول ۸- مقایسهٔ میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک در دو عمق مختلف خاک

عمق خاک (سانتی‌متر)	بُعد فرکتال جرمی	قطر متوسط وزنی (میلی متر)	قطر متوسط هندسی (میلی متر)
(D_1) ۱۰-۰	۲/۴۷۹ a	۱۰/۹۹۲ b	۲/۱۱۳ b
(D_2) ۲۰-۱۰	۲/۴۲۳ b	۱۱/۹۸۰ a	۲/۲۶۲ a

در هر ستون، میانگین‌های که دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

پارامترهای فرکتالی و شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری ندارند و تمام تیمارها از نظر این فاکتورها در یک سطح آماری قرار گرفته‌اند (جدول ۹). این موضوع نشان می‌دهد که ساختمان خاک بر اثر سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بهبود یافته‌است، اما برای معنی‌دار شدن این تأثیر، احتمالاً به زمانی بیش از چهار سال نیاز خواهد بود. در بین تیمارهای خاک‌ورزی، تیمار بی‌خاک‌ورزی دارای بهترین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک است؛ خاک‌ورزی مرسوم از این نظر در پایین‌ترین رده قرار دارد.

نتایج اثر متقابل تیمار خاک‌ورزی و عمق خاک بر میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک نشان می‌دهد که اثر متقابل این دو عامل بر پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک معنی‌دار است و تیمار بی‌خاک‌ورزی در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک (تیمار D_2T_2)، پایدارترین خاکدانه‌ها را ایجاد کرده است (جدول ۱۰). روش

www.SID.ir

Archive of SID

بی‌خاک‌ورزی در عمق دوم (۱۰-۲۰ سانتی‌متر) کمترین به‌هم‌خوردگی را در خاک ایجاد کرده است و در نتیجه بیشترین مقدار پایداری خاکدانه‌ها را دارد. بنابراین، تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی تأثیراتی مثبت بر پایداری خاکدانه‌ها دارند.

جدول ۹- مقایسهٔ میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک در تیمارهای خاک‌ورزی

تیمار	بُعد فرکتال جرمی	قطر متوسط وزنی (میلی متر)	قطر متوسط هندسی (میلی متر)
T_1	۲/۴۷۱ a	۱۱/۰۴ a	۲/۱۱۷ a
T_2	۲/۴۲۱ a	۱۲/۳۱ a	۲/۲۹۳ a
T_3	۲/۴۶۵ a	۱۰/۹۶ a	۲/۱۳۰ a
T_4	۲/۴۱۹ a	۱۱/۷۸ a	۲/۲۵۴ a
T_5	۲/۴۸۰ a	۱۱/۳۴ a	۲/۱۴۴ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۱۰- اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و عمق خاک بر پارامترهای پایداری خاکدانه و ساختمان خاک

تیمار	بُعد فرکتال جرمی	قطر متوسط وزنی (میلی متر)	قطر متوسط هندسی (میلی متر)
D_1T_1	۲/۴۶۰ abc	۱۱/۰۱ ab	۲/۱۲۱ abc
D_1T_2	۲/۴۸۵ ab	۱۱/۷۱ ab	۲/۱۷۱ abc
D_1T_3	۲/۴۹۹ a	۱۰/۰۵ b	۲/۰۰۱ c
D_1T_4	۲/۴۶۰ abc	۱۱/۱۲ ab	۲/۱۵۶ abc
D_1T_5	۲/۴۹۱ a	۱۱/۰۷ ab	۲/۱۱۴ bc
D_2T_1	۲/۴۸۱ ab	۱۱/۰۶ ab	۲/۱۱۲ abc
D_2T_2	۲/۳۵۶ c	۱۲/۹۲ a	۲/۴۱۴ a
D_2T_3	۲/۴۳۱ abc	۱۱/۸۸ ab	۲/۲۵۹ abc
D_2T_4	۲/۳۷۹ bc	۱۲/۴۴ a	۲/۳۵۲ ab
D_2T_5	۲/۴۶۹ ab	۱۱/۶۰ ab	۲/۱۷۴ abc

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

برگردان شدن بقایای گیاهی، مصرف سوخت و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

نتایج مقایسهٔ میانگین برگردان شدن بقایا در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان می‌دهد که اختلاف بین تمام تیمارهای خاک‌ورزی از نظر میزان برگردان بقایا معنی‌دار است، به‌طوری‌که حداکثر میزان برگردان شدن بقایای گیاهی (۹۰/۷ درصد)، در تیمار خاک‌ورزی مرسوم به‌دست آمده است و پس از این تیمار، روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب با ۷۶/۳ و ۲۹/۴ درصد در

www.SID.ir

Archive of SID

رده‌های بعدی قرار دارند (جدول ۱۱). نوع تیغه‌ها و ساختمان ادواتی که در عملیات خاک‌ورزی به‌کار گرفته می‌شوند، بر شرایط فیزیکی خاک و از جمله بر برگردان شدن بقایای گیاهی تاثیر مستقیم دارد. به‌آئین و همکاران (Behaeen *et al.*, 2011) میزان برگردان شدن بقایای گیاهی در گاوآهن قلمی را به‌شکل خاص این گاوآهن نسبت می دهند. حداقل میزان برگردان بقایای گیاهی را در مستقیم‌کار (تیمار بی‌خاک‌ورزی) می‌توان دید که تیغه‌های این دستگاه فقط در هنگام باز کردن شیار و کاشت، مقدار کمی از بقایای گیاهی را به زیر خاک می‌برند.

نتایج مقایسهٔ مقدار مصرف سوخت برای تهیهٔ زمین و کاشت در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نیز نشان می‌دهد که بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم اختلاف زیادی از نظر مصرف سوخت وجود دارد، به‌طوری‌که تیمارهای بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) و کم‌خاک‌ورزی، نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم، به‌ترتیب ۸۰ و ۵۸ درصد مصرف سوخت را کاهش می‌دهند (جدول ۱۱). صرفه‌جویی در مصرف سوخت در خاک‌ورزی حفاظتی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، نیز در گذشته در تحقیقات روسو (Rusu, 2005)، افضلی‌نیا و همکاران (Afzalinia *et al.*, 2009) و هابز و همکاران (Hobbs *et al.*, 1997) گزارش شده است.

نتایج مقایسهٔ میانگین ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای عملیات تهیهٔ زمین و کاشت در روش‌های مختلف خاک‌ورزی نشان می‌دهد که اختلاف زیادی بین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای وجود دارد، به‌گونه‌ای که روش بی‌خاک‌ورزی دارای بیشترین و روش خاک‌ورزی مرسوم دارای کمترین ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای است (جدول ۱۱). نتایج این مقایسه همچنین نشان می‌دهد که ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای در تیمار بی‌خاک‌ورزی شش برابر ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای در روش خاک‌ورزی مرسوم است، در حالی‌که ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای در تیمار کم‌خاک‌ورزی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، سه برابر است. کاهش مدت زمان مورد نیاز برای تهیهٔ زمین و کاشت و نیز افزایش ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای از مزایای مهم خاک‌ورزی حفاظتی هستند که باعث می‌شود کاشت در محدودهٔ تاریخ کاشت توصیه شده انجام شود و از افت عملکرد ناشی از کشت تأخیری جلوگیری شود. این مزیت در سیستم دو کشتی که فاصلهٔ زمانی بین دو کشت اندک است، اهمیت دوچندان پیدا می‌کند. ارنستین و لاکسمی (Erenstein & Laxmi, 2008) نیز یکی از مزایای استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در کشت گندم پس از برداشت برنج را امکان کاشت زودتر گندم گزارش کردند.

جدول ۱۱- مقایسهٔ میانگین برگردان شدن بقایای گیاهی، مصرف سوخت و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در تیمارهای خاک‌ورزی

سامانهٔ خاک‌ورزی	برگردان شدن بقایای گیاهی (درصد)	مصرف سوخت (لیتر بر هکتار)	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار بر ساعت)
کم خاک‌ورزی	۷۶/۳b	۲۵/۷b	۰/۶b
بی‌خاک‌ورزی	۲۹/۴c	۱۲/۲c	۱/۲a
خاک‌ورزی مرسوم	۹۰/۷a	۶۱/۶a	۰/۲c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد گندم

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های عملکرد گندم در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان می‌دهد که از نظر این عامل، فقط در سال چهارم اجرای پروژه بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، در حالی‌که در سال‌های پیش از آن، عملکرد گندم تحت تأثیر روش خاک‌ورزی قرار داشته است (جدول ۱۲). نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم از نظر عملکرد گندم در سال آخر تحقیق نشان می‌دهد که چنانچه مدت زمان اجرای مداوم خاک‌ورزی حفاظتی به اندازه کافی باشد، عملکرد گندم در این روش‌ها به عملکرد گندم در خاک‌ورزی مرسوم نزدیک می‌شود.

جدول ۱۲- تجزیهٔ واریانس داده‌های عملکرد گندم در سال‌های مختلف دورهٔ تحقیق (اعداد ارائه شده در جدول مقادیر F هستند)

منابع تغییرات	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم
تکرار	۴/۳۰ *	۵/۶۳ *	۳/۰۶ ns	۰/۵ ns
تیمار	۲/۵۹ *	۲/۳۵ *	۲/۱۸ *	۱/۳۴ ns

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار

نتایج مقایسهٔ میانگین عملکرد گندم در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که در سه سال اول دورهٔ تحقیق، بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی از نظر عملکرد گندم اختلاف معنی‌داری وجود دارد، اما در سال آخر، همهٔ تیمارها در یک ردهٔ آماری قرار می گیرند و با هم اختلاف معنی‌دار ندارند (جدول ۱۳). در سال اول، عملکرد گندم در تمام تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از عملکرد این محصول در خاک‌ورزی مرسوم بوده است و بیشترین عملکرد گندم نیز از تیمار کشت مستقیم ذرت و کشت مرسوم گندم در سال سوم (تیمار T_3) به‌دست آمده است که در سال اول تیمار کشت مستقیم محسوب می‌شد. در سال اول، مزرعهٔ انتخاب شده بقایای گیاهی کافی نداشت، بنابراین بذر گندم در تیمارهای کشت مستقیم به‌دلیل عمق کاشت مناسب و یکنواختی در عمق کاشت، سریع‌تر سبز شدند و با توجه به اینکه در کشت‌های آبی، آب به مقدار کافی و در زمان لازم در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و رطوبت عامل محدودکننده رشد گیاه نیست، بذرهای کشت شده در تیمارهای کشت مستقیم از نظر رشد بر بذرهای کشت شده در تیمار خاک‌ورزی مرسوم پیشی گرفتند. در نتیجه عملکرد گندم در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از عملکرد آن در خاک‌ورزی مرسوم بوده است. به‌طور کلی، اگر گندم با تنش رطوبتی روبه‌رو نشود، عملکرد آن در کشت مستقیم بدون بقایا در حد عملکرد آن در خاک‌ورزی مرسوم و حتی بیشتر از آن خواهد بود. در سال دوم، گندم در حجم زیادی از بقایای ذرت دانه‌ای کشت شده است و بنابراین وجود بقایای گیاهی زیاد سبز شدن بذر و رشد آن را در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، به‌خصوص تیمارهای کشت مستقیم، مختل و در نتیجه عملکرد گندم در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. بنابراین در این سال، تیمار خاک‌ورزی مرسوم بیشترین عملکرد گندم (۵۴۷۲ کیلوگرم در هکتار) را داشته است و کمترین عملکرد گندم (۳۹۴۸ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار کشت مستقیم گندم و ذرت در همهٔ چهار سال دورهٔ تحقیق (T_2) دیده

www.SID.ir

Archive of SID

مـی شـود. در سـال‌هـای دوم، سـوم و چهـارم، ذرت بـه‌صـورت علوفـه‌ای برداشـت شـد و گنـدم سـال سـوم و چهـارم در بقایـای ذرت علوفـه‌ای کشـت شـد کـه مقـدار آن در حـدود حـداقل لازم (۳۰ درصـد پوشـش سـطح خـاک) بـرای خـاک‌ورزی حفـاظتی اسـت . بنـابراین، در ایـن سـال‌هـا عملکـرد گنـدم در تیمارهـای خـاک‌ورزی حفـاظتی بـه عملکـرد آن در تیمـار خـاک‌ورزی مرسـوم نزدیـک شـده اسـت، بـه‌طـوری‌کـه در سـال چهـارم اخـتلاف معنـی‌داری بـین عملکـرد گنـدم در تیمارهـای مختلـف خـاک‌ورزی دیـده نمـی شـود. ایـن نتـایج نشـان مـی‌دهـد کـه مـدیریت بقایـای گیـاهی در موفقیـت خـاک‌ورزی حفـاظتی، بـه خصـوص در کشـت محصـولات شـتوی (مثـل گنـدم) در منـاطق معتـدل و سـرد، نقـش بسـیار زیـادی دارد. در ایـن منـاطق، بـرای اجـرای خـاک‌ورزی حفـاظتی در کشـت محصـولات شـتوی، مقـدار بقایـا بایـد در حـداقل لازم (۳۰ درصـد پوشـش سـطح خـاک) باشـد و تـاریخ کاشـت توصـیه شـده بـرای ایـن منـاطق رعایـت شـود. در ایـن منـاطق، چنانچـه حجـم بقایـای گیـاهی زیـاد باشـد و کاشـت بـه تـأخیر افتد، کـاهش دمـای خـاک در اثـر وجـود بقایـای گیـاهی، سـرعت و درصـد سـبز شـدن بـذرها را کـاهش مـی‌دهـد، رشد آنها را کنـد مـی‌کنـد و در نتیجـه عملکـرد محصـول را پـایین مـی آورد. مقایسـهٔ میـانگین عملکـرد گنـدم در ایـن چهـار سـال دورهٔ تحقیـق نیـز نشـان مـی‌دهـد کـه عملکـرد در خـاک‌ورزی مرسـوم بیشـترین اسـت و بـا عملکـرد در تیمارهـای خـاک‌ورزی حفـاظتی اخـتلاف معنـی‌دار دارد، در حـالی کـه اخـتلاف بـین تیمارهـای خـاک‌ورزی حفـاظتی معنـی‌دار نیسـت (جـدول ۱۳). بین میـانگین عملکـرد گنـدم در سـال‌های مختلـف نیـز اخـتلاف معنـی‌دار وجـود دارد بـه‌گونـه‌ای کـه بیشـترین مقـدار عملکـرد در سـال چهـارم و کمتـرین آن در سـال دوم بـه‌دسـت آمـده اسـت. بـا توجـه بـه متفـاوت بـودن شـرایط جـوی و بارنـدگی‌هـا در سـال‌هـای مختلـف، متفـاوت بـودن میـانگین عملکـرد گنـدم در ایـن سـال‌هـا (میـانگین تیمارهـای مختلـف در هـر سـال) منطقـی اسـت. در بیشـتر تحقیقـات انجـام شـده در دیمزارهـا، ماننـد آنچـه در گـزارش دویتـا و همکـاران (De Vita *et al.*, 2007) و فریبیـرن و همکـاران (Freebairn *et al.*, 1986) آمـده اسـت، روش‌هـای خـاک‌ورزی حفـاظتی در مقایسـه بـا خـاک‌ورزی مرسـوم باعـث افـزایش عملکـرد گنـدم شـده اسـت. امـا در شـرایط آبـی، اکثـر نتـایج تحقیقـات (Liu *et al.*, 2005; Afzalinia *et al.*, 2011) نشـان‌دهنـدهٔ کـاهش عملکـرد گنـدم در روش‌هـای خـاک‌ورزی حفـاظتی، در مقایسـه بـا خـاک‌ورزی مرسـوم، اسـت (عمـدتاً بـه‌دلیـل حجـم زیـاد بقایـای گیـاهی در کشـت آبـی کـه مـدیریت بقایـای گیاهی را با مشکل مواجه مـی‌کنـد) کـه بـا نتـایج حاصـل از این تحقیق همخوانی دارد.

جدول ۱۳- مقایسهٔ میانگین عملکرد گندم در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

تیمار	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	میانگین
T_1	۵۰۲۰ab	۴۴۱۴ab	۵۳۷۱ab	۶۶۷۸a	۵۳۷۱b
T_2	۴۵۸۵ab	۳۹۴۸b	۵۱۹۷b	۷۰۵۸a	۵۱۹۷b
T_3	۵۲۷۳a	۴۰۲۴b	۵۶۲۰ab	۶۵۰۵a	۵۳۵۵b
T_4	۴۶۲۵ab	۴۴۳۶ab	۵۳۶۷ab	۷۰۴۰a	۵۳۶۷b
T_5	۴۴۶۵b	۵۴۷۲a	۵۸۴۷a	۷۶۰۴a	۵۸۴۷a
ضریب تغییرات	۸/۸	۱۷/۸	۶/۳	۱۰/۵	۱۱/۱

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، مصرف سوخت را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهند. بنابراین با توجه به محدودیت سوخت‌های فسیلی و همچنین آثار زیان‌بار زیست محیطی مصرف این‌گونه سوخت‌ها، خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند جایگزینی مناسب برای خاک‌ورزی مرسوم باشد. ظرفیت مزرعه‌ای موثر برای تهیهٔ زمین و کاشت در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی، نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم، به‌ترتیب شش و سه برابر است که این مزیت، کمک شایانی به کشت به‌موقع محصول دوم در سیستم دو کشتی می‌کند. همچنین، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث افزایش ذخیرهٔ رطوبت در خاک می‌شود که می‌تواند کاهش مصرف آب را به‌دنبال داشته باشد. نداشتن اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و تیمار مرسوم از نظر عملکرد گندم در سال چهارم نشان می‌دهد که اگر اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به‌صورت علمی مدیریت شود، این روش‌ها می‌توانند در تهیهٔ زمین و کاشت گندم در مناطق معتدل استان فارس جایگزین خاک‌ورزی مرسوم شوند. بررسی اثر تناوب خاک‌ورزی یعنی قطع روند کشت مستقیم با استفاده از خاک‌ورزی مرسوم در یک فصل زراعی (تیمارهای T_3 و T_4) نشان می‌دهد که اثر این تیمارها فقط در همان فصلی که اعمال شده‌اند، دیده می‌شود و اثرهای درازمدت ندارند. بنابراین، قطع روند کشت مستقیم با استفاده از خاک‌ورزی مرسوم، ضرورتی ندارد.

قدردانی

از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس به‌دلیل حمایت مالی از این تحقیق و نیز از آقای فرزاد استخری که این تحقیق در مزرعه ایشان اجرا شد، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

Afzalinia, S., Dehghanian, E. and Talati, M. H. 2009. Effect of conservation tillage on soil physical properties, fuel consumption, and wheat yield. Proceedings of the 4th Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering. Oct. 1-3. Rousse, Bulgaria.

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

Al-Issa, T. A. and Samarah, N. H. 2007. The effect of tillage on barley production under rainfed condition on Jordan. Am.Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 2(1): 57-59.

Anderson, J. P. E. 1982. Soil Respiration. In: Page, A. L. Miller, R. H. and Keeneg, D. R. (Eds.) Methods of Soil Analysis, Part 2. 2nd Ed. American Society of Agronomy, Madison.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

Proceedings of the 11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. Sep. 21-23. Istanbul, Turkey.

Carr, P. M., Horsley, R. D. and Poland, W. W. 2003. Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars. I. Grain production. Crop Sci. 43, 202-209.

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 Till. Res. 92(1-2): 69-78.

Erenstein, O. and Laxmi, V. 2008. Zero tillage impacts in India's rice-wheat systems: A review. Soil Till. Res. 100, 1-14.

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 Till. Res. 8, 211-229.

Hobbs, P. R., Giri, G. S. and Grace, P. 1997. Reduced and zero tillage options for the establishment of wheat after rice in south Asia. Rice-Wheat Consortium Technical Bulletin. New Delhi, India

Kumudini, S., Grabau, L., Van Sanford, D. and Omielan, A. 2008. Analysis of yield-formation processes under no-till and conventional tillage for soft red winter wheat in the south-central region. Agrony J. 100(4): 1026-1032.

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.

Pirmoradian, N., Sepaskhah, A. R. and Hajabbasi, M. A. 2005. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments. Biosyst. Eng. 90, 227-234.

Rusu, T. 2005. The influence of minimum tillage systems upon the soil properties, yield and energy efficiency in some arable crops. J. Cent. Eur. Agric. 6(3): 287-294.

Singer, J. W., Kohler, K. A., Liebman, M. T., Richard, L., Cambardella, C. A. and Buhler, D. D. 2004. Tillage and compost affect yield of corn, soybean, and wheat and soil fertility. Agronomy J. 96(2): 531-537.

Thomason, W. E., Davis, P. A. and Brann, D. E. 2005. Soft red winter wheat cultivar response to tillage in the Mid-Atlantic Coastal Plain. Online: Crop Manage. doi:10.1094/CM-2005-0916-01-RS.

Tyler, S. W. and Wheatcraft, S. W. 1992. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56, 362-369.

Vaclav, S., Ruzeka, P., Chrpova. J., Vaveraa. R. and Kusaa, H. 2009. The effect of tillage practice, input level and environment on the grain yield of winter wheat in the Czech Republic. Field Crop Res. 113(2): 131-137.

Webster, R. and Oliver, M. A. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley & Sons, Chichester, England.

www.SID.ir

Archive of SID

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.20/No.72/Spring & Summer 2019/P:163-178

Effect of Conservation Tillage on Soil Properties, Field Capacity, Fuel Consumption, and Wheat Yield in the Wheat-Corn Rotation

S. Afzalinia*, A. Karami and M. J. Rousta

* Corresponding Author: Asociate Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AERO, Shiraz, Iran. Email: sja925@mail.usask.ca
Received: 12 October 2017, Accepted: 7 February 2018

Abstract

This study was conducted using a randomized complete block experimental design with five treatments and four replications in Marvdasht region, Fars province, for four years. Treatments included: 1) reduced tillage, 2) wheat and corn direct seeding, 3) corn direct seeding for four years, wheat direct seeding for the first two years and the fourth year, and conventional planting in the third year, 4) wheat direct seeding for four years, corn direct seeding for the first two years and the fourth year, and conventional planting in the third year, and 5) conventional tillage. Results showed that direct seeding and reduced tillage methods decreased fuel consumption, compared to the conventional tillage for 80% and 58%, respectively. Effective field capacity for seed bed preparation and planting increased in direct seeding and reduced tillage methods compared to the conventional tillage for 6 and 3 times, respectively. Conservation tillage methods also increased soil moisture retention (maximum of 32%) with respect to conventional tillage. However, there was no significant difference between tillage methods from the soil aggregates point of view; conservation tillage methods had more stable soil aggregates. For the first three years, wheat yield was significantly affected by the tillage methods (conventional tillage was practiced in most of these years); whereas, there was no significant difference between tillage methods for wheat yield in the fourth year of the study.

Key words: Direct Seeding, Minimum Tillage, Soil Aggregates Stability

www.SID.ir