اثر سامانه های مختلف خاک ورزی بر ویژگی‌های خاک، مصرف سوخت و عملکرد گندم در تناوب گندم-کنجد

صادق افضلی نیا[1]، علی داد کرمی و سید منصور علوی منش

دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز؛ sja925@mail.usask.ca

دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز؛ alidad_karami@yahoo.com

محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز؛ alavimanesh88@gmail.com

دریافت: 98/6/2 و پذیرش: 98/11/27

چکیده

علیرغم قدمت نسبتاً طولانی خاک ورزی حفاظتی در دنیا، این فناوری در کشور ما نوپا است، بنابراین بررسی آثار آن بر ویژگی‌های خاک و عملکرد محصولات مختلف ضروری است. از این رو، این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار از سال 1389 تا 1393 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب فارس انجام شد. تیمارها عبارت بودند از T_1) کم‌خاک ورزی با خاک ورز مرکب (عمق 15 سانتی متر)، T_2) کشت مستقیم گندم و کنجد به مدت چهار سال، T_3) کشت مستقیم کنجد به مدت چهار سال وکشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم ، T_4) کشت مستقیم گندم به مدت چهار سال وکشت مستقیم کنجد در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و T_5) خاک‌ورزی مرسوم با استفاده از گاوآهن برگردان دار (عمق 25 سانتی متر)، دیسک و لولر. رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، پایداری خاکدانه ها، درصد برگردان شدن پسماندهای گیاهی، سوخت مصرفی، ظرفیت مزرعه ای و عملکرد گندم اندازه گیری شدند. نتایج نشان داد که روش بی خاک‌ورزی در کشت گندم رطوبت خاک را در مقایسه با خاک ورزی مرسوم تا 18 درصد افزایش داد، اما اثر معنی داری بر جرم مخصوص ظاهری خاک نداشت. همچنین، روش های خاک ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک ورزی مرسوم مصرف سوخت را تا 77 درصد کاهش و ظرفیت مزرعه ای مؤثر انجام عملیات تهیه زمین و کاشت را 2/8 برابر افزایش دادند. عملکرد گندم در تیمارهای خاک ورزی حفاظتی به طور معنی‌داری کمتر از روش خاک ورزی مرسوم بود (تا 21 درصد) که به نظر می‌رسد خاک لومی منطقه داراب نیاز به زمان بیشتری دارد تا بتواند با روش‌های خاک ورزی حفاظتی سازگار گردد. مقایسه اقتصادی تیمارها نیز نشان داد که روش‌های خاک ورزی حفاظتی توان رقابت با خاک ورزی مرسوم را ندارند و خاک ورزی مرسوم اولویت اول تهیه زمین در تناوب گندم-کنجد در منطقه داراب می-باشد و کم خاک ورزی و کشت مستقیم به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه ها، جرم مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک، روش‌های مختلف خاک‌ورزی

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

مقدمه

روش تهیه زمین از جمله عوامل مهم در تولید گندم می‌باشد که نه تنها می تواند عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار دهد، بلکه بر ویژگی‌های خاک، مصرف سوخت و تاریخ کاشت محصول نیز اثرگذاراست. از میان روش‌های خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حفاظتی به‌دلیل کاهش به‌هم‌خوردگی خاک، اثرات مثبت بر ویژگی‌های خاک، کاهش تعداد عملیات مورد نیاز و افزایش سرعت کار، مورد توجه قرارگرفته‌است. با وجود پژوهش‌های زیادی که در زمینه خاک‌ورزی حفاظتی انجام شده‌است، به‌دلیل جدید بودن این روش‌های خاک‌ورزی در کشور ما، بسیاری از آثار آن بر محصولات و تناوب‌های مختلف ناشناخته مانده‌است. عملکرد گندم ممکن است در شرایط اقلیمی و مدیریتی مختلف، واکنش‌های متفاوتی به روش‌های خاک‌ورزی نشان دهد. نتایج برخی پژوهش‌های انجام شده در این خصوص نشان دهنده افزایش عملکرد گندم در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (ضیاییان و همکاران، 1397؛ العیسی و سمره[1]، 2007؛ دی ویتا و همکاران[2]، 2007؛ عبدی پور و همکاران، 2012؛ تانگ و همکاران[3]، 2013؛ لی و همکاران[4]، 2015؛ سانتین منتانیا و همکاران[5]، 2017؛ کومار و همکاران[6]، 2017؛ ساریخانی خرمی و همکاران، 2018؛ علی و همکاران، 2019). نتایج برخی پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که روش خاک‌ورزی حفاظتی اثر معنی‌داری بر عملکرد گندم ندارد (کار و همکاران[7]، 2003a؛ واکلاو و همکاران[8]، 2009). کاهش عملکرد گندم در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نیز در نتایج برخی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه مشاهده می‌شود (سینگر و همکاران[9]، 2004؛ لیو و همکاران[10]، 2005؛ کومودینی و همکاران[11]، 2008؛ فیض نیا و شمابادی، 2012؛ گریگراس و همکاران[12]، 2013؛ گوان و همکاران[13]، 2015، لغاری و همکاران،[14] 2015؛ آرمسترانگ و همکاران،[15] 2019).

روش‌های خاک‌ورزی به‌ویژه خاک‌ورزی حفاظتی، رطوبت خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. بر اساس نتایج پژوهش انجام شده در اسپانیا، بی‌خاک‌ورزی رطوبت خاک را در مقایسه با خاک ورزی مرسوم افزایش می‌دهد (سانتین منتانیا و همکاران، 2017). نتایج پژوهشی در رومانی نشان داد که روش کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم رطوبت بیش‌تری را در عمق 0-30 سانتی‌متری خاک حفظ می‌کند (روسو،[16] 2005). در پژوهش انجام شده در شمال اردن مشاهده شد که خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم رطوبت بیش‌تری را در خاک حفظ می‌کند (العیسی و سمره، 2007). مقایسه اثر روش‌های خاک‌ورزی بر حفظ رطوبت خاک در تناوب گندم-برنج نشان داد که در شرایط آب و هوایی خشک، روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم رطوبت بیش‌تری را در خاک حفظ می‌نماید (لیو و همکاران، 2005). همچنین نتایج مقایسه روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر حفظ رطوبت در ایتالیا نشان دهنده کاهش تبخیر از سطح خاک در روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (دی ویتا و همکاران، 2007). از طرف دیگر، نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که یکی از مزایای استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در کشت گندم پس از برداشت برنج، صرفه‌جویی در مصرف آب می‌باشد (ارنستین و لاکسمی[17]، 2008).

نتایج متناقضی از اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک گزارش شده‌است. بر اساس نتایج برخی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، خاک‌ورزی حفاظتی و به‌ویژه بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم جرم مخصوص ظاهری خاک را افزایش می‌دهد (تاسر و متین اغلو[18]، 2005؛ فابریزی و همکاران[19]، 2005؛ لیو و همکاران، 2005؛ افضلی‌نیا و همکاران، 2010؛ گوان و همکاران، 2013؛ ساریخانی خرمی و همکاران، 2018). از طرف دیگر، نتایج برخی پژوهش‌ها نشان دهنده عدم تأثیر معنی‌دار خاک‌ورزی

1. Al-Issa and Samarah
2. De Vita et al.
3. Tang et al.
4. Li et al.
5. Santín-Montanyá et al.
6. Kumar et al.
7. Carr et al.
8. Vaclav et al.
9. Singer et al.
10. Liu et al.
11. Kumudini et al.
12. Grigoras et al.
13. Guan et al.
14. Leghari et al.
15. Armstrong et al.
16. Rusu
17. Erenstein and Laxmi
18. Taser and Metinoglu
19. Fabrizzi et al.

حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک است (لاگسدان و کارلن[1]، 2004؛ افضلی‌نیا و همکاران، 2011؛ رسولی و همکاران، 2012).

روش‌های مختلفی برای محاسبه بُعد فرکتالی پدیده‌های طبیعی از جمله خاکدانه‌ها وجود دارد که اکثر آن‌ها تجربی است. در مورد سری‌های مکانی یا زمانی، بُعد فرکتالی را می‌توان از طریق محاسبه تابع نیم‌تغییرنما (واریوگرام) به‌صورت کمّی بیان کرد (وبستر و الیور[2]، 2001). نتایج مقایسه اثر 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 (پیرمرادیان و همکاران، 2005). روش‌های خاک‌ورزی همچنین اثر قابل توجهی بر مصرف انرژی و سوخت در مرحله تهیه زمین و کاشت محصول دارند. نتایج پژوهشی در رومانی نشان داد که در محصولات ذرت، سویا و گندم روش کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم مصرف سوخت را 12/4 تا 25/3 لیتر در هکتار کاهش می‌دهد (روسو، 2005). همچنین نتایج پژوهش‌های انجام شده در استان فارس نیز صرفه‌جویی 77 درصدی در مصرف سوخت و 84 درصدی در زمان مورد نیاز جهت تهیه زمین و کاشت محصول را در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نشان می‌دهد (افضلی‌نیا و همکاران، 2009).

بررسی نتایج پژوهش‌های انجام شده در زمینه اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم، ویژگی‌های خاک و مصرف انرژی نشان می‌دهد که این نتایج معمولاً تحت تأثیر سیستم کشت، تناوب زراعی و شرایط آب و هوایی قرار دارند. بنابراین، انجام پژوهش در مورد اثرات روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط اقلیمی و محصولات مختلف ضروری است. از این رو، این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی با خاک‌ورزی مرسوم از نظر خصوصیات خاک، مصرف سوخت، ظرفیت مزرعه‌ای و عملکرد گندم در تناوب گندم-کنجد در منطقه گرم استان فارس (شهرستان داراب) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بختاجرد در شهرستان داراب با طول جغرافیایی 54 درجه و 27 دقیقه و عرض جغرافیایی 28 درجه و 45 دقیقه به مدت چهار سال (1390 تا 1394) انجام شد. قبل از شروع پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با تهیه دو نمونه مرکب از مزرعه محل آزمایش اندازه‌گیری شدند (جدول1).

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار در تناوب گندم-کنجد انجام شد. تیمارها عبارت بودند از (T_1) کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورز مرکب (عمق 15 سانتی‌متر)، (T_2) کشت مستقیم گندم و کنجد به مدت چهار سال، (T_3) کشت مستقیم کنجد به مدت چهار سال وکشت مستقیم گندم در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم ، (T_4) کشت مستقیم گندم به مدت چهار سال وکشت مستقیم کنجد در سال‌های اول، دوم و چهارم و کشت مرسوم آن در سال سوم و (T_5) خاک‌ورزی مرسوم با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار (عمق 25 سانتی‌متر)، دیسک و لولر. تیمارهای T_3و T_4 برای بررسی اثر تناوب خاک‌ورزی یعنی قطع روند کشت مستقیم توسط خاک‌ورزی مرسوم در یک فصل زراعی در این پژوهش گنجانده شدند زیرا برخی معتقدند که انجام مداوم خاک‌ورزی حفاظتی برای مدت طولانی باعث افزایش تراکم خاک و کاهش عملکرد محصول می‌شود. در روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) کاشت بذر در مزرعه بدون هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی و با یک بار حرکت خطی کار کشت مستقیم، انجام شد. در روش کم‌خاک‌ورزی از یک دستگاه خاک‌ورز مرکب استفاده شد و عملیات خاک‌ورزی در یک مرحله انجام گرفت و سپس برای کشت گندم و کنجد از خطی‌کار استفاده گردید. در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاوآهن برگردان‌دار، دیسک (دو بار) و لولر انجام شد و گندم و کنجد با استفاده از خطی‌کار کشت گردید.

کشت به‌صورت کرتی مسطح انجام شد و به‌صورت سطحی غرقابی آبیاری شد. مزرعه آزمایش در شروع پژوهش به‌صورت آیش بود، بنابراین در شروع آزمایش پسماندهای اندکی (بیش‌تر پسماندهای علف‌های هرز) در مزرعه وجود داشت. در سال‌های بعد در تمام تیمارهای آزمایش، پسماندهای ایستاده گندم در زمین حفظ شد و پسماندهای خارج شده از انتهای کمباین به بیرون از زمین برده شد، ضمن این که تمام پسماندهای کنجد (پسماندهای باقی‌مانده پس از برداشت شامل ساقه‌های ایستاده و برگ‌های خشک) در کرت‌ها حفظ شد. ابعاد کرت‌های آزمایش 30×6 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. در هر سال کود مورد نیاز محصولات بر اساس آزمون خاک و نیاز کودی مزرعه

[1] Logsdon and Karlen
[2] Webster and Oliver

استفاده شد. تمامی کود فسفات (150 کیلوگرم در هکتار) و پتاس (100 کیلوگرم در هکتار) و یک سوم کود اوره (130 کیلوگرم در هکتار) در زمان کاشت و توسط کارنده به کرت‌ها داده‌شد و بقیه 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. برداشت کنجد کاملاً به‌صورت دستی انجام شد، اما برای اندازه‌گیری عملکرد گندم، فقط ده متر مربع از مساحت هر کرت به‌صورت دستی برداشت شد و بقیه سطح کرت با کمباین برداشت گردید. برای مقایسه روش‌های مختلف خاک‌ورزی، شاخص‌های درصد رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، پایداری خاکدانه‌ها، درصد برگردان شدن پسماندهای گیاهی، مصرف سوخت، ظرفیت مزرعه‌ای انجام عملیات و عملکرد گندم اندازه‌گیری شدند.

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام پژوهش

عمق (cm)	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (%)	pH	بافت خاک
10-0	18	46	36	1/22	0/67	7/6	لوم
20-10	18	49	33	0/86	0/54	7/8	لوم

روش اندازه‌گیری پارامترها

رطوبت خاک 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 خاک در سه نقطه اندازه‌گیری شد و میانگین آنها به‌عنوان رطوبت آن کرت در نظر گرفته شد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، در پایان هر تناوب (قبل از برداشت محصول) از هر کرت یک نمونه با استفاده از استوانه‌های نمونه‌گیری از اعماق 0-10 و 10-20 سانتی‌متری گرفته شد. نمونه‌های دست نخورده به مدت 24 ساعت در دمای 105 درجه سانتی‌گراد درآون خشک شدند و با استفاده از رابطه 1 جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید:

(1)

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

که در آن BD جرم مخصوص ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)، W_d جرم خاک خشک (g) و V حجم کل خاک (cm^3) می‌باشد.

برای بررسی پایداری خاکدانه‌ها، از سه معیار قطر متوسط وزنی (*MWD*)، قطر متوسط هندسی (*GMD*) و بعد فرکتالی خاکدانه‌ها استفاده شد که کاهش بُعد فرکتالی[1] و افزایش قطر متوسط وزنی و هندسی نشان دهنده افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک است (کرمی و همکاران، 1396؛ پیرمرادیان و همکاران، 2005). برای تعیین این معیارها، در هر کرت از دو عمق 0-10 و 10-20 سانتی‌متری خاک نمونه مرکب برداشته شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شدند و سنگریزه‌های درشت، ریشه و پسماندهای گیاهی از نمونه‌ها جدا گردید. سپس با استفاده از سری الک خشک با قطرهای 0/42، 0/84، 2، 4/75، 6/4، 12/7 و 38 میلی‌متر، توزیع اندازهٔ خاکدانه‌های هواخشک تعیین گردید (دی‌آز زوریتا و همکاران، 2002؛ کرمی و همکاران، 2012). برای محاسبهٔ *MWD* و *GMD* از روابط 2 و 3 استفاده شد:

(2)

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \bar{x}_i W_i$$

(3)

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

که در آن‌ها *MWD* و *GMD* به‌ترتیب قطر متوسط وزنی و هندسی (mm)، w_i جرم خاکدانه‌ها در یک کلاس اندازه‌ای با میانگین قطری $\bar{x}_i$، i شماره غربال و n تعداد غربال است. با استفاده از توزیع اندازهٔ خاکدانه‌ها و به کارگیری رابطه 3 (تیلور و ویتکرفت، 1192) بُعد فرکتالی محاسبه گردید و خاکدانه‌ها در هفت کلاس 0 تا 0/42، 0/42 تا 0/84، 0/84 تا 2، 2 تا 4/75، 4/75 تا 6/4، 6/4 تا 12/7 و 12/7 تا 38 میلی‌متر تفکیک گردیدند:

(4)

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

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

[1] Fractal dimension

از انجام عملیات تهیه زمین و کاشت، پسماندهای گیاهی در یک سطح یک متر مربعی (قاب 1×1 متر) در هر کرت جمع‌آوری شد و با استفاده از رابطه 5 میزان برگردان شدن پسماندهای گیاهی محاسبه گردید:

(5)

$$IR = \frac{W_b - W_a}{W_b} \times 100$$

که در آن IR برگردان شدن پسماندهای گیاهی (%)، W_b وزن خشک پسماندهای گیاهی (kg) قبل از انجام عملیات و W_a وزن خشک پسماندهای گیاهی (kg) بعد از انجام عملیات می باشد. ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در هر یک از تیمارهای خاک‌ورزی با استفاده از رابطه 6 محاسبه شد:

(6)

$$C_e = \frac{A}{T_t}$$

که در آن C_e ظرفیت مزرعه‌ای (ha/hr)، A مساحت کار شده (ha)، T_t کل مدت زمان انجام کار با ماشین‌های مورد استفاده در هر تیمار (hr) می‌باشد. میزان سوخت مصرفی برای انجام عملیات در هر تیمار به روش باک‌پر اندازه‌گیری شد و با توجه به مساحت کرت‌ها، مقدار مصرف سوخت در هر هکتار به‌دست آمد. لازم به ذکر است که شاخص‌های برگردان شدن پسماندهای 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 مدت انجام تحقیق اندازه‌گیری شدند، زیرا تیمارهای T_3 وT_4 تغییری در مقدار این شاخص‌ها ایجاد نمی‌کردند. برای تعیین عملکرد گندم، پس از حذف حاشیه‌ها جمعاً ده مترمربع از مساحت هر کرت از قسمت‌های مختلف کرت و به‌صورت تصادفی برداشت شد. پس از جداسازی دانه از کاه، عملکرد گندم در هر کرت بر حسب کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. داده‌های جمع‌آوری شده در آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد. برای مقایسه اقتصادی تیمارهای مختلف از روش ارزش کنونی خالص تغییرات بازده برنامه‌ای تیمارها نسبت به تیمار شاهد استفاده گردید. در این روش ابتدا بازده برنامه‌ای هر تیمار در سال‌های مختلف محاسبه و تغییرات آن نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد. برای محاسبه بازده برنامه‌ای هر تیمار درآمد ناخالص و هزینه‌های تولید تیمارها برآورد گردید. درآمد حاصل از هر تیمار براساس میزان عملکرد محصول اصلی و فرعی و قیمت واحد محصول محاسبه گردید. با توجه به این‌که در تیمارهای مختلف هزینه‌های خاک‌ورزی و هزینه سوخت متفاوت و سایر هزینه‌ها در تمامی تیمارها یکسان بود، لذا هزینه‌های عملیات خاک‌ورزی و هزینه سوخت برای تیمارهای مختلف در سال‌های مطالعه، محاسبه شد. قیمت گندم براساس قیمت تضمینی و کنجد براساس قیمت توافقی در منطقه مورد مطالعه در سال انجام پژوهش در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

رطوبت خاک

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر روش خاک‌ورزی بر حفظ رطوبت در خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول 2). در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به‌ویژه در تیمار بی‌خاک‌ورزی وجود پسماندهای گیاهی در سطح خاک دلیل اصلی حفظ رطوبت در خاک می‌باشد. نتایج پژوهش‌های گذشته نیز نشان دهنده افزایش معنی‌دار رطوبت خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد (روسو، 2005؛ دی ویتا و همکاران، 2007؛ ارنستین و لاکسمی، 2008). همچنین، از نظر حفظ رطوبت خاک بین سال‌های اجرای پژوهش و برهمکنش سال و روش خاک‌ورزی نیز در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت. به‌دلیل متفاوت بودن فاصله زمانی اندازه‌گیری رطوبت از آبیاری قبلی و همچنین متفاوت بودن شرایط جوی در سال‌های مختلف، اختلاف میانگین رطوبت خاک در سال‌های مختلف معنی‌دار شد.

مقایسه میانگین رطوبت خاک نشان داد که بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر این شاخص اختلاف معنی‌دار وجود داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار حفظ رطوبت در خاک مربوط به تیمار کشت مستقیم (T_2) بود و اختلاف این تیمار با تیمارهای دیگر معنی‌دار بود (جدول 3). تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم (T_5) و کم خاک ورزی (T_1) کم‌ترین مقدار رطوبت خاک را داشتند. تیمار کشت مستقیم در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم حفظ رطوبت در خاک را 11/73 درصد افزایش داد.

جدول 2-تجزیه واریانس اثر روش خاک‌ورزی بر تغییرات رطوبت خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
تکرار	3	0/13	0/09^{ns}
سال	3	151/45	107/21**
تکرار x سال	9	1/34	0/95^{ns}
روش خاک‌ورزی	4	11/90	8/42**
سال x خاک‌ورزی	12	6/93	4/91**
خطا	48	1/41	

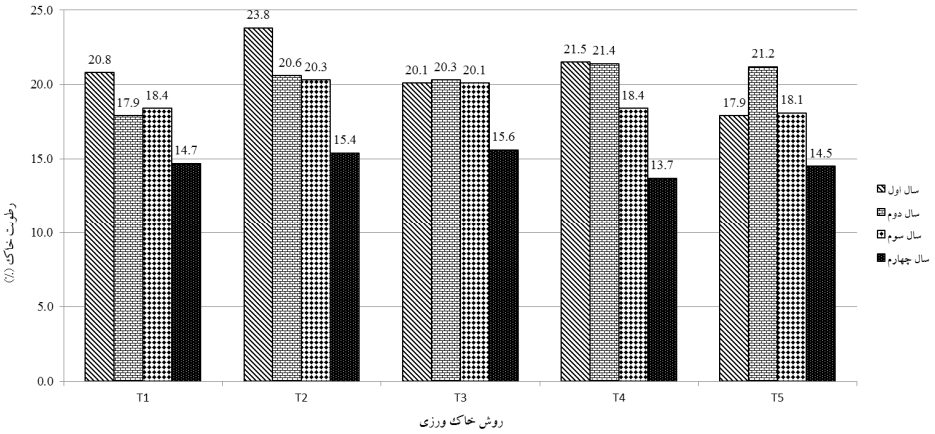
ns و ** به‌ترتیب نشان دهنده نبود تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح یک درصد می‌باشند.

کاهش میانگین چهار ساله رطوبت خاک در تیمارهای T_3 و T_4 در مقایسه با تیمار کشت مستقیم (T_2) به دلیل قطع روند کشت مستقیم با اجرای خاک‌ورزی مرسوم در سال سوم اجرای این تیمارها بود. در این تیمارها، در سال سوم یکی از کشت های تناوب (گندم یا کنجد) به صورت مرسوم انجام شده بود که کاهش رطوبت خاک در این کشت مرسوم، باعث کاهش میانگین چهارساله رطوبت خاک در این تیمارها شده است. مقایسه میانگین رطوبت خاک در سال‌های مختلف نیز نشان داد که رطوبت خاک در سال‌های اول و دوم با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند، ولی رطوبت سال‌های سوم و چهارم با هم و با رطوبت سال‌های اول و دوم اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول 3). البته اختلاف میانگین رطوبت خاک در سال‌های مختلف طبیعی است، زیرا شرایط جوی در زمان اندازه‌گیری رطوبت در سال‌های مختلف، متفاوت بوده است. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که روش بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، حفظ رطوبت در خاک را افزایش می‌دهد که با نتایج پژوهش‌های لیو و همکاران (2005) و افضلی‌نیا و همکاران (2011) در این زمینه همخوانی دارد. مقایسه برهمکنش سال و روش خاک‌ورزی بر رطوبت خاک نیز نشان داد که در تمام سال‌ها روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و به‌ویژه کشت مستقیم رطوبت بیشتری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم داشته‌اند (شکل 1).

جدول 3- مقایسه میانگین رطوبت خاک (درصد) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

تیمار	رطوبت خاک (%)
سال	-
سال اول	20/81a
سال دوم	20/29a
سال سوم	19/07b
سال چهارم	14/75c
روش خاک‌ورزی	-
T_1	17/98c
T_2	20/01a
T_3	19/02b
T_4	18/73bc
T_5	17/91c

حروف مشابه در هر ستون نشان دهندهٔ نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.



شکل 1- برهمکنش سال و روش خاک‌ورزی بر رطوبت خاک

جرم مخصوص ظاهری خاک

تجزیه واریانس داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک نشان داد که اثر سال انجام پژوهش بر جرم مخصوص ظاهری هر دو عمق خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که جرم مخصوص ظاهری فقط در عمق 0-10 سانتی‌متری خاک تحت تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی قرار گرفت (در سطح یک درصد) و برهمکنش سال و روش خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار نبود (جدول 4). متفاوت بودن میزان به‌هم‌خوردگی خاک سطحی و نحوه مدیریت پسماندهای گیاهی محصول قبل در روش‌های مختلف خاک‌ورزی، باعث معنی‌دار شدن اثر روش خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری در عمق 0-10 سانتی‌متری خاک شده است.

جدول 4-تجزیه واریانس داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک (اعداد ارائه شده در جدول، میانگین مربعات هستند)

منابع تغییرات	درجه آزادی	جرم مخصوص ظاهری خاک	
		عمق 0-10 سانتی‌متر	عمق 10-20 سانتی‌متر
تکرار	3	0/002 ^{ns}	0/003^{ns}
سال	3	0/211**	0/152**
تکرار x سال	9	0/001^{ns}	0/002^{ns}
روش خاک‌ورزی	4	0/010**	0/004^{ns}
سال x خاک‌ورزی	12	0/003 ^{ns}	0/001^{ns}
خطا	48	0/002	0/002

ns و * به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح 5% می باشند.

مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در انتهای فصل رشد نشان داد که در عمق 0-10 سانتی‌متری خاک، تیمار کم‌خاک‌ورزی با کمترین جرم مخصوص ظاهری خاک با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت، در حالی که بقیه تیمارها با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول 5). در عمق 10-20 سانتی‌متری خاک نیز تیمار کم‌خاک‌ورزی کمترین جرم مخصوص ظاهری را داشت، اما اختلاف آن با تیمارهای دیگر معنی‌دار نبود. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار کم‌خاک‌ورزی نشان می‌دهد که این روش از مزایای هر دو روش بی‌خاک‌ورزی (حفظ پسماندهای گیاهی) و خاک‌ورزی مرسوم (دستکاری‌کردن خاک) برخوردار بوده است. نکته قابل توجه این که در هر دو عمق خاک، در پایان فصل رشد، جرم مخصوص ظاهری تیمار خاک‌ورزی مرسوم بیشترین مقدار بود که نشان می‌دهد به‌هم‌خوردگی زیاد خاک در این روش خاک‌ورزی و پودر شدن بیش از حد آن، باعث می‌شود که رس خاک در اثر آبیاری‌های پیاپی به‌صورت متراکم درآمده و در انتهای فصل رشد، جرم مخصوص آن به حد جرم مخصوص ظاهری تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی برسد (افضلی‌نیا و ذبیحی، 2014). البته باید توجه داشت که این نتایج مربوط به اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک در پایان

فصل رشد است، در حالی که از شروع فصل رشد تا اواسط آن، جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به‌ویژه کشت مستقیم به مراتب بیش‌تر از جرم مخصوص ظاهری خاک در خاک‌ورزی مرسوم است (افضلی‌نیا و ذبیحی، 2014). در تمام روش‌های خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق 20-10 سانتی‌متری خاک بیش از مقدار این پارامتر در عمق 10-0 سانتی‌متر بود زیرا عمق پایین‌تر به‌دلیل داشتن درصد رس بیش‌تر و تمرکز فشارهای خارجی وارد بر خاک در لایه‌های پایین، معمولاً دارای جرم مخصوص ظاهری بیش‌تری می‌باشد. به‌نظر می‌رسد نحوه اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر نوع بافت خاک، شرایط اقلیمی و تناوب زراعی تغییر می‌کند. به همین دلیل 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 تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی است (تاسر و متین اغلو، 2005؛ فابریزی و همکاران، 2005؛ لیو و همکاران، 2005؛ افضلی‌نیا و همکاران، 2010؛ ساریخانی خرمی و همکاران، 2018)، در حالی که برخی حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک است (رسولی و همکاران، 2012، افضلی‌نیا و همکاران، 2011، لاگسدان و کارلن، 2004).

جدول 5- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

تیمار	عمق 0-10 سانتی‌متر	عمق 20-10 سانتی‌متر
سال	-	-
سال اول	1/28c	1/39c
سال دوم	1/49a	1/52a
سال سوم	1/39b	1/46b
سال چهارم	1/28c	1/32d
روش خاک‌ورزی	-	-
T_1	1/31b	1/40a
T_2	1/36a	1/42a
T_3	1/37a	1/43a
T_4	1/36a	1/41a
T_5	1/38a	1/44a

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن α =0/05).

پایداری خاک‌دانه‌ها

میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها در دو عمق 0-10 و 10-20 سانتی‌متری خاک با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند، هر چند انتظار می‌رفت که در لایهٔ سطحی خاک به‌دلیل کربن آلی بیش‌تر، ساختمان خاک وضعیت بهتری داشته‌باشد (جدول 6). البته نتایج این جدول نیز نشان می‌دهد که شاخص‌های قطر متوسط وزنی (MWD) و قطر متوسط هندسی (GMD) در لایه سطحی خاک بیشتر از لایه عمقی است، هرچند تفاوت آنها معنی‌دار نیست.

جدول 6- مقایسه میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک در دو عمق مختلف خاک

عمق خاک (cm)	D_m	MWD (mm)	GMD(mm)
(D1) 0-10	2/710	9/368	1/639
(D2) 10-20	2/710	9/011	1/631

D_m: بُعد فرکتالی مدل تیلر و ویت کرفت، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر)، GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) می‌باشد.

پارامترهای بُعد فرکتالی و شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف خاک‌ورزی قرار گرفتند، به‌طوری که کمترین مقدار بعد فرکتالی و بیشترین مقدار شاخص‌های قطر متوسط وزنی

(MWD) و قطر متوسط هندسی (GMD) مربوط به تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بود (جدول 7). همچنین، تیمار خاک‌ورزی مرسوم بیشترین مقدار بُعد فرکتالی و کمترین مقدار شاخص‌های قطر متوسط وزنی (MWD) و قطر متوسط هندسی (GMD) را داشت که این موضوع بیانگر این است که ساختمان خاک تحت تاثیر سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بهبود یافته‌است.

جدول 7- مقایسه میانگین پارامترهای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک در تیمارهای خاک‌ورزی (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است)

تیمار	D_m	MWD(mm)	GMD(mm)
T_1	2/691 c	9/417	1/675 a
T_2	2/733 ab	8/893	1/604ab
T_3	2/700 bc	9/689	1/713 a
T_4	2/680 c	9/503	1/713 a
T_5	2/744 a	8/445	1/471 b

D_m: بُعد فرکتالی مدل تیلر و ویت کرفت، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر)، GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) می‌باشد. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن α =0/05).

برگردان شدن پسماندهای گیاهی، مصرف سوخت و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

اختلاف بین تمام تیمارهای خاک‌ورزی از نظر درصد برگردان شدن پسماندهای گیاهی معنی‌دار بود و بیشترین برگردان شدن پسماندهای گیاهی به مقدار 89/5 درصد در تیمار خاک‌ورزی مرسوم (با به‌کارگیری گاوآهن برگردان‌دار) به دست آمد و پس از این تیمار، روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب با 44/5 و 15/2 درصد در رده‌های بعدی قرارگرفتند (جدول 8). حداقل مقدار برگردان شدن پسماندهای گیاهی مربوط به مستقیم‌کار (تیمار بی‌خاک‌ورزی) بود که تیغه‌های شیاربازکن این دستگاه فقط در هنگام باز کردن شیار و کاشت، مقدار کمی از پسماندهای گیاهی را به زیر خاک می‌برد. در برخی از پژوهش‌های گذشته نیز مقدار برگردان شدن پسماندهای گیاهی به شکل تیغه و ساختمان ادوات خاک ورزی نسبت داده‌شده‌است (به‌آئین و همکاران، 2011). بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم اختلاف زیادی از نظر مصرف سوخت وجود داشت، به‌طوری که تیمارهای بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) و کم‌خاک‌ورزی نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم به‌ترتیب 77 و 60 درصد مصرف سوخت را کاهش دادند (جدول 9). صرفه‌جویی در مصرف سوخت در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در نتایج پژوهش‌های گذشته نیز گزارش شده‌است (روسو، 2005؛ افضلی‌نیا و همکاران، 2009). از نظر ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای ماشین‌های مورد استفاده در عملیات تهیه زمین و کاشت نیز بین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به گونه‌ای که روش بی‌خاک‌ورزی دارای بیش‌ترین ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای و خاک‌ورزی مرسوم دارای کم‌ترین ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای بود (جدول 9). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای در تیمار بی‌خاک‌ورزی 2/8 برابر ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای روش خاک‌ورزی مرسوم بود، در حالی که ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای در کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم 1/6 برابر بود. کاهش زمان مورد نیاز برای عملیات تهیه زمین و کاشت و افزایش ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای از مزایای مهم خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد که باعث می‌شود کاشت درمحدوده‌ی تاریخ کاشت توصیه شده انجام شود و از افت عملکرد ناشی از کشت تأخیری جلوگیری شود. به این مزیت که در سیستم دو کشتی اهمیت دوچندان پیدا می‌کند، در نتایج پژوهش‌های ارنستین و لاکسمی (2008) نیز اشاره شده‌است.

جدول 8- مقایسه میانگین برگردان شدن بقایای گیاهی، مصرف سوخت و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثردر تیمارهای خاک‌ورزی* (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است)

سامانه خاک‌ورزی	برگردان شدن بقایای گیاهی (%)	مصرف سوخت (L/ha)	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (ha/hr)
کم‌خاک‌ورزی	44/5b	19/0b	0/75b
بی‌خاک‌ورزی	15/2c	10/6c	1/1a
خاک‌ورزی مرسوم	89/5a	47/0a	0/29c

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دریک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن α =0/05).

عملکرد دانه گندم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که از نظر عملکرد گندم بین روش‌های خاک‌ورزی و سال‌های انجام پژوهش اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول 9). وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم از نظر عملکرد گندم، احتمالاً به‌دلیل تفاوت در میزان به‌هم‌خوردگی خاک و مقدار پسماندهای گیاهی حفظ شده در سطح خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بوده است. همچنین به‌دلیل متفاوت بودن شرایط جوی در سال‌های مختلف انجام پژوهش، متفاوت بودن عملکرد گندم در سال‌های مختلف دور از انتظار نبود.

جدول 9- تجزیه واریانس مرکب اثر روش‌های خاک‌ورزی-کاشت بر عملکرد گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
تکرار	3	17898	0/09^{ns}
سال	3	1417354	7/24**
تکرار x سال	9	471471	2/41*
روش خاک‌ورزی	4	3472588	17/73**
سال x خاک‌ورزی	12	1090689	5/53**
خطا	48	195863	

^{ns} نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، * نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5% و ** نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 1% بین تیمارها می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه گندم در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی نشان داد که خاک‌ورزی مرسوم دارای بیش‌ترین عملکرد بود و با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت، در حالی که تفاوت بین روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی از نظر عملکرد دانه گندم معنی‌دار نبود (جدول 10). کاهش عملکرد دانه گندم در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم نشان دهنده این واقعیت است که تغییرات مثبت ایجاد شده توسط خاک‌ورزی حفاظتی در خاک با بافت متوسط محل انجام پژوهش کند بوده و نتوانسته است عملکرد دانه گندم را حداقل در کوتاه مدت (چهار سال) به عملکرد خاک‌ورزی مرسوم برساند و شاید خاک منطقه نیاز به زمان بیش‌تری برای سازگاری با خاک‌ورزی حفاظتی دارد. در اکثر پژوهش‌های انجام شده در شرایط دیم، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش عملکرد دانه گندم شده‌است (دی ویتا و همکاران، 2007). این در حالی است که در شرایط آبی، اکثر نتایج نشان دهندهٔ کاهش عملکرد دانه گندم در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (عمدتاً به‌دلیل حجم زیاد پسماندهای گیاهی در کشت آبی که مدیریت پسماندهای گیاهی را با مشکل مواجه می‌کند) که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی دارد (لیو و همکاران، 2005؛ افضلی‌نیا و همکاران، 2011). مقایسه اثر متقابل سال و روش خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گندم نیز نشان داد که تقریباً در تمام سال‌ها خاک‌ورزی مرسوم بیشترین عملکرد دانه را داشته‌است (جدول 11). فقط در سال سوم تیمار T_3 بیشترین عملکرد دانه گندم را به خود اختصاص داد که اتفاقاً این تیمار در سال سوم، خاک‌ورزی مرسوم بوده‌است. بنابراین، این نتایج نشان داد که تناوب

خاک‌ورزی (قطع روند کشت مستقیم توسط خاک‌ورزی مرسوم) در همان فصل مؤثر است و در فصل‌های بعد تأثیری ندارد.

جدول 10- مقایسه میانگین عملکرد دانه گندم در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی(0/05= α).

تیمار	عملکرد گندم (kg/ha)
سال	-
سال اول	4467ab
سال دوم	4730ab
سال سوم	4809a
سال چهارم	4224b
روش خاک‌ورزی	-
T_1	4459b
T_2	4233b
T_3	4454b
T_4	4270b
T_5	5370a

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن 0/05= α).

جدول 11- اثر برهمکنش سال و روش خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گندم

روش خاک‌ورزی	سال			
	اول	دوم	سوم	چهارم
T_1	4571	4393	4225	4648
T_2	3936	4513	4455	4030
T_3	4099	4683	5675	3359
T_4	4176	4043	4425	4435
T_5	5551	6020	5263	4646

ارزیابی اقتصادی

نتایج مقایسه میانگین هزینه‌ها، درآمدها و سود ناخالص (بازده برنامه‌ای) تیمارها نشان داد که تمامی تیمارها دارای سود ناخالص مثبت بودند و تیمار شاهد یعنی خاک‌ورزی مرسوم بیشترین بازده برنامه‌ای یا سود ناخالص را داشت (جدول 12). همچنین محاسبه تغییرات بازده برنامه‌ای تیمارهای مختلف نسبت به تیمار شاهد نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به تیمار شاهد از سود ناخالص کمتری برخوردار بودند. بر اساس نتایج مقایسه اقتصادی تیمارها، خاک‌ورزی مرسوم اولویت اول را به خود اختصاص داد و کم‌خاک‌ورزی و تیمارهای حاوی کشت متستقیم به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. البته اگر ارزش اقتصادی تأثیرات مثبت تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم از جمله افزایش ظرفیت مزرعه‌ای، افزایش ماده آلی خاک و ذخیره رطوبت در خاک در محاسبات وارد شوند، احتمالاً قدرت رقابت‌پذیری تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی افزایش خواهد یافت.

جدول 12- ارزش‌کنونی هزینه‌ها و درآمدها و بازده برنامه‌ای تیمارهای مختلف (میلیون ریال در هکتار)

روش خاک‌ورزی	هزینه‌های غیرمشترک	جمع هزینه‌ها	درآمدها	بازده برنامه‌ای	تغییرات نسبت به شاهد	اولویت
T_1	8/2	94/8	227/3	132/5	-26/4	2
T_2	5/4	92/0	215/0	123/0	-36/0	4
T_3	6/5	93/1	222/8	129/7	-29/2	3
T_4	6/5	93/1	214/0	121/0	-37/9	5
T_5	13/7	100/3	259/2	158/9	0	1

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم مصرف سوخت را تا 77 درصد کاهش و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر انجام عملیات تهیه زمین و کاشت را تا 2/8 برابر افزایش می‌دهند که این امر باعث کاهش آلودگی محیط زیست و کشت به موقع محصولات کشاورزی می شود. روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی همچنین ذخیره رطوبت در خاک را تا 18 درصد افزایش می‌دهند که می‌تواند کاهش مصرف آب را به‌دنبال داشته باشد. روش‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌دار بر جرم مخصوص ظاهری خاک نداشتند. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که عملکرد گندم در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی به‌طور معنی‌داری کمتر از خاک ورزی مرسوم بود (تا 21 درصد) و از نظر اولویت اقتصادی نیز تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بعد از خاک‌ورزی مرسوم قرار گرفتند. بنابراین هر چند روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در تناوب گندم-کنجد در منطقه داراب فارس دارای مزایای مهمی مانند کاهش مصرف سوخت، افزایش ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و افزایش رطوبت خاک هستند، اما از نظر عملکرد محصول و درآمد اقتصادی قادر به رقابت با خاک‌ورزی مرسوم نیستند. از این رو، خاک‌ورزی مرسوم اولویت اول تهیه زمین در تناوب گندم-کنجد می‌باشد و کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند.

سپاسگزاری

از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس و مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به خاطر حمایت مالی از این پژوهش، سپاسگزاری می‌شود.

فهرست منابع:

1. ضیاییان، ع.، ف. مشیری و غ.ر. زارعیان. 1397. اثر دو روش کشت کم‌خاک‌ورزی و مرسوم بر نیتروژن و آب مصرفی گندم. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). جلد 32، شماره 4، صفحه های 431-442.
2. کرمی، ع.، ر. زارع، و و. جهاندیده مهجن‌آبادی. 1396. کاربرد تئوری فرکتالی در کمّی‌سازی ساختمان برخی از راسته‌های خاک در استان فارس. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 31، شماره 4، صفحه های 1186-1171.
3. Abdipur, M., N. Heidarpur, B. Vaezi, V. Bavei, A.H. Ghanbari, and S. Sajad Talaee. 2012. The effect of different tillage methods on yield and yield components of bread wheat under rainfed conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 12(9): 1205-1208.
4. Afzalinia, S., and J. Zabihi. 2014. Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. Soil Till. Res. 137: 1-6.
5. Afzalinia, S., M.A. Behaeen, A. Karami, A. Dezfuli, and A. Ghasari. 2011. Effect of conservation tillage on the soil properties and cotton yield. In 11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. Proc. of Conf., Istanbul, Turkey. 21-23 Sept. 2011. Namik Kemal University, Istanbul, Turkey.
6. Afzalinia, S., A. Khosravani, A. Javadi, D. Mohammadi, and S. M. Alavimanesh. 2010. Effect of conservation tillage and planting methods on the soil properties, grain drill performance, wheat yield, and wheat yield components. In International Conference on Agricultural Engineering. Proc. of Conf., Clermont Ferrand, France. 6-8 Sept. 2010. Clermont Ferrand, France.
7. Afzalinia, S., E. Dehghanian, and M.H. Talati. 2009. Effect of conservation tillage on soil physical properties, fuel consumption, and wheat yield. In 4th Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering. Proc. of Conf., Rousse, Bulgaria. 1-3 Oct. 2009. Rousse, Bulgaria.
8. Al-Issa, T.A., and N.H. Samarah. 2007. The effect of tillage on barley production under rainfed condition of Jordan. Am.-Eur. J. Agr. Environ. Sci. 2(1): 57-59.
9. Ali, S.A., L. Tedone, L. Verdini, E. Cazzato, and G.D. Mastro. 2019. Wheat response to no-tillage and nitrogen fertilization in a long-term faba bean-based rotation. Agronomy. 9: 1-18.

10. Armstrong, R.D., R. Perris, M. Munn, K. Dunsford, F. Robertson, G.J. Hollaway, and G.J. O'Leary. 2019. Effects of long-term rotation and tillage practice on grain yield and protein of wheat and soil fertility on a Vertosol in a medium-rainfall temperate environment. Crop Pasture Sci. 70: 1-15.
11. Behaeen, M.A., S. Afzalinia, and M. Roozbeh. 2011. Impact of crop residue management on the crop yield, soil organic matter, and soil properties in irrigated wheat-corn rotation. In 11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. Proc. of Conf., Istanbul, Turkey. 21-23 Sept. 2011. Namik Kemal University, Istanbul, Turkey.
12. Carr, P.M., R.D. Horsley, and W.W. Poland. 2003a. Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars: I. Grain production. Crop Sci. 43: 202–209.
13. De Vita, P., E. Di Paolo, G. Fecondo, N. Di Fonzo, and M. Pisante. 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.
14. Díaz-Zorita, M., E. Perfect, and J.H. Grove. 2002. Descriptive methods for assessing soil structure. Soil Till. Res. 64: 3-22.
15. Erenstein, O., and V. Laxmi. 2008. Zero tillage impacts in India's rice–wheat systems: A review. Soil Till. Res. 100: 1-14.
16. Fabrizzi, K.P., F.O. Garćia, J.L. Costa, and L.I. Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. Soil Till. Res. 81: 57-69.
17. Faeznia, F., and Z. Shamabadi. 2012. Evaluation the effect of conservation tillage on rain-fed wheat yield and energy Efficiency. Inter. J. Agr. Crop Sci. 4(22): 1706-1713.
18. Grigoras, M.A., A. Popescu, I. Negrutiu, M. Gidea, I. Has, and D. Pamfil. 2013. Effect of no-tillage system and fertilization on wheat production. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 41(1): 208-212.
19. Guan, D., Y. Zhang, M.M. Al-Kaisi, Q. Wanga, M. Zhang, and Z. Li. 2015. Tillage practices effect on root distribution and water use efficiency of winter wheat under rain-fed condition in the North China Plain. Soil Till. Res. 146: 286-295.
20. Karamia, A., M. Homaeea, S. Afzalinia, H. Ruhipourc, and S. Basirat. 2012. Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. Agric. Ecosyst. Environ. 148: 22–28.
21. Kumar, V., S. Kumar, R.K. Naresh, P. Kumar, S.P. Singh, A. Dwivedi, A. Kumar, R. Kumar, A. Singh, and A.S. Yadav. 2017. Conservation agriculture and its impact on soil quality and wheat yield: A Western Uttar Pradesh perspective. Inter. J. Chemical Studies. 5(1): 351-355.
22. Kumudini, S., L. Grabau, D. Van Sanford, and A. Omielan. 2008. Analysis of yield-formation processes under no-till and conventional tillage for soft red winter wheat in the south-central region. Agronomy J. 100(4): 1026-1032.
23. Leghari, N., M.S. Mirjat, A.Q.M. Mughal, I. Rajpar, and H. Magsi. 2015. Effect of different tillage methods on the growth, development, yield and yield components of bread wheat. Inter. J. Agronomy Agr. Res. 6(5): 36-46.
24. Li, H., J. He, H. Gao, Y. Chen, and Zh. Zhang. 2015. The effect of conservation tillage on crop yield in China. Front. Agr. Sci. Eng. 2(2): 179-185.
25. Liu, S., H. Zhang, Q. Dai, H. Huo, Z.K. Xu, and H. Ruan. 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.
26. Logsdon, S.D., and D.L. Karlen. 2004. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. Soil Till. Res. 78: 143–149.

27. Pirmoradian, N., A.R. Sepaskhah, and M.A. Hajabbasi. 2005. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments. Biosys. Eng. 90: 227-234.
28. Rasouli, F., A. Kiani Pouya, and S. Afzalinia. 2012. Effect of conservation tillage methods on soil salinity. In 8th International Soil Science Congress. Proc. of Conf., Izmir, Turkey. 15-17 May 2012. Izmir, Turkey.
29. Rusu, T. 2005. The influence of minimum tillage systems upon the soil properties, yield and energy efficiency in some arable crops. J. Central Eur. Agr. 6(3): 287-294.
30. Santín-Montanyá, M.I., A.P. Fernández-Getino, E. Zambrana, and J.L. Tenorio. 2017. Effects of tillage on winter wheat production in Mediterranean dryland fields. Arid Land Res. Manage. 31(3): 269-282.
31. Sarikhani Khorami, Sh., S.A. Kazemeini, S. Afzalinia, and M.K. Gathala. 2018. Changes in soil properties and productivity under different tillage practices and wheat genotypes: A short-term study in Iran. Sustainability. 10: 1-17.
32. Singer, J.W., K.A. Kohler, M.T. Liebman, L. Richard, C.A. Cambardella, and D.D. Buhler. 2004. Tillage and compost affect yield of corn, soybean, and Tripathi. Agronomy J. 96(2*)*: 531-537.
33. Su, Z., J. Zhang, W. Wu, D. Cai, J. Lv, G. Jiang, J. Huang, J. Gao, R. Hartmann, D. Gabriels. 2007. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. Agr.Water Manage. 87: 307-314.
34. Tang, Y., X. Wu, Ch. Li, Ch. Wu, X. Ma, and G. Huang. 2013. Long-term effect of year-round tillage patterns on yield and grain quality of wheat. Plant Produc. Sci. 16(4): 365-373.
35. Taser, O., and F. Metinoglu. 2005. Physical and mechanical properties of a clay soil as affected by tillage systems for wheat growth. Acta Agr. Scandinavica Section B-soil and Plant. 55: 186-191.
36. Tyler, S.W., and S.W. Wheatcraft. 1992. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 362-369.
37. Vaclav, S., P. Ruzeka, J. Chrpov, R. Vavera, and H. Kusa. 2009. The effect of tillage practice, input level and environment on the grain yield of winter wheat in the Czech Republic. Field Crops Res. 113(2): 131-137.
38. Webster, R., and M.A. Oliver. 2001. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley and Sons, Chichester.

Effects of tillage systems on soil properties, fuel consumption, and wheat yield in the wheat-sesame rotation

S. Afzalinia[1], A. Karami, and S. M. Alavimanesh

Associate Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran; E-mail: sja925@mail.usask.ca
Associate Professor, Department of Soil and Water Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran; E-mail: alidad_karami@yahoo.com
Researcher, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran; E-mail: alavimanesh88@gmail.com

Received: August, 2019 and Accepted: February, 2020

Abstract

Despite the relatively long history of conservation tillage in the world, this technology is still new in Iran; therefore, evaluating effects of conservation tillage on soil properties and crops yield is necessary. Thus, this study was conducted using a randomized complete block experimental design with five treatments and four replications in Darab region of Fars province for four years (2010-2014). Treatments were T_1) reduced tillage with 15 cm tilling depth, T_2) wheat and sesame direct seeding, T_3) sesame direct seeding for four years, wheat direct seeding for the first two years and the fourth year, and conventional planting in the third year, T_4) wheat direct seeding for four years, sesame direct seeding for the first two years and the fourth year, and conventional planting in the third year, and T_5) conventional tillage using moldboard plough (tilling depth of 25 cm), disk harrow, and land leveler. Soil moisture content, soil aggregates, soil bulk density, percentage of residue inversion, fuel consumption, field capacity, and wheat yield were measured. Results showed that conservation tillage methods increased soil moisture content by up to 18%, but soil bulk density was not affected by tillage methods. Conservation tillage methods decreased fuel consumption compared to the conventional tillage by up to 77% and increased effective field capacity for seed bed preparation and planting for up to 2.8 times. Wheat yield significantly decreased in the conservation tillage methods compared to the conventional tillage by 21%; therefore, soil needs more time to get adapted to the conservation tillage conditions in Darab region. Economic evaluation also showed that conventional tillage was the first option for the seed bed preparation in the wheat-sesame cropping system in Darab region, and the reduced and no-till were the second and third priorities, respectively.

Keywords: Soil aggregates stability, soil bulk density, soil moisture content, tillage methods

[1]. Corresponding author: Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.