بررسی عملکرد و بهره‌وری آب در تناوب گندم–کلزا–ذرت تحت تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی در شرایط اقلیمی یزد

غلامحسن رنجبر*[۱]، محمدحسن رحیمیان[۲]، حسین بیرامی[۳]، سیدعلی طباطبائی[٤]، محمدرضا فلاطونی[٥]

۱-دانشیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۲ و ۳-استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

٤-دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

٥-کارشناس، سازمان جهاد کشاورزی استان یزد، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: ranjbar71@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۲/۳۱- تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/٦/۳۱)

چکیده

این مطالعه به‌منظور مقایسه روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی بر روی بسترهای بلند دائمی و بی‌خاک‌ورزی با ماشین‌های اسفوجیا (SFOGGIA) و جاب پلنتر (Jab Planter) در یک تناوب گندم-کلزا-ذرت علوفه‌ای، در استان یزد به‌عنوان یک منطقه خشک طی ساله‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۷ انجام شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم در تیمار بسترهای بلند دائمی به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. عملکرد دانه گندم در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی، بدون خاک‌ورزی با ماشین اسفوجیا و کاشت با ماشین بدون خاک‌ورزی جاب پلنتر به‌ترتیب ٤٤۲۲/٤، ٥۱۸٦/٤، ۳۷٦۱/٥ و ۳٥٤۷/۱ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین عملکرد دانه در کلزا بدون اختلاف معنی‌دار در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کاشت بر روی پشته‌های دائمی به دست آمد. بیشترین وزن‌تر علوفه ذرت (۷۱۰۲۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی به دست آمد که ازنظر آماری با تیمار بی‌خاک‌ورزی کاشت با ماشین اسفوجیا و جاب پلنتر تفاوت معنی‌دار نداشت. وزن تر علوفه ذرت در تیمار خاک‌ورزی مرسوم به میزان ۲۹ درصد کمتر از تیمار کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی بود. همچنین کاربرد روش کاشت روی بسترهای بلند حجم آب مصرفی را بین ۲۰ الی ۲۳ درصد در مقایسه با روش کاشت مرسوم کاهش داد. نتایج این مطالعه نشان داد که با اجرای خاک‌ورزی حفاظتی و حفظ بقایا در مناطق اقلیمی خشکی مانند استان یزد، می‌توان ضمن کاهش تبخیر از سطح خاک به بهبود بهره‌وری آب و افزایش عملکرد گیاهان زراعی کمک نمود. روش کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی با توجه به مصرف آب کمتر و عملکرد بیشتر می‌تواند مناسب‌تر باشد.

واژه‌های کلیدی: بسترهای بلند دائمی، بقایای گیاهی، بی‌خاک‌ورزی، جاب پلنتر، کشاورزی حفاظتی

مقدمه

خاک‌ورزی مرسوم به دلایل مختلفی ازجمله اتلاف انرژی، فرسایش، از بین رفتن ساختمان خاک، ایجاد لایه غیرقابل نفوذ به دلیل تردد بیش‌ازحد ادوات کشاورزی، کاهش مواد آلی خاک و درنتیجه کاهش فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های خاک همواره مورد انتقاد بوده است. به همین خاطر، کشاورزی در این نوع سامانه‌ها، پایدار نبوده و در درازمدت باعث کاهش تولیدات کشاورزی و از بین رفتن منابع پایه می‌گردد (Asadi & Faghani, 2021). از طرف دیگر سامانه‌های مبتنی بر خاک‌ورزی حفاظتی، با تأکید بر به هم خوردگی کمتر خاک و باقی گذاشتن بقایای گیاهی روی سطح خاک و یا مخلوط نمودن آن با خاک، پایداری تولید، کاهش هزینه‌ها، سوخت و انرژی و درنهایت، افزایش مواد آلی خاک را به دنبال خواهد داشت (Alvarez & Steinbach, 2009). این موضوع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که خاک‌های سطحی مستعد فرسایش‌های آبی و بادی و از دست رفتن عناصر غذایی هستند، ایجاد شرایط بدون خاک‌ورزی یا خاک‌ورزی کاهش یافته با حضور بقایا، به افزایش عملکردهای بالاتری در مقایسه با خاک‌ورزی متداول منجر می‌گردند (Lafond *et al.*, 1996). در تحقیق دوساله‌ای که بحرانی و همکاران (Bahrani *et al.*, 2007) روی سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی به‌منظور کشت ذرت در داخل بقایای گندم انجام دادند، بیش‌ترین عملکرد دانه زمانی حادث شد که ذرت در ۲۵ تا ۵۰ درصد بقایای گندم کشت گردید. در پژوهش دیگری جلینی و شریفی (Jolaini & Sharifi, 2019) در سامانه تناوب زراعی رایج (گندم-چغندرقند) در استان خراسان رضوی نتیجه گرفتند که بیشترین میزان عملکرد از تیمار کم خاک‌ورزی با حفظ ۳۰٪ بقایا به دست آمد.

رطوبت خاک ازجمله فاکتورهایی است که به‌شدت تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و به خصوص خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ بقایا بر روی سطح قرار می‌گیرد. نتایج افضلی‌نیا و کرمی (Afzalinia & Karami, 208) نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش ذخیره رطوبت تا ۲۱ درصد در خاک شد. افزایش ظرفیت نگهداری حجمی رطوبت خاک در روش بدون خاک‌ورزی توسط کاکس و همکاران (Cox *et al.*, 1990) نیز گزارش شده است. افزایش رطوبت خاک در روش‌های بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم توسط روسو (Rusu, 2005) در رومانی و دی ویتا و همکاران (De Vita *et al.*, 2007) در ایتالیا نیز گزارش شده است. نتایج بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و آبیاری بر نفوذ آب در خاک در استان فارس نیز نشان داد که بیش‌ترین نفوذ تجمعی آب در خاک از ترکیب تیمار آبیاری بارانی و کم‌خاک‌ورزی حاصل می‌گردد.

علاوه بر این، اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی عامل مفیدی بر خصوصیات خاک مانند بهبود ساختمان و افزایش مواد آلی خاک می‌باشد (Jolaini & Ghasemzadeh Ganjehei, 2020, Garcıa-Orenes *et al*., 2009, Madejón *et al*., 2009). در یک پژوهش بلندمدت خاک‌ورزی حفاظتی، ۱۲ تن ماده آلی بیشتری نسبت به خاک‌ورزی عادی در خاک ایجاد گردید. به‌نحوی‌که طی ۲۰ سال اجرای خاک‌ورزی حفاظتی، ماده آلی خاک در منطقه معتدل و مرطوب، ۱٦ درصد و در منطقه معتدل و خشک، ۱۰

درصد بیشتر از سیستم خاک‌ورزی مرسوم افزایش نشان داد (Wright *et al*., 2007).

کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی یکی از سامانه‌های حفاظتی می‌باشد. هدف اصلی از این روش، حفاظت خاک و افزایش کارآیی نهاده‌های مهم ازجمله آب می‌باشد (Asadi & Faghani, 2021; Limon-Ortega, 2011). گزارش شده است که کاربرد بسترهای بلند دائمی به جای کشت در کرت‌های مسطح می‌تواند تا ۲۲٪ در هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت گندم در سایت‌های تحقیقاتی سیمیت در مکزیک صرفه‌جویی داشته باشد (Sayre *et al*., 2005). در یک آزمایش با تناوب ذرت-گندم در پاکستان مشخص شد که کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی به‌ترتیب باعث افزایش ۳۰٪، ۳۲٪ و ٦٥٪ عملکرد دانه، صرفه‌جویی در مصرف آب و بهره‌وری آب در مقایسه با کاشت در کرت‌های مسطح گردید. این میزان افزایش برای گندم بر روی بسترهای بلند دائمی به‌ترتیب ۱۳٪، ۳٦٪ و ۵۰٪ بود (Hassan *et al*., 2005).

در چین نیز فاهونگ و همکاران (Fahong *et al*., 2005) نشان دادند که کاشت گندم بر روی بسترهای بلند دائمی بسته به رقم باعث افزایش حداقل ١٤ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با کشت بر روی کرت‌های مسطح می‌گردد. در آزمایش ایشان میزان مصرف آب در تیمار کشت بر روی بسترهای بلند دائمی ۳٥٤۳ مترمکعب در هکتار بود، درحالی‌که این میزان برای کشت در داخل کرت‌های مسطح ۳۸٤۳ مترمکعب در هکتار بود.

یکی دیگر از روش‌های کاشت حفاظتی به‌ویژه در اراضی مقیاس کوچک استفاده از کارنده‌های دستی با عنوان Jab Planter بدون اعمال هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی می‌باشد. از این ابزار به راحتی می‌توان در خاک‌های با بافت‌های مختلف که سطح خاک دارای بقایای گیاهی یا بدون بقایای گیاهی باشد، استفاده نمود (Aikins *et al*., 2010).

به‌طورکلی بررسی منابع نشان می‌دهد که خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل بهم‌زدن کمتر خاک و حفظ بقایا گیاهی در سطح خاک، ضمن افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک، باعث بهبود رشد گیاه، عملکرد و بهره‌وری آب می‌گردد (Cai *et al*., 2012; Brunel *et al*., 2013; Shao *et al*., 2016). به نظر می‌رسد در مناطق خشکی مانند استان یزد با حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک درنتیجه کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی بتوان به حفظ رطوبت خاک، کاهش تبخیر از سطح خاک و در درازمدت پایداری عملکرد کمک نمود. هدف از این تحقیق بررسی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر میزان عملکرد و بهره‌وری آب در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم در یک تناوب گندم-کلزا-ذرت در شرایط اقلیمی یزد بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ به‌منظور مقایسه سه روش کشت حفاظتی با روش خاک‌ورزی مرسوم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی یزد واقع در شهرستان یزد انجام شد. آب‌وهوای شهر یزد به علت قرار داشتن بر روی کمربند خشک جهانی دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک و طولانی‌مدت است. نوسانات دمای فصلی و حتی روزانه شهر یزد نیز به مانند اکثر مناطق کویری

بسیار زیاد می‌باشد. به‌طوری‌که کمینه مطلق دمای ایستگاه یزد (در مجاورت ایستگاه تحقیقات کشاورزی) ۱٦- و دمای بیشینه مطلق آن ٤٥/٦ درجه سلیوس می‌باشد. از لحاظ بارش نیز با وجود اینکه شهرستان یزد جز مناطق کم بارش استان می‌باشد، اما تغییرات بارش سالانه آن بسیار زیاد بوده، بطوریکه میزان بارش آن از ۱۳ میلی‌متر در سال‌های کم بارش تا ۱٤۸ میلی‌متر در سال‌های پربارش متغیر می‌باشد. لازم به ذکر است میانگین بلندمدت بارندگی استان یزد در حدود ۹۵ میلی‌متر است. همچنین بیشینه دمای مطلق استان ٤۸ درجه و کمینه مطلق آن ۲٤- درجه سلسیوس می‌باشد. متوسط مجموع تبخیر پتانسیل سالیانه استان در حدود ۳۱۹۳ میلی‌متر است (Unknown, 2021).

تیمارهای مورد بررسی شامل روش خاک‌ورزی مرسوم (شاهد)، کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی و دو روش بی‌خاک‌ورزی کاشت با کارنده SFOGGIA و Jab Planter بود. کاشت در خاک‌ورزی مرسوم با استفاده از ماشین خطی‌کار گندم ساخت شرکت ماشین زراعت همدان و در تیمار کاشت بر روی بسترهای دائمی با استفاده از کارنده ساخت شرکت تراشکده کرج انجام شد. کارنده SFOGGIA ساخت کشور ایتالیا با مدل شیار بازکن دیسکی است، که برای کاشت مستقیم بذر استفاده می‌شود. ماشین Jab Planter ساخت کشور برزیل و از نظر شکل از یک اسکلت چوبی و یک ابزار فلزی منقاری شکل به منظور نفوذ در خاک تشکیل شده است که در کناره‌های اسکلت چوبی دو مخزن با دریچه‌های قابل تنظیم، یکی کالیبره کردن میزان کود و دیگری بذر مصرفی تعبیه شده است. مدل ماشین به صورت دستی بوده و کاشت با آن به صورت نم‌کاری انجام می‌شود. با توجه به اینکه بذر گیاه در این روش در عمق پایین‌تر از شرایط مرسوم قرار می‌گیرد، لذا ضرورت دارد تا سبز شدن گیاه، آبیاری دوم انجام نگیرد. نمایی از کارنده‌های مورد استفاده در شکل ۱ آورده شده است.

شکل ۱- نمایی از تیمارهای مختلف خاک‌ورزی شامل: خاک‌ورزی مرسوم (a)، بی‌خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA، (b) بسترهای بلند دائمی (c) و ماشین Jab Planter (d).

در این مطالعه تناوب گندم-کلزا-ذرت در سه فصل متوالی و در یک مکان (پلات‌های ثابت) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در هر سه سال در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا گردید.

به منظور سهولت کاربرد ماشین‌های خاک‌ورزی و کاشت، ابعاد هر کرت آزمایشی ۸×٤٥ متر در نظر گرفته شد. لذا برای اینکه یکنواختی در مطالعه رعایت شود، در همان ابتدای کاشت، مساحتی به میزان ٤۲ مترمربع در وسط هر کرت با رعایت حاشیه به‌عنوان واحد آزمایشی برای انجام اندازه‌گیری‌ها در نظر گرفته شد. بافت خاک مزرعه مورد مطالعه لوم شنی بود. مشخصات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه قبل از کاشت گندم در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در جدول ۱ آورده شده است. عملیات خاک‌ورزی برای کاشت گندم در مهرماه سال ۱۳۹۷ انجام شد. در شاهد (خاک‌ورزی مرسوم) عملیات خاک‌ورزی شامل دو بار گاوآهن برگردان‌دار، به همراه دیسک و کاشت با خطی‌کار گندم بود. در تیمار کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی، پس از انجام عملیات خاک‌ورزی مشابه تیمار شاهد، کشت بر روی پشته‌هایی به عرض ۸۰ سانتی‌متر انجام گردید. بدین منظور بذر گندم رقم برزگر (Pishtaz/Karchia) به‌صورت چهار ردیف بر روی هر پشته و با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کشت شد. در تیمارهای بدون خاک‌ورزی نیز کاشت گندم به‌طور مستقیم و بدون هرگونه عملیات خاک‌ورزی با کارنده‌های SFOGGIA و Jab Planter انجام شد. تاریخ کاشت گندم در تمام تیمارها ۲۳ آبان‌ماه بود.

جدول ۱- نتایج شیمیایی خاک مزرعه قبل از کاشت گندم در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
شوری	$dS\ m^{-1}$	۳/۲	فسفر قابل‌دسترس	$mg\ kg^{-1}$	۲۲/٤
شاخص واکنش (pH)	-	۷/۳	بافت	-	Sandy loam
ماده آلی	٪	۰/۲۳	شن	٪	۷۹/۱٦
نیتروژن کل	٪	۰/۰۱	سیلت	٪	٤/۸
پتاسیم قابل‌دسترس	$mg\ kg^{-1}$	٦۲/۰	رس	٪	۱٦/۰٤

همراه با عملیات خاک‌ورزی بر اساس ۱۵۰ کیلوگرم پتاس به صورت سولفات پتاسیم برای تیمارها استفاده شد. کاربرد کودهای پایه در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی با ماشین مورد استفاده در تیمارهای مربوطه انجام شد. میزان نیتروژن موردنیاز بر اساس روش کارت رنگ برگ (هاشمی‌نژاد، ۱۳۹۵) مصرف گردید. در پایان فصل رشد مقدار اوره (٤٦٪ N) مصرف شده در هکتار برای روش‌های خاک‌ورزی مرسوم (شاهد)، کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی، بی‌خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA و بی‌خاک‌ورزی با ماشین Jab Planter، به ترتیب ۲۷٤، ۲۷٤، ۳۹٤ و ۳۰٤ کیلوگرم در هکتار بود، که در چهار زمان سبز شدن، اواسط پنجه رفتن، ساقه رفتن و در زمان گلدهی مصرف گردید. علت افزایش مصرف کود اوره در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی، وجود بقایا در خاک بود. لازم به ذکر است پس از کاشت گندم، میزان بقایا در

سطح خاک بر اساس روش آسودار وهمکاران (Asoodar, *et al.*, 2017) به میزان ٦۳ درصد بود.

در سال دوم و سوم مطالعه، تنها در کرت‌های شاهد مطابق عرف منطقه پس از برداشت محصول و خارج نمودن کاه و کلش از مزرعه، عملیات خاک‌ورزی با انجام دو بار گاوآهن برگردان دار، به همراه دیسک انجام شد. در تیمارهای کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی، بی‌خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA و بی‌خاک‌ورزی با ماشین Jab Planter هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد و کاشت به‌طور مستقیم در بقایای ایستاده محصول قبل (حفظ کامل بقایا) با استفاده از ماشین‌های مربوطه انجام شد.

کاشت کلزا در مهرماه سال ۱۳۹۸ با رقم نپتون (هیبرید وارداتی تولید کشور فرانسه) و با احتساب ۸ کیلوگرم بذر در هکتار انجام شد. ذرت نیز با استفاده از رقم SC704 و در هفته اول تیر سال ۱۳۹۹ کشت گردید. میزان نیتروژن خالص مصرف شده در طول فصل رشد برای کلزا و ذرت به ترتیب ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بود که به‌وسیله کود اوره تأمین گردید. لازم به ذکر است در مورد ذرت نیز، عملیات خاک‌ورزی تنها برای تیمار خاک‌ورزی مرسوم انجام شد و در تیمارهای حفاظتی، بذر به‌طور مستقیم در بقایای ایستاده محصول قبل (حفظ کامل بقایا) کشت گردید.

نیاز آبی سه گیاه گندم، کلزا و ذرت در منطقه مطالعاتی بر اساس سامانه نیازآب به ترتیب برابر ٥۱٤، ٥۷۳ و ٦۳٦ میلی‌متر ارائه شده است (Unknown, 2022). بااین‌حال به دلیل تفاوت روش کاشت (جوی-پشته‌ای در روش کاشت بسترهای بلند دائمی، کرتی در روش‌های کاشت مرسوم و بی‌خاک‌ورزی با استفاده از ماشین SFOOGIA و کاهش یک تا دو نوبت آبیاری در روش کاشت با ماشین Jab Planter)، میزان آب مصرفی تیمارهای مختلف با نیاز آبی یکسان، با همدیگر متفاوت خواهد بود. بنابراین، علیرغم رعایت نیاز آبی مزرعه از طریق شواهد ظاهری گیاه و رعایت عرف منطقه، حجم آب مصرفی هر نوبت از آبیاری‌ها با استفاده از پارشال فلوم اندازه‌گیری و ثبت شدند. در طول فصل رشد در مواقع لزوم علف‌های هرز به صورت مکانیکی کنترل گردید. همچنین به منظور مبارزه با شته در محصول کلزا، از حشره‌کش کلرپیریفوس به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار و در یک نوبت استفاده شد. میزان ماده آلی خاک با تهیه نمونه خاک در تیمارهای مختلف و در مراحل قبل از کاشت و پس از برداشت هر محصول اندازه‌گیری شد (Magdoff *et al.*, 1996). بهره‌وری فیزیکی آب (WP_f) نیز از رابطه زیر محاسبه گردید (Heydari, 2014).

$$WP_f = \frac{Y_G}{AW} \qquad (۱)$$

که در آن، Y_G عملکرد محصول در واحد سطح (کیلوگرم بر هکتار) و AW حجم آب کاربردی توسط عملیات آبیاری در واحد سطح (مترمکعب بر هکتار) می‌باشد. مقدار Y_G برای گیاهان گندم و کلزا بر اساس عملکرد دانه و برای گیاه ذرت بر اساس عملکرد علوفه تر منظور شد و نهایتاً، شاخص WP_f برای هر گیاه به‌صورت جداگانه و بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه گردید. به منظور اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه، در پایان فصل رشد مقدار ٤ مترمربع از هر کرت برای گندم و کلزا برداشت گردید. در مورد ذرت نیز در حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت

مقدار ۲ مترمربع در هر واحد آزمایشی برداشت و میزان علوفه تر و شاخص بلال اندازه‌گیری شد. شاخص بلال با تقسیم وزن تر بلال بدون پوشینه بر وزن کل علوفه تر برداشت شده در واحد سطح به دست آمد. همچنین در طول فصل رشد ذرت، روند توسعه شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل WinDIAS 3 و دمای سایه‌انداز نیز با استفاده از دستگاه ترمومتر (دماسنج مادون‌قرمز) مدل IR400 در زمان ظهور گل‌تاجی، اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/٤ تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد گیاه زراعی

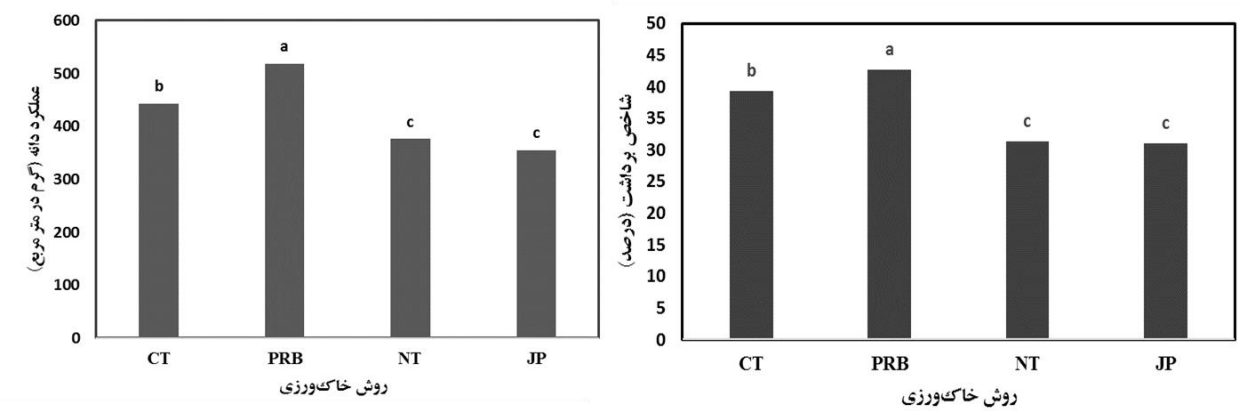
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در مورد گندم نشان داد که تأثیر روش خاک‌ورزی بر عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی‌دار و بر عملکرد بیولوژیک و وزن هزاردانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه گندم در تیمار کاشت بر روی پشته بود که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل ۲). کمترین مقدار عملکرد دانه مربوط به تیمارهای بی‌خاک‌ورزی بود. بین دو تیمار بی‌خاک‌ورزی از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.

جدول ۲– میانگین مربعات تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزاردانه گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن هزاردانه
بلوک	۲	۲۳۸٤/٤٦*	۷٦٦۲/۳۳ns	۰/۰۰۰٤ns	٥/۷٦ns
روش خاک‌ورزی	۳	۱٦۳۷٤/۲۱**	٦۳۲۹/۱۱ns	۰/۰۱۰۲**	۳/۱٤ns
خطا	٦	۳٦٥/٤۷	٥۱۸۹/٤٤	۰/۰۰۰۱	۱/۷۷
ضریب تغییرات	–	٤/٥۲	٦/۱٥	۲/۷۳	۳/۰٥

*و**به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ٥ و ۱ درصد آماری، ns معنی‌دار نیست.

به‌طور میانگین، شاخص برداشت گندم بین ۳۱ تا ٤۳ درصد در نوسان بود (شکل ۲)، بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار کاشت بر روی پشته و کمترین آن مربوط به تیمار کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورزی Jab Planter بود؛ که البته با تیمار بدون خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA تفاوت معنی‌داری نداشت. شاخص برداشت در تیمار کاشت بر روی پشته ۳۸ درصد بیشتر از کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورزی Jab Planter بود.



شکل ۲- مقایسه عملکرد دانه و شاخص برداشت گندم در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم (CT)، بسترهای بلند دائمی (PRB)، بی‌خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA (NT) و ماشین Jab Planter (JP). ستون‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

در مورد کلزا نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر روش خاک‌ورزی بر وزن هزاردانه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۵ درصد و عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه نشان داد که تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کاشت بر روی بسترهای دائمی بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر دارای عملکرد دانه بالاتری بودند. کمترین عملکرد دانه نیز از تیمار کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter به دست آمد که البته با تیمار بدون خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ٤).

جدول ۳- میانگین مربعات تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزاردانه کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن هزاردانه
بلوک	۲	۱۲۷/۹۸^{ns}	۱۸۱٤/۳۵^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۹٦^{ns}
روش خاک‌ورزی	۳	۸۲٤۸/۹۵**	٤۸۹۰۹/۲۷*	۰/۰۰۲٤**	۰/۰۸۰۱*
خطا	٦	۳٤۷/۷۸	۵۵۰۵/۲٤	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۲۸
ضریب تغییرات	-	۹/۰۲	۸/۸۷	٤/۸۳	۳/۳٤

*و**به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد آماری، ns معنی‌دار نیست.

جدول ٤- مقایسه عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزاردانه کلزا در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، بسترهای بلند دائمی، بی‌خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA و ماشین Jab Planter .

روش خاک‌ورزی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن هزاردانه
خاک‌ورزی مرسوم	۲٤۸۳/۱a	۹۰۳۷/۰ab	۲۷/٥٤a	۳/۳۸ab
بسترهای بلند دائمی	۲٥٥۳/۱a	۹۷٦۳/۹a	۲٦/۱٥a	۳/۱۸b
بی‌خاک‌ورزی SFOGGIA	۱٦۹۲/۸b	۷٦۸۳/۳bc	۲۱/۹۹b	۳/٤٦a
بی‌خاک‌ورز Jab Planter	۱٥٤۲/۲b	٦۹٤٤/٤c	۲۲/۱۸b	۳/٥۷a

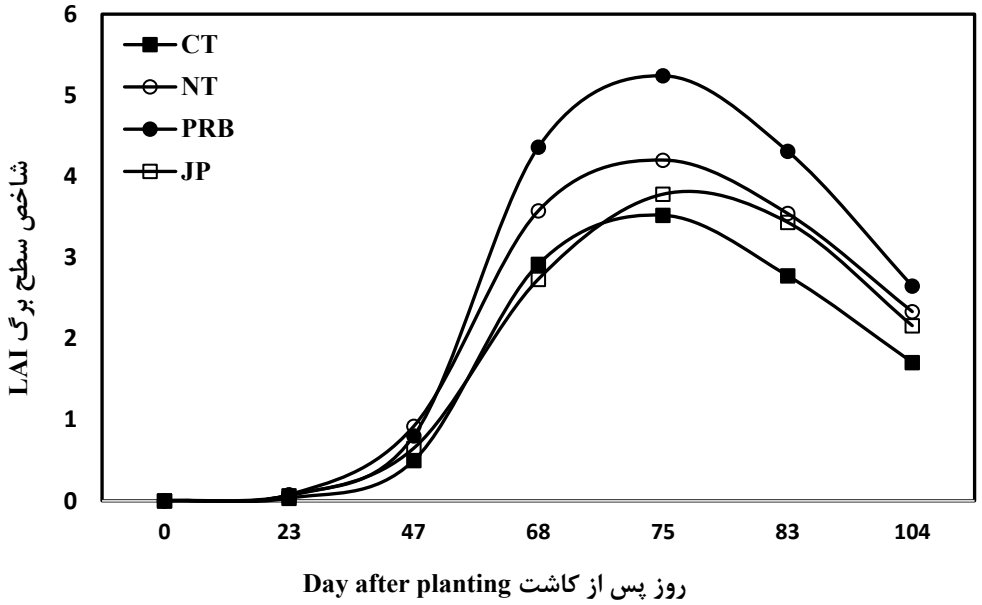
ستون‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

میانگین‌های عملکرد بیولوژیک کلزا در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ٤). عملکرد بیولوژیک در تیمارهای کاشت بر روی بسترهای دائمی و خاک‌ورزی مرسوم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، ولی از دو تیمار دیگر به‌طور معنی‌داری بیشتر بودند. تیمار کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار بدون خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA، کمترین عملکرد بیولوژیک را داشتند. عملکرد بیولوژیک کلزا در تیمار کاشت بر روی بسترهای دائمی به میزان ٤۰ درصد بیشتر از تیمار کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter بود (جدول ٤).

شاخص برداشت کلزا روندی تقریباً مشابه با عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ٤). تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کاشت بر روی بسترهای دائمی بدون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر، شاخص برداشت بیشتری داشتند. کمترین شاخص برداشت نیز از تیمارهای بی‌خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA و ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter به دست آمد. وزن هزار دانه کلزا تغییرات کمتری در بین تیمارهای روش کاشت نشان داد (جدول ٤). با این حال، وزن هزار دانه کلزا در تیمار کاشت بر روی پشته‌های دائمی به‌طور معنی‌داری کمتر از روش‌های کاشت بدون خاک‌ورزی (NT و JP) بود. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به روش‌های کاشت ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter (۳/٥۷ گرم) بود.

در مورد ذرت اندازه‌گیری روند توسعه شاخص سطح برگ ذرت در طول فصل رشد نشان داد که تفاوت قابل‌توجهی بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی با توجه به این شاخص وجود داشت (شکل ۳). به‌طورکلی از ۲۳ روز پس از کاشت شاخص سطح برگ شروع به افزایش کرد و بین ٤۷ تا ٦۸ روز پس از کاشت بیشترین افزایش را داشت. در ۷٥ روز پس از کاشت، شاخص سطح به بیشینه مقدار خود رسید و پس از آن شروع به کاهش کرد. با توجه به شکل ۲ تا ٤۷ روز پس از کاشت تفاوت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ ذرت در میان تیمارهای روش کاشت وجود نداشت، و تفاوت بین تیمارها از ٦۸ روز پس از کاشت نمایان شد. از این تاریخ به بعد تا پایان آزمایش، همواره بیشترین شاخص سطح برگ ذرت مربوط به تیمار کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی و پس از آن تیمار بدون خاک‌ورزی (NT) بود.

کمترین شاخص سطح برگ نیز تقریباً در کل فصل رشد در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter مشاهده شد. بیشینه شاخص سطح برگ که در ۷۵ روز پس از کاشت به دست آمد، در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی، بدون خاک‌ورزی (NT) و کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter به‌ترتیب ۳/۵، ۵/۲، ٤/۲ و ۳/۸ بود (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه شاخص سطح برگ ذرت در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم (CT)، بسترهای بلند دائمی (PRB)، بی‌خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA (NT) و کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter (JP).

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در ذرت نشان داد که اثر روش خاک‌ورزی بر روی ارتفاع بوته و دمای سایه‌انداز و عملکرد علوفه تر در سطح احتمال ۵ درصد و وزن تر بلال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). کمترین و بیشترین دمای سایه‌انداز به ترتیب از تیمارهای کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی و خاک‌ورزی مرسوم به دست آمد (جدول ٦). اگرچه دامنه تغییرات دمای سایه‌انداز چندان زیاد نبود، ولی به‌طور میانگین دمای سایه‌انداز در تیمار خاک‌ورزی مرسوم به میزان ۱۰/۱ درصد بیشتر از تیمار کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی بود.

مقایسات میانگین نشان داد که اگرچه ارتفاع بوته بین تیمارهای مختلف روش کاشت تغییرات زیادی نداشت (جدول ٦)، به‌طوری‌که بین ۱۹٤/۲ تا تقریباً ۲۰۰ سانتیمتر متغیر بود، ولی ارتفاع بوته در تیمار کاشت به روش مرسوم به میزان معنی‌داری کمتر از ارتفاع بوته در سایر تیمارها بود.

جدول ۵- میانگین مربعات تأثیر روش‌های مختلف کاشت بر دمای سایه‌انداز، وزن تر علوفه، وزن تر بلال، شاخص بلال، ارتفاع بوته و طول بلال ذرت هیبرید SC704

منابع تغییر	درجه آزادی	دمای سایه‌انداز	ارتفاع بوته	وزن تر بلال	عملکرد علوفه تر	شاخص بلال
بلوک	۲	۰/۲۹^{ns}	۰/۰۲^{ns}	٤۲٦۳/۷۹^{ns}	۲۸۷۰۱/۷۷^{ns}	۱/٦۲^{ns}
روش خاک‌ورزی	۳	۳/٤۷*	۱٦/۵۳*	۲۳۹۱٦۲/٦۹**	۲۷۰۰۸۸۸/۳۲*	٦/۱۷^{ns}
خطا	٦	۰/٦٤	۱/۷٦	۳٦۹۲/۹۰	۵٤۸۸۹۷/۲۸	۱۳/۸۳
ضریب تغییرات	–	۲/۹۳	۰/٦۷	۳/۷۸	۱۱/۵٦	۱٤/۷۵

* و**به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد آماری، ns معنی‌دار نیست.

جدول ٦- مقایسه ارتفاع بوته، دمای سایه‌انداز، عملکرد علوفه تر و وزن تر بلال ذرت در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی، بی‌خاک‌ورزی (NT) و کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter (JP).

روش خاک‌ورزی	دما سایه‌انداز (°C)	ارتفاع بوته (cm)	وزن تر بلال (kg ha^{-1})	عملکرد علوفه تر (kg ha^{-1})
خاک‌ورزی مرسوم	۲۸/۸a	۱۹٤/۲b	۱۱۹۰۰c	۵۰۱۵٦b
بسترهای بلند دائمی	۲٦/۲b	۱۹۹/۷a	۱٦۹۱۵b	۷۱۰۲۱a
بی‌خاک‌ورزی SFOGGIA	۲۷/۵ab	۱۹۸/٤a	۱۸۱٦۷a	٦۸۸۷۵a
بی‌خاک‌ورز Jab Planter	۲۷/٤ab	۱٦۷/٤a	۱۷۲٦۱ab	٦٦۳۲۵a

ستون‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

بیشترین عملکرد تر بلال مربوط به تیمار بی‌خاک‌ورزی بود. کمترین عملکرد تر بلال نیز در تیمار خاک‌ورزی مرسوم به دست آمد که از نظر آماری با سایر تیمارها معنی‌دار بود (جدول ٦). بیشترین و کمترین مقدار عملکرد علوفه تر به ترتیب مربوط به تیمار کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی و کشت مرسوم بود (جدول ٦). بین مقدار عملکرد علوفه تر در تیمارهای مختلف حفاظتی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است شاخص بلال تحت تأثیر روش خاک‌ورزی قرار نگرفت. مقدار این شاخص بین ۲٤ درصد در تیمارهای کشت بر روی بسترهای بلند دائمی و روش مرسوم تا حدود ۲٦ درصد در دو تیمار دیگر متفاوت بود.

بر اساس نتایج فوق بیشترین مقدار عملکرد هر سه گیاه زراعی بر روی بسترهای بلند (PRB) به دست آمد. نتایج مشابهی نیز توسط افضلی‌نیا و همکاران (Afzalinia *et al.*, 2024) برای عملکرد در یک تناوب گندم-ذرت علوفه‌ای گزارش شده است. نتیجه دیگر اینکه در فصل اول کاشت مقدار عملکرد دانه

گندم در روش کاشت بی‌خاک‌ورزی با استفاده از ماشین SFOGGIA و Jab Planter در مقایسه با روش خاک‌ورزی مرسوم کمتر بود. این روند در مورد عملکرد کلزا در فصل دوم نیز تکرار گردید. اما در فصل سوم آزمایش و با کاشت ذرت در تابستان سال ۱۳۹۹، این روند تغییر کرد و عملکرد علوفه تر در تیمارهای حفاظتی بی‌خاک‌ورزی (NT) و کاشت با ماشین Jab Planter همانند روش کاشت بر روی بسترهای بلند به میزان معنی‌داری نسبت به روش مرسوم افزایش یافت. گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که در این‌گونه مطالعات، معمولاً در کوتاه‌مدت عملکرد محصول در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی کمتر و یا در بهترین شرایط برابر با عملکرد محصول در خاک‌ورزی مرسوم است. برای مثال نتایج تحقیقات انجام‌شده در استان فارس حاکی از کاهش عملکرد پنبه در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (Afzalinia *et al.*, 2011). در جنوب ترکیه بیش‌ترین عملکرد در هر دو سال در تیمار خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با خاک‌ورزی حفاظتی به‌دست آمد (Sessiz *et al.*, 2010). احمد و همکاران (Ahmed *et al.*, 2018) نیز در پاکستان گزارش کردند که در یک تناوب کوتاه‌مدت ذرت-گندم، عملکرد در روش‌های کاشت بر روی بسترهای بلند و مرسوم به میزان معنی‌دار بیشتر از روش بی‌خاک‌ورزی بود. معمولاً کاشت بر روی بسترهای بلند به دلیل بهبود تهویه خاک و ظرفیت آب قابل‌دسترس باعث افزایش عملکرد می‌گردد (Holland *et al.*, 2007).

با این حال عدم بهم‌زنی خاک در تیمارهای حفاظتی و باقی گذاشتن بقایای گیاهی سال قبل در مزرعه مورد مطالعه باعث گردید که در زمان کاشت ذرت در تابستان، میزان تبخیر از سطح خاک در تیمارهای حفاظتی کاهش یافته و گیاهان در این تیمارها در مقایسه با کاشت به روش مرسوم در یک دور آبیاری مشابه تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار نگرفته و توسعه سطح برگ و سایه‌انداز و درنهایت عملکرد بهتری داشته باشند. لازم به ذکر است برای نمونه و در یک اندازه‌گیری مشاهده‌ای، قبل از یکی از آبیاری‌ها در تمام تیمارها نمونه خاکی تا عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. نتایج نشان داد که میزان رطوبت وزنی در تیمار کاشت به روش مرسوم به میزان ۲۲/٤، ۲۰/۸ و ۱۵/٦ درصد به ترتیب در مقایسه با تیمارهای کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی (PRB)، بدون خاک‌ورزی (NT) و کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter (JP) کمتر بود. این نتیجه بیانگر این موضوع است که وجود بقایا در سطح خاک، باعث حفظ بیشتر رطوبت موجود در لایه سطحی خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با روش خاک‌ورزی مرسوم شده است.

اثر مثبت نگهداری بقایای گیاهی در سطح خاک بر روی عملکرد گیاه در بلندمدت در بسیاری از آزمایشات با تیمارهای حفاظتی گزارش شده است. در پژوهش‌های نجفی نژاد و همکاران (Najafinejad *et al.*, 2007) و لیمون اورتگا و همکاران (Limon-Ortega et al., 2002) عملکرد ذرت در همه تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با نگهداری بقایا، بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم با حذف یا سوزاندن بقایا بود. در آزمایش تائو و همکاران (Tao *et al.*, 2015) نیز نشان داده شد که خاک‌ورزی

همراه با پوشش ۵۰ درصدی مالچ کلش باعث بهبود عملکرد دانه ذرت به میزان ۵-۷ درصد گردید. البته علاوه بر کاهش تبخیر از سطح خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، بهبود عملکرد گیاه در این تیمارها در سال‌های بعد در تناوب می‌تواند ناشی از عوامل دیگر ازجمله بهبود ساختمان خاک، افزایش ماده آلی خاک و افزایش توان خاک برای نگهداری آب باشد (Afzalinia *et al.*, 2011؛ Amini *et al.*, 2014؛ Li *et al.*, 2005).

تأثیر بر مصرف آب

بیشترین و کمترین بهره‌وری آب در گندم به ترتیب در روش کاشت بسترهای دائمی (۰/۷۳ کیلوگرم دانه در مترمکعب آب) و بی‌خاک‌ورزی با روش SFOGGIA (۰/٤۵کیلوگرم دانه در مترمکعب آب) به دست آمد (جدول ۷). مقدار عددی بهره‌وری آب در تیمار خاک‌ورزی مرسوم، ۰/٤۹ کیلوگرم دانه در مترمکعب آب بود. به‌طورکلی حجم آب مصرفی در تیمارهای کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی، بدون خاک‌ورزی با ماشین SFOGGIA و کاشت با ماشین بی‌خاک‌ورز Jab Planter به‌ترتیب در مقایسه با تیمار خاک‌ورزی مرسوم به‌ترتیب به میزان ۲۲، ۷ و ۲٤ درصد کمتر بود.

جدول ۷- مقدار بهره‌وری آب در گندم و کلزا (بر اساس عملکرد دانه) و ذرت (بر اساس عملکرد علوفه‌تر) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

روش خاک‌ورزی	گندم	کلزا	ذرت
	($kg\ m^{-3}$)		
خاک‌ورزی مرسوم	۰/٤۹	۰/۲۳	٤/۳
بسترهای بلند دائمی	۰/۷۳	۰/۳۱	۷/٦
بی‌خاک‌ورزی **SFOGGIA**	۰/٤۵	۰/۱٦	٦/۰
بی‌خاک‌ورز **Jab Planter**	۰/۵۲	۰/۱۷	٦/۱

بر اساس حجم آب مصرفی اندازه‌گیری شده در کلزا، بیشترین بهره‌وری آب در تیمار کشت بر روی بسترهای بلند دائمی به دست آمد (جدول ۷). حجم آب مصرف شده در این تیمار (۸۳۳۹/٦ مترمکعب در هکتار) در طول فصل رشد به میزان ۲۳ درصد کمتر از حجم آب مصرفی در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود. اگرچه حجم آب مصرفی در تیمار خاک‌ورزی به روش Jab Planter به دلیل مصرف ۲ نوبت آب کمتر در حدود ۹۱۷۳/٦ مترمکعب در هکتار بود، ولی به دلیل عملکرد کمتر گیاه در این روش، شاخص بهره‌وری آب به شدت کاهش یافت (جدول ۷). ذکر این نکته نیز ضروری است که اگرچه در تیمار

استفاده از ماشین کاشت Jab Planter، مصرف آب به مقدار دو نوبت کمتر بود، ولی به خاطر اینکه روش کاشت آبیاری در این تیمار به صورت غرقابی بود، در مقایسه با روش کشت بر روی بسترهای بلند که فقط نوار باریکی از مزرعه آبیاری می‌شد، درنهایت میزان آب مصرفی در این تیمار بیشتر بود.

در مورد ذرت نیز کمترین حجم آب مصرفی (۹۳٤۰/۹ مترمکعب در هکتار) مربوط به تیمار کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی بود، که تقریباً در حدود ۲۰ درصد کمتر از تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود. پیشروی سریع‌تر آب در داخل جویچه‌ها، استقرار پوشش گیاهی بر روی پشته‌ها و کاهش سطح خیس شده زمین، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کاهش حجم آب مصرفی در روش مذکور بوده است. همچنین حجم آب مصرفی در تیمار Jab Planter به دلیل شیوه کاشت و مصرف یک‌بار آبیاری کمتر، تقریباً حدود ۷ درصد کمتر از تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود. بیشترین و کمترین بهره‌وری آب به ترتیب مربوط به تیمار کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی و خاک‌ورزی مرسوم بود (جدول ۷).

به‌طورکلی، مقایسه سه روش مختلف کاشت در شرایط استفاده از آبیاری سطحی نشان داد که بیشترین بهره‌وری آب برای هر سه گیاه زراعی در روش کاشت بر روی بسترهای بلند حاصل شده است. به‌طورکلی، کاشت بر روی بسترهای بلند حجم آب مصرفی را بین ۲۰ تا ۲۳ درصد در مقایسه با روش‌های کاشت مرسوم در آبیاری سطحی کاهش داده است. نتایج گزارش‌های مختلف به افزایش بهره‌وری آب با کاربرد روش کاشت بر روی بسترهای بلند در مقایسه با روش مرسوم دارد. برای مثال بر اساس نتایج چوداری و همکاران (Choudhury *et al.*, 2003) کاشت بر روی بسترهای بلند در یک تناوب برنج-گندم باعث کاهش مصرف آب آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب گردید. همچنین مجید و همکاران (Majid *et al.*, 2015) نیز گزارش کردند که کاشت بر روی بسترهای بلند باعث افزایش ۱۵ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با کاشت به روش کرتی گردید.

در گزارش احمد و همکاران (Ahmed *et al.*, 2018) کاربرد روش کاشت بر روی بسترهای بلند باعث افزایش ۲۰-۳۰ درصدی راندمان مصرف آب در مقایسه با روش کرتی شد. بر اساس نتایج ایشان در یک بازه دو ساله به میزان ۱٦ تا ۲۲ درصد در مصرف آب با کاشت گیاه بر روی بسترهای بلند صرفه‌جویی شد. در پژوهش دیگر مان و میس‌نر (Mann & Meisner, 2003) گزارش کردند که با کاربرد روش کاشت بر روی بسترهای بلند می‌توان بین ۳۰-٤۰ درصد در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی کرد. همچنین در مقایسه با روش کاشت کرتی، کاشت به روش بسترهای بلند ضمن صرفه‌جویی ۳۰ درصدی در مصرف آب آبیاری باعث افزایش راندمان مصرف آب به میزان ۲۰ درصد می‌گردد (Ahmed *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2004). در آزمایش افضلی‌نیا و همکاران (Afzalinia *et al.*, 2024) و با کاربرد روش آبیاری قطره‌ای نواری، میزان مصرف آب ذرت علوفه‌ای در روش کاشت بر روی بسترهای دائمی (۸۹۳۹ مترمکعب در هکتار) کمتر از روش خاک‌ورزی مرسوم (۹۵۳۱ مترمکعب در هکتار) بود. اگرچه در این آزمایش و در کشت گندم بعد از ذرت

علوفه‌ای، بیشترین میزان مصرف آب در تیمار کاشت بر روی پشته‌های دائمی گزارش شده است.

همچنین بر اساس نتایج مطالعه حاضر با تداوم تیمارهای خاک‌ورزی در طول آزمایش، بهره‌وری آب در هر سه تیمار خاک‌ورزی حفاظتی در کاشت ذرت بیشتر از مقدار بهره‌وری آب در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود. بیشتر بودن بهره‌وری آب در سامانه‌های حفاظتی نسبت به روش‌های مرسوم خاک‌ورزی به دلیل افزایش حفظ رطوبت در خاک در بسیاری از مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Afzalinia *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2005). به نظر می‌رسد حفظ و نگهداری بقایا بر روی سطح خاک را می‌توان مؤثرترین عامل در افزایش بهره‌وری آب دانست (Asadi *et al.*, 2016). در آزمایش امینی و همکاران (Amini *et al.*, 2014) نشان داده شد که استفاده از ۳۰ درصد بقایا منجر به حفظ رطوبت خاک، افزایش ماده آلی و افزایش فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها می‌گردد. آنچه مسلم است وجود بقایا بر سطح خاک را مانعی برای رسیدن اشعه خورشید به خاک دانستند که تبخیر آب را کاهش داده و درنتیجه سبب افزایش رطوبت ذخیره شده در خاک و بهره‌وری آب می‌گردد (Cavalaris & Gemtos, 2002). بهبود بهره‌وری مصرف آب و درنتیجه عملکرد بیشتر گندم در آزمایش پنگ و همکاران (Peng *et al.*, 2019) به استفاده از مالچ بقایای گیاهی نسبت داده شده است. در آزمایش تائو و همکاران (Tao *et al.*, 2015) نیز بحث شده است که خاک‌ورزی همراه با پوشش ۵۰ درصدی مالچ کلش باعث افزایش بهره‌وری آب ۵۱ تا ۵۲ درصدی ذرت می‌گردد. نیز همچنین گزارش شده است که در سامانه بی‌خاک‌ورزی با مدیریت بقایای گیاهی می‌توان بهره‌وری آب را به میزان ۷/٦ درصد در گندم زمستانه افزایش داد (Su *et al.*, 2007). همچنین جین و همکاران (Jin *et al.*, 2007) در پژوهشی در شمال چین نتیجه گرفتند که در سال اول کل مقدار آب مصرفی در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی برای ذرت در تناوب با گندم ۹/٤ درصد کمتر از تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بوده است که موجب افزایش ۵/٦ درصدی بهره‌وری آب ذرت شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که با اجرای خاک‌ورزی حفاظتی در مناطق خشکی مانند استان یزد و حفظ بقایا می‌توان ضمن کاهش تبخیر از سطح خاک به‌ویژه در کشت‌های تابستانه به افزایش عملکرد و بهره‌وری آب در این مناطق کمک نمود. به نظر می‌رسد کاشت بر روی بسترهای بلند دائمی با توجه به عملکرد بیشتر برای هر سه گیاه زراعی در تناوب مطالعه شده در مقایسه با سایر تیمارها و همچنین مصرف آب کمتر می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های کاشت گیاهان زراعی در این شرایط توصیه شود.

REFERENCES

Afzalinia, S. and Karami, A., 2018. Effect of conservation tillage on soil properties and corn yield in the corn-wheat rotation. *Iranian Journal of Biosysytem Engineering*, 40(1), pp. 129-137. doi: 10.22059/IJBSE.2017.243058.664995 In Farsi.

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

Afzalinia, S., Dehghanian, S.I., Alijani, Kh., Hosseini, S.M., Estakhr, A., Alavimanesh, S.M. and Zare, M., 2024. Soil properties, crop yield, and water productivity of forage corn and wheat in conservation planting methods. 18th Iranian Soil Science Congress. 30 Jan. to 1 Feb., 2024, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. Ahvaz, Iran In Farsi.

Ahmed, A., Hussain, I., Khalil, I. A., Ahmed, G., Ahmad, I., and Imtiaz, M., 2018. Effect of bed planting and zero tillage on productivity and water use of Irrigated maize-wheat cropping system in Khyber Pakhtunkhwa province of Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture*, 34(3), pp. 696-704. doi:10.17582/journal.sja/2018/34.3.

Aikins, S.H.M., Bart-Plange, A., and Opoku-Baffour. S., 2010. Performance evaluation of jab planters for maize planting and inorganic fertilizer application. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 1(5), pp. 29-33.

Alvarez, R., and Steinbach, H.S., 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*, 104, pp. 1-15. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2009.02.005.

Amini, A., Rajaie, M. and Farsinezhad, K., 2014. Effects of different plant residue under different tillagepractices on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 16, pp. 27-37 In Farsi.

Asadi, M.E., and Faghani, M., 2021. Permanent raised bed cropping systems. Noruzi Publisher. Gorgan, Iran. 116 Pp.

Asadi, M.E., Feyzbakhsh, MT. and Razzaghi, MH., 2016. Study of silage maize yield and yield components under different managements of tillage. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(3), pp. 151-170. doi:10.22069/JWFST.2016.3191 In Farsi.

Asoodar, M.A., Zalaghi, F., and Shahrestani, S.A., 2017. Management Principles of plant residue, tillage and rotation in conservation agriculture. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Agricultural education press. Publication no.: 51762.

Bahrani, M.J., Raufat, M.H., and Ghadiri. H., 2007. Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. *Soil and Tillage Research*,94, pp. 305-309. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.004

Brunel, N., Seguel, O., and Acevedo, E., 2013. Conservation tillage and water availability for wheat in the dryland of central Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13, pp. 622–637. DOI:10.4067/S0718-95162013005000050.

Cai, L.Q., Luo, Z.Z., Zhang, R.Z., Huang, G.B., Li, L.L., and Xie, J.H., 2012. Effect of different tillage methods on soil water retention and infiltration capability of rainfed field. *Journal of Desert Research*, 32, pp. 1362–1368.

Cavalaris, C.K. and Gemtos. T.A., 2002. Evaluation of four conservation tillage methods in the sugar beet crop. Agricultural Engineering International: *The CIGR Journal of Scientific Research and Development Manuscript LW* 01 008, 6, pp. 1-24.

Choudhury, B.U., Bouman, B.M. and Sigh, A.K., 2007. Yield and water productivity y of rice-wheat on raised beds at New Delhi, India. *Field Crops Research*, 100, pp. 229-239. doi:10.1016/j.fcr.2006.07.009

Cox, W.J., Zable, R.W., Vanes, H.M., and Otis, D.J., 1990. Tillage effects on some soil physical and corn physiological characteristics. *Agronomy Journal*, 82, pp. 806-812.

De Vita P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M., 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2), pp. 69-78. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.012.

Fahong, W., Xuqing, W., Bo, F., Jisheng, S., Shengdong, L., and Zhongming, M., 2005. Raised bed planting for wheat in China. In: Roth, C.H., R.A. Fischer & C.A. Meisner. Evaluation and performance of permanent raised bed cropping systems in Asia, Australia and Mexico. ACIAR Proceedings No. 121.

Garcıa-Orenes, F., Cerda, A., Mataix-Solera, J., Guerrer, C., Bod, M.B., Arcenegui, V., Zornoza, R., and Sempere, J.G., 2009. Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, 106, pp. 117-123. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2009.06.002.

Hassan, I., Hussain, Z., and Akbar, G., 2005. Effect of permanent raised beds on water productivity for irrigated maize –wheat cropping system. In: Roth, C.H., R.A. Fischer & Meisner, C.A. Evaluation and performance of permanent raised bed cropping systems in Asia, Australia and Mexico. ACIAR Proceedings No. 121.

Heydari, N., 2014. Water productivity in agriculture: Challenges in concepts, terms and values, *Irrigation and Drainage*. 63(1), pp.22-28. DOI:10.1002/ird.1816.

Holland, J.E., White, R.E., and Edis. R., 2007. The relation between soil structure and solute transport under raised bed cropping and conventional cultivation in south-western Victoria. *Australian Journal of Soil Research*, 45, pp. 577-585. doi:10.1071/SR07068.

Jin, H., Qingjie, W., Hongwen, L., Lijin, L., and Huanwen, G., 2007. Effect of alternative tillage and residue cover on yield and water use efficiency in annual double cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research*, 104, pp. 198-205. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2008.08.015.

Jolaini, M. and Sharifi, H.R., 2019. Effect of tillage method, residue retention, and different levels of irrigation water on yield and water productivity of wheat in cold region of Khorasan Razavi. *Journal of Water Research in Agriculture* (Soil and Water Sci.), 33(3), pp. 371-382. doi:https://doi.org/10.22092/jwra.2019.120468 In Farsi.

Jolaini, M., & Ghasemzadeh Ganjehei, M., 2020. Conservation Agriculture and Preservation Soil Moisture. Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Center. Office of Knowledge Network and Extensive Media. *Agricultural Education Press*. Issue no. 464 In Farsi.

Lafond, G.P., Boyetchko, S.M., Brandt, S.A., Clayton, G.W., and Entz, M.H., 1996. Influence of changing tillage practices on crop production. *Canadian Journal of Plant Science*, 76, pp. 641-649.

Li, L., Huang, G., Zhang, R., Jin, X., Li, G., and Chan, K.Y., 2005. Effects of no-till with stubble retention on soil water regimes in rainfed areas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 19(5), pp. 94–97.

Limon-Ortega, A., 2011. Planting System on Permanent Beds; A Conservation Agriculture Alternative for Crop Production in the Mexican Plateau. INTECH Open Access Publisher.

Limon-Ortega, A., Sayre, K.D., Drijber, R.A., and Francis, C.A., 2002. Soil attributes in a furrow-irrigated bed planting system in northwest Mexico. *Soil and Tillage Research*, 63, pp. 123-132. doi:https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00230-6

Madejón, E., Murillo, J.M., Moreno, F., López, M.V., Arrue, J.L., Alvaro-Fuentes, J., and Cantero, C., 2009. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research*, 105 (1), pp. 55-62. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2009.05.007.

Magdoff, F.R., Tabatabai, M.A., Hanlon, E.A., 1996. Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation. Soil Science Society of America. Print ISBN: 9780891188223. Online ISBN:9780891189411. DOI:10.2136/sssaspecpub46. P. 67.

Majid, A., Muhmood, A., Niaz, A., Javid, S., Ahmad, Z.A., Shah, S.S.H., and Shah, A.H., 2015. Bed planting of wheat (*Triticum aestivum* L.) improves nitrogen use efficiency and grain yield compared to flat planting. *The Crop Journal*, 3, pp. 118–124. doi:https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.01.003.

Mann, R.A. and Meisner, C.A., 2003. Proceedings of the national workshop on rice-wheat systems in Pakistan, Islamabad, Pakistan. *A Rice Wheat Consortium Paper Series*, 15, pp. 2-3.

Najafinejad, H., Javaheri, M.A., Gheibi, M., and Rostami, M.A., 2007. Influence of tillage practices on the grain yield of maize and some soil properties in maize-wheat cropping system of Iran. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, 3, pp. 87-90.

Peng, Z., Wang, L., Xie, J., Li, L., Coulter, J.A., Zhang, R., and Choudhary, S., 2019. Conservation tillage increases water use efficiency of spring wheat by optimizing water transfer in a semi-arid environment. *Agronomy*, 9(10), 583. doi:https://doi.org/10.3390/agronomy9100583.

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), pp. 287-294.

Sayre, K., Limon, A., and Govaerts, B., 2005. Experiences with permanent bed planting systems CIMMYT, Mexico. In: Roth, C.H., Fischer, R.A. and Meisner, C.A. Evaluation and performance of permanent raised bed cropping systems in Asia, Australia and Mexico. ACIAR Proceedings No. 121.

Sessiz, A., Alp, A., and Gursoy, S., 2010. Conservation and conventional tillage methods on selected soil physical properties and corn yield and quality under cropping system in Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(5), pp. 597-608.

Shao, Y., Xie, Y., Wang, C., Yue, J., Yao, Y., Li, X., Liu, W., Zhu, Y., and Guo, T., 2016. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North *China. European Journal of Agronomy*, 81, pp. 37–45. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.014.

Su, Z., Zhang, J., Wu, W., Cai, D., Lv, J., Jiang, G., Huang, J., Gao, J., Hartmann, R., and Gabriels, D., 2007. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 87, pp. 307–314. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.08.005.

Tao, Z., Li, C., Li, J., Ding, Z., Xu, J., Sun, X., Zhou, P., and Zhao, M., 2015. Tillage and straw mulching impacts on grain yield and water use efficiency of spring maize in Northern Huang–Huai–Hai Valley. *The Crop Journal*, 3, pp. 445–450. doi:https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.08.001.

Unknown. 2021. Climatic conditions of Yazd city. Yazd Meteorological Organization. Department of Applied Meteorological Research. Available on: https://www.yazdmet.ir/SC.php?type=static&id=510 . In Farsi.

Unknown. 2022. Irrigation Requirement System of Agricultural and Garden Plants of the Country (Water Requirement). Agricultural Research, Education and Extension Organization, Soil and water Research Institute. Available on: http://niwr.ir/_Public/BookIR/Default.aspx . In Farsi.

Wang, F., Xuqing, W., and Sayre, K.D., 2004. Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Field Crops Research*, 87, pp. 35-42. doi:https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.003.

Wright, A.L., Dou, F., and Hons, F.M., 2007. Soil organic C and N distribution for wheat cropping systems after 20 years of conservation tillage in central Texas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121(4), pp. 376-382. doi: https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.11.011.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 4/No.2/Summer 2024/P: 74-101

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Investigating the Yield and Water Productivity of Wheat- Rapeseed-Corn Rotation Affected as Different Tillage Systems Under Climatic Condition of Yazd

G.H. Ranjbar[1], M.H. Rahimian[2], H. Beyrami[3], S.A. Tabatabaei[4] and M.R. Falatouni[5]

[1] Associate Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

[2] Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

[3] Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

[4] Associate Professor, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

[5] Researcher, Organization of Agriculture_Jahad_Yazd, Yazd, Iran

Corresponding Author's Email: ranjbar71@gmail.com

(Received: May. 20, 2024– Accepted: September. 21, 2024)

ABSTRACT

This study was conducted to compare conventional tillage with conservation methods of permanent raised bed (PRB), no-till with SFOGGIA (NTs), and no-till with Jab Planter (NTj) equipment's, in a wheat- rapeseed-corn cropping system in Yazd province as an arid region. Results showed wheat grain yield in PRB treatment was significantly higher than the other treatments. Wheat grain yield in CT, PRB and NTs and NTj treatments were 4422.4, 5186.4, 3762.5 and 3547.1 kg ha^{-1}, respectively. The highest seed yield for rapeseed was obtained at CT and PRB treatments with no significant differences. The highest fresh weight of corn forage was observed in PRB treatment (71021 kg ha^{-1}) which was not statistically different from fresh weight in NTs and NTj treatments. The fresh weight of corn forage in CT treatment was 29% lower than the fresh weight in PRB treatment. Application of PRB planting method also reduced the volume of applied water by 20% to 23% compared to the CT method. Results of the study showed that by using conservation tillage and preserving plant residues in arid regions such as Yazd province, it is possible to increase yield and water productivity as well as reducing evaporation from the soil surface. Due to less water consumption and higher yield, PRB planting method could be more suitable.

Keywords: Conservation agriculture, Jab Planter, No-till, Permanent raised bed, Plant residues.