تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۴/ شماره ۸۷/پاییز ۱۴۰۲/ص ۳۴-۱۷
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله علمی– پژوهشی

تأثیر روش‌های کاشت روی پشته‌های دائمی بلند، بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بر عملکرد محصول و بهره‌وری آب در تناوب گندم–ذرت علوفه‌ای

صادق افضلی‌نیا[۱]، سیدابراهیم دهقانیان[۲]، خدیجه علیجانی[۳]، دادگر محمدی[۴]، سیدماشاءاله حسینی[۵]، افشار استخر[۶]، سیدمنصور علوی‌منش[۷] و ماشاءاله زارع[۸]

۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸- به ترتیب: استاد؛ مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ دکترای بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی؛ کارشناس ارشد؛ دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب؛ استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی؛ کارشناس ارشد؛ و کارشناس بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

چکیده

در این پژوهش، اثر روش‌های خاک‌ورزی و کاشت (کاشت روی پشته‌های دائمی، بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم) بر ویژگی‌های خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، رطوبت و کربن آلی و مصرف آب، بهره‌وری آب و عملکرد محصول در تناوب ذرت علوفه‌ای-گندم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و شش تکرار بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تیمار کاشت روی پشته‌های دائمی بیشترین عملکرد ذرت علوفه‌ای (۹۵/۳۳ تن در هکتار) و گندم (۷/۰۱ تن در هکتار) و تیمار بی‌خاک‌ورزی کمترین عملکرد ذرت علوفه‌ای (۸۷/۰۶ تن در هکتار) و گندم (۵/۲۳ تن در هکتار) را دارد که با روش خاک‌ورزی مرسوم اختلاف معنی‌دار ندارد. نتایج همچنین نشان داد که ذرت علوفه‌ای در روش خاک‌ورزی مرسوم بیشترین مقدار مصرف آب (۹۵۳۱ مترمکعب در هکتار) را دارد، و کمترین مقدار مصرف آب (۸۱۵۵ مترمکعب در هکتار) مربوط به روش بی‌خاک‌ورزی است، اما به دلیل تغییرات عملکرد محصول متناسب با آب مصرفی، بین تیمارها از نظر بهره‌وری مصرف آب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. گندم در روش کاشت روی پشته‌های دائمی بیشترین مقدار مصرف آب (۷۱۷۷ مترمکعب در هکتار) را داشت اما از نظر بهره‌وری مصرف آب گندم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک‌ورزی و کاشت وجود نداشت. روش‌های بی‌خاک‌ورزی حفظ رطوبت لایهٔ صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک را در کشت ذرت علوفه‌ای افزایش داد (حدود ۱۱ درصد) ولی در کشت گندم کمکی به افزایش حفظ رطوبت خاک نکرد.

واژه‌های کلیدی

خاک‌ورزی حفاظتی، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت خاک، کربن آلی

مقدمه

تهیهٔ زمین و کاشت در روش مرسوم به دلیل تعداد عملیات مورد نیاز، حجم زیاد جابه‌جایی خاک و شکل ادوات مورد استفاده، از جمله عملیاتی هستند که بیشترین انرژی مکانیکی را در مراحل مختلف تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌کنند. این روش تهیهٔ زمین و کاشت محصول، مقدار و بهره‌وری مصرف آب را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگر، روش‌های مرسوم تهیهٔ بستر بذر ساختمان خاک را تخریب و فقر مادهٔ آلی خاک را تشدید می‌کنند. بنابراین، با توجه به محدودیت منابع انرژی سوختی و افزایش قیمت آنها، بحران کمبود

*نگارنده مسئول: Email: sja925@mail.usask.ca
https://doi.org/10.22092/amsr.2024.364325.1472

آب و همچنین تخریب و از بین رفتن خاک‌های زراعی، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی و کاشت جدید که قادر به افزایش بهره‌وری مصرف آب، بهبود ساختمان خاک و افزایش مادهٔ آلی خاک باشند ضروری است. در ایران تا به حال در مورد اثر روش‌های بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی (کم‌خاک‌ورزی تمام سطح مزرعه با استفاده خاک‌ورز مرکب یا دیسک) در تناوب‌های مختلف تحقیقات زیادی شده است (Dehghanian & Afzalinia, 2018; Afzalinia & Ziaee, 2020)، اما اثر روش کم‌خاک‌ورزی قسمتی از سطح مزرعه (کاشت روی پشته‌های دائمی) در تناوب گندم-ذرت کمتر بررسی شده است.

از طرف دیگر، بر اساس نتایج پژوهش‌ها در استان فارس، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، رطوبت در خاک را بیشتر حفظ می‌کنند (Afzalinia *et al.*, 2009; Afzalinia *et al.*, 2018a, b; Afzalinia & Karami 2018) که قاعدتاً باید به افزایش بهره‌وری مصرف آب در این روش‌های خاک‌ورزی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، بینجامد اما نتایج پژوهش‌ها در این زمینه نشان می‌دهند که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی اثر معنی‌داری بر بهره‌وری مصرف آب محصولات آبی ندارند (Dehghanian & Afzalinia, 2018; Afzalinia & Ziaee, 2020). در پژوهش‌های مربوط به مقایسهٔ روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم معمولاً به تمام کرت‌ها اعم از کرت‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم همزمان و به یک اندازه آب داده می‌شود و این باعث می‌شود مزیت حفظ رطوبت بیشتر در خاک‌ورزی حفاظتی دیده نشود. در حالی‌که باید آبیاری کرت‌ها در این گونه پژوهش‌ها بر اساس نتایج اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک باشد که در این صورت، آب مصرفی واقعی در روش‌های مختلف خاک‌ورزی تعیین خواهد شد و اثر خود را در بهره‌وری مصرف آب نشان خواهد داد. تأثیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر مصرف آب و بهره‌وری مصرف آن، بهره‌وری اقتصادی این روش‌ها را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. بنابراین، ضروری است روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی از نظر شاخص‌های عملکرد محصول، ویژگی‌های خاک، بهره‌وری مصرف آب و اقتصادی در تناوب گندم-ذرت با خاک‌ورزی مرسوم مقایسه شوند تا مزیت‌ها و معایب این روش‌های خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم تعیین گردد.

مقایسهٔ روش‌های خاک‌ورزی نواری، بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر عملکرد علوفهٔ ذرت درشرایط آبی در مناطق خشک جنوب غرب آمریکا نشان می‌دهد که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد ذرت آبی ندارد (Idowu *et al.*, 2019). مقایسهٔ عملکرد ذرت آبی در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی در استان کرمان نشان می‌دهد که روش بی‌خاک‌ورزی عملکرد ذرت را در مقایسه با کم‌خاک‌ورزی کاهش می‌دهد (Afzali Gorouh *et al.*, 2019). مطالعهٔ اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و آبیاری بر عملکرد ذرت آبی در استان فارس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر عملکرد علوفه و دانه ذرت وجود ندارد (Dehghanian & Afzalinia, 2018). نتایج تحقیق دیگری در استان فارس نشان می‌دهد که روش‌های مختلف خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفهٔ ذرت آبی در تناوب با گندم ندارند (Afzalinia & Karami, 2018). نتایج تحقیقات در آسیای جنوبی نشان می‌دهد که در سامانهٔ کشت آبی، روش‌های بی‌خاک‌ورزی و کاشت روی پشته‌های دائمی در تناوب ذرت-گندم- ماش

عملکرد محصول را از ۵/۷ تا ۲۴/۶ درصد افزایش می‌دهند (Parihar *et al.*, 2017).

نتایج بررسی اثر خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در استان گلستان نشان می‌دهد که در روش خاک‌ورزی مرسوم بیشترین و در روش بی‌خاک‌ورزی کمترین عملکرد دیده شده است (Ranjbar *et al.*, 2017). مقایسهٔ اثر روش‌های کم‌خاک‌ورزی و مرسوم بر عملکرد ذرت آبی در استان همدان نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین روش‌های خاک‌ورزی از نظر عملکرد وجود ندارد (Heidari *et al.*, 2016). مقایسهٔ بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر عملکرد ذرت دانه‌ای در استان مازندران نشان می‌دهد که بی‌خاک‌ورزی عملکرد ذرت را نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش می‌دهد (Sefahani Langeroodi *et al.*, 2016). بر اساس نتایج پژوهش بلند مدت در ایلینوی آمریکا، تفاوت معنی‌داری بین روش‌های بی‌خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر عملکرد ذرت آبی در تناوب ذرت - سویا وجود ندارد (Olson *et al.*, 2013).

اثر کاشت روی پشته‌های بلند بر عملکرد گندم و ذرت نیز در برخی پژوهش‌ها بررسی شده است، اما در اکثر این پژوهش‌ها جنبهٔ حفاظتی این روش با حضور بقایای گیاهی و حفظ پشته‌ها برای کشت بعدی مد نظر نبوده است. بررسی اثر عرض پشته در روش کاشت روی پشته‌های دائمی بر عملکرد محصول در مکزیک نشان می‌دهد که عرض پشته اثر معنی‌داری بر عملکرد گندم و ذرت ندارد (Saldivia-Tejeda *et al.*, 2021). نتایج تحقیقی در چین نشان می‌دهد که کاشت روی پشته‌های بلند، در مقایسه با کاشت مسطح، عملکرد گندم را در تناوب با برنج افزایش و هزینه‌های تولید را ۱۳/۶ درصد کاهش می‌دهد (Du *et al.*, 2022). نتایج تحقیقی در مصر نشان می‌دهد که کاشت روی پشته‌های بلند با عرض ۱۳۰ سانتی‌متر، در مقایسه با کشت مسطح، باعث صرفه‌جویی ۲۱/۸۱ درصد در مصرف آب گندم می‌شود ولی اثر معنی‌داری بر عملکرد گندم ندارد (Ismail *et al.*, 2021). بررسی‌ها در کابل نشان می‌دهد که روش کاشت روی پشته‌های بلند، در مقایسه با روش کاشت مسطح، عملکرد گندم و درآمد خالص گندم‌کاران را به ترتیب ۲۱ و ۲۰/۸ درصد افزایش می‌دهد (Hashimi *et al.*, 2021). مقایسهٔ اثر کاشت روی پشته‌های بلند و خاک‌ورزی مرسوم بر عملکرد گندم در استان فارس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین این دو روش وجود ندارد (Solhjou & Javadi, 2016). نتایج مقایسهٔ اثر الگوهای مختلف کاشت بر عملکرد گندم در زنجان نشان می‌دهد که کاشت سه ردیف گندم روی پشته، در مقایسه با کاشت یک ردیف روی پشته و کاشت در داخل جوی، عملکرد بیشتری دارد (Yousefi *et al.*, 2016). نتایج مقایسهٔ کاشت گندم روی پشته با خطی‌کاری و بذرپاشی در استان خوزستان نشان می‌دهد که عملکرد گندم در این روش‌ها اختلاف معنی‌داری با هم ندارد (Habibi Asl & Dehghan, 2012). مقایسهٔ عملکرد ذرت در خاک‌ورزی مرسوم و پشته‌های بلند در داکوتای شمالی نشان می‌دهد که عملکرد ذرت دیم در خاک‌ورزی مرسوم بیشتر است تا در روش کاشت روی پشته‌های بلند (Chaput, 2014). بررسی اثر مقادیر مختلف آبیاری بر عملکرد و راندمان مصرف آب ذرت کاشته شده روی پشته‌های بلند در ترکیه نشان می‌دهد که آبیاری بر اساس ۱۲۰ درصد تبخیر و تعرق بیشترین عملکرد و راندمان آبیاری را

به دنبال دارد (Bozkurt *et al.*, 2011).

مقایسهٔ اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر بهره‌وری مصرف آب ذرت در استان فارس نیز نشان می‌دهد که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر بهره‌وری مصرف آب ذرت ندارد (Dehghanian & Afzalinia, 2018). نتایج بررسی اثر روش خاک‌ورزی بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در آمریکا نشان می‌دهد که روش بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث کاهش عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت می‌شود (Halvorson *et al.*, 2006).

روش کاشت روی پشته‌های دائمی روشی حفاظتی است که با روش کاشت حفاظتی مسطح تفاوت‌هایی دارد. مهم‌ترین تفاوت روش کاشت روی پشته‌های دائمی با روش کاشت حفاظتی مسطح، امکان محدود کردن حرکت چرخ‌های تراکتور به جویچه‌ها و جلوگیری از فشردگی خاک پشته‌ها به عنوان محل رشد ریشهٔ گیاه (کنترل ترافیک) در این روش است. امکان کنترل مکانیکی علف‌های هرز درون جویچه‌ها در کشت‌های ردیفی و خطی در این روش حفاظتی نیز از تفاوت‌های مهم دیگری است که در کشت حفاظتی مسطح قابل اجرا نیست. امکان تخلیهٔ سریع‌تر رطوبت خاک به صورت ثقلی در روش کاشت روی پشته‌های دائمی در مقایسه با روش کاشت حفاظتی مسطح، تفاوت دیگری است که ممکن است باعث اختلاف در مصرف آب و بهره‌وری آن در این دو روش کشت گردد. بنابراین، پژوهش حاضر برای بررسی اثر این دو روش بر ویژگی‌های خاک، عملکرد محصول، مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب در ذرت علوفه‌ای و مقایسهٔ آن با خاک‌ورزی مرسوم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، کشت مستقیم روی پشته‌های دائمی، بی‌خاک‌ورزی و روش خاک‌ورزی مرسوم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار در ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زرقان با هم مقایسه شدند. این ایستگاه در مدار ۲۹/۷۶ درجه شمالی و ۵۲/۷۱ درجه شرقی واقع است، ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۱۲ متر، میانگین دمای سالیانه ۲۵ درجهٔ سلسیوس، میانگین بارش سالیانه ۳۲۸ میلی‌متر و بافت خاک آن سیلتی- رسی- لومی است. این پژوهش به مدت دو سال زراعی از ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ (چهار فصل کشت) اجرا شد. تیمارهای تحقیق شامل ۱) ایجاد پشته‌های دائمی و کاشت روی آنها (کم‌خاک‌ورزی)، ۲) کشت مستقیم در زمین مسطح (بی‌خاک‌ورزی) و ۳) خاک‌ورزی مرسوم بود. محل کرت‌های آزمایش در خلال پژوهش ثابت بود. ابعاد هر کرت ۶×۳۰ متر انتخاب شد. چون تناوب گندم-ذرت تناوب غالب منطقه است، در این پژوهش از همین تناوب استفاده شد.

روش آبیاری قطره‌ای نواری بود با فاصلهٔ بین نوارها ۷۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ بین روزنه‌ها ۲۰ سانتی‌متر. برای اندازه‌گیری آب ورودی به هر تیمار از کنتور حجمی کالیبره شده، استفاده شد. دور آبیاری در تمام تیمارها یکسان بود و در هر نوبت آبیاری عمق آب مورد نیاز هر تیمار از اختلاف متوسط رطوبت حجمی خاک هر تیمار با رطوبت حجمی ظرفیت مزرعه‌ای در عمق مؤثر ریشه محاسبه می‌شد و پس از آن با در نظر گرفتن راندمان ۹۰ درصد، در سطح تیمار ضرب شده، حجم آب آبیاری محاسبه می‌شد. رطوبت حجمی

خاک قبل از هر آبیاری با دستگاه رطوبت‌سنج TDR_TRIME تا عمق ۶۰ سانتی‌متری در پروفیل خاک از طریق لوله‌های نصب شده در مرکز هر پلات اندازه‌گیری شد. برای اعمال حجم آب آبیاری محاسبه شده به هر تیمار، از کنتور حجمی کالیبره شده استفاده شد. بنابراین، ذرت سال اول و دوم به ترتیب ۱۷ و ۱۳ بار آبیاری شد و گندم سال دوم نیز ۱۰ بار. برای محاسبهٔ عمق آب آبیاری از رابطهٔ ۱ استفاده شد:

$$IW_i = (\theta_{fc} - \theta_i) \times R_i \qquad (۱)$$

که در آن،

Iw_i= عمق آب آبیاری در هر نوبت آبیاری گیاه (متر)؛ Θ_{fc}= رطوبت حجمی ظرفیت مزرعه‌ای خاک (درصد)؛ Θ_i= متوسط رطوبت حجمی خاک در عمق خاک پیش از آبیاری (درصد)؛ و R_i= عمق مؤثر ریشهٔ گیاه (متر). برای اندازه‌گیری عمق مؤثر ریشهٔ گیاه، پس از هر آبیاری ریشهٔ گیاه به آهستگی و به طور کامل از خاک خارج و طول آن اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش، گندم رقم پارسی با تراکم ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار (۵۰۰ تا ۵۴۰ بوته در متر مربع) در تاریخ ۱۴ آذر و ذرت رقم ۷۰۳ با تراکم ۱۳۳ هزار بوته در هکتار (فاصله ردیف کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله حدود ۱۰ سانتی‌متری بین بذرها روی ردیف کاشت) در تاریخ‌های ۱۸ تیرماه (سال اول) و ۲۵ تیر ماه (سال دوم) کاشته شد. در روش کاشت روی پشته‌های دائمی، در سال اول (در کشت گندم) زمین به روش مرسوم تهیه شد و هم‌زمان با کاشت گندم با خطی‌کار جیران صنعت پشته‌ها ایجاد شدند. در این تیمار فاصلهٔ مرکز تا مرکز دو پشتهٔ همجوار ۷۵ سانتی‌متر و ارتفاع پشته ۱۵-۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و سه ردیف گندم با استفاده از خطی‌کار روی پشته‌ها کاشته شد. پس از برداشت گندم، پشته‌ها حفظ شدند و روی هر پشته یک ردیف ذرت با استفاده از ردیف‌کار کشت مستقیم کاشته شد.

بعد از کشت اول (گندم اول)، فقط جویچه‌ها ترمیم شدند و پشته‌ها دست نخورده باقی ماندند. گندم سال دوم نیز با استفاده از پشته‌کار روی پشته‌های موجود کشت شد. بعد از برداشت گندم سال دوم، دوباره یک ردیف ذرت با استفاده از ردیف‌کار کشت مستقیم روی پشتهٔ موجود کاشته شد. در روش بی‌خاک‌ورزی، پیش از کاشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی اجرا نشد و در هر دو سال با یک بار حرکت ماشین کاشت مستقیم در مزرعه بذر گندم و ذرت در زمین مسطح کاشته شد. در روش مرسوم، خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر به انجام رسید و سپس گندم با خطی‌کار و ذرت با ردیف‌کار کشت گردید. در تمام کرت‌های آزمایش، برای کاشت ذرت در بقایای گندم، بقایای خارج شده از انتهای کمباین از مزرعه خارج شد (فقط بقایای ایستاده در مزرعه حفظ شد) و برای کاشت گندم در بقایای ذرت علوفه‌ای، مدیریتی روی بقایای ذرت در نظر گرفته نشد. مشخصات ماشین‌ها و ادوات استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

برای مبارزه با علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها طبق توصیهٔ بخش گیاه‌پزشکی مرکز عمل شد. تاریخ کاشت بر اساس توصیهٔ تحقیقاتی برای منطقه در نظر گرفته شد. برای مقایسهٔ تیمارها، درصد رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای و آب مصرفی تیمارها اندازه‌گیری و بهره‌وری مصرف آب محاسبه شد. پس از برداشت محصول و جمع‌آوری اطلاعات لازم،

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن صورت گرفت.

کربن آلی خاک با نمونه‌برداری از عمق‌های صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک هر کرت و تجزیهٔ نمونه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، بعد از برداشت گندم در خردادماه و پیش از برداشت ذرت در مهرماه (دو مرحله) با استفاده از استوانه‌های نمونه‌گیری از عمق‌های صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری هر کرت نمونه‌برداری شد. نمونه‌های دست نخورده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس در آون خشک شدند و با استفاده از رابطهٔ ۲ جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد:

$$BD = \frac{M}{V} \qquad (۲)$$

که در آن،

BD= جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛ M= جرم نمونهٔ خاک خشک (گرم)؛ و V= حجم کل نمونه خاک (سانتی‌متر مکعب).

جدول ۱- مشخصات ماشین‌ها و ادوات استفاده شده در این پژوهش

Table 1- Machineries and equipment used in this study

نوع ادوات Equipment type	مشخصات Specifications
گاوآهن Moldboard plow	برگردان‌دار، چهار خیش و دو طرفه Moldboard plow, four shanks and double side acting
دیسک Disk Harrow	کششی، دارای دو گروه بشقاب و ۶ بشقاب در هر گروه Tandem pulled disk harrow with six disks in each gang
خطی‌کار پشته‌کار Raised bed planter	خطی‌کار جیران صنعت، فاروئردار، کاشت سه خط روی پشته و عرض کار ۳ متر Jairan Sanaat grain drill with furrower, planting three rows on each bed, and with three meters working width
ردیف‌کار کشت مستقیم Row crop direct seeder	ردیف‌کار تراشکده، ۴ ردیفه و با عرض کار ۳ متر Four rows Trashkadeh row planter with three meters working width
خطی‌کار پشته‌کار Raised bed planter	پشته‌کار سبلان، کاشت سه خط روی پشته، عرض کار ۱/۵ متر Sabalan raised bed planter, planting three rows on each bed, and with one and half meters working width

مقدار آب آبیاری در تیمارهای مختلف بر اساس رطوبت پروفیل خاک در هر تیمار تعیین شد. برای بررسی بهره‌وری مصرف آب، حجم آب مصرفی در هر روش آبیاری با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. با جمع کردن حجم آب مصرف شده در هر کرت در آبیاری‌های مختلف، حجم آب مصرف شده در هر کرت در سراسر فصل رشد تعیین شد. با داشتن حجم آب مصرفی و عملکرد محصول در هر کرت و با استفاده از رابطهٔ ۳، بهره‌وری مصرف آب در هر کرت محاسبه شد:

$$WP = \frac{Y}{W} \qquad (۳)$$

که در آن،

WP= بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ Y= عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)؛ و W= آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار).

در هر کرت، بوته‌های ذرت در قطعه‌ای به مساحت نه متر مربع (در شش ردیف کشت به طول یک متر به صورت قطری در هر کرت) در مرحلهٔ خمیری دانه کف‌بر و پس از توزین، مقدار علوفهٔ تر

در هکتـار محاسـبه شـد. بـلال‌هـای موجـود در ایـن مساحت نیز جدا و تـوزین گردیـد. عـلاوه بـر ایـن، تعـداد بوتـه در هکتـار، تعـداد بـرگ در بوتـه، ارتفـاع بوتـه، قطـر ساقه، قطـر بـلال و تعـداد بـلال در هـر بوتـه نیـز تعیـین گردید. از بوتـه‌های برداشـت شـده و بـلال هـا نیـز نمونـهٔ رطـوبتی برداشـته شـد تـا عملکـرد علوفـهٔ خشـک نیـز قابل محاسبه باشد.

نتایج و بحث

عملکـرد، اجـزای عملکـرد و بهـره‌وری مصـرف آب ذرت علوفه‌ای

نتـایج تجزیـهٔ مرکـب داده‌هـای دو سـالهٔ اجزای عملکـرد ذرت نشـان داد کـه سـال اثـر معنـی‌داری (در سطح یـک درصـد) بـر تمـام اجـزای عملکـرد دارد در حالی‌که اثـر تیمـار (روش خـاک‌ورزی و کاشـت) فقـط بـر تعداد بـرگ در بوتـه در سـطح پـنج درصـد و اثـر متقابـل سال و تیمـار فقـط بـر متوسـط وزن بـلال در سـطح پـنج درصد معنـی‌دار اسـت. بـر اسـاس نتـایج جـدول ۲، تمـام پارامترهـای اجـزای عملکـرد غیـر از قطـر سـاقه در سـال اول مقـدار بیشـتری داشـتند و بـا مقـادیر ایـن پارامترهـا در سـال دوم تفـاوت معنـی‌دار داشـتند. تفـاوت شـرایط آب و هـوایی در دو سـال مختلـف قطعـاً یکـی از عوامـل ایـن تفـاوت اسـت (وقـوع بارنـدگی در هفتـه اول کاشـت در سـال دوم باعـث افـت دمـا شـد و رشـد محصـول را کنـد کـرد)، امـا عمـده‌ترین دلیـل، تفـاوت در تـاریخ کاشـت ذرت در دو سـال مختلـف بـوده اسـت. در سـال دوم بـه دلیـل تـأخیر در برداشـت محصـول پیشـین (گنـدم)، ذرت علوفـه‌ای بـا تـأخیر یـک هفتـه‌ای کاشـته شـد (تـاریخ کاشـت ذرت در سـال دوم ۲۵ تیرمـاه بـود، در حالی‌کـه ذرت در سـال اول در تـاریخ ۱۸ تیـر مـاه کشـت شـد) کـه همـین تـأخیر در کاشـت باعـث کـاهش مقدار اجزای عملکرد در سال دوم شده است.

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین اجزای عملکرد ذرت علوفه ای در دو سال

Table 2- Means comparison of forage corn yield components for two years

سال Year	بوته در هکتار Plant per hectare	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Leaf per plant	قطر ساقه Stem diameter (mm)	قطر بلال Cob diameter (mm)	تعداد بلال در بوته Cob per plant	متوسط وزن بلال Cob mean weight (g)
اول First	120185 a	273.42 a	14.63 a	21.13 b	48.50 a	0.96 a	222.63 a
دوم Second	98457 b	245.61 b	12.34 b	22.73 a	45.43 b	0.90 b	181.04 b

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون (در سطح احتمال پنج درصد) بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

میـانگین اجـزای عملکـرد در تیمارهـای مختلـف خـاک‌ورزی و کاشـت تفـاوت معنـی‌داری نداشـتند، فقـط میـانگین تعـداد بـرگ در بوتـه در تیمـار کاشـت روی پشـته دائمـی بلنـد انـدکی بـیش از تعـداد بـرگ در بوتـه در دو تیمـار دیگـر بـود (جـدول ۳). در اکثـر پارامترهـا، مقـادیر اجـزای عملکـرد در تیمارهـای خـاک‌ورزی مرسـوم و کاشـت روی پشـته‌های دائمـی بـه هـم نزدیـک بودنـد و بـر تیمـار بی‌خـاک‌ورزی برتـری نسـبی داشـتند. بقایـای بیشـتر موجـود در سـطح خـاک در روش بی‌خـاک‌ورزی احتمـالاً باعـث کـاهش دمـای خـاک شـده و اجـزای عملکـرد ذرت علوفـه‌ای را کـاهش داده است.

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین اجزای عملکرد ذرت در تیمارهای مختلف

Table 3- Means comparison of forage corn yield components in different treatments

تیمار Treatment	بوته در هکتار Plant per hectare	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Leaf per plant	قطر ساقه Stem diameter (mm)	قطر بلال Cob diameter (mm)	تعداد بلال در بوته Cob per plant	متوسط وزن بلال Cob mean weight (g)
خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	113056 a	258.61 a	13.33 b	21.80 a	46.82 a	0.95 a	200.29 a
بی‌خاک‌ورزی No-till	103889 a	259.15 a	13.38 b	21.71 a	46.51 a	0.92 a	198.43 a
کاشت روی پشتهٔ دائمی بلند Permanent raised bed planting	111019 a	260.78 a	13.75 a	22.26 a	47.56 a	0.91 a	206.79 a

حروف متفاوت روی اعداد ستون هر نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

نتایج تجزیهٔ واریانس عملکرد دو سالهٔ ذرت علوفه‌ای نشان داد که سال آزمایش اثر معنی‌دار (در سطح یک درصد) بر عملکرد علوفهٔ تر و بلال دارد در حالی‌که عملکرد علوفه خشک تحت تأثیر معنی‌دار سال قرار ندارد. تفاوت در رطوبت علوفه تر در دو سال مختلف احتمالاً باعث شده است سال بر علوفهٔ خشک ذرت تأثیر معنی‌دار نداشته باشد. روش خاک‌ورزی و کاشت نیز عملکرد علوفهٔ تر و عملکرد بلال را تحت تأثیر معنی‌دار قرار داده است (در سطح پنج درصد) و بر علوفه خشک ذرت اثر معنی‌دار نداشته است. هیچ‌یک از عملکردها تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل سال و روش خاک‌ورزی و کاشت قرار نگرفت. مانند آنچه در پارامترهای اجزای عملکرد اتفاق افتاد، عملکرد علوفهٔ تر، عملکرد علوفهٔ خشک، عملکرد بلال و نسبت عملکرد بلال به عملکرد علوفهٔ تر نیز در سال اول، در مقایسه با سال دوم، مقادیر بیشتری دارند (جدول ۴). همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، دلیل این امر تفاوت شرایط آب و هوایی در دو سال و کاشت زودتر ذرت در سال اول است.

جدول ٤- مقایسهٔ میانگین عملکرد ذرت علوفه ای در دو سال

Table 4- Means comparison of forage corn yield for two years

سال Year		عملکرد علوفهٔ تر Wet forage yield (ton/ha)	عملکرد علوفهٔ خشک Dry forage yield (ton/ha)	عملکرد بلال Cob yield (ton/ha)	عملکرد بلال به عملکرد کل Cob yield to the total yield (%)
اول	First	102.44 a	22.19 a	25.64 a	25.03 a
دوم	Second	81.14 b	22.50 a	15.92 b	19.62 b

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون (در سطح احتمال پنج درصد) بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

تیمار کاشت روی پشته‌های دائمی بلند بیشترین عملکرد علوفه تر را دارد که با تیمار خاک‌ورزی مرسوم اختلاف معنی‌دار ندارد (جدول ۵). کمترین عملکرد علوفهٔ تر مربوط به تیمار

بی‌خاک‌ورزی است که آن هم با تیمار خاک‌ورزی مرسوم اختلاف معنی‌دار ندارد. به رغم کاهش عملکرد علوفهٔ تر در تیمار بی‌خاک‌ورزی، عملکرد علوفهٔ خشک در این تیمار با عملکرد علوفهٔ خشک تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری ندارد چون رطوبت علوفهٔ تر در این تیمار کمتر از رطوبت علوفهٔ تر در دو تیمار دیگر است (ستون آخر جدول ۵). تیمار بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با دو تیمار دیگر کمترین عملکرد بلال را نیز دارد که با عملکرد بلال در دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد، اما تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کاشت روی پشته‌های دائمی از نظر عملکرد بلال اختلاف معنی‌دار ندارند. با توجه به اینکه در تیمار بی‌خاک‌ورزی عملکرد بلال نیز حدوداً با همان نسبت عملکرد علوفه تر کاهش یافته است، بنابراین تفاوت بین تیمارها از نظر نسبت عملکرد بلال به عملکرد علوفهٔ تر معنی‌دار نشده است. به نظر می‌رسد دلیل افزایش عملکرد در تیمار کاشت روی پشته‌های دائمی، قرار گرفتن بذر و گیاه روی پشته و استفاده بهتر از نور خورشید و زهکشی مناسب خاک باشد. به همین دلیل، ارتفاع بوته و قطر ساقه در این تیمار از ارتفاع بوته و قطر ساقه در دو تیمار دیگر بیشتر است هرچند اختلاف آنها معنی‌دار نیست (جدول ۳). نتایج پژوهشی در داکوتای شمالی نشان می‌دهد که عملکرد ذرت در خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از عملکرد ذرت در روش کاشت روی پشته‌های بلند است (Chaput, 2014) که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد. دلایل اختلاف در نتایج این دو تحقیق احتمالا شرایط متفاوت آب و هوایی و نوع خاک است.

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین عملکرد ذرت در تیمارهای مختلف

Table 5- Means comparison of forage corn yield in different treatments

تیمار Treatment	عملکرد علوفه تر Wet forage yield (ton/ha)	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (ton/ha)	عملکرد بلال Cob yield (ton/ha)	عملکرد بلال به عملکرد کل Cob yield to the total yield (%)	رطوبت علوفه تر Forage moisture content (%)
خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	92.99 ab	22.36 a	21.76 a	23.40 a	77.44 a
بی‌خاک‌ورزی No-till	87.06 b	22.16 a	19.36 b	22.24 a	75.45 b
کاشت روی پشتهٔ دائمی بلند Permanent raised bed planting	95.33 a	22.52 a	21.21 a	22.25 a	77.71 a

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

نتایج تحقیق همچنین نشان داد که سال اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر مصرف آب ذرت علوفه‌ای و بهره‌وری مصرف آب علوفه خشک ذرت دارد، اما بهره‌وری مصرف آب ذرت علوفه‌ای تر تحت تأثیر معنی‌دار سال قرار ندارد. با توجه به اینکه مصرف آب تابع شرایط آب و هوایی و طول دورهٔ رشد گیاه است، طبیعی است که سال اجرای آزمایش بر مصرف آب گیاه اثر معنی‌دار داشته باشد. روش خاک‌ورزی و کاشت نیز فقط مصرف آب ذرت علوفه‌ای را تحت تأثیر معنی‌دار قرار داده است. هیچ‌یک از فاکتورهای آب آبیاری، بهره‌وری آب مصرفی علوفهٔ تر و بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ خشک

تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل سال و روش خاک‌ورزی و کاشت قرار نگرفته است.

مصرف آب در تولید ذرت علوفه‌ای در سال اول ۲۴/۵ درصد بیشتر بوده است تا در سال دوم (جدول ۶) که دلیل آن افزایش طول دورهٔ رشد به دلیل وقوع یک بار بارندگی در سال دوم و کاشت زودتر گیاه بوده است (ذرت در سال اول، در مقایسه با سال دوم، یک هفته زودتر کاشته شد). کاهش مصرف آب ذرت علوفه‌ای در سال دوم اثر معنی‌داری بر بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ تر در این سال نداشته است زیرا در سال دوم به همان نسبت عملکرد علوفهٔ تر نیز کاهش داشته است (جدول ۴). بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ خشک در سال دوم حدود ۴۴ درصد نسبت به سال اول افزایش داشته که دلیل عمده آن کاهش رطوبت علوفهٔ تر در سال دوم بوده است (ستون آخر جدول ۶). بیشترین مقدار آب در تولید ذرت علوفه‌ای در تیمار خاک‌ورزی مرسوم مصرف شده است و تیمارهای کاشت روی پشته‌های دائمی و بی‌خاک‌ورزی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۷). بنابراین روش بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با روش خاک‌ورزی مرسوم، مصرف آب در تولید ذرت علوفه‌ای را ۱۴/۴۴ درصد کاهش داده است. وجود بقایای گیاهی در سطح خاک که مانع تبخیر رطوبت از سطح خاک می شود، باعث کاهش مصرف آب در روش بی‌خاک‌ورزی، نسبت به روش مرسوم، شده است. تفاوت بین تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی از نظر مقدار مصرف آب معنی‌دار است ولی بین دو تیمار خاک‌ورزی حفاظتی و نیز بین روش خاک‌ورزی مرسوم و کاشت روی پشته‌های دائمی از نظر مقدار مصرف آب تفاوت معنی‌دار دیده نمی‌شود. به رغم وجود تفاوت معنی‌دار بین آب مصرفی ذرت علوفه‌ای در تیمارهای مختلف، بین تیمارها از نظر بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ تر و بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ خشک اختلاف معنی‌دار مشاهده نمی‌شود (هرچند تیمارهای حفاظتی بهره‌وری بیشتری دارند) چون تیمارهایی که آب کمتری مصرف کرده‌اند، عملکرد محصول کمتری نیز داشته‌اند (جدول ۵). نتایج یک پژوهش در استان فارس نیز نشان می‌دهد که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر بهره‌وری مصرف آب ذرت ندارد (Dehghanian & Afzalinia, 2018) اما بررسی اثر روش خاک‌ورزی بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در آمریکا نشان می‌دهد که روش بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، باعث کاهش عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت می‌شود (Halvorson *et al.*, 2006).

جدول ٦- مقایسهٔ میانگین مصرف آب ذرت علوفه‌ای و بهره‌وری آن در دو سال

Table 6- Means comparison of forage corn water consumption and water productivity for two years

سال Year	آب آبیاری Irrigation water (m^3)	بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ تر Water productivity of wet forage (kg/m^3)	بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ خشک Water productivity of dry forage (kg/m^3)	رطوبت علوفهٔ تر Forage moisture content (%)
اول First	9842 a	10.78 a	2.15 b	81.36 a
دوم Second	7908 b	10.58 a	2.88 a	72.37 b

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

جدول ۷- مقایسهٔ میانگین مصرف آب ذرت علوفه‌ای و بهره‌وری آن در تیمارهای مختلف

Table 7- Means comparison of forage corn water consumption and water productivity in different treatments

بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ خشک Water productivity of dry forage (kg/m³)	بهره‌وری مصرف آب علوفهٔ تر Water productivity of wet forage (kg/m³)	آب آبیاری Irrigation water (m³)	تیمار Treatment	
2.33 a	10.02 a	9531 a	Conventional tillage	خاک‌ورزی مرسوم
2.73 a	11.05 a	8155 b	No-till	بی‌خاک‌ورزی
2.49 a	10.97 a	8939 ab	Permanent raised bed planting	کاشت روی پشته دائمی بلند

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گندم

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های وزن هزار دانه و عملکرد گندم نشان داد که روش خاک‌ورزی و کاشت اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه ندارد، اما عملکرد محصول تحت تأثیر معنی‌دار (در سطح پنج درصد) روش خاک‌ورزی و کاشت قرار دارد. روش کاشت روی پشته‌های دائمی بیشترین عملکرد گندم را داشته است و با عملکرد گندم در دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌دار دارد اما اختلاف بین روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم از نظر عملکرد گندم معنی‌دار نیست (جدول ۸). روش کاشت روی پشته‌های دائمی، عملکرد گندم را نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم ۲۲/۳ درصد افزایش داده است، در حالی‌که روش بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش عملکرد گندم نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم به میزان ۸/۸۱ درصد شده است. دلیل افزایش عملکرد گندم در روش کاشت روی پشته‌های دائمی، جذب بهتر نور و گرما توسط گیاه در این روش و زهکشی مناسب بستر ریشهٔ گیاه است. نتایج یک تحقیق در کابل نشان می‌دهد که روش کاشت روی پشته‌های بلند، در مقایسه با روش مسطح، عملکرد گندم را ۲۱ درصد افزایش می‌دهد (Hashimi *et al.*, 2021) که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد، اما نتایج اکثر پژوهش‌ها در ایران نشان می‌دهند که از نظر عملکرد گندم اختلاف معنی‌داری بین کاشت روی پشته‌های بلند و خاک‌ورزی مرسوم وجود ندارد (Habibi Asl & Dehghan, 2012; Solhjou & Javadi, 2016; Yousefi *et al.*, 2016) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارد. دلیل مغایرت نتایج این پژوهش‌ها این است که در تحقیقات گذشته تیمار کاشت روی پشته‌های بلند به صورت مرسوم بوده نه حفاظتی (پشته‌های در نظر گرفته شده از نوع موقتی و بدون حضور بقایای گیاهی بوده است). وزن هزار دانهٔ گندم در روش خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از مقدار این فاکتور در تیمارهای حفاظتی است، هرچند اختلاف بین تیمارها از نظر وزن هزاردانه معنی‌دار نیست.

جدول ۸- مقایسهٔ میانگین داده‌های عملکرد گندم

Table 8- Means comparison of wheat yield data

عملکرد Yield (ton/ha)	وزن هزار دانه Weight of thousand kernel (g)	تیمار Treatment	
5.73 b	44.89 a	Conventional tillage	خاک‌ورزی مرسوم
5.23 b	43.90 a	No-till	بی‌خاک‌ورزی
7.01 a	42.83 a	Permanent raised bed planting	کاشت روی پشتهٔ دائمی بلند

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

روش خاک‌ورزی و کاشت اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر آب مصرفی گندم داشته است اما بهره‌وری مصرف آب گندم تحت تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی و کاشت قرار نگرفته است. مقایسهٔ میانگین مقدار آب مصرفی در تیمارهای مختلف نشان داد که تولید گندم در روش کاشت روی پشته‌های دائمی بیشترین مقدار آب را مصرف کرده است و با دو روش خاک‌ورزی دیگر اختلاف معنی‌دار دارد (جدول ۹). کمترین مقدار مصرف آب در تولید گندم متعلق به تیمار خاک‌ورزی مرسوم است که با روش بی‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌دار ندارد. نتایج یک تحقیق در مصر نشان داد که کاشت روی پشته‌های بلند، در مقایسه با کشت مسطح، باعث صرفه‌جویی در مصرف آب گندم می‌شود (Ismail *et al.*, 2021). اما در پژوهش حاضر بر خلاف کشت ذرت علوفه‌ای، در تولید گندم به روش خاک‌ورزی مرسوم، در مقایسه با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، آب کمتری مصرف شده است که دلیل آن وجود بقایای کم در مزرعه در زمان کاشت گندم (بقایای مانده از ذرت علوفه‌ای بسیار کمتر از بقایای مانده از برداشت گندم است) و پایین بودن دمای هوا در بیش از دو سوم طول دورهٔ رشد گندم است. یکی از دلایل مهم حفظ رطوبت خاک در روش‌های حفاظتی، جلوگیری از تبخیر رطوبت خاک به واسطه وجود بقایای گیاهی در سطح مزرعه است، در حالی‌که بعد از برداشت ذرت علوفه‌ای و در زمان کاشت گندم بقایای بسیار کمی در سطح مزرعه وجود دارد. ضمن اینکه از زمان کاشت گندم تا پوشش سطح مزرعه با گیاه سبز شده، دمای هوا پایین است و تبخیر از خاک چندان بالا نیست، بنابراین روش‌های حفاظتی مزیت خود را در حفظ رطوبت خاک از دست می‌دهند. از طرفی، سطح پشته در روش کاشت روی پشته‌های دائمی، در مقایسه روش‌های کاشت در سطح مسطح (بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم)، گرمای بیشتری از خورشید جذب می‌کند و رطوبت بیشتری از طریق تبخیر از دست می‌دهد. ضمن اینکه به دلیل جوی و پشته‌ای بودن سطح مزرعه در این روش، زهکشی خاک بهتر صورت می‌گیرد و آب بیشتر به صورت ثقلی از دست می‌رود. به همین دلیل کشت گندم روی پشته‌های دائمی آب بیشتری مصرف می‌کند. تولید گندم در روش کاشت روی پشته‌های دائمی هرچند آب بیشتری نسبت به روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم مصرف کرده بود، اما به دلیل تولید محصول بیشتر نسبت به دو تیمار دیگر، بهره‌وری مصرف آب آن تقریبا برابر با دو تیمار دیگر بود و تفاوت معنی داری بین آنها مشاهده نشد.

جدول ۹- مقایسهٔ میانگین آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آن در گندم

Table 9- Means comparison of water consumption and water productivity

بهره‌وری مصرف آب Water productivity (kg/m^3)	آب آبیاری Irrigation water (m^3)	تیمار Treatment	
1.10 a	5350 b	Conventional tillage	خاک‌ورزی مرسوم
0.94 a	5570 b	No-till	بی‌خاک‌ورزی
0.99 a	7177 a	Permanent raised bed planting	کاشت روی پشته دائمی بلند

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

ویژگی‌های خاک

نتایج مقایسه تیمارها از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک در کشت ذرت علوفه‌ای نشان داد که روش خاک‌ورزی و کاشت اثر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری خاک در دو عمق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر ندارد (جدول ۱۰). به نظر می‌رسد به رغم شخم نخوردن خاک در روش‌های حفاظتی، تجزیهٔ بقایای گیاهی موجود در سطح خاک و ریشهٔ گیاهان در داخل خاک مانع افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در روش‌های حفاظتی شده است. نتایج متناقضی از اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک گزارش شده است. بر اساس نتایج برخی از تحقیقات، خاک‌ورزی حفاظتی و به خصوص بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، جرم مخصوص ظاهری خاک را افزایش می‌دهد (Guan *et al.*, 2015; Sarikhani Khorrami *et al.*, 2018). از طرف دیگر، نتایج برخی تحقیقات نشان‌دهندهٔ آن است که خاک‌ورزی حفاظتی تاثیر معناداری بر جرم مخصوص ظاهری خاک ندارد (Rasouli *et al.*, 2012).

در کشت ذرت، روش خاک‌ورزی و کاشت فقط رطوبت لایهٔ صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک را تحت تأثیر معنی‌دار (در سطح یک درصد) قرار داد و اثر معنی‌داری بر رطوبت لایهٔ ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری خاک نداشت. با توجه به حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، اثر معنی‌دار روش خاک‌ورزی و کاشت بر رطوبت خاک منطقی و قابل انتظار بود. مقایسهٔ میانگین تیمارها از نظر رطوبت خاک نشان داد که روش بی‌خاک‌ورزی بیشترین رطوبت را در خاک حفظ کرده است و با تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کاشت روی پشته‌های دائمی اختلاف معنی‌دار داشته است (جدول ۱۰). نتایج تحقیقی در اسپانیا نیز نشان داد که بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با خاک ورزی مرسوم، رطوبت خاک را افزایش می‌دهد (Santín-Montanyá *et al.*, 2017). هرچند اختلاف بین تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کاشت روی پشته‌های دائمی از نظر حفظ رطوبت خاک معنی‌دار نیست اما روش کاشت روی پشته‌های دائمی (روش حفاظتی) رطوبت بیشتری حفظ می‌کند. کشت ذرت در بقایای گندم، به دلیل وجود مقدار کافی بقایا در مزرعه و حفظ بقایای بیشتر در روش بی‌خاک‌ورزی، نسبت به روش کاشت روی پشته‌های دائمی، باعث شده است رطوبت در تیمار بی‌خاک‌ورزی، نسبت به تیمار کاشت روی پشته‌های دائمی بیشتر حفظ شود. انتظار می‌رفت حفظ رطوبت در تیمار کاشت روی پشته‌های دائمی به عنوان روشی حفاظتی، در مقایسه با روش مرسوم، افزایش معنی‌دار داشته باشد، اما به دلیل زهکشی مناسب و نورگیری بیشتر خاک در این تیمار، از دست رفتن رطوبت در این روش در مقایسه با تیمار بی‌خاک‌ورزی بیشتر است.

جدول ۱۰- مقایسهٔ میانگین رطوبت و جرم مخصوص ظاهری خاک در ذرت علوفه‌ای

Table 10- Means comparison of moisture content and bulk density data in forage corn

جرم مخصوص ظاهری خاک Soil bulk density (g/cm³)		رطوبت خاک Soil moisture content (%)		تیمار Treatment	
10-20 cm	0-10 cm	20-40 cm	0-20 cm		
1.35 a	1.20 a	16.79 a	15.24 b	Conventional tillage	خاک‌ورزی مرسوم
1.40 a	1.20 a	16.71 a	16.91 a	No-till	بی‌خاک‌ورزی
1.39 a	1.17 a	15.83 a	15.48 b	Permanent raised bed planting	کاشت روی پشتهٔ دائمی بلند

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های جرم مخصوص و رطوبت خاک در کشت گندم نشان می‌دهد که در کشت گندم نیز رطوبت خاک تحت تأثیر معنی‌دار (در سطح پنج درصد) روش خاک‌ورزی و کاشت قرار دارد و روش خاک‌ورزی و کاشت نیز اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو عمق خاک (عمق‌های صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) دارد. تفاوت روش‌های خاک‌ورزی و کاشت در حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و همچنین مقدار دستکاری خاک، باعث تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی و کاشت بر حفظ رطوبت خاک می‌شود. برخلاف انتظار، در کشت گندم روش خاک‌ورزی مرسوم بیشترین حفظ رطوبت در خاک دیده می‌شود و با روش کاشت روی پشته‌های دائمی اختلاف معنی‌دار ندارد (جدول ۱۱). در تیمار بی‌خاک‌ورزی کمترین حفظ رطوبت در خاک دیده می‌شود و از این نظر با دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌دار دارد. دلیل اصلی حفظ بیشتر رطوبت خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، وجود بقایای گیاهی کافی در سطح خاک در روش‌های حفاظتی است. چنانچه بقایای گیاهی به اندازه کافی در سطح خاک وجود نداشته باشد، به دلیل کاهش دستکاری یا دستکاری نشدن خاک در روش‌های حفاظتی، به ویژه بی‌خاک‌ورزی، تبخیر رطوبت از سطح خاک افزایش می‌یابد و ممکن است حفظ رطوبت در خاک حتی نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم نیز کمتر شود. به دلیل اینکه گندم بعد از برداشت ذرت علوفه‌ای کشت شد و بعد از برداشت ذرت علوفه‌ای بقایای کافی در مزرعه نمی‌ماند، بنابراین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نتوانسته‌اند در حفظ رطوبت خاک موفق عمل کنند. جرم مخصوص ظاهری در هر دو عمق خاک در روش کاشت روی پشته‌های دائمی کمتر از جرم مخصوص ظاهری در دو تیمار دیگر بود زیرا این تیمار از مزایای هر دو روش خاکورزی مرسوم و حفاظتی (حفظ بقایای و دستکاری جزیی خاک) به خوبی برخوردار است.

جدول ۱۱- مقایسهٔ میانگین رطوبت و جرم مخصوص ظاهری خاک در کشت گندم

Table 11- Means comparison of moisture content and bulk density data in wheat

جرم مخصوص ظاهری خاک Soil bulk density (g/cm³)		رطوبت خاک Soil moisture content (%)	تیمار Treatment	
10-20 cm	0-10 cm	0-20 cm		
1.46 b	1.30 a	13.90 a	Conventional tillage	خاک‌ورزی مرسوم
1.55 a	1.33 a	13.25 b	No-till	بی‌خاک‌ورزی
1.37 c	1.19 b	13.84 a	Permanent raised bed planting	کاشت روی پشتهٔ دائمی بلند

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد این ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.
Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که روش خاک‌ورزی و کاشت بعد از دو سال اثر معنی‌داری بر کربن آلی خاک در هر دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک ندارد. کوتاه بودن مدت اجرای پژوهش (دو سال) احتمالا مهم‌ترین دلیل بر معنی‌دارنشدن اثر تیمار بر کربن آلی خاک باشد. نتایج تحقیقات بلندمدت‌تر نشان‌دهندهٔ افزایش کربن آلی خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به روش مرسوم است (Çay, 2018). هرچند اثر تیمار بر کربن آلی خاک در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری معنی‌دار نشده است اما بر اساس نتایج جدول ۱۲، مقدار کربن آلی خاک در هر دو روش خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از مقدار آن در روش خاک‌ورزی مرسوم است. در خاک‌ورزی حفاظتی بقایای گیاهی

در سطح خاک حفظ یا با لایهٔ سطحی خاک ترکیب می‌شود، از این‌رو معمولاً در عمق‌های پایین تر از ۱۵ سانتی‌متر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی اثر معنی‌داری بر کربن آلی خاک ندارند.

جدول ۱۲- مقایسهٔ میانگین کربن آلی خاک در انتهای سال دوم

Table 12- Means comparison of organic carbon data at the end of second year

کربن آلی خاک Organic carbon (%)		تیمار Treatment	
15-30 cm	0-15 cm		
0.69 a	0.79 a	Conventional tillage	خاک‌ورزی مرسوم
0.68 a	0.95 a	No-till	بی‌خاک‌ورزی
0.73 a	0.96 a	Permanent raised bed planting	کاشت روی پشتهٔ دائمی بلند

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون جدول نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Averages with different letters in each column are statistically different at α=5%.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که روش کاشت روی پشته‌های دائمی بلند عملکرد علوفهٔ تر ذرت علوفه‌ای را نسبت به روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۹/۵۰ و ۲/۵۲ درصد افزایش می‌دهد. این روش کاشت همچنین عملکرد گندم را در مقایسه با روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۳۴/۱۰ و ۲۲/۳۰ درصد افزایش می‌دهد. بنابراین، هرچند روش کاشت روی پشته‌های دائمی بلند، در مقایسه با دو روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم، بهره‌وری آب را در تولید ذرت علوفه‌ای و گندم افزایش معنی‌داری نمی‌دهد، اما به دلیل تولید محصول بیشتر، قابل توصیه برای کاشت گندم و ذرت علوفه‌ای است. روش بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با دو روش خاک‌ورزی مرسوم و کاشت روی پشته‌های دائمی بلند، مصرف آب ذرت علوفه‌ای را به ترتیب ۱۴/۴۴ و ۸/۸۰ درصد کاهش می‌دهد. بنابراین، در مناطقی که با بحران کمبود آب مواجه‌اند، برای کاشت ذرت علوفه‌ای روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به دو روش دیگر برتری دارد.

قدردانی

از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس برای حمایت مالی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Afzali Gorouh, H., Naghavii, H., Rostami, M. A., & Najafinezhad, H. (2019). Effect of Conservation Tillage and Wheat Residue Management in Some Soil Properties and Grain

Yield of Corn. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science)*, *13*(1), 1-12. https://doi.org/10.22092/ijsr.2019.119050. (in Persian)

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

Afzalinia, S., & Karami, A. (2018). Effect of conservation tillage on soil properties and corn yield in the corn-wheat rotation. *Iranian Biosystems Engineering*, *49*(1): 129-137. https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.243058.664995. (in Persian)

Afzalinia, S., Karam, A., & Mohammad, D. (2018a). Effect of conservation tillage methods on soil physical properties and cotton yield in wheat-cotton rotation. *Journal of Agricultural Mechanization*, *4*(2), 141-152. (in Persian)

Afzalinia, S., Karami, A., & Rousta, M. J. (2018b). Effect of conservation agriculture on soil properties and sesame yield in the sesame-wheat rotation. *Applied Research in Field Crops*, *31*(3), 20-40. https://doi.org/10.22092/aj.2018.121525.1284. (in Persian)

Afzalinia, S., & Ziaee, A. (2020). Cotton yield and water productivity affected by conservation tillage and irrigation methods in cotton-wheat rotation. *Journal of Agricultural Machinery*, *10*(1), 103-114.

Bozkurt, S., Yazar, A., & Mansuroğlu, G. S. (2011). Effects of different drip irrigation levels on yield and some agronomic characteristics of raised bed planted corn. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(23), 5291-5300.

Çay, A. (2018). Impact of different tillage management on soil and grain quality in the Anatolian paddy rice production. *Plant Soil Environment*, *64*(7), 303-309. https://doi.org/10.17221/277/2018-PSE.

Chaput, M. J. (2014). Raised beds, tile drainage, and nitrogen fertilizer management on corn yield in eastern north Dakota (M. Sc. Thesis), Plant Science Depatment, North Dakota State University, Fargo, North Dakota.

Dehghanian, S. I., & Afzalinia, S. (2018). Water productivity and corn yield in corn-wheat rotation affected by irrigation and tillage methods. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.)*, *32*(1): 16-28. https://doi.org/10.22092/jwra.2018.116597. (in Persian)

Du, X., He, W., Gao, Sh., Liu, D., Wu, W., Tu, D., Kong, L., & Xi, M. (2022). Raised bed planting increases economic efficiency and energy use efficiency while reducing the environmental footprint for wheat after rice production. *Energy, 245*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123256.

Guan, D., Zhang, Y., Al-Kaisi, M. M., Wanga, Q., Zhang, M., & Li, Z. (2015). Tillage practices effect on root distribution and water use efficiency of winter wheat under rain-fed condition in the North China Plain. *Soil and Tillage Research, 146*, 286-295. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.016.

Habibi Asl, J., & Dehghan, E. (2012). Evaluation of technical and agricultural parameters of wheat planting methods with different seed rate in South Khoozestan. *Journal of Agricultural Machinery*, *2*(1), 46-57. https://doi.org/10.22067/jam.v2i1.14293. (in Persian)

Hashimi, S. M., Sarhadi, W. A., & Afsana, N. (2021). Study of raised bed planting method on yield and yield components of wheat in Kabul. *International Journal of Science and Research* (*IJSR*), *10*(1), 303-308. https://doi.org/10.21275/SR201220172658.

Heidari A., Haji Agha Alizadeh, H., Yazdanpanah, A. R., & Amiri Parian, J. (2016). The effect of different tillage methods and fertilizer application on soil physical properties and corn

yield. *Journal of Water and Soil Science*, *20*(78), 103-112. https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.20.78.103. (in Persian)

Halvorson, A. D., Mosier, A. R., Reule, C. A., & Bausch, W. C. (2006). Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agronomy Journal*, *98*, 63-71. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0174.

Idowu, O. J., Sultana, S., Darapuneni, M., Beck, L., & Steiner, R. (2019). Short-term conservation tillage effects on corn silage yield and soil quality in an irrigated, arid agroecosystem. *Agronomy*, *9*, 1-17. https://doi.org/10.3390/agronomy9080455.

Ismail, S. M., Thabet, A., Abdel El-Al, A., & Omara, A. I. (2021). Comparative effects of raised bed and traditional flat basin on wheat yield and water productivity under Egyptian conditions. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, *38*(4), 293-308. https://doi.org/10.21608/mjae.2021.87342.1034.

Olson, K. R., Ebelhar, S. A., & Lang, J. M. (2013). Effects of 24 years of conservation tillage systems on soil organic carbon and soil productivity. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-10. https://doi.org/10.1155/2013/617504.

Parihar, C. M., Jat, S. L., Singh, A. K., Ghosh, A., Rathore, N. S., Kumar, B., Pradhan, S., Majumdar, K., Satyanarayana, T., Jat, M. L., Saharawat, Y. S., Kuri, B. R., & Saveipune, D. (2017). Effects of precision conservation agriculture in a maize-wheat-mungbean rotation on crop yield, water-use and radiation conversion under a semiarid agro-ecosystem. *Agricultural Water Management*, *192*, 306-319. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.021.

Ranjbar, M. H. Gherekhloo, J., & Soltani, A. (2017). Effect of Different Tillage Systems on Growth Indices and Yield of *Zea mays* L. (Corn Forage). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(2), 267-285. https://doi.org/10.22067/gsc.v15i2.45295. (in Persian)

Rasouli, F., Kiani Pouya, A., & Afzalinia, S. (2012). Effect of conservation tillage methods on soil salinity. Proceedings of the 8th International Soil Science Congress. May 15-17. Izmir, Turkey.

Saldivia-Tejeda, A., Fonteyne, S., Guan, T., & Verhulst, N. (2021). Permanent bed width has little effect on crop yield under rainfed and irrigated conditions across Central Mexico. *Agriculture*, *930*(11), 1-12. https://doi.org/10.3390/agriculture11100930.

Santín-Montanyá, M. I., Fernández-Getino, A. P., Zambrana, E., & Tenorio, J. L. (2017). Effects of tillage on winter wheat production in Mediterranean dryland fields. *Arid Land Research Management*, *31*(3), 269-282. https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1307289.

Sarikhani Khorami, Sh., Kazemeini, S. A., Afzalinia, S., & Gathala, M. K. (2018). Changes in soil properties and productivity under different tillage practices and wheat genotypes: A short-term study in Iran. *Sustainability*, *10*, 1-17. https://doi.org/10.3390/su10093273.

Sefahani Langeroodi, A, Dadgar, T., Pasandi, R., & Alavian, M. (2016). Effect of long term residue management, tillage and application of nitrogen fertilizer on grain yield of maize (*Zea mays* L.) and soil properties. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *18*(1), 31-48. http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1395.18.1.3.2. (in Persian)

Solhjou, A. A & Javadi, A. (2016). The effect of tillage and planting methods in raised bed planting system on irrigated wheat yield. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 110, 68-74. https://doi.org/10.22092/aj.2016.109331. (in Persian)

Yousefi, A., Pouryousef, M., & Mardani, R. (2016). Evaluation of wheat yield and weed biomass under planting patterns and irrigation regime. *Journal of Agricultural Knowldege and Sustainable Production*, *62*(6), 17-30. (in Persian)

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.24/No.87/Autumn 2023/P:17-34
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Effect of Permanent Raised Bed Planting, No-Till, and Conventional Tillage Methods on Yield and Water Productivity in Wheat-Forage Corn Rotation

S. Afzalinia1*, S. I. Dehghanian1, Kh. Alijani, D. Mohammadi, S. M. Hosseini, A. Estakhr, S. M. Alavimanesh and M. Zare

*Corresponding Author: Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran. Email: sja925@mail.usask.ca
Received: 6 December 2023, Accepted: 18 March 2024
https://doi.org/10.22092/amsr.2024.364325.1472

Abstract
In this research, effects of tillage and planting methods (planting on permanent raised beds, no-till, and conventional tillage) on soil properties such as bulk density, moisture content, and organic carbon and water consumption, water productivity, and crop yield were evaluated in the form of randomized complete blocks experimental design with three treatments and six replicates in corn-wheat rotation. Results showed that the raised bed planting produced the maximum forage corn (95.33 ton/ha) and wheat yield (7.01 ton/ha) and no-till produced the minimum silage corn (87.06 ton/ha) and wheat yield (5.23 ton/ha) which had no significant difference with the conventional tillage. Forage corn consumed the maximum amount of water (9531 m3/ha) in the conventional tillage and the minimum water (8155 m3/ha) in no-till; while, there was no significant difference between treatments from the point of view of water productivity. Wheat consumed the maximum amount of water (7177 m3/ha) in raised bed planting, but there was no significant difference between treatments from the stand point of water productivity. Results also showed that conservation tillage methods increased soil moisture content in forage corn planting (around 11%), but had no significant effect on the soil moisture content in wheat planting.

Keywords: Bulk Density, Conservation Tillage, Organic Carbon, Soil Moisture Content

© 2023 Agricultural Mehanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)