تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۵/ شماره ۸۹/بهار ۱۴۰۳/ص ۶۸-۴۹
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله پژوهشی

تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی و قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد گندم نان بر عملکرد دانه و ویژگی‌های خاک در استان فارس

شکوفه ساریخانی خرمی[1*]، صادق افضلی‌نیا[2] و سیدعبدالرضا کاظمینی[3]

۱ و ۲- به‌ترتیب: استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی؛ و استاد بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۳- استاد بخش تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

چکیده

خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ منابع آب و خاک، برای رسیدن به کشاورزی پایدار دارای اهمیت است. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به‌صورت کرت‌های خرد شده در سه تکرار در کرت‌های ثابت در سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتور اصلی سه روش خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی و فاکتور فرعی چهار تیمار قطع آبیاری در مراحل گرده افشانی، شیری شدن دانهٔ گندم و خمیری‌شدن دانهٔ گندم سیروان و آبیاری کامل به عنوان شاهد بود. در سراسر فصل رشد و پس از برداشت، صفت‌های روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و ویژگی‌های خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، سرعت نفوذ آب، میزان کربن آلی و نیترات خاک اندازه‌گیری شد. نتایج بررسی نشان داد که بین سامانه‌های خاک‌ورزی از نظر وزن مخصوص ظاهری و سرعت نفوذ آب به خاک اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی کم‌ترین جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر، و بیش‌ترین سرعت نفوذ آب به خاک برابر با ۱/۱۵ میلی‌متر بر دقیقه دیده شد. عملکرد دانهٔ گندم در سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم به‌ترتیب ۱۴ و ۲۰/۴ درصد کم‌تر بود، ولی شخم‌های عمیق و حفظنشدن بقایای گیاهی در سطح خاک در سامانه خاک‌ورزی مرسوم به کاهش میزان کربن آلی خاک ۶/۲ و ۱۳ درصد، در مقایسه با سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی انجامید. با توجه به این‌که تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد دانهٔ گندم در تیمار آبیاری کامل با تیمار اعمال قطع آبیاری در مرحله خمیری‌شدن دانه اختلاف معنی‌دار نداشت، نتیجه‌گیری شد که می‌توان در شرایط محدودیت آب، بدون کاهش معنی‌دار در دورهٔ رشد و عملکرد، آبیاری را در مرحلهٔ انتهای پرشدن دانه قطع کرد.

واژه‌های کلیدی

بی‌خاک‌ورزی، تنش رطوبتی، جرم مخصوص ظاهری، کم‌خاک‌ورزی، گندم، ماده آلی

مقدمه

استفاده از روش خاک‌ورزی مرسوم سبب ایجاد مشکلاتی می‌شود از جمله فشردگی و تخریب ساختمان خاک در اثر تردد زیاد ماشین‌ها و ادوات کشاورزی، به‌هم خوردن سطح تسطیح‌شدهٔ زمین، فرسایش بادی و آبی و نیز آلودگی هوا ناشی از سوزاندن بقایای گیاهی. تداوم این روند در درازمدت موجب کاهش مواد آلی خاک می‌شود و کشاورزان برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه به مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی رو می‌آورند که موجب سخت‌تر شدن خاک و آلوده شدن آب‌های زیرزمینی می‌شود (Sarikhani Khorami *et al.*, 2022).

سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، می‌توانند در شرایط مختلف

*نگارنده مسئول: Email: sh.sarikhani2017@gmail.com
https://doi.org/10.22092/amsr.2025.368082.1509

مزایایی مانند کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (Spera *et al.*, 2009)، افزایش مواد آلی خاک (Babu *et al.*, 2023)، افزایش ذخیرهٔ رطوبت در خاک (Afzalinia & Karami, 2018) را به دنبال داشته باشند. نتایج پژوهش سه ساله در هند نشان داد که سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی بالاترین مقدار کربن آلی خاک برابر با ۱/۹۵ گرم بر کیلوگرم در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر و کمترین مقاومت نسبت به نفوذ آب در دو عمق ۵-۰ و ۱۰-۵ سانتی‌متری خاک را به‌دست می‌دهد (Babu *et al.*, 2023). افزایش مادهٔ آلی خاک، پایداری ساختمان خاک را با کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش تخلخل، ذخیره‌شدن رطوبت و بالارفتن فعالیت آنزیم‌ها بهبود می‌بخشد (Sekaran *et al.*, 2021). در بررسی اثر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان مادهٔ آلی و نیتروژن خاک مشاهده شد که مقدار کربن آلی در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی، در مقایسه با سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی و مرسوم، به‌ترتیب ۱۱/۵ و ۳۱/۲ درصد بیشتر است و نیز مشاهده شد بین سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی و مرسوم تفاوت معنی‌داری ار لحاظ مقدار مادهٔ آلی وجود دارد. در این بررسی مشخص شد مقدار نیتروژن کل خاک در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی، نسبت به سامانهٔ مرسوم، ۱۸/۷ درصد بالاتر است، ولی میزان نیتروژن نیترات خاک تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی قرار ندارد (Wozniak & Rachon, 2020). اجرای سامانه‌های خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک اثرهای متفاوتی دارد. برخی از محققان (Yadav *et al.*, 2017; Sarikhani Khorami *et al.*, 2018; Sekaran *et al.*, 2021; Cay, 2018). دریافتند که تغییر سامانه خاک‌ورزی از مرسوم به خاک‌ورزی حفاظتی موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. در حالی‌که یافته‌های سایر پژوهشگران (Orzech *et al.*, 2021; Biberdzic *et al.*, 2019) متفاوت است. نتایج مطالعات سه ساله در خراسان رضوی نشان داد که تغییر سامانهٔ خاک‌ورزی از بی‌خاک‌ورزی به خاک‌ورزی مرسوم، جرم مخصوص ظاهری خاک را از ۱/۴۱ به ۱/۲۹ گرم در سانتی‌متر مکعب کاهش می‌دهد (Gholami *et al.*, 2014). جرم مخصوص ظاهری خاک پس از عملیات شخم کاهش می‌یابد زیرا به‌هم خوردن خاک موجب افزایش فضای بین کلوخه‌ها و حجم بیشتر با وزن ثابت می‌شود (Nayel *et al.*, 2016). عواملی که در انتخاب سامانهٔ خاک‌ورزی مؤثرند نوع خاک، بافت خاک و پتانسیل تولید آن سامانه است (Tobiasova *et al.*, 2023).

گندم اصلی‌ترین گیاه زراعی مورد استفاده در رژیم غذایی انسان است. بنابراین، ارزیابی عملکرد این محصول در سامانه‌های مختلف زراعی ضروری است. در پژوهشی در صربستان بالاترین میانگین عملکرد گندم در سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم ۴۰۳۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمده است که به‌طور معنی‌داری از عملکرد گندم در دیگر سامانه‌های خاک‌ورزی بیشتر بوده و همبستگی منفی قوی بین میانگین عملکرد گندم و فشردگی خاک وجود داشته است (Biberdzic *et al.*, 2019). نتایج مشابهی توسط شهزاد و همکاران (Shahzad *et al.*, 2016) گزارش شد که عملکرد دانهٔ گندم بالاتری در سامانه مرسوم نسبت به سامانه کم‌خاک‌ورزی ۹/۸ درصد و بی‌خاک‌ورزی ۱۹/۲ درصد به‌دست آمد. کاهش عملکرد دانه می‌تواند ناشی از فشردگی بیشتر خاک در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی باشد (Shahzad *et al.*, 2016). در حالی‌که در پژوهشی دیگر، عملکرد گندم در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی به طور قابل توجهی بالاتر از عملکرد گندم در سامانهٔ مرسوم گزارش شده است. عملکرد گیاه به شدت به شرایط خاکی بستگی دارد که سیستم ریشه در آن رشد می‌کند (Huang *et al.*, 2012). نتایج بررسی سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نشان می‌دهد که خاک‌ورزی مرسوم بیشترین عملکرد دانه را به مقدار ۶۸۲۵ کیلوگرم در هکتار، در برابر

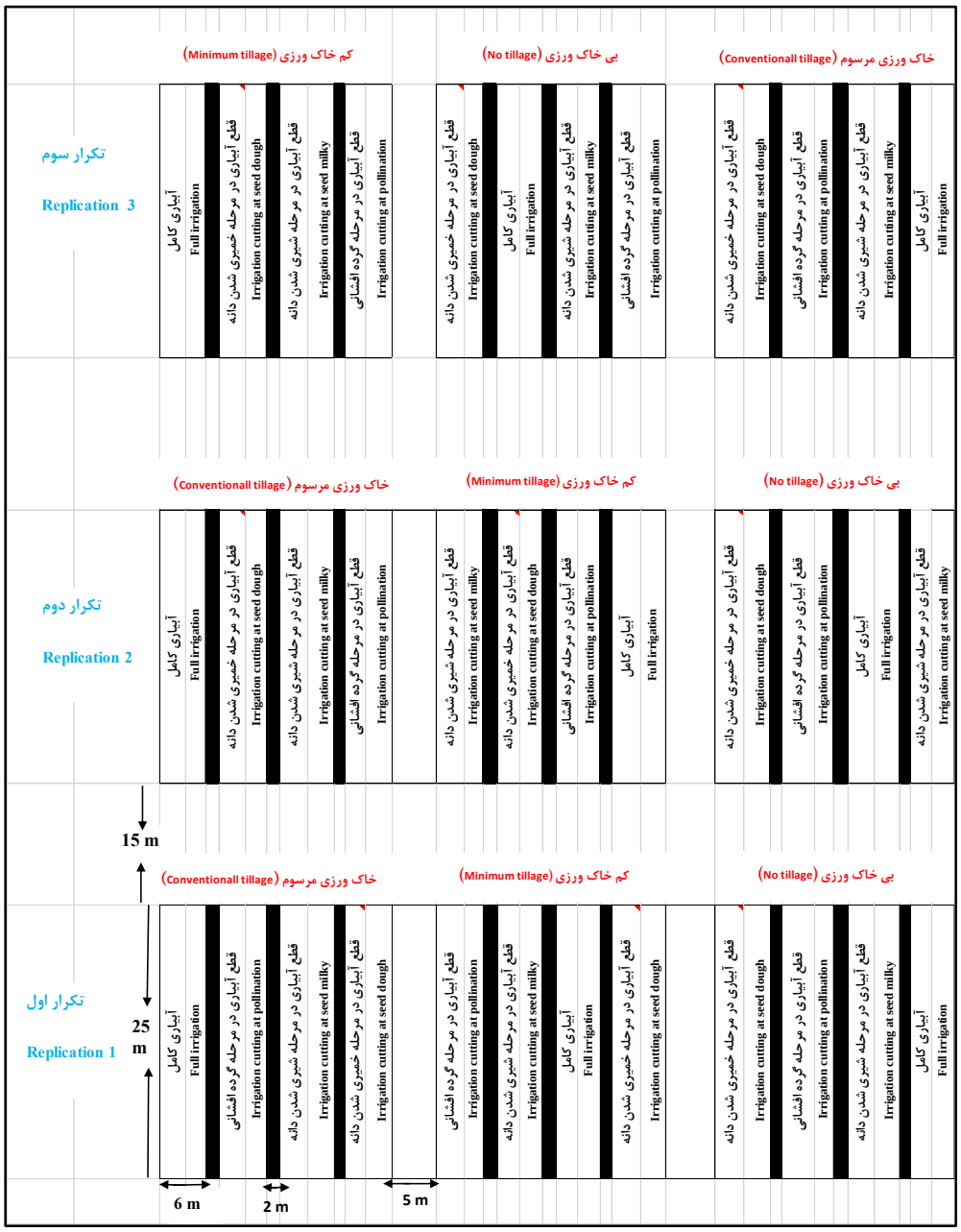
۵۲۲۰/۸۳ کیلوگرم در هکتار در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی، تولید کرده است. سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم بالاترین وزن هزاردانه به مقدار ۴۳/۳۸ گرم را داشته است. اگرچه خاک‌ورزی مرسوم، در مقایسه با بی‌خاک‌ورزی، عملکرد محصول بالاتری داشته است، اما به‌نظر می‌رسد که نتایج طولانی‌مدت با کاربرد کوتاه‌مدت کاملاً متفاوت است (Gholami *et al.*, 2014). نتایج بررسی تاثیر سامانه‌های خاک‌ورزی و تنش آبی بر رشد و عملکرد گندم نشان داد که عملکرد دانه در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی تحت شرایط تنش شدید آبی یکسان است. با توجه به نبود تفاوت معنی‌دار بین سامانه‌های خاک‌ورزی، استفاده از سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل حفظ رطوبت خاک توصیه شده است (Zarei *et al.*, 2015).

سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی در میان‌مدت و بلندمدت با حفظ و افزایش مادهٔ آلی خاک موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش فعالیت بیولوژیکی (Sekaran *et al.*, 2021)، و بالا رفتن ذخیرهٔ رطوبت در لایه‌های بالایی خاک (Afzalinia *et al.*, 2018) می‌شوند و این امر امکان مواجههٔ بهتر با محدودیت‌های اقلیمی مناطق نیمه‌خشک را فراهم می‌کند (El Mekkaoui *et al.*, 2023). بنابراین، اعمال چنین سامانه‌هایی در شرایط آب و هوایی کنونی کشور ما که با بحران آب روبه‌روست، اهمیت ویژه‌ای دارد. در استان فارس بیشتر کشاورزان گندم‌کار، گیاهان تابستانی مانند برنج، ذرت، گوجه فرنگی و غیره هم کشت می‌کنند که بازده اقتصادی بالاتری دارد و تامین آب مورد نیاز آنها دارای اهمیت است. اگر کشاورزان با کمبود منابع آب مواجه باشند، آبیاری گندم را قطع و آن را به گیاهان تابستانی اختصاص می‌دهند. در این زمان گندم در مراحل رشدی زایشی است. بنابراین، بررسی روند تغییرات عملکرد دانهٔ گندم در سامانه‌های مختلف زراعی از چالش‌های مهم استان است. به همین منظور، پژوهش حاضر برای بررسی اثر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم تحت سطوح مختلف تنش رطوبتی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های خرد شده در سه تکرار با فاکتور اصلی سه روش خاک‌ورزی و فاکتور فرعی چهار زمان قطع آبیاری در کرت‌های فرعی به ابعاد ۲۵×۶ متر، در سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۶در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان با توالی گندم-سویا اجرا شد. این ایستگاه با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی با میانگین ارتفاع ۱۶۰۴ متر از سطح دریا در اقلیم معتدل استان فارس واقع شده است. میانگین سی‌سالهٔ بارندگی ۳۰۱/۸۷ میلی‌متر و میانگین دما ۱۶/۶۸ درجه سلسیوس است. بافت خاک در لایه سطحی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) لوم رسی سیلتی با ۳۹/۴ درصد سیلت، ۳۸/۶ درصد رس و ۲۲ درصد شن است. خاک‌ورزی مرسوم شامل استفاده از تیغه‌های برگردان‌دار در عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر خاک، دو بار دیسک و سپس لولر؛ کم‌خاک‌ورزی شامل استفاده از خاک‌ورز مرکب مجهز به تیغه‌های قلمی، دیسک و غلتک است که بخشی از بقایای گیاهی را به عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متری خاک می‌برد. در روش بی‌خاک‌ورزی، قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نمی‌شود و با یک بار حرکت کودکار-بذرکار کشت مستقیم در مزرعه، کشت در بقایای محصول سال زراعی قبل، به‌انجام می‌رسد. سویا رقم صبا با میزان بذر ۸۰ کیلوگرم در هکتار روی ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متری و گندم رقم سیروان با میزان بذر ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار با فاصلهٔ ردیف۱۷ سانتی‌متر با خطی‌کار کشت مستقیم سازه‌کشت بوکان

مجهز به کودکار کشت شد. به‌منظور مدیریت بقایای گیاهی در تمام کرت‌های آزمایش، بقایای اضافی گندم در نوار پشت کمباین جمع‌آوری گردید تا حدود ۳۰ درصد سطح خاک با بقایای گیاهی پوشیده شود. برای رسیدن به مقدار مشابهی از پوشش خاک به‌هنگام کاشت سویا ۱۰ سانتی‌متر بقایای ایستاده پس از برداشت و برگ‌های ریزش یافته قبل از برداشت نگهداری شدند. تیمارهای تنش آبی شامل قطع آبیاری در زمان رسیدن به مراحل گرده‌افشانی، شیری‌شدن دانه و خمیری شدن دانهٔ گندم براساس کد زیداکس (GS61, GS71, GS83) و آبیاری کامل به عنوان شاهد بود (شکل ۱). در گیاه سویا تیمارهای قطع آبیاری اعمال نشد.



شکل ۱- نقشه آزمایش

Fig. 1- Protocol of the experiment

آبیاری به روش نوار تیپ بود. برای مقایسهٔ اثر تیمارهای آزمایشی، صفت‌های مهم زراعی مانند روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و عملکرد دانهٔ گندم (Pask, 2012) ثبت شدند. نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز گندم برای هر کرت آزمایشی براساس نتایج تجزیهٔ خاک از طریق کودهای دی‌فسفات آمونیوم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، اوره (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، و سولفات پتاسیم (۵۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده شد. تمام کودهای فسفاته و پتاسه قبل از کاشت و هم‌زمان با آماده‌سازی زمین و نیتروژن مورد نیاز هر کرت در سه نوبت (هم‌زمان با کاشت، مرحلهٔ پنجه‌زنی و گلدهی) استفاده شد. در سویا ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌عنوان پایه قبل از کاشت مصرف شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ گندم به‌ترتیب با علف‌کش تو-فور-دی (دو لیتر در هکتار) و توتال (۵۰ گرم در هکتار) در مراحل رشد توصیه شده اعمال شد. روش اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک به شرح زیر است:

وزن مخصوص ظاهری خاک

برای تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک، پیش از شروع آزمایش و در زمان برداشت محصول با استفاده از استوانه‌های نمونه‌گیری از عمق‌های ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری هر کرت فرعی و در سه تکرار نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس درآون خشک شدند و با استفاده از رابطهٔ ۱ جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد (Afzalinia, & Zabihi, 2014):

$$BD = \frac{W_d}{V} \qquad (۱)$$

که در آن،

BD= جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)؛ W_d= جرم خاک خشک (گرم)؛ و V= حجم کل خاک (سانتی‌مترمکعب).

سرعت نفوذ آب در خاک

برای اندازه‌گیری و محاسبهٔ سرعت نفوذ آب در خاک از روش استوانهٔ دوگانه استفاده شد. ابتدا یک استوانه با قطر ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵سانتی‌متر به اندازه ۵ سانتی‌متر در خاک فرو برده شد و استوانه‌ای دیگر با قطر ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر در داخل استوانه اول و به اندازه ۵ سانتی‌متر در خاک فرو برده شد. داخل هر دو استوانه آب ریخته شد و سپس در فاصلهٔ زمانی ۱ تا ۱۰ دقیقه هر یک دقیقه، در فاصلهٔ زمانی ۱۰ تا ۳۰ دقیقه هر ۵ دقیقه، در فاصلهٔ زمانی ۳۰ تا ۶۰ دقیقه هر ۱۰ دقیقه، در فاصلهٔ زمانی ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه هر ۲۰ دقیقه و سرانجام در زمان ۱۵۰ دقیقه میزان نفوذ آب در داخل استوانهٔ دوم که با واحد سانتی‌متر مدرج شده است، یادداشت شد. بر اساس اطلاعات ثبت شده، میزان نفوذ تجمعی آب در خاک با استفاده از رابطهٔ ۲ و هم‌چنین سرعت نفوذ آب در خاک در زمان ۱۵۰ دقیقه محاسبه شد:

$$I = at^b \qquad (۲)$$

که در آن،

I= نفوذ تجمعی آب در خاک (سانتی‌متر)؛ b و a= ضریب‌های معادله؛ و t= زمان (دقیقه) (Anon, 2009).

مقدار کربن آلی و نیتروژن خاک

برای تعیین مقدار کربن آلی و نیترات خاک در پایان هر فصل زراعی از عمق‌های ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک هر کرت نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها خشک شدند. نمونه‌ها پس از غربال کردن با الک ۲ میلی‌متری به آزمایشگاه انتقال داده شدند و درصد کربن آلی (Nelson & Sommers, 1982) و نیترات (Bremner & Mulvaney, 1982) آن‌ها تعیین شد.

پس از برداشت محصول و جمع‌آوری اطلاعات لازم، داده‌های هر سال و نیز داده‌های سه سال آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد و مقایسهٔ میانگین‌ها از طریق آزمون LSD صورت گرفت.

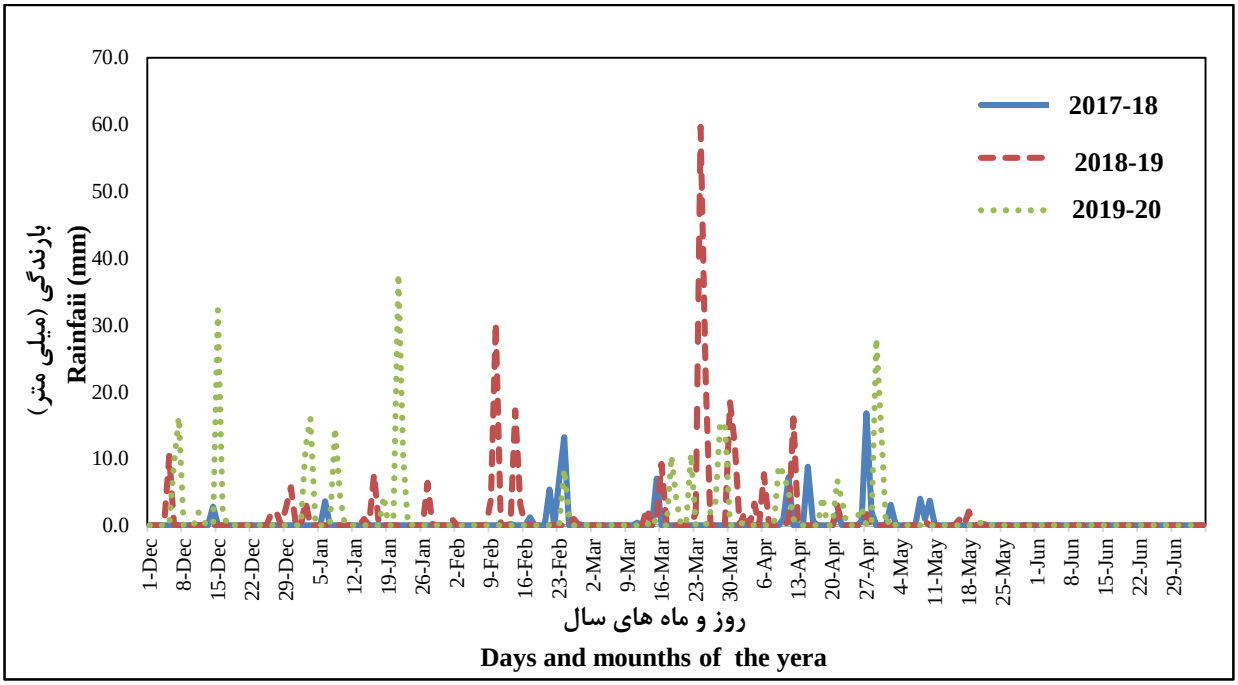
نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک

جرم مخصوص ظاهری خاک

تیمارهای قطع آبیاری در گیاه سویا اعمال نشد و نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سامانه‌های خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا معنی‌دار نیست. بنابراین، داده های مربوط به گیاه سویا ارائه نشده است. در هر سه سال آزمایش، گیاه گندم ۱۵-۱۰ آذرماه کشت و ۱۵-۱۰ تیرماه برداشت گردید. تاریخ رسیدن به مراحل رشدی گرده‌افشانی، شیری‌شدن دانه و خمیری‌شدن دانهٔ گندم رقم سیروان به‌ترتیب نیمهٔ اریبهشت (روزهای ۱۴ تا ۱۸)، اواخر اردیبهشت (روزهای ۲۵ تا ۳۰) و اوایل خرداد (روزهای ۱۵-۱۰) بود. آمار هواشناسی نشان داد که در سال‌های اجرای پس از تاریخ‌های ذکر شده، بارش موثری نبوده است (شکل ۲).

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک نشان داد که سامانه‌های خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری اثر معنی‌داری دارند، اما اثر قطع آبیاری و برهمکنش سامانهٔ خاک‌ورزی و قطع آبیاری بر جرم مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار نبوده است (جدول ۱).



شکل۲- بارندگی روزانه (میلی‌متر) طی سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Fig. 2- Daily precipitation (mm) during the 2017-20 growing seasons

جدول ۱- تجزیهٔ واریانس اثر قطع آبیاری بر جرم مخصوص ظاهری خاک در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری و سرعت نفوذ آب تحت سامانه‌های خاک‌ورزی قبل و در دورهٔ اجرای آزمایش

Table 1- Variance analysis of irrigation cutting for bulk density and water infiltration as affected by tillage systems before and during the experiment

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی D.f	پیش از اجرای آزمایش Before experiment		۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18		۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19		۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	
		۱۰-۰ (سانتی‌متر) 0-10 (cm)	۲۰-۱۰ (سانتی‌متر) 10-20 (cm)	۱۰-۰ (سانتی‌متر) 0-10 (cm)	۲۰-۱۰ (سانتی‌متر) 10-20 (cm)	۱۰-۰ (سانتی‌متر) 0-10 (cm)	۲۰-۱۰ (سانتی‌متر) 10-20 (cm)	۱۰-۰ (سانتی‌متر) 0-10 (cm)	۲۰-۱۰ (سانتی‌متر) 10-20 (cm)
جرم مخصوص ظاهری خاک Soil bulk density									
تکرار Replication (R)	2	1.44^{ns}	3.89^{ns}	7.14^{ns}	23.97^{ns}	10.80^{ns}	5.81^{ns}	4.17^{ns}	4.95^{ns}
سامانهٔ خاک‌ورزی Tillage system (T)	2	68.95^{**}	20.25^{*}	33.35^{**}	18.05^{**}	34.24^{**}	9.94^{**}	12.04^{ns}	6.54^{**}
قطع آبیاری Irrigation cutting (Ic)	3	0.45^{ns}	1.48^{ns}	0.63^{ns}	1.30^{ns}	0.70^{ns}	0.64^{ns}	1.40^{ns}	047^{ns}
سامانهٔ خاک‌ورزی *تنش رطوبتی T*Ic	6	0.47^{ns}	0.82^{ns}	1.44^{ns}	2.36^{ns}	0.32^{ns}	0.13^{ns}	0.33^{ns}	0.34^{ns}
سرعت نفوذ آب Water infiltration rate									
منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی D.f	پیش از اجرای آزمایش Before experiment		۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18		۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19		۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	
تکرار Replication (R)	2	5.79^{*}		0.25^{ns}		1.04^{ns}		5.61^{*}	
سامانهٔ خاک‌ورزی Tillage system (T)	2	19.03^{**}		3.82^{*}		4.04^{*}		6.13^{**}	
قطع آبیاری Irrigation cutting (Ic)	3	0.11^{ns}		0.37^{ns}		3.63^{*}		0.21^{ns}	
سامانهٔ خاک-ورزی*تنش رطوبتی T*Ic	6	0.35^{ns}		1.03^{ns}		1.02^{ns}		0.54^{ns}	

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

ns. معنی‌دار نبودن

*and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively
ns: non- significant

مقایسهٔ میانگین تیمارها نشان داد که در هر دو عمق خاک و در سراسر سال‌های آزمایش، سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی کم‌ترین جرم مخصوص ظاهری خاک را داشته است و از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک بین سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشده است (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم برسانتی‌متر مکعب) و سرعت نفوذ آب در خاک (میلی‌متر بر دقیقه) در سامانه‌های خاک‌ورزی

Table 2- Mean comparison of tillage systems of bulk density (gr/m^3) and water infiltration (mm/min) before and during the experiment

جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (gr/m^3)								
۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20		۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19		۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18		پیش از اجرای آزمایش Before experiment		
۲۰-۱۰ (سانتی‌متر) 10-20 (cm)	۱۰-۰ (سانتی‌متر) 0-10 (cm)	۲۰-۱۰ (سانتی‌متر) 10-20 (cm)	۱۰-۰ (سانتی‌متر) 0-10 (cm)	۲۰-۱۰ (سانتی‌متر) 10-20 (cm)	۱۰-۰ (سانتی‌متر) 0-10 (cm)	۲۰-۱۰ (سانتی‌متر) 10-20 (cm)	۱۰-۰ (سانتی‌متر) 0-10 (cm)	سامانهٔ خاک‌ورزی Tillage system
1.40^{ab}	1.31^{a}	1.36^{ab}	1.26^{a}	1.33^{b}	1.22^{a}	1.34^{ab}	1.27^{b}	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage
1.35^{b}	1.24^{b}	1.26^{b}	1.10^{b}	1.24^{b}	1.08^{b}	1.22^{b}	1.04^{b}	کم‌خاک‌ورزی Minimum tillage
1.42^{a}	1.30^{a}	1.38^{a}	1.25^{a}	1.33^{a}	1.16^{ab}	1.35^{a}	1.22^{a}	بی‌خاک‌ورزی No- tillage

سرعت نفوذ آب در خاک (میلی‌متر بر دقیقه) Water infiltration (mm/min)				
۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19	۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18	پیش از اجرای آزمایش Before experiment	سامانهٔ خاک‌ورزی Tillage system
1.13^{a}	1.19^{a}	1.27^{a}	1.00^{a}	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage
1.01^{ab}	1.20^{a}	1.29^{a}	1.03^{a}	کم‌خاک‌ورزی Minimum tillage
0.96^{b}	0.93^{b}	1.09^{b}	0.79^{b}	بی‌خاک‌ورزی No- tillage

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد است.

Average with different letters in each column are statistically different at a=5%

به‌نظر می‌رسد خاک‌ورزی لایهٔ سطحی خاک و مخلوط‌کردن بقایای گیاهی با خاک در این لایه تحت سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده باشد (Sarikhani Khorami *et al.*, 2018). نبود تفاوت از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک بین دو سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی قابل توجه است، زیرا خاک‌ورزی عمیق و سنگین با تیغه‌های برگردان‌دار و به‌دنبال آن استفاده از دیسک در سامانهٔ مرسوم، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی شده است (Afzalinia *et al.*, 2012)، اما بهبود ویژگی‌های شیمیایی و مکانیکی خاک به‌ویژه افزایش کربن آلی، موجب نزدیکی جرم مخصوص ظاهری خاک در روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم شده است. وجود بقایای گیاهی بر سطح خاک در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی از برخورد مستقیم قطره‌های باران با خاک‌دانه‌ها و ایجاد لایه سخت جلوگیری می‌کند (Sarikhani Khorami *et al.*, 2018). در هر سه سامانهٔ خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر بیش‌تر است تا در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر خاک (جدول ۲). این نتایج با یافته‌های دیگر پژوهشگران (Sarikhani Khorami *et al.*, 2018; Nayel *et al.*, 2016) همخوانی دارد. نتایج بررسی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری به‌ویژه در لایهٔ سطحی، بسیار متفاوت است. یافته‌های برخی از پژوهش‌گران (Orzech *et al.*, 2021; Biberdzic *et al.*, 2019; Bogunovic *et al.*, 2020) حاکی از افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در خاک‌ورزی حفاظتی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، است. در

حالی‌که نتایج پژوهش گروهی دیگر از محققان، (Yadav *et al.*, 2017; Sarikhani khorami *et al.*, 2018; Sekaran *et al.*, 2021; Cay, 2018) کاهش جرم مخصوص ظاهری لایهٔ سطحی خاک را در سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نشان می‌دهد. تاثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک، به‌ویژه جرم مخصوص ظاهری، به عوامل مختلفی مانند بافت خاک، نوع محصول و شرایط آب و هوایی بستگی دارد.

سرعت نفوذ آب در خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که در تمام سال‌های اجرای پژوهش، اثر سامانهٔ خاک‌ورزی بر سرعت نفوذ آب به خاک معنی‌دار است. ولی این صفت تحت تأثیر تیمارهای قطع آبیاری و برهمکنش قطع آبیاری و سامانهٔ خاک‌ورزی قرار ندارد (جدول ۱). می‌توان متفاوت بودن مقدار دست‌کاری خاک و روش مدیریت بقایای گیاهی در سامانه‌های خاک‌ورزی را دلیل معنی‌دار شدن اثر سرعت نفوذ آب به خاک در سامانه‌های خاک‌ورزی دانست (Sarikhani Khorami *et al.*, 2018). تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک تحت سامانه‌های خاک‌ورزی (جدول ۲) بر تغییرات سرعت نفوذ آب به خاک در این سامانه‌ها مؤثر بوده است.

نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌های سرعت نفوذ آب به خاک نشان داد که در سال‌های اجرای پژوهش، کم‌ترین میزان سرعت نفوذ آب به خاک متعلق به سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی است (جدول ۲). ممکن است مهم‌ترین دلیل این کاهش خاک‌ورزی نشدن باشد. اگرچه افزایش مقدار کربن آلی خاک در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی (جدول ۳) می‌تواند سرعت نفوذ آب به خاک را افزایش دهد، اما این افزایش فقط در لایهٔ سطحی خاک (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری) صورت می‌گیرد و نمی‌تواند تغییر قابل توجهی در سرعت نفوذ آب به خاک در سامانهٔ خاک‌ورزی ایجاد کند.

در سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی، لایهٔ سطحی خاک خاک‌ورزی شده و بخشی از بقایای گیاهی با لایهٔ سطحی خاک مخلوط می‌شوند و بخشی دیگر در سطح خاک باقی می‌ماند، این سامانه هم از مزیت خاک‌ورزی مرسوم (خاک‌ورزی خاک سطحی) و هم از مزیت بی‌خاک‌ورزی (حفظ بقایا در سطح خاک) برخوردار است که این عوامل موجب می‌شود جرم مخصوص ظاهری خاک در سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی کاهش یابد (جدول ۲). البته سرعت نفوذ آب به خاک در سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی تفاوت آماری با سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم ندارد (جدول۲)، زیرا با کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش خلل و فرج خاک در سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم، سرعت نفوذ آب به خاک افزایش یافته است (Babu *et al.*, 2023; Nayel *et al.*, 2016).

کربن آلی و نیترات خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که مقدار نیترات و کربن آلی خاک تحت تاثیر هیچ یک از تیمارهای آزمایشی (سامانهٔ خاک‌ورزی و قطع آبیاری) قرار ندارد (جدول ۳). اثر سال بر میزان نیترات و کربن آلی خاک در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰ -۱۵ سانتی‌متری خاک معنی‌دار است (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کربن آلی و کم‌ترین مقدار نیترات خاک در سال سوم آزمایش به‌دست آمد (جدول ۳). میزان افزایش کربن آلی خاک در سال سوم آزمایش نسبت به سال اول در عمق‌های ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب حدود ۲۰ و ۴۲ درصد است (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد افزایش میزان بارندگی در سال سوم پژوهش (۳۶۳/۲ میلی‌متر) نسبت به سال اول و دوم (به‌ترتیب ۱۲۸/۲ و ۳۵۴/۳ میلی‌متر)[1]، با افزایش میزان رطوبت (عامل موثری در تجزیهٔ بقایای گیاهی)، موجب تجزیهٔ سریع‌تر بقایای گیاهی و به‌دنبال آن افزایش کربن آلی خاک شده است.

1- https://www.farsmet.ir/ReportAmar.aspx

بین سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی از نظر میانگین سه ساله نیترات و کربن آلی خاک در هر دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری وجود ندرد (جدول ۳)، ولی مقدار کربن آلی در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی نسبت به سامانهٔ مرسوم در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب ۱۹/۶ و ۱۱/۹ درصد بیشتر است (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین اثر سال و سامانه‌های خاک‌ورزی بر درصد کربن آلی و میزان نیترات خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در دو عمق خاک

Table 3- Mean comparison of year and tillage systems of soil organic carbon (%) and nitrate (mg/ kg) at two soil depths

نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Nitrate (mg/kg)		کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)		ویژگی‌های خاک soil characteristics	
۳۰-۱۵ (سانتی‌متر) 15-30 (cm)	۱۵-۰ (سانتی‌متر) 0-15 (cm)	۳۰-۱۵ (سانتی‌متر) 15-30 (cm)	۱۵-۰ (سانتی‌متر) 0-15 (cm)	سال زراعی Growing season	
64.73^{a}	46.23^{a}	0.372^{b}	0.535^{ab}	2018	۱۳۹۷
28.89^{b}	28.89^{b}	0.201^{c}	0.259^{b}	2019	۱۳۹۸
41.77^{ab}	41.77^{ab}	0.652^{a}	0.672^{a}	2020	۱۳۹۹
				سامانهٔ خاک‌ورزی Tillage system	
45.97^{a}	41.80^{a}	0.399^{a}	0.453^{a}	Conventional tillage	خاک‌ورزی مرسوم
47.37^{a}	38.54^{a}	0.407^{a}	0.500^{a}	Minimum tillage	کم‌خاک‌ورزی
48.20^{a}	38.24^{a}	0.447^{a}	0.542^{a}	No- tillage	بی‌خاک‌ورزی
0.0705*	0.0617*	0.0005**	0.0067**	Year	Anova
0.9396^{ns}	0.9628^{ns}	0.6979^{ns}	0.2145^{ns}	Tillage system	

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد است.

Average with different letters in each column are statistically different at a=5%

نتایج این پژوهش با یافته‌های دو سالهٔ (Wozniak & Rachon, 2020) در لهستان مطابقت دارد که گزارش کردند مقدار کربن آلی در سامانه بی‌خاک‌ورزی، نسبت به سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی و مرسوم، به‌ترتیب ۱۱/۵ و ۳۱/۲ درصد افزایش دارد. ولی مقدار نیتروژن نیترات خاک تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی قرار نگرفته است. به‌نظر می‌رسد که کاهش مقدار کربن آلی خاک در سامانه مرسوم نسبت به سامانه‌های حفاظتی (بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی) به‌دلیل اجرای شخم‌های عمیق و شدید (استفاده از تیغه‌های برگردان‌دار همراه با دیسک) و حفظ‌نشدن بقایای گیاهی باشد که منجر به از بین رفتن ساختار خاک، افزایش سرعت معدنی‌شدن و تجزیهٔ کربن آلی خاک شده است (Jat *et al.*, 2017).

ویژگی‌های زراعی

با توجه به اینکه برهمکنش سال با تیمارهای آزمایشی (خاک‌ورزی و قطع آبیاری) بر صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و عملکرد دانهٔ گندم معنی‌دار است (جدول ۴)، روند تغییرات این صفات به‌صورت جداگانه در هر سال بررسی شده است (جدول ۵).

روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

معنی‌دار بودن برهمکنش سال با سامانه‌های خاک‌ورزی و قطع آبیاری بیان‌گر آن است که پاسخ گیاه گندم در سال‌های مختلف از لحاظ روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت سامانه‌های خاک‌ورزی و نیز تیمارهای مختلف قطع آبیاری یکسان نیست. بررسی تیمارهای خاک‌ورزی در سال اول و دوم نشان داد که کم‌ترین و بیش‌ترین تعداد روز تا

رسیدگی به‌ترتیب در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی به‌دست آمده است. درحالی‌که در سال سوم بین سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی، نسبت به سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم، باعث افزایش معنی‌دار طول دورهٔ رشد گندم به تعداد سه و چهار روز به‌ترتیب در سال اول و دوم شد (جدول ۵). تجمع بقایای گیاهی در سطح خاک در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی ممکن است منجر به انعکاس بیش‌تر نور خورشید، کاهش دما و افزایش طول دورهٔ مراحل رشد گندم شود (Li *et al.*, 2008). در سال اول و دوم آزمایش، قطع آبیاری در مرحلهٔ گرده‌افشانی موجب زودرس شدن گیاه نسبت به تیمار آبیاری کامل (با میانگین ۷/۷۸ روز)، قطع آن در مراحل شیری (با میانگین ۴/۰۶ روز) و خمیری دانه (با میانگین ۶/۸۴ روز) شده است (جدول ۵). در هر سه سال بررسی، بیش‌ترین تعداد روز تا رسیدگی در تیمار آبیاری کامل (با میانگین ۱۸۴/۹۲ روز) به‌دست آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه (۱۸۴/۰۷) از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۵).

شاخص برداشت

در سال‌های اول و دوم آزمایش، شاخص برداشت تحت تاثیر سامانه‌های خاک‌ورزی قرار نگرفته است (جدول ۴). در سال سوم بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص برداشت به‌ترتیب در سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم (با میانگین ۴۲/۶۴) و بی‌خاک‌ورزی (با میانگین ۲۳/۶۴) به‌دست آمد (جدول ۵). کاهش شاخص برداشت در سامانهٔ بی‌خاک‌ورزی نسبت به سامانهٔ مرسوم را می‌توان به‌دلیل کاهش عملکرد دانه در این سامانه دانست (جدول۵). این نتیجه در مطالعات متعددی (Biberdzic *et al.*, 2019; Shahzad *et al.*, 2016; Gholami *et al.*, 2014) برای گیاهان مختلف مشاهده شده است. نتایج مقایسهٔ میانگین شاخص برداشت در سطوح مختلف تنش رطوبتی نشان می‌دهد که در همهٔ سال‌های مطالعه، کم‌ترین میزان شاخص برداشت در تیمار قطع آبیاری در مرحلهٔ گرده‌افشانی با میانگین ۲۲/۸۵ به‌دست آمده است (جدول ۵). با توجه به این‌که مرحلهٔ گرده‌افشانی حساس‌ترین مرحلهٔ نمو گندم به تنش رطوبتی است، بروز تنش رطوبتی در این دوره باعث کاهش طول دورهٔ پرشدن دانه، کاهش عملکرد دانه و پایین‌آمدن شاخص برداشت شود (Kapoor *et al.*, 2020; Hatzig *et al.*, 2018). بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه با میانگین سه سالهٔ ۳۴/۳۳ به‌دست آمده است که با تیمار آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۵). تنش رطوبتی به‌نظر می‌رسد که عملکرد دانه را در مقایسه با عملکرد بیولوژیک با سرعت بیشتری کاهش داده و این امر باعث کاهش شاخص برداشت گردیده است (Ekhtiari & Nabizadeh, 2018). کاهش شاخص برداشت در زمان بروز تنش رطوبتی می‌تواند ناشی از کاهش دسترسی به مواد پرورده طی دوران پرشدن دانه باشد (Rabbani & Emam, 2011; Mori *et al.*, 2012).

جدول ۴- تجزیهٔ واریانس اثر قطع آبیاری بر صفات زراعی و عملکرد دانه گندم تحت سامانه‌های خاک‌ورزی در سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۶

Table 4- Variance analysis of irrigation cutting for agronomy characteristics and wheat grain yield as affected by tillage systems in 2017-.20 growing seasons

میانگین مربعات Mean Squares											
عملکرد دانه Grain yield		وزن هزار دانه 1000 grain weight		شاخص برداشت Harvest index			روز تا رسیدگی Physiological Maturity (from emergence stage)				
۱۳۹۹-۱۳۹۶	۱۳۹۹-۱۳۹۸	۱۳۹۸-۱۳۹۷	۱۳۹۷-۱۳۹۶	۱۳۹۹-۱۳۹۸	۱۳۹۸-۱۳۹۷	۱۳۹۷-۱۳۹۶	۱۳۹۹-۱۳۹۸	۱۳۹۸-۱۳۹۷	۱۳۹۷-۱۳۹۶	درجه آزادی	منابع تغییرات
2017-20	2019-20	2018-19	2017-18	2019-20	2018-19	2017-18	2019-20	2018-19	2017-18	D.f	Source of variations
0.56^{ns}	25.92^{ns}	80.61^{ns}	3.67^{ns}	66.64^{ns}	36.69^{ns}	29.19^{ns}	1.33^{ns}	0.77^{ns}	8.69^{ns}	2	تکرار Replication (R)
5.08^{*}	206.00^{*}	8.10^{ns}	59.40^{ns}	1083.00^{*}	8.52^{ns}	33.69^{ns}	0.00^{ns}	70.77^{*}	26.36^{*}	2	سامانهٔ خاک‌ورزی Tillage system (T)
6.62^{**}	15.33^{ns}	32.25^{ns}	26.69^{ns}	85.20^{ns}	22.52^{ns}	90.52^{ns}	1.33^{ns}	8.98^{ns}	3.40^{ns}	4	تکرار* روش خاک‌ورزی R*T
6.43^{**}	22.11^{**}	491.75^{**}	203.35^{**}	5.91^{ns}	525.11^{**}	541.43^{**}	0.88^{ns}	106.32^{**}	116.10^{**}	3	قطع آبیاری Irrigation cutting (Ic)
0.10^{ns}	27.35^{*}	35.36^{ns}	7.12^{ns}	39.05^{ns}	23.86^{ns}	111.32^{ns}	1.66^{ns}	4.18^{ns}	3.65^{ns}	6	سامانهٔ خاک‌ورزی*تنش رطوبتی T*Ic
0.27^{ns}	8.99^{ns}	31.93^{ns}	4.63^{ns}	29.14^{ns}	21.91^{ns}	88.52^{ns}	0.96^{ns}	4.28^{ns}	1.5^{ns}	18	خطا Error

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

ns. معنی‌دار نبودن

*and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

ns: non- significant

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین اثر سامانه‌های خاک‌ورزی و تیمارهای مختلف قطع آبیاری بر عملکرد دانه و صفات زراعی گندم

Table 5- Mean comparison of irrigation cutting treatments and tillage systems of agronomy characteristics and wheat grain yield in 2017-20 growing seasons

صفات زراعی Agronomy characteristics	روز تا رسیدگی Physiological Maturity			شاخص برداشت Harvest index			وزن هزار دانه (گرم) Thousand kernel weight (gr)			عملکرد دانه (تن در هکتار) Grain yield (ton/ ha)
سال زراعی Growing season	۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18	۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19	۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18	۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19	۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18	۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19	۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	۱۳۹۹-۱۳۹۶ 2017-20
سامانهٔ خاک‌ورزی Tillage system										
خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	180.23^{b}	186.93^{b}	177.67^{a}	24.33^{a}	25.67^{a}	42.64^{a}	47.94^{a}	36.00^{a}	44.01^{a}	3.64^{a}
کم‌خاک‌ورزی Minimum tillage	182.67^{a}	187.57^{b}	177.67^{a}	26.67^{a}	27.08^{a}	33.15a^{b}	43.89^{a}	35.37^{a}	37.50^{b}	3.13^{b}
بی‌خاک‌ورزی No- tillage	183.08^{a}	191.42^{a}	177.67^{a}	27.58^{a}	25.58^{a}	23.64^{b}	44.31^{a}	37.00^{a}	36.31^{b}	2.90^{b}
سال زراعی Growing season	۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18	۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19	۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18	۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19	۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18	۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19	۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20	
قطع آبیاری Irrigation cutting										
آبیاری کامل Full irrigation	184.77^{a}	192.11^{a}	177.88^{a}	26.66^{b}	32.55^{a}	3284^{a}	48.62^{b}	42.93^{a}	38.99^{ab}	3.83^{a}	3.64^{a}	3.47^{a}
قطع آبیاری در مرحلهٔ گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	177.0^{c}	184.33^{c}	177.88^{a}	18.77^{b}	17.55^{b}	32.22^{a}	38.80^{c}	28.41^{b}	37.53^{b}	2.65^{c}	2.06^{b}	3.22^{a}
قطع آبیاری در مرحلهٔ شیری‌شدن دانه Irrigation cutting at seed milky	181.88^{b}	187.55^{b}	177.66^{a}	22.55^{b}	21.77^{b}	34.13^{a}	44.99^{b}	31.20^{b}	41.33^{a}	2.97^{bc}	2.43^{b}	3.50^{a}
قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه Irrigation cutting at seed dough	184.44^{a}	190.55^{a}	172.22^{a}	36.77^{a}	32.55^{a}	33.37^{a}	49.10^{a}	41.96^{a}	39.23^{ab}	3.56^{ab}	3.72^{a}	3.56^{a}

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد است.

Average with different letters in each column are statistically different at a=5%

وزن هزاردانه

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان می‌دهد اثر برهمکنش سه‌گانه سال و سامانهٔ خاک‌ورزی و قطع آبیاری بر وزن هزاردانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. نتایج مقایسهٔ میانگین برهمکنش سه‌گانه مذکور (جدول ۶) حاکی از آن است که در سال اول آزمایش، بیش‌ترین وزن هزاردانه با تیمار قطع آبیاری در مرحله خمیری‌شدن دانه در سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم (با میانگین ۵۰/۵۷ گرم) حاصل شده است. این مقدار با وزن هزاردانه در تیمار قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه تحت سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی (با میانگین ۴۹/۰۴ گرم) و بی‌خاک‌ورزی (با میانگین ۴۷/۷۱ گرم) تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۶).

در سال دوم بررسی، بیش‌ترین مقدار وزن هزاردانه مربوط به تیمار آبیاری کامل در سامانهٔ مرسوم (با میانگین ۴۵/۷۷ گرم) بود که از نظر آماری با وزن هزار دانهٔ تیمار قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه در همین سامانه، آبیاری کامل و نیز قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه در سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهد (جدول ۶). در سال سوم آزمایش و با تیمار قطع آبیاری طی سه سال متوالی، بالاترین وزن هزاردانهٔ گندم در سامانهٔ مرسوم با تیمار قطع آبیاری در مرحلهٔ شیری‌شدن دانه به‌دست آمده است که مقدار آن با دیگر تیمارهای رطوبتی در این سامانه تفاوت آماری معنی‌داری نشان نمی‌دهد (جدول ۶). به نظر می‌رسد بارش‌های مناسب در اواخر فروردین (۲۷/۱ میلی‌متر) و اوایل اردیبهشت (۵۷/۹ میلی‌متر) سال سوم که تقریبا هم‌زمان با مرحلهٔ ظهور سنبله گندم بود، موجب ایجاد این نتیجه شده باشد (شکل ۳).

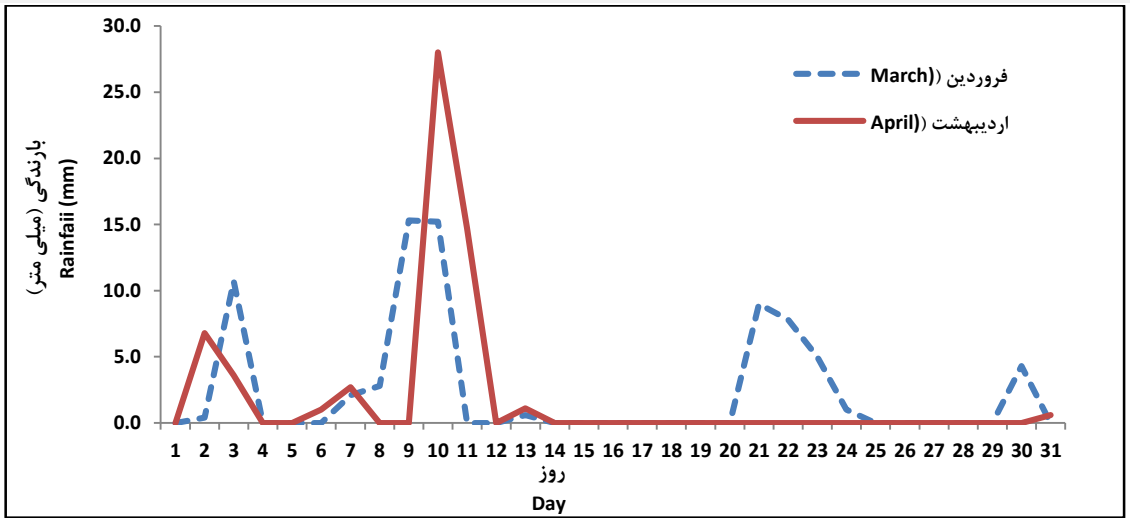
جدول ٦- مقایسهٔ میانگین اثر سامانه‌های خاک‌ورزی بر وزن هزاردانهٔ گندم (گرم) تحت تیمار قطع آبیاری در طول سه سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۶)

Table 6- Mean comparison of tillage systems on wheat1000 grain weight as affected by irrigation cutting treatments in 2017-20 growing seasons

اثر متقابل سامانهٔ خاک‌ورزی و تنش رطوبتی Interaction between tillage system and ittigation cutting		۱۳۹۷-۱۳۹۶ 2017-18	۱۳۹۸-۱۳۹۷ 2018-19	۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-20
خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	آبیاری کامل Full irrigation	50.53^{a}	45.77^{a}	42.78^{a-c}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	41.69^{bc}	26.33^{c}	42.66^{a-c}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ شیری‌شدن دانه Irrigation cutting at seed milky	48.96^{a}	30.71^{bc}	46.90^{a}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه Irrigation cutting at seed dough	50.57^{a}	41.20^{a}	43.71^{ab}
کم‌خاک‌ورزی Minimum tillage	آبیاری کامل Full irrigation	47.81^{a}	42.41^{a}	36.32^{d}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	35.37^{d}	30.29^{bc}	32.60^{d}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ شیری‌شدن دانه Irrigation cutting at seed milky	43.35^{b}	26.31^{c}	43.03^{a-c}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه Irrigation cutting at seed dough	49.04^{a}	42.48^{a}	38.07^{b-d}
بی‌خاک‌ورزی No- tillage	آبیاری کامل Full irrigation	47.52^{a}	40.59^{ab}	37.90^{acd}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ گرده افشانی Irrigation cutting at pollination	39.35^{c}	28.61^{c}	37.35^{cd}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ شیری‌شدن دانه Irrigation cutting at seed milky	42.68^{bc}	36.61^{a-c}	34.09^{d}
	قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه Irrigation cutting at seed dough	47.71^{a}	42.20^{a}	35.92^{d}

حروف متفاوت روی اعداد هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین اعداد آن ستون در سطح احتمال پنج درصد است.

Average with different letters in each column are statistically different at a=5%



شکل ۳- آمار بارندگی روزانه (میلی متر) فروردین و اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹

Fig. 3- Daily precipitation (mm) during March and April of 2020

در طی سه سال پژوهش، قطع آبیاری در مرحلهٔ گرده‌افشانی و تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی موجب کاهش وزن هزاردانهٔ گندم به میزان ۱۹/۸، ۱۰/۸۲ و ۱۹/۶ درصد به‌ترتیب در تیمار آبیاری کامل، تیمارهای قطع آبیاری در مرحلهٔ شیری‌شدن و خمیری‌شدن دانه شد (جدول ۵). وزن هزاردانه یکی از اجزای مهم عملکرد دانه در گندم است که بسته به مرحلهٔ رشد گیاه، مدت زمان و شدت تنش تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اعمال تنش رطوبتی بعد از گلدهی، سبب کاهش وزن هزاردانه می‌شود که ممکن است ناشی از کاهش طول دوره پرشدن دانه باشد (Komeili *et al*. 2016; Mori *et al*., 2012).

عملکرد دانه

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که عملکرد دانه تحت تاثیر سامانهٔ خاک‌ورزی در سطح احتمال پنج درصد و نیز برهمکنش سال و قطع آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفته است (جدول ۴). عملکرد دانه در سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم به‌ترتیب ۱۴/۰ و ۲۰/۴ درصد کاهش دارد (جدول ۵). اگر بتوان افت کوتاه‌مدت عملکرد ناشی از اعمال خاک‌ورزی حفاظتی در گندم را پذیرفت، می‌توان در دراز مدت از بهبود عملکرد در شرایط مزرعه بهره برد (El Mekkaoui *et al*., 2023; Gholami *et al*., 2014). اثرهای مثبت بی‌خاک‌ورزی در طولانی‌مدت (حداقل ۵ سال زراعی) و به شرط رعایت اصول صحیح تناوب زراعی (کشت حداقل سه گیاه متعلق به خانواده‌های مختلف گیاهی و نه توالی دو گیاه مانند آنچه در این مطالعه بود) بر عملکرد گیاه قابل مشاهده خواهد بود (Asadi *et al*., 2016). تغییرات ناشی از تیمارهای خاک‌ورزی متفاوت (مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) معمولا از طریق دگرگونی ویژگی‌های خاک حاصل می‌شود که روند آهسته‌ای دارد و برای مشاهده تغییرات عملکرد باید مدت زمان بیش‌تری سپری شود (El Mekkaoui *et al*., 2023; Loveimi *et al*., 2011).

در دو سال اول آزمایش، اثر قطع آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌داری بوده است، در حالی‌که در سال سوم این اثر معنی‌دار نیست (جدول ۵). زیرا در سال سوم برخلاف دو سال اول آزمایش، بارش‌های مناسبی در اواخر فروردین ماه (۲۷/۱ میلی‌متر) و اوایل اردیبهشت ماه (۵۷/۹ میلی‌متر) بارید که تقریبا هم‌زمان با مرحلهٔ ظهور سنبلهٔ گندم بود (شکل ۳).

در سال اول و دوم پژوهش، تنش آبی در مراحل گرده‌افشانی باعث شده است عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ۳۷ و ۳۵ درصد نسبت به تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه کاهش یابد (جدول ۵). بیش‌ترین عملکرد دانهٔ گندم در تیمار آبیاری کامل (با میانگین دو ساله ۳/۷۵ تن در هکتار) به‌دست آمد که از نظر آماری با تیمار قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه (با میانگین دو ساله ۳/۶۴ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۵). حساس‌ترین مرحلهٔ نمو گندم به تنش خشکی، مرحله گلدهی (گرده‌افشانی) است که تنش در این مرحله، موجب کاهش قابل توجه عملکرد می‌شود (Wang *et al.*, 2014). دلیل حساس بودن دوره گلدهی را شاید بتوان این گونه توجیه کرد که تشکیل دانه‌های گرده و لقاح ممکن است هم-زمان با وقوع تنش زیاد آب به‌طور جدی مختل شود. بروز تنش رطوبتی در این دوره باعث کاهش دوره رشد گیاه، تسریع پیری و کاهش دورهٔ پرشدن دانه می‌گردد (Kapoor *et al.*, 2020; Hatzig *et al.*, 2018). با توجه به این‌که عملکرد دانهٔ گندم با اعمال تنش آبی در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه با تیمار آبیاری کامل اختلاف چندانی نداشته است، توصیه می‌شود هنگامی که آب محدود است، آبیاری در مرحلهٔ انتهای پرشدن دانه حذف شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی به‌دلیل خاک‌ورزی لایه سطحی خاک و مخلوط کردن بقایای گیاهی با خاک موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. با کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش خلل و فرج خاک در این سامانه، سرعت نفوذ آب به خاک افزایش یافته است. اگرچه نتایج حاکی از کاهش عملکرد دانهٔ گندم (حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بود، ولی اجرای شخم‌های عمیق و حفظ‌نشدن بقایای گیاهی در این سامانه منجر به کاهش مقدار کربن آلی خاک شده است. کاهش مادهٔ آلی خاک به تخریب ساختمان خاک و کاهش ذخیرهٔ رطوبت می‌انجامد. عملکرد دانهٔ گندم در تیمار قطع آبیاری در مرحلهٔ خمیری‌شدن دانه (با میانگین دو ساله ۳/۶۴ تن در هکتار) از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با عملکرد دانهٔ گندم در تیمار آبیاری کامل (با میانگین دو ساله ۳/۷۵ تن در هکتار) نداشته است. بنابراین وقتی آب محدود است، می‌توان آبیاری را در مرحلهٔ انتهای پرشدن دانه قطع کرد.

قدردانی

از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شیراز برای حمایت مالی از این پژوهش قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقالهٔ ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، سرقت ادبی و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافع تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Afzalinia, S., & Karami, A. (2018). Effect of conservation tillage on the soil properties and cotton yield in the corn- wheat rotation. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *41*(9), 129-137. https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.243058.664995.

Afzalinia, S., & Zabihi, J. (2014). Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, *137*, 1-6. https://doi.org/10.1016/j.still.2013.11.003.

Afzalinia, S., Karam, A., & Mohammad, D. (2018). 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., & Alavimanesh, S. M. (2012). *Comparing conservation and conventional tillage methods in corn–wheat rotation. Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering*, July 8-12, Valencia, Spain.

Anon. (2009). D3385–09 standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer. American Society for Testing and Materials (ASTM). West Conshohocken, PA, USA.

Asadi, M. E., Fizbakhsh, M. T., & Razzaghi, M. H. (2016). Study of silage maize yield and yield components under different managements of tillage. *Journal of Water and Soil Conservation*, *23*(3), 150-171. https://doi/org/10.22069/JWFST.2016.3191. (in Persian)

Babu, S., Singh, R., Avasthe, R., Kumar, S., Rathore, S. S., Ansari, M. A., Valente, D., & Petrosillo, I. (2023). Soil carbon dynamics under organic farming: Impact of tillage and cropping diversity. *Ecological Indicators*, *147*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109940.

Biberdzic, M., Barac, S., Lalevic, D., Djikic, A., Prodanovic, D., & Rajicic, V. (2019). Influence of soil tillage system on soil compaction and winter wheat yield. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *80*(1), 80-89. https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000100080.

Bogunovic, I., Pereira, P., Galic, M., Bilandzija, D., & Kisic, I. (2020). Tillage system and farmyard manure impact on soil physical properties, CO2 emissions, and crop yield in an organic farm located in a Mediterranean environment (Croatia). *Environmental Earth Sciences*, *79*(3), 70. https://doi/org/10.1007/s12665-020-8813-z.

Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). *Nitrogen-total.* In: A. L., Page., R. H. Miller., & D. R. Keeney. (Eds.), Methods of soil analysis, Part 2. 2nd Ed. American Society of Agronomy—Soil Science Society of America: Madison, WI, USA. ISBN 0-89118-072-9.

Cay, 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.

Ekhtiari, B., & Nabizadeh, A. (2018). Response of some new irrigated wheat line and cultivars to cut of terminal irrigation. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *14*(3), 33-46. (in Persian)

El Mekkaoui, A., Moussadek, R., Mrabet, R., Douaik, A., El Haddadi, R., Bouhlal, O., Elomari, M., Ganoudi, M., Zouahri, A., & Chakiri, S. (2023). Effects of tillage systems on the physical properties of soils in a semi-Arid region of morocco. *Agriculture*, *13*, 683. https://doi.org/10.3390/agriculture13030683.

Gholami, A., Asgari, H. R., & Zeinali, E. (2014). Effect of different tillage systems on soil physical properties and yield of wheat (Case study: Agricultural lands of Hakim Abad village, Chenaran township, Khorasan Razavi province). *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *2*(5), 1539-1522. Available at: http://www.ijabbr.com.

Hatzig, S. V., Nuppenau, J. N., Snowdon, R. J., & Schießl, S. V. (2018). Drought stress has transgenerational effects on seeds and seedlings in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *BMC plant biology*, *18*(1), 1-13. https://doi.org/10.1186/s12870-018-1531-y.

Huang, G., Chai, Q., Feng, F., & Yu, A. (2012). Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in arid Northwest

China. *Journal of Integrative Agriculture*, *11*(8), 1286-1296. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60125-7.

Jat, H. S., Datta, A., Sharma, P. C., Kumar, V., Yadav, A. K., Choudhary, M., Choudhary, V., Gathala, M. K., Sharma, D. K., Jat, M. L., Yaduvanshi, N. P. S., Gurbachan, S., & Mcdonald, A. (2017). Assessing soil properties and nutrient availability under conservation agriculture practices in a reclaimed sodic soil in cereal-based systems of North-West India. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *64*, 531-545. https//: doi.org/10.1080/03650340.2017.1359415.

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, *10*(16), 5692-5710. https://doi.org/10.3390/app10165692.

Komeili, H. R., Rezvani Moghaddam. P., Ghodsi. M., Nassiri Mahallati, M., & Jalal Kamal, M. R. (2016). Effect of different tillage methods and the rate of crop residues on yield, yield components and economic efficiency of wheat. *Cereal Research, 6*(3), 323-337. https//:doi.org/20.1001.1.22520163.1395.6.3.5.7.

Li, S., Ji-Kang, C., Fu, C., Li, F., & Hai-Lin, K. (2008). Characteristics of growth and development of winter wheat under Zero-Tillage in the north china plain. *Acta Agronomica Sinica*, *34*, 290-296. https//:doi.org/10.1016/S1875-2780(08)60013-9.

Loveimi, N., Safari, M., & Heidarpour, N. (2011). Comparison of the effects of no tillage, minimum tillage and conventional tillage on dry land wheat yield in pebbly field in tropical region. *Journal of Agricultural Machinery*, *1*(2), 110-121. https://doi.org/10.22067/jam.v1i2.11359.

Mori, S., Imam, Y., & Karimzade Sureshjani, H. A. (2012). Evaluation of drought resistance of wheat cultivars using yield, yield components and quantitative indicators of drought resistance. *Environmental Stresses in Crop Science, 5*(1), 19-32. https://doi.org/10.22077/escs.2012.111. (in Persian)

Nayel, M. H., Elneama, F. E. A., Dahab, M. H., Rahman, A., & El Mahdi, A. (2016). The effect of tillage system on soil physical properties in eddammer locality of northern Sudan. *Annals of Agricultural and Environmental Sciences*, *1*(02), 27-34. https://doi.org/10.20936/AAE/160203.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page (Ed.) Methods of soil analysis. Parts 2. Chemical and microbiological properties. 2nd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29.

Orzech, K., Wanic, M., & Załuski, D. (2021). The effects of soil compaction and different tillage systems on the bulk density and moisture content of soil and the yields of winter oilseed rape and cereals. *Agriculture*, *11*, 666. https://doi.org/10.3390/agriculture11070666.

Pask, A. (2012). Determining key developmental stages. In: A. Pask., J. Petragella., D. Mullan., & M. Reynolds. (Eds.) Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Mexico. ISBN: 978-970-648-182-5.

Rabbani, J., & Emam, Y. (2011). Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *1*(2), 65-78. https://doi.org/20.1001.1.22518517.1390.1.2.5.0.

Sarikhani Khorami, Sh., Kazemini, 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*(9), 1-17. https://doi.org/10.3390/su10093273.

Sarikhani Khorami, Sh., Kazemini, S. A., Eslami, A., Yassei, M., Amini, A. A., Zare, I., Khademhamzeh, H. R., Afzalinia, S., Alijani, Kh., Qaedsharaf, F., & Mino, M. J. (2022). Quantitative comparison of

conventional and conservation cropping systems under normal irrigation and drought stress conditions. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). No. 62761. (in Persian)

Sekaran, U., Sagar, K. L., & Kumar, S. (2021). Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems. *Soil Tillage Research, 208*, https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104885.

Shahzad, M., Farooq, M., Jabran, K., Yasir, T. A., & Hussain, M. (2016). Influence of various tillage practices on soil physical properties and wheat performance in different wheat-based cropping systems. *International Journal of Agriculture and Biology*, *18*, 821-829. https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0178.

Spera, S. T., Escosteguy, P. A. V., Klein, V. A., Denardin, J. E., & Santos, H. P. (2011). Constrictive physical attributes of a dystrophic Red Latosol under soil tillage and crops rotation systems. *Review of Agricultural*, *4*, 313-323. ISSN NO. 1984-2538.

Spera, S. T., Santos, H. P., Fontaneli, R. S., & Tomm, G. O. (2009). Livestock-crop integration effects on physical attributes of a soil under no-till. *The Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *33*, 129-136. https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100014.

Tobiasova, E., Lemanowicz, J., Debska, B., Kunkelova, M., & Sakac, J. (2023). The effect of reduced and conventional tillage systems on soil aggregates and organic carbon parameters of different soil types. *Agriculture*, *13*, 818. https://doi.org/10.3390/agriculture13040818.

Wang, X., Vignjevic, M., Jiang, D., Jacobsen, S., & Wollenweber, B. (2014). Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Experimental Botany*, *65*, 6441-6456. https://doi/org/10.1093/jxb/eru362.

Wozniak, A., & Rachon, L. (2020). Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties. *Agriculture*, *10*, 405. https://doi.org/10.3390/agriculture10090405.

Yadav, G. S., Datta, R., Pathan, Sh. I., Lal, R., Meena, R. S., Babu, S., Das, A., Bhowmik, S. N., Datta, M., Saha, P., & Mishra, P. K. (2017). Effects of conservation tillage and nutrient management practices on soil fertility and productivity of rice (*Oryza sativa* L.)–rice system in North Eastern region of India. *Sustainability*, *9*, 1-17. https://doi.org/10.3390/su9101816.

Zarei., M. Kazemeini., S. A. R., & Bahrani., M. J. (2015). The effect of tillage systems and water stress on wheat growth and yield. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), 793-804. https://doi/org/10.22067/GSC.V12I4.25621. (in Persian)

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.25/No.89/Spring 2024/P:49-68
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Tillage Systems Effect and Irrigation Cutting at Different Bread Wheat Growth Stages on Grain Yield and Soil Properties in Fars Province

Sh. Sarikhani Khorami*, S. Afzalinia and S. A. Kazemeini

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Seed and Plant Improvement Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran. Email: sh.sarikhani2017@gmail.com
Received: 25 December 2024, Accepted: 8 March 2025
https://doi.org/10.22092/amsr.2025.368082.1509

Abstarct

Conservation tillage is important system to achieve sustainable agriculture by conserving water and soil resources. This research was conducted in the form of randomized complete block design with split-plot arrangement in permanent plots with three replications during 2017-2020. Main plots were three-tillage practices including conventional tillage (CT), Minimum tillage (MT), and no tillage (NT), and subplots were irrigation cutting at pollination, milky, and seed dough developmental stages of bread wheat (Sirvan cultivar), along with full irrigation as control treatment. Several agronomic traits including day to physical maturity, harvest index, thousand grain weight, and grain yield were measured during growing season and after harvest. The physical and chemical soil properties including soil bulk density, water infiltration rate, organic carbon, and nitrate content were also measured. Results showed that soil bulk density and water infiltration rate were affected by tillage systems. MT system had lower soil bulk density at both soil layers (0-10 and 10-20 cm), and higher water infiltration (1.15 mm/min). Wheat grain yield under MT and NT systems was 14 and 20.4 % lower than that of CT system. Deep plowing and removing crop residue in CT system led to decrease soil organic matter by 6.2 and 13 % as compared to MT and NT, respectively. Since days to physiological maturity and wheat grain yield was not significantly different in irrigation cutting of dough stage and full irrigation treatments, irrigation can be stopped at the end of grain filling without significant reduction in wheat growth duration, and grain yield under water limitation.

Keywords: Bulk Density, Minimum Tillage, No-Tillage, Organic Matter, Water Stress, Wheat

© 2024 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)