شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/idaj.2021.355071.341

ارزیابی نیاز آبی و بهبود بهره‌وری بارش و عملکرد دانه گندم دیم در مدیریت‌های مختلف زراعی

رامین لطفی[1*]، هادی خرسندی[1]، غلامرضا ولیزاده[1]، نسرین صادقیان[2]

۱-موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

۲-دانش آموخته دکتری، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

به‌منظور بررسی میزان بهره‌وری بارش و عملکرد گندم دیم تحت مدیریت‌های مختلف تناوب و خاکورزی، آزمایشی در قالب طرح دوبارخرد شده برپایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت چهار سال زراعی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه اجرا شد. سه تیمار تناوبی (علوفه-گندم، نخود-گندم و گلرنگ-گندم) در کرت‌های اصلی، سه سطح خاک ورزی (مرسوم، کم خاکورزی و بی خاکورزی) در کرت‌های فرعی و دو رقم گندم دیم (باران و آذر۲) در کرت‌های فرعی-فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تناوب، خاکورزی و رقم اثر معنی‌داری روی بهره‌وری بارش داشتند. رقم باران در هر دو تیمار کم خاکورزی و بی خاکورزی به ترتیب با مقادیر ۰/۷۱ و ۰/۷۰ کیلوگرم در متر مکعب بیشترین بهره‌وری بارش را داشت. با گذشت سال‌های اجرای آزمایش، میزان بهره‌وری بارش در تیمار بی خاکورزی (کشت مستقیم) به میزان **۳۲** درصد بهبود پیدا کرد. بیشترین محتوای نسبی آب برگ، تبادلات گازی برگ و شاخص برداشت از رقم باران در تناوب علوفه و تحت سیستم بدون خاکورزی حاصل شد. حداکثر عملکرد دانه در تناوب ماشک-گندم، نخود-گندم و گلرنگ-گندم به ترتیب به میزان **۲۲۳۱**، **۲۱۰۵** و **۱۹۹۱** کیلوگرم در هکتار بدست آمد. با افزایش ذخیره رطوبت در خاک و بهبود بهره‌وری بارش در شرایط کشت حفاظتی، عملکرد دانه گندم در کم خاکورزی ۵ درصد و در کشت مستقیم ۸ درصد نسبت به خاکورزی مرسوم برتر بود. بنابراین، در اقلیم سردسیر دیم توسعه کشت حفاظتی گندم در تناوب علوفه و نخود پاییزی و در شرایط بدون خاکورزی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تناوب، خاکورزی، نیاز آبی، گندم دیم

* نگارنده مسئول: *r.lotfi1988@gmail.com* تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷

مقدمه

تولید محصولات زراعی تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های خاک، مدیریت زراعی، آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز، درجه مکانیزاسیون و شرایط اقلیمی قرار دارد (Liu, 2009). بر اساس آخرین آمار وزارت جهاد کشاورزی گندم دیم در سطحی افزون بر ۴ میلیون هکتار در کشور کشت می‌شود (آمارنامه ۹۸-۱۳۹۷). میزان و توزیع بارش و مدیریت زراعی بیشترین نقش را در تولید محصولات زراعی دارند. استفاده بهینه از منابع تولید، فناوری‌های نوین، مکانیزاسیون و روش‌های مدیریت زراعی که بهره‌وری استفاده از منابع را افزایش دهد، می‌تواند پایداری تولید محصولات دیم را بهبود بخشد. تولید پایدار محصولات کشاورزی در آینده، مستلزم افزایش کارآیی استفاده از منابع طبیعی در کنار به حداقل رساندن فشار بر محیط زیست می‌باشد (قربانی و دیبایی، ۱۳۸۹).

امروزه کشاورزی پایدار دارای جایگاه ویژه‌ای در دنیا است. کشاورزی پایدار، فعالیتی علمی و مبتنی بر اصول اکولوژیک است که هدف اصلی آن ایجاد حالت تعادل و رسیدن به پایداری در تولید می‌باشد. در واقع کشاورزی پایدار را می‌توان نوعی فرآیند بهینه‌سازی دانست که با استفاده بهینه از منابع طبیعی بتواند نیاز غذایی بشر را تامین کرده و کیفیت محیط زیست را بالا ببرد (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۲). کشاورزی حفاظتی یکی از جنبه‌های مهم کشاورزی پایدار است که منجر به افزایش بهره‌وری نهاده‌هایی طبیعی و انرژی می‌شود. کشاورزی حفاظتی بر اساس حداقل جابجایی خاک، تناوب زراعی و حفظ بخشی از بقایا در جهت سودآوری پایدار، بنا گردیده است (Hobbs *et al.*, 2008). کشاورزی حفاظتی خاک را از فرسایش بادی و آبی محافظت می‌کند (Fuentes *et al.*, 2009)، خصوصیات فیزیکی (Martınez *et al.*, 2008)، شیمیایی (Guzman *et al.*, 2006) و بیولوژیکی (Fernandez *et al.*, 2010) خاک را بهبود می‌بخشد، باعث صرفه جویی در زمان در تهیه بستر بذر شده و باعث حفظ و ذخیره رطوبت خاک می گردد (Verch *et al.*, 2006) و هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد (Uzun *et al.*, 2012). در مقابل، خاک ورزی مداوم علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، بر ویژگی‌های خاک، رشد محصول و محیط زیست تأثیر منفی دارد (Huang *et al.*, 2012).

امروزه کمبود آب مشکل اصلی اغلب مناطق جهان به ویژه کشورهایی در شرایط آب و هوایی خشک و نمیه خشک می‌باشد. مدیریت آب بارش در خاک و مصرف آن در گیاه تاثیر زیادی بر شدت تبخیر و تعرق دارد (Meena *et al.*, 2018). یکی از دیدگاه‌های اثرگذار بر میزان بهره‌وری بارش و عملکرد گیاهان دیم، کشت حفاظتی به منظور حفظ رطوبت درخاک همراه با افزایش بهره‌وری بارش است. در افزایش بهره‌وری آب باران بهینه‌سازی کلیه مدیریت‌های زراعی از جمله مصرف کود (مقدار، زمان و منبع کود)، کاشت (آماده سازی زمین، نوع شخم و ادوات، آرایش کاشت) و گیاه (رقم، میزان و کیفت بذر و زمان کاشت، خصوصیات گیاه‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه و پتانسیل تولید) مد نظر قرار می‌گیرد. تناوب

زراعی از طریق تداوم پوشش گیاهی خاک، کارآیی بیشتر مصرف آب، حفظ عناصر غذایی خاک، افزایش مواد آلی خاک و ثبات خاکدانه‌ها، کاهش آفات و بیماری‌ها و کنترل بهتر علف‌های هرز باعث افزایش راندمان تولید و عملکرد می‌گردد (Azimzadeh 2015). در این پژوهش بر اساس بررسی صورت گرفته ارتباط میزان تغییرات رطوبت خاک در الگوهای مختلف خاکورزی و تناوب با برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان و عملکرد دانه تعیین شد تا نیاز آبی و میزان بهره‌وری بارش در دو رقم گندم دیم تحت روش‌های مختلف مدیریت زراعت حفاظتی و مرسوم مورد ارزیابی قرار گیرد و مزایای کشاورزی حفاظتی در شرایط دیم اقلیم سرد مشخص شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر روش‌های مختلف مدیریت زراعی بر میزان بهره‌وری بارش و عملکرد دانه ارقام گندم دیم یک آزمایش دوبار خرد شده بر پایه طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت ۴ سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۹) در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور-مراغه اجرا شد. سه تناوب مختلف (نخود-گندم، علوفه-گندم، گلرنگ-گندم) در کرت‌های اصلی، سه سطح خاک‌ورزی مرسوم (گاوآهن برگرداندار)، کم‌خاک‌ورزی (قلمی غلتک‌دار) و بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) در کرت‌های فرعی و دو رقم گندم دیم (باران و آذر۲) در کرت‌های فرعی-فرعی قرار گرفتند. ایستگاه مراغه در ارتفاع ۱۷۳۰ متری از سطح دریا قرار دارد که از یک اقلیم نیمه خشک سرد هم مرز با فراسرد برخوردار است. بافت خاک آن از نوع لومی و لومی رسی می باشد. میزان بارندگی بلند مدت ایستگاه مراغه ۳۵۰/۷۸ میلی‌متر، مجموع روزهای زیرصفر بلند مدت ۱۳۱ روز و تعداد روز زیر صفر در بهار ۱۱ روز می‌باشد. داده‌های هواشناسی در طول اجرای آزمایش نشان داد که بیشترین مقدار بارش مربوط به سال زراعی اول (۹۷-۹۶) با متوسط ۵۳۳/۶ میلی‌متر و حداقل مقدار بارش در سال دوم زراعی (۹۸-۹۷) به میزان ۲/ ۳۶۵ میلی‌متر بود. از نظر توزیع بارش در فصول مختلف نیز به‌ترتیب با مقدار ۲۳۸/۴ میلی‌متر در فصل زمستان، ۱۶۳/۷ میلی‌متر در فصل بهار و با ۱۸۲ میلی‌متر در بهار رخ داد (شکل۱). متوسط درجه حرارت هوا در سال زراعی ۹۶-۹۷ برابر با ۱۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد، سال زراعی ۹۷-۹۸ برابر با ۶/۱۶ درجه سانتی‌گراد و در سال زراعی ۹۸-۹۹ برابر با ۸/۹۳ درجه سانتی‌گراد بود. بارندگی و درجه حرارت دو عامل بسیار مهم آب و هوایی هستند که با اثر روی رطوبت و دمای خاک می‌توانند عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم را تحت تاثیر قرار دهند. تغییرات وضعیت هوشناسی محل اجرای آزمایش در شکل ۱ آورده شده است. این آزمایش در دو فاز گندم و محصولات تناوبی آن با انجام تیمارهای خاکورزی در هر دو فاز اجرا گردید و در هر سال محصولات تناوبی و گندم جایگزین یکدیگر می‌شدند. سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ بعنوان سال اجرای تیمارهای تناوبی بود به طوریکه در این سال ماشک، گلرنگ و نخود به عنوان فاز محصولات تناوبی و در سطح مشابه آن‌ها گندم کشت گردید

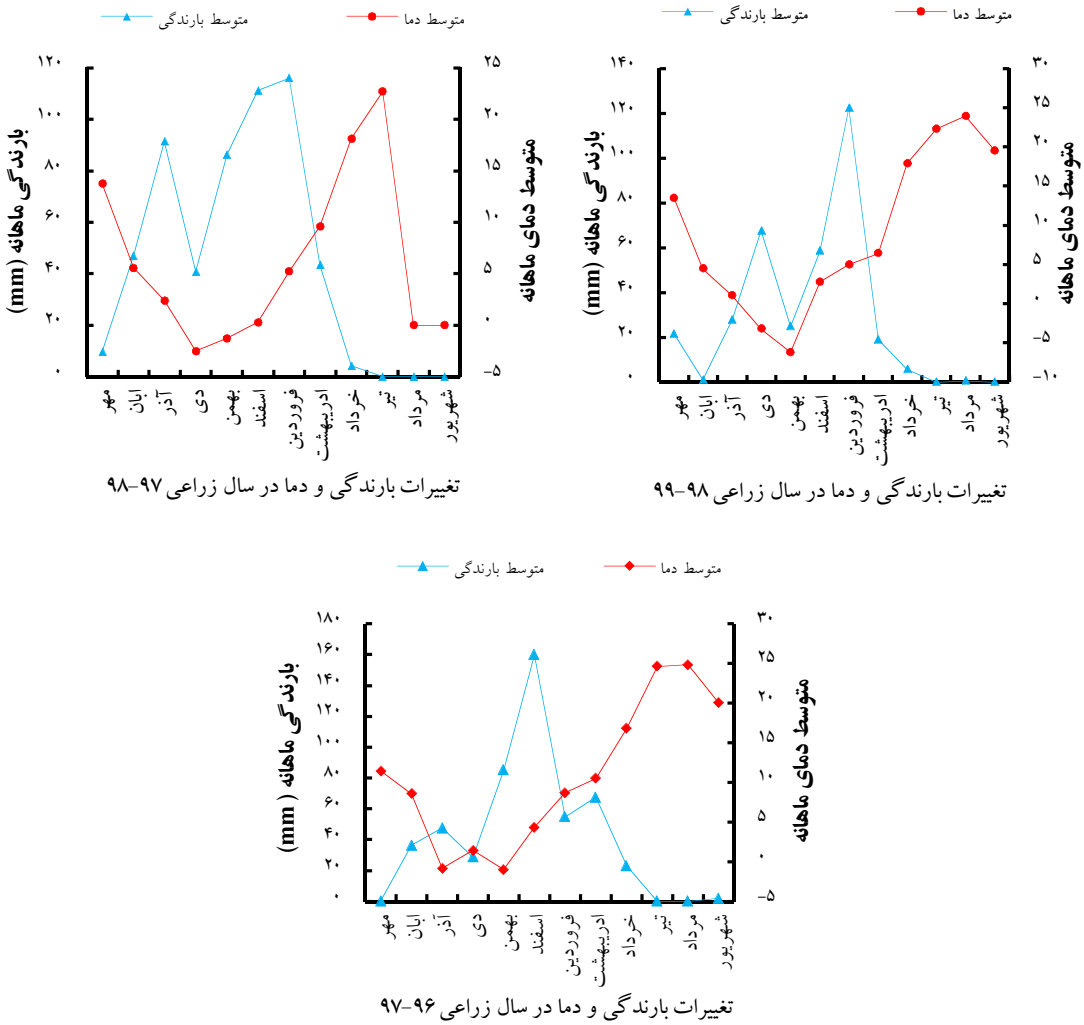
و از سال دوم با جابجایی محصولات تناوبی و گندم یادداشت برداری صفات انجام شد. میزان بذر مصرفی گندم (ارقام باران و آذر ۲) بر اساس تراکم ۳۸۰ دانه در متر مربع، تراکم نخود (رقم سارال) ۳۰ دانه در متر مربع، تراکم علوفه (ماشک رقم گل سفید) ۲۵۰ دانه در متر مربع و تراکم گلرنگ (رقم فرامان) ۵۰ دانه در متر مربع در نظر گرفته شد. کاشت نخود و علوفه همزمان با گندم در نیمه اول مهر انجام گرفت و گلرنگ قبل از شروع یخبندان زمستانی (آذر ماه) به صورت انتظاری کشت گردید. تغذیه کودی گندم بصورت ۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در پاییز همزمان با کشت و ۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در بهار همزمان با بارندگی به صورت سرک و به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل همزمان با کشت در پاییز، برای نخود و علوفه بصورت ۲۰ کیلوگرم نیتروژن و فسفر خالص به ترتیب از منابع اوره و سوپر فسفات تریپل همزمان با کشت در پاییز و برای گلرنگ ۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره و ۲۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپر فسفات تریپل در پاییز استفاده شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک برگ با استفاده از علف کش‌های گرانستار و تاپیک در گندم و کنترل علف‌های هرز باریک برگ در محصولات تناوبی با علفکش سوپرگالانت و کنترل علف‌های هرز پهن برگ به‌صورت وجین دستی انجام گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ الی ۲۵ سانتی‌متری قبل از اجرای آزمایش

pH	درصد اشباع	مواد خنثی شونده	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	شن	سیلت	رس
			(درصد)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			(درصد)	
۷/۸	۵۲/۰	۷/۴	۰/۷۲	۰/۱۴	۱۰/۱	۶۶۱	۴۰	۴۳	۱۷

بعد از پایان سال چهارم اجرای آزمایش از هر کرت فرعی-فرعی نمونه‌های خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی متری تهیه گردید و درصد رطوبت وزنی آنها تعیین گردید. نیاز آبی گیاهان و میزان تبخیر تعرق با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT انجام گرفت، زیرا در حال حاضر دقیق‌ترین فرمول اندازه‌گیری میزان تبخیر و تعرق فرمول پنمن مانتیس است که اساس کار نرم افزار بر معادله مذکور می‌باشد. اطلاعات سه بخش مربوط به خاک، گیاه و اقلیم در این نرم افزار قرار داده شده و نیاز آبی گیاهان برآورد گردید. برای تعیین میزان تعرق و تبادلات گازی گیاهان در مرحله گلدهی از دستگاه پرومتر (AP4 leaf porometer, ADC, UK) استفاده شد. قبل از هر بار اندازه‌گیری، با به کارگیری صفحه مخصوص مشبک و بر اساس دستورالعمل توصیه شده توسط کارخانه سازنده، دستگاه واسنجی گردد. نحوه کار به این ترتیب بود که ابتدا کاغذ مخصوص واسنجی

با چند قطره آب مقطر مرطوب گردیده و سپس آب اضافی آن به وسیله دستمال کاغذی جذب و توسط چسب نواری به روی صفحه واسنجی چسبانده می‌شد. پس از قرارگیری این صفحه در قسمت دماغه دستگاه، قرائت هدایت روزنه‌ای صفحه واسنجی در ۶ مکان مخصوص که دارای سوراخ‌های متفاوت از نظر اندازه هستند صورت پذیرفت و در ادامه منحنی آن توسط دستگاه به صورت خودکار رسم گردید. هر موقع خطای کمتر از ۱۰ درصد حاصل می‌شد بر اساس دستور العمل منحنی واسنجی مورد پذیرش واقع می گردد.



شکل ۱- تغییرات دما و بارندگی در طی اجرای آزمایش

بعد از واسنجی، با قرار دادن دماغه دستگاه (که دارای سنسور است) به پهنک برگ اندازه گیری صورت پذیرفت. برای تعیین تفاوت شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در مرحله گلدهی از دستگاه گرین سیکر استفاده شد. به محض اینکه دکمه مربوط به حسگر آن فشار داده شود، دستگاه نور قرمز و مادون قرمز را از خود ساطع می‌کند و میزان انعکاس نور برگشت داده شده از روی گیاه

را اندازه گیری می‌کند. تا زمانیکه حسگر روشن باشد، به نمونه گیری برروی سطح گیاهی ادامه می‌دهد. میزان انعکاس نور و عددی که دستگاه نمایش می‌دهد نشانگر قدرت و توان گیاه است (Ballester *et al.*, 2019).

محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC) با نمونه برداری از برگ پرچم در مرحله گلدهی با استفاده از فرمول زیر تعیین گردید (Barr and Weatherley, 1962)

$$RWC\ (\%) = (FW-DW)/(TW-DW)\times 100$$

پس از رسیدگی محصول ۵ نمونه به اندازه یک متر مربع از هر کرت برداشت شد و عملکرد و اجزای عملکرد دانه تعیین گردید. داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزارهای آماری GenStat12 تجزیه و مقایسه میانگین به روش دانکن صورت گرفت. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها نرمال بودن آن‌ها با استفاده از روش کولموگروف-اسمیرنوف توسط نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

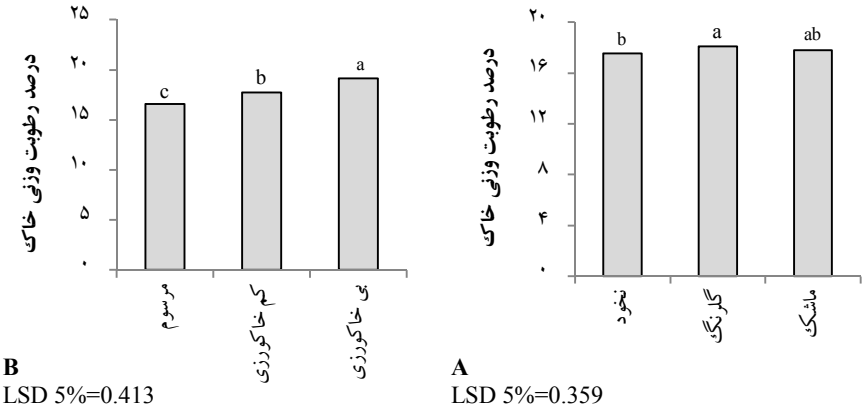
نتایج و بحث

ارزیابی تغییرات درصد رطوبت وزنی خاک در آزمایش نشان داد که تناوب، خاکورزی و اثر متقابل تناوب در ژنوتیپ و خاکورزی در ژنوتیپ روی درصد رطوبت خاک معنی‌دار بود (جدول۲). در سال آخر اجرای آزمایش، میزان رطوبت خاک در سیستم تناوبی گلرنگ-گندم ۱۸/۱۲ درصد بود و اختلاف زیادی با سایر الگوهای تناوبی نداشت. در سیستم بدون خاکورزی درصد رطوبت خاک به میزان ۱۹/۱۶ درصد ثبت شد و نسبت به شرایط کم خاکورزی و مرسوم به ترتیب ۸ درصد و ۱۵ درصد بالاتر بود (شکل۲). بنظر می‌رسد به دلیل ساختار ریشه گلرنگ توانسته است مقدار نفوذ رطوبت را تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک افزایش دهد.

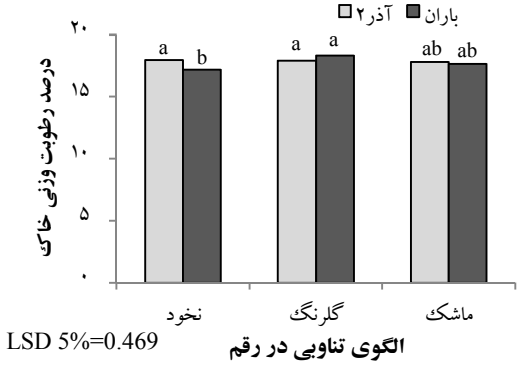
جدول ۲–تجزیه واریانس درصد رطوبت خاک در سیستم‌های مختلف تناوب و خاکورزی (سال آخر اجرای آزمایش)

منبع تغییرات	درجه آزادی	رطوبت خاک
تکرار	۲	۰/۰۸۱
تناوب	۲	۱/۳۸۶*
خطای اصلی	۴	۰/۱۵۱
خاکورزی	۲	۲۹/۹۰**
تناوب × خاکورزی	۴	۰/۰۵۸ns
خطای فرعی	۱۲	۰/۳۲۴
ژنوتیپ	۱	۰/۲۷۴ ns
تناوب × ژنوتیپ	۲	۱/۷۰۷*
خاکورزی × ژنوتیپ	۲	۰/۱۱۷ ns
تناوب × خاکورزی × ژنوتیپ	۴	۰/۱۲۷ ns
خطای کل	۱۸	۰/۳۰۱

ns، *، **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۲– تغییرات درصد رطوبت خاک تحت تاثیر الگوی تناوبی (A) و سیستم خاکورزی (B)



شکل ۳– تغییرات درصد رطوبت خاک تحت تاثیر الگوی تناوب در رقم

هر دو رقم باران و آذر ۲ در الگوهای مختلف تناوبی از نظر اثر روی میزان رطوبت خاک یکسان عمل کردند و با اختلاف ۶ درصدی در الگوی تناوبی گلرنگ، رقم باران درصد رطوبت خاک بیشتری داشت (شکل ۳). بنابر اظهار لی و همکاران (۲۰۰۹) خاکورزی حفاظتی و باقی گذاشتن بقایا روشی موثر برای بهبود ساختمان و حاصلخیزی خاک بوده و در ضمن باعث کاهش تبخیر آب از سطح خاک می‌شود. کشاورزی حفاظتی در اغلب تحقیقات منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی به ویژه نفوذپذیری آب، ذخیره آب، سطح اکسیژن و ساختار خاک می‌شود (برونیک و لای، ۲۰۰۵؛ سوماسوندارام و همکاران، ۲۰۱۹).

بهبود ویژگی‌های خاک منجر به بهبود محیط رشد ریشه، چرخه عناصر و تشکیل کربن آلی خاک می‌شود (باکر و همکاران، ۲۰۰۷). سوماسوندارام و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در شرایط کشاورزی حفاظتی میزان رطوبت خاک به طور معنی‌داری در لایه ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک افزایش می‌یابد. به طور مشابهی در ایران، اصغری میدانی و همکاران (۱۳۹۲) روی گلرنگ دیم، خرسندی و همکاران (۱۳۹۵) روی گندم دیم و اسکندری و فیضی (۱۳۹۶) روی گندم دیم گزارش کردند که در سیستم خاکورزی حفاظتی میزان حفظ و ذخیره رطوبتی خاک افزایش می‌یابد. تجزیه واریانس اثرات تیمارهای مورد مطالعه بر بهره‌وری بارش، نیاز آبی، عملکرد دانه و

سایر ویژگی‌های فیزیولوژیکی نشان داد که بر اساس جدول تجزیه واریانس مرکب سه سال زراعی، اثرات چهارجانبه سال، تناوب، خاکورزی و رقم بر شاخص نرمال سبزینگی و نیاز آبی در سطح احتمال پنج درصد و بر بهره‌وری بارش، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرات سه‌جانبه تناوب، خاکورزی و رقم بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد و بر محتوای رطوبت نسبی، تعرق، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مطابق جدول تجزیه واریانس، اثرات سه‌جانبه سال، خاکورزی و رقم بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل سال، تناوب و رقم بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بدست آمد. اثرات دوجانبه خاکورزی و رقم، تناوب و رقم بر هدایت روزنه ای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

در هر سه سیستم تناوبی کمترین میزان ارتفاع گیاه هر دو رقم گندم مربوط به سیستم بدون خاکورزی بود. بین دو رقم از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری دیده نشد. بیشترین ارتفاع گیاه در رقم باران (۹۹/۳ سانتی‌متر) و آذر۲ (۹۸/۵ سانتی‌متر) در تناوب علوفه-گندم تحت خاکورزی مرسوم حاصل شد (جدول ۴). در سال اول آزمایش به ویژه در تناوب ماشک-گندم ارتفاع هر دو رقم باران و آذر ۲ نسبت به سایر تیمارهای تناوبی بیشتر بود (شکل a۴). همچنین در سال اول آزمایش ارتفاع ارقام گندم در خاکورزی مرسوم نسبت به حفاظتی بیشتر بود ولی، در سال سوم از این نظر بین سیستم‌های خاکورزی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل b۴). وانگ و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که رشد گیاه در اثر استفاده از گاوآهن برگرداندار در مقایسه با نظام بدون خاکورزی افزایش می‌یابد. ولی اغلب محققان بر بهبود رشد و ویژگی‌های گیاه در سیستم کشاورزی حفاظتی در بلند مدت بر اثر بهبود ویژگی‌های خاک اشاره کرده اند (مینا و همکاران، ۲۰۱۸؛ سوماسوندارام و همکاران ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان تعرق در ارقام باران و آذر۲ در سیستم بدون خاکورزی در تناوب ماشک-گندم به‌ترتیب برابر با ۰/۸ و ۰/۷۹، در تناوب نخود-گندم به‌ترتیب برابر با ۰/۷۸ و ۰/۷۹و در تناوب گلرنگ-گندم به‌ترتیب برابر با ۰/۷۷ و ۰/۷۶ میلی‌متر و نسبت به سایر تیمارهای خاکورزی بیشتر بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد افزایش ذخیره رطوبت در سیستم بدون خاکورزی (شکل ۲) توانسته مقدار آب بیشتری برای تعرق گیاهان تامین کند. بیشترین محتوای رطوبت نسبی برگ در تیمار بدون خاکورزی در هر سه سیستم تناوبی نسبت به دو خاکورزی مرسوم و کم خاکورزی بیشتر بود. بیشترین محتوای رطوبت نسبی در رقم باران در تناوب با ماشک تحت سیستم بدون خاکورزی با مقدار ۰/۶۰ درصد مشاهده شد (جدول ۴). در هر دو رقم آذر ۲ و باران تناوب گلرنگ-گندم و ماشک-گندم در سال اول آزمایش در شرایط بدون خاکورزی و کم خاکورزی نسبت به شرایط مرسوم از شاخص سبزینگی نرمال شده بیشتری برخوردار بودند. در سال دوم آزمایش در هر سه سیستم تناوبی، این شاخص در شرایط خاکورزی حفاظتی نسبت به

مرسوم از برتری برخوردار بود. در سال سوم آزمایش نیز شرایط بدون خاکورزی نسبت به کم خاکورزی و آن نیز نسبت به مرسوم برتر بود. شاخص نرمال سبزینگی رقم باران در تناوب با ماشک-گندم و تحت سیستم بدون خاکورزی با مقدار ۰/۶۵ طی سال دوم بیشترین میزان این شاخص ثبت گردید (جدول ۵).

میزان یا نرخ تبادلات گازی روزنه گندم در تناوب ماشک و نخود در هر سه سیستم خاکورزی نسبت به تناوب گلرنگ بیشتر بود. با توجه به شکل a۵ می‌توان اذعان نمود که در خاکورزی مرسوم و کم خاکورزی اثرات تناوب نخود-گندم و ماشک-گندم روی تبادلات گازی یکسان بوده ولی در سیستم بدون خاکورزی اثر تناوب ماشک بیشتر از نخود و گلرنگ است. رقم باران در هر سه سیستم خاکورزی نسبت به رقم آذر ۲ از میزان تبادلات گازی روزنه بیشتری برخوردار بود و در مجموع میزان تبادلات گازی هر دو رقم در سیستم بی‌خاکورزی بیشتر مشاهده شد (شکل b۵). همچنین نتایج نشان دادکه نرخ تبادلات گازی روزنه در هر سه الگوی تناوب نخود-گندم، گلرنگ-گندم و ماشک-گندم برای رقم باران بیشتر از رقم آذر ۲ است. روش بدون شخم به علت ثبات بستر خاک و کاهش هدر رفت آب و وجود آب قابل دسترس بیشتر در خاک باعث تأمین میزان آب بیشتری در برگ می‌گردد که نتیجه آن را می‌توان در افزایش پتانسیل آب برگ مشاهده کرد. همچنین کاهش فشردگی خاک موجب افزایش تخلخل و فضای بیشتر برای ذخیره-سازی آب در خاک می‌شود (شکل ۲ و ۳). به نظر می‌رسد در شرایط بدون خاکورزی با افزیش رطوبت خاک و دسترسی گیاهان به میزان نسبی بیشتر رطوبت باعث شده است تا محتوای رطوبت نسبی گیاهان افزایش یابد و گیاهان از میزان تعرق بالاتری برخوردار باشند. بطور مشابهی گزارش شده است که افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ منجر به افزایش هدایت روزنه ای و افزایش دوام کلروفیل گیاه می‌شود (Fuentes *et al.*, 2009). عملیات خاکورزی ویژگی‌های فیزیکی خاک و ظرفیت نگهداری آب را تحت تاثیر قرار می‌هد (Wang *et al.*, 2007).

بقایای بیشتر موجب کاهش فرسایش، امکان نفوذ بیشتر آب به درون خاک، کاهش رواناب، کاهش تبخیر و حفظ رطوبت و بهبود وضعیت آب در گیاه می‌شود. این نتایج با یافته‌های باکر و همکاران (۲۰۰۷) همخوانی دارد. آنها گزارش کردند که افزایش آب قابل دسترس گیاه نخستین پیامد کشت بدون شخم است و حفظ بقایا تبخیر را کاهش و نفوذپذیری را افزایش می‌دهد. فشردگی خاک تأثیر منفی بر نفوذپذیری آب در خاک، رشد ریشه و عملکرد محصول دارد (عبداله و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش نفوذپذیری، شرایط مطلوب رطوبتی در خاک، موجب بهبود وضعیت پتانسیل آب گیاه می‌شود. افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش نورساخت، رشد و توسعهٔ برگ‌ها و توسعهٔ بیشتر و سریعتر سایه‌انداز جامعهٔ گیاهی، افزایش توانایی گیاه برای جذب نور و کاهش هدررفت نور را به دنبال دارد.

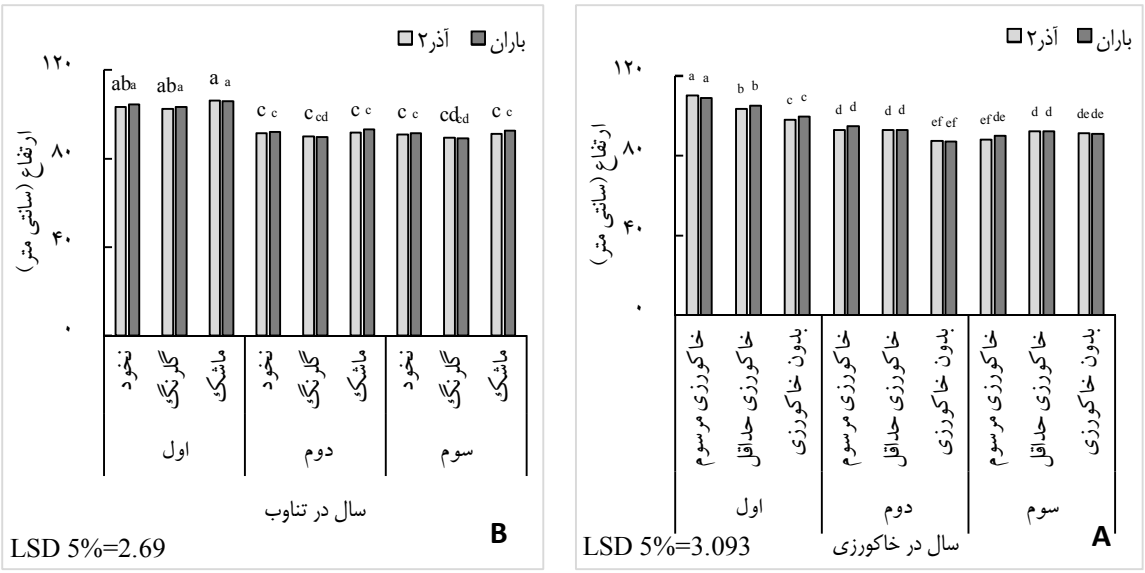
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس آزمایش دوبارخرد شده مرکب برای اثر تناوب، روش‌های مختلف خاکورزی و ارقام گندم بر بهره‌وری بارش و ویژگی‌های مورد مطالعه گندم در سه سال زراعی

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	محتوای رطوبت نسبی	هدایت روزنه ای	تعرق	شاخص نرمال پوشش کانوپی	نیاز آبی	بهره‌وری بارش	وزن دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت
سال (Y)	۲	۳۱۵۹*	۳۹/۸ ns	۱/۲۶ ns	۰/۰۴ ns	۱۵۲ ns	۲۷۹۵۷*	۶۳۵/۴۰*	۵۰/۱۶*	۳۶۱۲*	۲۸۷۲۵*	۹۱/۲۹*
خطای Y	۶	۳۹/۳۲	۲۰۴/۸	۴۴/۱	۰/۰۸	۱۹/۵۴	۰/۳۲	۱/۲۰	۳/۱۶	۱۹	۱۲۴/۳۳	۰/۸۲
تناوب (R)	۲	۱۰۱/۵*	۲۴/۱۵*	۳۸/۵*	۰/۰۲*	۱۸/۶۴**	۲/۳۲ ns	۴۶/۷۷*	۲۹/۵۷*	۷۸۱*	۴۸۷/۲۸*	۹/۱۷*
Y*R	۴	۲/۹۳۲**	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۴۴*	۵/۰۳*	۴/۳۷*	۱/۲۴*	۷۹*	۲۰/۷۸ ns	۰/۹۲*
خطا	۱۲	۰/۸۷۳	۰/۱۳	۰/۱۹۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۱۳	۳	۸/۴۹	۰/۰۴
خاکورزی (T)	۲	۳۹۱/۱*	۴۷/۳۱*	۹۳/۲۰*	۱/۵۸*	۱۰۳ ns	۱۳/۳۵ ns	۶/۹۸ ns	۵۰/۶۶*	۲۲۵ ns	۳۷۰۸ ns	۰/۲۸ ns
Y*T	۴	۲۰۹/۱*	۱۸/۸۱*	۶/۸۶*	۰/۰۳**	۲۸/۹۵*	۶/۹۱*	۲۳/۸۲*	۴/۸۳*	۳۷۴*	۳۲۸۲**	۱/۵۴*
R*T	۴	۲/۰۵۲ ns	۰/۵۴**	۶/۴۷*	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۲۲ ns	۹/۵۴ ns	۰/۴۱ ns	۲/۳۵ ns	۶ ns	۶۷/۴۰*	۰/۳۵*
Y*R*T	۸	۱/۲۲۸ ns	۰/۰۰۰۱ ns ژ	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۵۵ ns	۸/۶۷*	۰/۱۹ ns	۰/۹۳*	۳ ns	۲۲/۳۷ ns	۰/۰۷ ns
خطا	۳۶	۶/۰۱۵	۰/۱۶	۰/۶۴	۰/۰۰۹۷	۱/۰۶	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۳۱	۳	۱۸/۲۸	۰/۰۶
رقم (G)	۱	۱۳/۶۳*	۱/۶۰*	۷۳/۱۶*	۰/۰۰۲۴*	۲/۹۳*	۵۸۲/۱**	۳۵/۶۶*	۲۰/۰۵*	۵۷۰**	۱۲۰/۶۰**	۹/۵۲*
Y*G	۲	۰/۰۲۴ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۵/۶۸*	۶۴/۱۱**	۱/۸۹*	۱/۳۸*	۱۵*	۱/۵۴ ns	۰/۵۶*
R*G	۲	۱/۵۸۰ ns	۰/۶۸*	۱/۷۰**	۰/۰۰۱۲*	۰/۸۲*	۰/۲۴ ns	۰/۸۷*	۰/۷۲*	۱۳**	۰/۳۰ ns	۰/۲۹**
T*G	۲	۰/۹۳۲ ns	۰/۵۰**	۱/۷۸**	۰/۰۰۰۴ ns	۱/۴۶*	۰/۳۷ ns	۰/۵۵*	۰/۹۶**	۹**	۱/۱۲ ns	۰/۱۳**
Y*R*G	۴	۳/۵۲۴*	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۷ ns	۰/۸۷*	۰/۰۸ ns	۰/۰۵ ns	۰/۹ ns	۱/۶۰ ns	۰/۰۴ ns
Y*T*G	۴	۱۲/۲۶*	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۳ ns	۱/۶۷*	۰/۰۴ ns	۰/۱۳ ns	۰/۵ ns	۲/۳۲ ns	۰/۰۱ ns
R*T*G	۴	۲/۰۷۱**	۰/۹۱*	۰/۲۹ ns	۰/۰۰۰۹*	۰/۵۹ ns	۱/۷۴ ns	۰/۲۲*	۰/۴۰ ns	۳ ns	۱۷/۱۲*	۰/۰۹*
Y*R*T*G	۸	۰/۸۷۶ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۳۸*	۱/۳۴*	۰/۱۳**	۰/۶۵**	۲**	۲/۳۷ ns	۰/۰۵ ns
خطا	۵۴	۰/۵۶۱	۰/۱۰۵۶	۱/۲۶	۰/۰۰۰۲	۱۵۲	۰/۳۰	۰/۰۵۳	۰/۲۳	۰/۸	۳/۲۳	۰/۰۳

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

جدول۴- مقایسه میانگین اثرات سه گانه تناوب، خاکورزی و رقم بر ارتفاع ، تعرق، محتوای نسبی رطوبت، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت

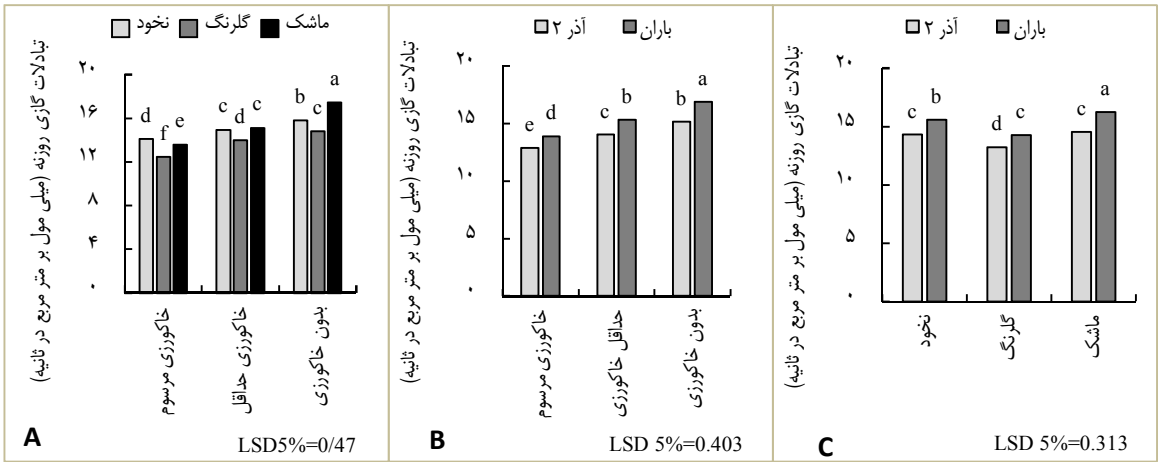
تناوب	خاکورزی	رقم	ارتفاع (سانتی متر)	تعرق (میلی متر)	محتوای نسبی رطوبت (درصد)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت
نخود	خاکورزی مرسوم	باران	۹۷/۶	۰/۴۵	۰/۵۳	۷۱۰۳/۱	۰/۳۲
		آذر۲	۹۶/۸	۰/۴۴	۰/۵۲	۷۰۱۵/۴	۰/۲۹
	حداقل خاکورزی	باران	۹۷/۰	۰/۶۰	۰/۵۳	۶۷۷۶/۰	۰/۳۲
		آذر۲	۹۶/۴	۰/۶۱	۰/۵۴	۶۷۳۱/۴	۰/۳۰
	بدون خاکورزی	باران	۹۳/۰	۰/۷۸	۰/۵۸	۶۶۳۰/۸	۰/۳۲
		آذر۲	۹۲/۰	۰/۷۹	۰/۵۸	۶۵۸۹/۷	۰/۳۰
گلرنگ	خاکورزی مرسوم	باران	۹۶/۷	۰/۴۰	۰/۴۸	۷۰۴۹/۲	۰/۳۰
		آذر۲	۹۵/۸	۰/۴۳	۰/۵۱	۶۹۳۷/۴	۰/۲۹
	حداقل خاکورزی	باران	۹۵/۴	۰/۵۸	۰/۵۱	۶۶۷۱/۰	۰/۳۰
		آذر۲	۹۴/۷	۰/۶۰	۰/۵۲	۶۶۷۸/۴	۰/۲۹
	بدون خاکورزی	باران	۹۰/۲	۰/۷۶	۰/۵۶	۶۴۶۳/۷	۰/۳۰
		آذر۲	۹۱/۲	۰/۷۷	۰/۵۷	۶۴۲۰/۴	۰/۲۹
ماشک	خاکورزی مرسوم	باران	۹۹/۳	۰/۴۵	۰/۵۳	۷۲۲۱/۶	۰/۳۳
		آذر۲	۹۸/۵	۰/۴۷	۰/۵۵	۷۲۳۳/۹	۰/۳۰
	حداقل خاکورزی	باران	۹۷/۷	۰/۶۳	۰/۵۷	۶۷۹۱/۶	۰/۳۴
		آذر۲	۹۷/۱	۰/۶۳	۰/۵۶	۶۶۹۵/۰	۰/۳۲
	بدون خاکورزی	باران	۹۴/۴	۰/۸۰	۰/۶۰	۶۷۵۱/۱	۰/۳۳
		آذر۲	۹۳/۵	۰/۷۹	۰/۵۹	۶۶۶۵/۱	۰/۳۲
LSD(5 %)			۱/۴۷	۰/۰۵۵	۰/۰۱	۸۹/۸۹	۰/۰۱۰۷



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات سه گانه روش‌های خاکورزی در رقم در سال (A)، اثرات سه‌گانه تناوب در رقم در سال (B) در سه سال زراعی

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات چهار گانه سال، تناوب، خاکورزی و رقم بر شاخص سبزینگی نرمال، بهره‌وری بارش و نیاز آبی در سه سال زراعی

سال	تناوب	خاکورزی	شاخص نرمال سبزینگی		بهره‌وری بارش (کیلوگرم در متر مکعب)		نیاز آبی (میلی متر)	
			آذر۲	باران	آذر۲	باران	آذر۲	باران
		خاکورزی مرسوم	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۵۲	۲۴۰/۴	۲۴۱/۶
	نخود	حداقل خاکورزی	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۴۷	۲۳۹/۲	۲۴۱/۲
		بدون خاکورزی	۰/۵۲	۰/۵۷	۰/۴۲	۰/۴۴	۲۳۳/۲	۲۳۶/۱
		خاکورزی مرسوم	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۴۹	۲۴۰/۵	۲۴۱/۷
اول	گلرنگ	حداقل خاکورزی	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۴۱	۰/۴۲	۲۳۶/۴	۲۴۱/۵
		بدون خاکورزی	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۴۰	۰/۴۱	۲۳۹/۳	۲۴۱/۱
		خاکورزی مرسوم	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۷	۲۳۸/۵	۲۴۱/۲
	ماشک	حداقل خاکورزی	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۵۲	۲۳۸/۶	۲۴۱/۳
		بدون خاکورزی	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۲۳۸/۸	۲۴۱/۰
		خاکورزی مرسوم	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۴۴	۰/۴۸	۲۳۳/۶	۲۳۸/۸
	نخود	حداقل خاکورزی	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۴۳	۰/۴۶	۲۳۴/۳	۲۳۶/۵
		بدون خاکورزی	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۴۰	۰/۴۳	۲۳۴/۱	۲۳۶/۵
		خاکورزی مرسوم	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۴۴	۰/۴۶	۲۳۴/۱	۲۳۶/۵
دوم	گلرنگ	حداقل خاکورزی	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۴۲	۰/۴۳	۲۳۴/۰	۲۳۶/۵
		بدون خاکورزی	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۳۷	۰/۳۹	۲۳۳/۷	۲۳۶/۵
		خاکورزی مرسوم	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۴۶	۰/۵۰	۲۳۴/۵	۲۳۶/۵
	ماشک	حداقل خاکورزی	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۴۵	۰/۴۸	۲۳۴/۲	۲۳۶/۵
		بدون خاکورزی	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۴۱	۰/۴۳	۲۳۴/۲	۲۳۶/۵
		خاکورزی مرسوم	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۶۴	۱۹۵/۰	۲۰۱/۴
	نخود	حداقل خاکورزی	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۶۲	۰/۶۷	۱۹۵/۱	۲۰۱/۴
		بدون خاکورزی	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۷۰	۱۹۵/۱	۲۰۱/۴
		خاکورزی مرسوم	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۵۷	۰/۶۱	۱۹۵/۳	۲۰۱/۴
سوم	گلرنگ	حداقل خاکورزی	۰/۵۰	۰/۴۷	۰/۶۱	۰/۶۲	۱۹۴/۵	۲۰۱/۴
		بدون خاکورزی	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۶۵	۱۹۵/۱	۲۰۱/۴
		خاکورزی مرسوم	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۶۰	۰/۶۶	۱۹۵/۵	۲۰۱/۴
	ماشک	حداقل خاکورزی	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۶۴	۰/۷۰	۱۹۵/۳	۲۰۱/۴
		بدون خاکورزی	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۷۱	۱۹۴/۶	۲۰۱/۴
LSD(5 %)			۰/۰۶۶		۰/۰۲۳		۰/۲۱۳	



شکل ۵- تغییرات تبادلات گازی روزنه تحت تاثیر اثر متقابل خاکورزی در تناوب (A)، خاکورزی در رقم (B) و تناوب در رقم (C)

این نتایج با گزارش ورهالست و همکاران (۲۰۰۱) مطابقت دارد که بیان داشتند در مقایسهٔ دراز مدت شخم متداول و بدون شخم با مدیریت بقایا در تناوب ذرت-گندم، گندم در بدون شخم با حفظ بقایا سرعت رشد و عملکرد بیشتری دارد.

هدایت روزنه ای و نرخ تعرق در هر سه سال در شرایط مرسوم کمترین میزان خود را داشته و در شرایط خاکورزی حفاظتی و به ویژه در تیمار کشت مستقیم بیشتر نرخ هدایت روزنه ای و تعرق را داشتند. اختلاف هدایت روزنه ای و تعرق بین دو تیمار خاکورزی مرسوم و بی خاکورزی به ترتیب در سال اول ۱۴ و ۶۳ درصد و در سال سوم ۳۱ و ۱۱۸ درصد بود (جدول ۶). عملکرد بیولوژیکی در سال اول و دوم در تیمار خاکورزی مرسوم بیشتر از تیمارهای خاکورزی حفاظتی بود در حالیکه در سال سوم کمترین عملکرد بیولوژیکی در خاکورزی مرسوم بود. در سال سوم اجرای آزمایش، عملکرد بیولوژیکی در کشت مستقیم حدود ۵ درصد بیشتر از خاکورزی مرسوم بود (جدول ۶). به نظر می‌رسد با گذشت زمان در سیستم بی خاکورزی با حفظ بقایا به ویژه در تناوب علوفه-گندم با افزایش ماده آلی خاک و از طرفی با کاهش فشردگی و حفظ ساختمان خاک در مقابل تردد و کاربرد ماشین‌آلات، افزایش رطوبت و همچنین بهبود حاصلخیزی نیتروژن خاک (تناوب لگوم-غلات) از دلایل رشد بهتر گیاه و افزایش وزن دانه‌ها باشد. موادآلی می‌تواند ۹۰-۸۰ درصد وزن خود آب جذب کند در صورتیکه تحت همان شرایط مواد رسی ۱۵ تا ۲۰ درصد آب جذب می‌نماید (Arshad *et al,* 1999). موسوی فضل و همکاران (۲۰۰۴) در آزمایش خود دریافتند که خاکورزی مرسوم با گاوآهن برگرداندار منجر به ایجاد بیشترین تراکم و رشد ریشه در مرحله پنجه‌زنی گندم می‌شود. خسروانی و همکاران (۱۳۸۲) نیز نتایج مشابهی گرفتند. بیشترین و کمترین عملکرد دانه و کاه، تعداد خوشه در مترمربع و تراکم به ترتیب مربوط به خاک ورزی با گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاکورزی بود (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳). سایرمحققین در رابطه با اثرات بلند مدت

تناوب‌های زراعی مختلف و روش‌های متفاوت خاکورزی بیانگر افزایش عملکرد گندم در شرایط دیم به میزان ۷۸ درصد در روش خاکورزی حفاظتی نسبت به روش خاکورزی مرسوم است (El-Mejahed and Sander, 1998; Wang et al., 2011). نتایج آزمایش هوبز و همکاران (۲۰۰۸) مشخص کرده است که کشت بدون شخم موجب کاهش هدر رفت آب خاک ناشی از تبخیر شده و عملکرد افزایش می‌یابد.

جدول ۶- تغییرات هدایت روزنه ای، تعرق و عملکرد بیولوژیکی تحت تیمارهای مختلف خاکورزی در سه سال اجرای آزمایش

سال	خاکورزی	هدایت روزنه ای (میلی مول بر متر مربع در ثانیه)	تعرق (میلی متر)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)
اول	مرسوم	۱۳/۷۴	۰/۴۶۵۶	۸۴۲۷/۹
	کم خاکورزی	۱۴/۵۵	۰/۵۹۶۱	۷۳۵۱/۳
	بی خاکورزی	۱۵/۶۷	۰/۷۶۲۲	۷۱۲۶/۱
دوم	مرسوم	۱۳/۶۶	۰/۵۰۶۶	۶۷۳۶/۲
	کم خاکورزی	۱۴/۴۷	۰/۶۳۷۱	۶۴۹۸/۶
	بی خاکورزی	۱۵/۵۹	۰/۸۰۳۲	۶۲۲۸/۸
سوم	مرسوم	۱۲/۷۷	۰/۳۶۶۶	۶۱۱۶/۲
	کم خاکورزی	۱۵/۰۶	۰/۶۰۳۲	۶۳۲۱/۹
	بی خاکورزی	۱۶/۷۸	۰/۸۰۰۲	۶۴۰۵/۵
LSD 5%		۳/۱۳	۰/۱۳	۱۷۲/۲

گوپتا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که عملکرد دانه گندم به میزان **۵۳۹۳**، **۵۰۵۶** و **۴۵۳۷** کیلوگرم در هکتار به ترتیب در شرایط بدون خاکورزی با حفظ بقایا، بدون خاکورزی بدون بقایا و خاکورزی مرسوم حاصل شد. وانگ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که عملکرد دانه در سیستم بدون خاکورزی در سال‌های خشک ۱۹ درصد بیشتر و در سال‌های تر ۷ درصد میانگین عملکرد پایین دارند. سوماسوندرام و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کشاورزی حفاظتی در سطح کرت‌های آزمایشی منجر به افزایش عملکرد به دلیل افزایش کارایی مصرف آب و عناصر غذایی شده است. در شرایط نبود بارش کافی و تنش خشکی، کارایی مصرف آب باران در شرایط حفاظتی به دلیل کاهش میزان تبخیر آب افزایش یافته و و در کوتاه مدت منجر به افزایش عملکرد دانه شده است (ووگل، **۱۹۹۳**؛ روزینامودزی و همکاران، ۲۰۱۱).

بالاترین عملکرد بیولوژیکی در هر دو رقم باران و آذر۲ در تناوب با ماشک تحت خاکورزی مرسوم به ترتیب برابر با **۷۲۲۱/۶** و **۷۲۳۳/۹** کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در سیستم خاکورزی مرسوم در هر سه تناوب، ارقام گندم از عملکرد بیولوژیکی بالاتری برخوردار بودند (جدول ۴). تولید زیست توده در گیاه بطور مستقیم مرتبط با میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی است و تحت تاثیر

مدیریت‌های زراعی قرار دارد (Zibilske *et al.*, 2002). برونیک (۲۰۰۵) گزارش کردند که ظرفیت نگهداری آب در نظام بدون شخم و حفظ بقایا در مقایسه با حذف بقایا بیش از ۱/۱ برابر است.

جدول۷- مقایسه میانگین اثرات چهار جانبه سال، تناوب، خاکورزی و رقم بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم طی سه سال زراعی

سال	تناوب	خاکورزی	وزن هزار دانه (گرم)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	
			آذر۲	باران	آذر۲	باران
اول	نخود	خاکورزی مرسوم	۳۵/۳۳۳	۳۵/۳۳۳	۲۱۰۴/۰	۲۲۰۸/۷
		حداقل خاکورزی	۳۵/۰۰۰	۳۵/۰۰۰	۱۸۹۹/۰	۲۰۱۵/۳
		بدون خاکورزی	۳۵/۶۶۷	۳۶/۳۳۳	۱۸۰۴/۳	۱۸۹۱/۷
	گلرنگ	خاکورزی مرسوم	۳۴/۰۰۰	۳۴/۶۶۷	۱۹۸۹/۰	۲۰۸۸/۰
		حداقل خاکورزی	۳۴/۳۳۳	۳۴/۶۶۷	۱۷۵۱/۰	۱۸۱۹/۰
		بدون خاکورزی	۳۴/۰۰۰	۳۴/۳۳۳	۱۷۳۲/۰	۱۷۵۵/۷
	ماشک	خاکورزی مرسوم	۳۶/۰۰۰	۳۵/۶۶۷	۲۳۴۲/۳	۲۴۴۲/۳
		حداقل خاکورزی	۳۴/۶۶۷	۳۶/۰۰۰	۲۱۵۸/۰	۲۲۱۱/۷
		بدون خاکورزی	۳۸/۰۰۰	۳۸/۰۰۰	۲۱۰۱/۳	۲۱۶۴/۰
دوم	نخود	خاکورزی مرسوم	۳۴/۰۰۰	۳۴/۳۳۳	۲۲۰۵/۳	۲۴۲۲/۳
		حداقل خاکورزی	۳۴/۳۳۳	۳۵/۰۰۰	۲۱۵۴/۳	۲۳۰۷/۰
		بدون خاکورزی	۳۵/۶۶۷	۳۶/۳۳۳	۱۹۹۸/۰	۲۱۳۷/۷
	گلرنگ	خاکورزی مرسوم	۳۳/۳۳۳	۳۴/۰۰۰	۲۱۹۳/۰	۲۳۱۴/۳
		حداقل خاکورزی	۳۳/۰۰۰	۳۴/۶۶۷	۲۱۲۶/۷	۲۱۵۰/۰
		بدون خاکورزی	۳۴/۳۳۳	۳۵/۳۳۳	۱۸۳۳/۰	۱۹۷۱/۳
	ماشک	خاکورزی مرسوم	۳۴/۳۳۳	۳۵/۰۰۰	۲۲۹۵/۳	۲۴۷۳/۰
		حداقل خاکورزی	۳۴/۶۶۷	۳۵/۰۰۰	۲۲۲۷/۳	۲۳۹۸/۳
		بدون خاکورزی	۳۵/۳۳۳	۳۷/۳۳۳	۲۰۵۶/۷	۲۱۵۹/۷
سوم	نخود	خاکورزی مرسوم	۳۵/۳۳۳	۳۵/۶۶۷	۱۹۰۰/۳	۲۱۱۷/۳
		حداقل خاکورزی	۳۶/۰۰۰	۳۶/۶۶۷	۲۰۴۵/۳	۲۱۹۸/۰
		بدون خاکورزی	۳۸/۳۳۳	۳۹/۰۰۰	۲۱۷۶/۰	۲۳۱۵/۷
	گلرنگ	خاکورزی مرسوم	۳۴/۶۶۷	۳۵/۳۳۳	۱۸۸۸/۰	۲۰۰۹/۳
		حداقل خاکورزی	۳۴/۶۶۷	۳۶/۳۳۳	۲۰۱۷/۷	۲۰۴۱/۰
		بدون خاکورزی	۳۷/۰۰۰	۳۸/۰۰۰	۲۰۱۱/۰	۲۱۴۹/۳
	ماشک	خاکورزی مرسوم	۳۵/۶۶۷	۳۶/۳۳۳	۱۹۹۰/۳	۲۱۶۸/۰
		حداقل خاکورزی	۳۶/۳۳۳	۳۶/۶۶۷	۲۱۱۸/۳	۲۲۸۹/۳
		بدون خاکورزی	۳۸/۰۰۰	۴۰/۰۰۰	۲۲۳۴/۷	۲۳۳۷/۷
LSD(5 %)			۱/۰۷۲		۹۰/۸۷	

جدول ۸. مقایسه میانگین اثرات دوجانبه سال در تناوب، سال در خاکورزی و سال در رقم برای شاخص برداشت گندم دیم

شاخص برداشت							
سال	نخود	گلرنگ	ماشک	خاکورزی مرسوم	خاکورزی حداقل	بدون خاکورزی	آذر۲	باران
اول	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶
دوم	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۴
سوم	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۴
LSD 5%=۰/۰۱۳۵			LSD 5%=۰/۰۱۳۶			LSD 5%=۰/۰۱۳۴		

حداکثر شاخص برداشت در رقم باران در تناوب با علوفه-گندم تحت سیستم بدون کشت به میزان ۰/۳۴ ثبت شد (جدول ۴). میزان شاخص برداشت در سال دوم و سوم به طور مشابهی نسبت به سال اول بیشتر بود. گندم در تناوب با ماشک نسبت به دو محصول دیگر از شاخص برداشت بالاتری برخوردار بود. در سال اول بین سیستم‌های خاکورزی اختلاف معنی‌داری از نظر شاخص برداشت دیده نشد ولی در سال سوم آزمایش شاخص برداشت در شرایط بدون خاکورزی نسبت به شرایط کم خاکورزی و بدون خاکورزی بیشتر بود. در سال دوم و سوم آزمایش میزان شاخص برداشت در رقم باران نسبت به رقم آذر ۲ بیشتر بود (جدول ۸).

بهره‌وری بارش در هر سه سیستم تناوبی طی دو سال اول آزمایش و حتی در تناوب نخود-گندم در هر سه سال آزمایش بین سناریوهای مختلف خاکورزی تفاوت معنی‌داری نشان نداد و در برخی موارد شرایط مرسوم نسبت به حفاظتی برتر بود. در سال سوم آزمایش به ویژه در تناوب گلرنگ-گندم و ماشک-گندم بهره‌وری بارش در سیستم حفاظتی نسبت به مرسوم افزایش نشان داد. حداکثر بهره‌وری بارش در سال سوم زراعی در رقم باران به‌ترتیب با مقادیر ۰/۷۱ و ۰/۷۰ کیلوگرم در متر مکعب تحت سیستم بدون خاکورزی و حداقل خاکورزی مشاهده شد (جدول ۵). به احتمال قوی، دلیل آن مربوط به افزایش میزان تخلخل خاک و بالطبع افزایش رطوبت قابل استفاده برای گیاه باشد.

نتیجه گیری کلی

ذخیره رطوبتی خاک در شرایط بی خاکورزی نسبت به کم خاکورزی و مرسوم بیشتر بود و در الگوهای تناوبی گلرنگ-گندم از نظر درصد رطوبت وزنی بهتر بود که این موضوع به ساختار متفاوت ریشه این گیاه نسبت به علوفه و نخود نسبت داده می‌شود. میزان تعرق، تبادلات گازی روزنه، محتوای رطوبت نسبی برگ و شاخص سبزینگی کانوپی در سیستم بدون شخم (کشت مستقیم) با گذشت زمان بهبود یافتند و در نتیجه در سیستم کشاورزی حفاظتی گیاهان از عملکرد بیولوژیک و دانه بیشتری برخوردار بودند. نیاز آبی گیاهان تحت تاثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت و متناسب با تغییرات سالانه آب و هوایی تغییر یافت. در سال آخر اجرای آزمایش بهره‌وری بارش در رقم باران تحت سیستم کشت مستقیم (حفاظتی) و کم خاکورزی به ترتیب با مقادیر ۰/۷۱ و ۰/۷۰

کیلوگرم در مترمکعب بیشتر میزان را نسبت به سایر تیمارهای آزمایش نشان داد. توسعه کشاورزی حفاظتی به ویژه کشت مستقیم در اراضی دیم کشور علاوه بر پایداری عملکرد دانه در گندم دیم، در بلند مدت می‌تواند در حفظ منابع آب و خاک نیز بسیار مهم باشد.

منابع

اسکندری ایرج، فیضی اصل ولی. ۱۳۹۶. تأثیر خاکورزی حفاظتی بر برخی خواص فیزیکی خاک و عملکرد محصول در تناوب گندم- ماشک در منطقه سردسیر دیم. ماشین‌های کشاورزی ۷ (۲): ۴۵۱-۴۶۷.

اصغری میدانی جلیل، کریمی اسماعیل، پورمحمد علیرضا. ۱۳۹۲. تاثیر روشهای مختلف خاکورزی و کاشت بر رطوبت خاک و عملکرد گلرنگ در تناوب با گندم در مناطق دیم. نشریه دانش آب و خاک ۲۳(۱): ۲۳۷-۲۴۵.

حسینی مهدی، موحدی نائینی سید علیرضا، شمس آبادی حسینعلی. ۱۳۹۲. اثر روش‌های مختلف خاکورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک، عملکرد و اجزاء عملکرد گندم. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۷(۴): ۵۱۹-۵۰۹.

خرسندی‌هادی، فردوسی رویا، عبدالهی عبدالوهاب. ۱۳۹۹. ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های خاکورزی و مصرف کود نیتروژن در گندم دیم. زراعت دیم ایران ۹ (۱): ۹۱-۱۰۸.

خسروانی علی، زابلستانی مسعود، شریفی احمد، محسنی منش احمد، شهربانونژاد مسعود، همت عباس. ۱۳۸۲. بررسی امکان خاکورزی سطحی در کشت گندم آبی. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورز . ۱۷(۴): -۴۵ ۲۹.

قربانی مهدی، دیبایی محمد حسین. ۱۳۸۹. تاثیر خاک ورزی سنتی در زراعت گندم آبی در جهت تولید پایدار. کنفرانس ملی حفاظت از تنوع زیستی و دانش بومی، کرمان، ایران. ۶ صفحه

کوچکی علیرضا، نصیری محلاتی مهدی، مرادی روح الله، منصوری حامد. ۱۳۹۲. پهنه بندی وضعیت توسعه کشاورزی پایدار در ایران و ارائه راهبردهای پایداری. نشریه دانش کشاورزی پایدار. ۳۳ (۴): ۱۷۹-۱۹۷.

Abdalla M, Jones M, Ambus P, Williams M. 2010. Emissions of Nitrous Oxide from Irish Arable Soils: Effects of Tillage and Reduced N Input. Nutrient Cycling in Agroecosystems 86: 53–65.

Arshad MA, Farnzluebbers AJ, Gill KS. 1999. Improving barley yield on an acidic Boralf with crop rotation and zero tillage. Soil and Tillage Research 50(1):47-53.

Aykas E, Yalçın H, Çakır E. 2003. Conservation tillage and direct seeding at the present time. Workshop of conservation tillage and direct seeding. İzmir, TURKEY pp: 1-8.

Azimzadeh SM. 2015. Soil physical properties after two years application of organic fertilizers in Safflower (*Carthamus tinctorius* L) planting. International Journal of Farming and Allied Sciences 4: 341-35

Baker JM, Ochsner TE, Venterea RT, Griffis TJ. 2007. Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know. Agriculture, Ecosystems & Environment 118: 1–5.

Ballester C, Brinkhoff J, Quayle WC, Jornbucke J. 2019. Monitoring the Effects of Water Stress in Cotton using the Green Red Vegetation Index and Red Edge Ratio. Remote sensing 11: 837.

Baudron F, Corbeels M, Monicat F, Giller KE. 2009. Cotton expansion and biodiversity loss in African savannahs, opportunities and challenges for conservation agriculture: A review paper based on two case studies. Biodiversity and Conservation18: 2625-2644.

Barr HD, Weatherley PE. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. Aust. J. Biol. Sci. 15:413-428.

Bojarszczuk J. 2021. The Influence of Soil Tillage System on Changes in Gas Exchange Parameters of *Pisum sativum* L. Agronomy 11: 1000.

Bronick CJ, Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124, 3–22.

Chaplin J, Jenane C, Lueders M. 1988. Drawbar energy use for tillage operations on loamy sand. Transactions of the Asae 31, 1692.

Derpsch R, Sidiras N, Roth CH. 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Parana, Brazil. Soil & Tillage Research 8: 253-263.

Drijber RJWD, Parkhurst AM, Lyon D. 2000. Changes in soil microbial community structure with tillage under long-term wheat-fallow management. Soil Biology & Biochemistry 32: 1419-1430.

El-Mejahed K, Sander DH.1998. Rotation, tillage and fertilizer effects on Wheat-based rain fed crop rotation in semiarid Morocco. Proceeding of third European conference of grain legumes. In: Opportunities for high quality, healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Spain.

Fernandez R, Quiroga A, Zorati C, Noellemayer E. 2010. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-tillage and conventional tillage. Soil & Tillage Research 109: 103-109.

Fuentes M, Govaerts B, De Leon F, Hidalgo C, Dendooven L, Sayre KD, Etchevers J. 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. European Journal of Agronomy 30: 228-237.

Greenland DJ. 1981. Soil management and degradation. Soil Science 32: 301-322.

Gupta R, Gopal Ravi, Jat ML, Jat RK, Sidhu HS, Minhas PS, Malik RK. 2010. Wheat Productivity in Indo-Gangetic Plains of India During 2010: Terminal Heat Stress and Mitigating Strategies. Conservation agriculture newsletter, Getting agriculture to work for people and the environment, PACA, 1st floor, NASC complex, DPS Marg, Pusa, New Delhi- 110012, India.

Guzman J, Godsey CB, Pierzynski GM, Whitney DA, Lamond RE. 2006. Effects of tillage and nitrogen management on soil chemical and physical properties after 23 years of continuous sorghum. Soil & Tillage Research 91: 199- 206.

Hernanz JL, Girth VS, Cerisola C. 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. Soil & Tillage Research 35: 183-198.

Hobbs PR, Sayre K, Gupta R. 2008.The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society 363: 543–555.

Huang GB, 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 in Arid Northwest China. Journal of Integrative Agriculture 11: 1286-1296.

Kassam AH, Friedrich T, Derpsch R, Kienzle J. 2014.Worldwide adoption of Conservation Agriculture 6th World Congress on Conservation Agriculture, 22-27 June 2014, Winnipeg, Canada.

Kosutic S, Filipovic D, Gospodaric Z, Husnjak S, Kovacev I, Copec K. 2005. Effects of different soil tillage systems on yields of maize, winter wheat and soybean on albic luvisol in north-west Slavonia. Journal of Central European Agriculture 6: 241-248.

Kuesters J, Lammel J. 1999. Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. European Journal of Agronomy 11: 35-43.

Lampurlanes J, Angas P, Cantero-Martinez C. 2001. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions. Field Crops Research 69: 27-40.

Li LL, Huang GB, Zhang RZ, Bill B, Guangdi L, Kwong YC. 2011. Benefits of conservation agriculture on soil and water conservation and its progress in China. Agricultural Sciences in China 10: 850–859.

Liu J. 2009. A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations. Environmental Modelling & Software 24: 411-422.

Marakoglu T, Carman K. 2010. Energy balance of direct seeding applications used in wheat production in middle Anatolia. African Journal of Agricultural Research 5: 988-992.

Martınez E, Fuentes JP, Silva P, Valle S, Acevedo E. 2008. Soil physical properties and wheat root growth under no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. Soil & Tillage Research 99: 232- 244.

Meena RK, Vashisth A, Das TK, Meena SL. 2018. Effect of tillage practices on productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). Annals of Agricultural Sciences 39 (1): 12-19.

Mousavi Fazl M, Barzegar A, Asudar M. 2004. Effect of tillage methods on wheat root development and density, In: 9th Soil Science Congress of Iran. Soil Conservation and Watershed Research Institute P: 320-321.

Mousavi Fazl M, Barzegar A, Asudar, M. 2004. Effect of tillage methods on wheat root development and density, In: 9th Soil Science Congress of Iran. Soil Conservation and Watershed Research Institute P 320-321.

Nemecek T, Dubois D, Huguenin-Elie O, Gaillard G. 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. Agricultural Systems 104: 217- 232.

Rusinamhodzi L, Corbeels M, Wijk MTV, Rufino MC, Nyamangara J, Giller KE. 2011. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. Agronomy for Sustainable Development 31:657.

Somasundaram J, Salikram M, Sinha NK, Mohanty M, Chaudhary RS, Dalal RC, Mitra NG, Blaise D, Coumar MV, Hati KM, Thakur JK, Neenu S, Biswas AK, Patra AK, Chaudhari SK. 2019. Conservation agriculture effects on soil properties and crop productivity in a semiarid region of India. Soil Research 57: 187–199.

Somasundaram J, Sinha NK, Dalal RC, Lal R, Mohanty M, Naorem AK, Hati KM, Chaudhary RS, Biswas AK, Patra AK, Chaudhari SK. 2020. No-Till Farming and Conservation Agriculture in South Asia – Issues, Challenges, Prospects and Benefits. Critical Reviews in Plant Sciences 3 (39): 236-279.

Unger PW.1997. Tillage effects on winter wheat production where the irrigated and dryland crops are alternated. Agronomy Journal 69: 944-950.

Uzun B, Yol E, Furat Ş, Topakç M, Çanakç M, Karayel D. 2012. The effects of different tillage methods on the post-wheat second crop sesame: seed yield, energy budget, and economic return. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 36: 399-407.

Verch G, Kachele H, Holtl K, Richter C, Fuchs C. 2009. Comparing the profitability of tillage methods in Northeast Germany-a field trial from 2002 to 2005. Soil & Tillage Research 104: 16-21.

Vogel H. 1993. Tillage effects on maize yield, rooting depth and soil water content on sandy soils in Zimbabwe. Field Crop Research 33: 367-384.

Wang X, Dai K, Zhang D, Zhang X, Wang Y, Zhao Q, Cai D, Hoogmoed WB, Oenema O. 2011. Dryland maize yields and water use efficiency in response to tillage/crop stubble and nutrient management practices in China. Field Crop Research 120: 47-57.

Wang XB, Cai DX, Hoogmoed WB, Oenema O, Perdok UD. 2007. Developments in Conservation Tillage in Rainfed Regions of North China. Soil and Tillage Research 93: 239–250.

Yalcin H, Cakir E. 2006. Tillage effects and energy efficiencies of subsoiling and direct seeding in light soil on yield of second cropa corn for silage in Western Turkey. Soil & Tillage Research 90: 250-255.

Zibilske LM, Bradford JM, Smart JR. 2002. Conservation Tillage Induced Changes in Organic Carbon, Total Nitrogen and Available Phosphosrus in a Semi-Arid Alkaline Subtropical Soil. Soil and Tillage Research 66: 153–163.

DOI: 10.22092/idaj.2021.355071.341

Evaluation of water requirement and improvement of rainfall productivity and grain yield of dryland wheat genotypes in different crop management

Ramin Lotfi*[1], Hadi Khorsandi[1], Ghiolam RezaValizadeh[1], Nasim Sadeghian[2]

1- *Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran*
2- *Graduate of PhD Student, Soil Science Departmaent, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran*

Abstract

To evaluate rainfall productivity and grain yield of dryland wheat genotypes under different rotation and tillage managements, a split-split plot experiment based on RCBD with three replications was conducted in Dryland Agricultural Research Institute for 4 years (2016-20). Three crop rotations (chickpea-wheat, safflower-wheat, and vetch-wheat) were located in main plots and three different tillage methods (conventional, minimum, and zero tillage) were considered in subplots and two Baran and Azar 2 wheat genotypes were considered in sub-sub plots. Results indicated tillage and crop rotation treatments significantly affect precipitation efficiency. Maximum rainfall productivity was recorded for Baran in zero and minimum tillage systems with forage (vetch) rotation by 0.71 and 0.7 kg/m3. Rainfall productivity under zero tillage treatment during three years of the experiments increased from 0.45 up to 0.67 (approximately 32 %). The highest relative water content, stomatal conductance and harvest index were recorded from Baran in vetch rotation under zero tillage treatment. The highest grain yield was belonged to the vetch, chickpea and safflower rotations by 2231, 2105 and 1991 kg/ha, respectively. With increasing soil water content and improving rainfall productivity in the conservation agriculture system, grain yield was increased by 5% and 8 % under minimum and zero tillage treatments than that of a conventional system. Therefore, in cold rainfed climates, in order to develop in wheat conservation, it is recommended to the application of autumn forage and chickpeas rotation in zero tillage conditions.

Keywords: Crop Rotation, Zero Tillage, Transpiration, Water Requirement

* *Corresponding author: r.lotfi1988@gmail.com* *Submit date:2021/06/30 Accept date: 2022/03/18*