

تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر روی کارایی مصرف آب، انتشار دی‌اکسیدکربن از خاک و عملکرد گندم

محمد امین آسودار^{۱*} و افشین مرزبان^۲

چکیده

با توجه به کمبود منابع آبی و همچنین روند افزایش جمعیت و نیاز به تأمین غذا برای این جمعیت در حال رشد، استفاده از راهکارهایی که علاوه بر افزایش کارایی مصرف آب باعث بهبود عملکرد شوند، ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش، تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر روی کارایی مصرف آب، انتشار دی‌اکسیدکربن از خاک و عملکرد گندم در شمال اهواز در مزرعه‌ای واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۹۸-۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش در قالب طرح کرت‌های یک‌بار خردشده با پایه بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل خاک‌ورزی در دو سطح خاک‌ورزی متداول (گاواهن برگرداندار همراه با یک‌بار دیسک) و کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) به‌عنوان عامل اصلی و روش‌های کاشت در دو سطح کشت مسطح و کشت بر روی پشته به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که سامانه‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر کارایی مصرف آب به‌ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد تأثیر معنی‌داری داشتند. همچنین، اثر متقابل خاک‌ورزی و روش کاشت بر کارایی مصرف آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج مربوط به عملکرد نشان داد که روش کاشت بر روی عملکرد گندم اثر معنی‌دار داشت، درحالی‌که عامل خاک‌ورزی و اثرات متقابل خاک‌ورزی و روش کاشت از نظر آماری اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشتند. تحت کم‌خاک‌ورزی انتشار دی‌اکسیدکربن در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم به‌طور معناداری در سطح ۵ درصد کاهش یافت. نتایج مربوط به شاخص مخروطی خاک نشان داد که با گذر زمان مقدار شاخص مخروطی خاک در دو سطح خاک‌ورزی تفاوت معناداری نداشت. با توجه به اثرات متقابل، تیمار کم‌خاک‌ورزی - روش کاشت بر روی پشته با عملکرد ۵۴۲۶ کیلوگرم بر هکتار، کارایی مصرف آب ۱/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب و انتشار دی‌اکسیدکربن ۱۳/۳۳ کیلوگرم بر هکتار در روز به‌عنوان تیماری مناسب برای منطقه پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: جوی و پشته، خاک‌ورزی حفاظتی، دی‌اکسیدکربن، شاخص مخروطی خاک، کم‌خاک‌ورزی.

ارجاع: آسودار م. ا. و مرزبان ا. ۱۳۹۹. تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر روی کارایی مصرف آب، انتشار دی‌اکسیدکربن از خاک و عملکرد گندم. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۹(۲): ۶۱-۷۰.

۱- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز.
۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز.

* نویسنده مسئول: asoodar@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴

مقدمه

کمبود آب یکی از چالش‌های قرن حاضر است که استعداد بروز بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان در آن نهفته است. در حال حاضر بخش عمده‌ای از مناطق خشک دنیا با بحران آب همراه است و زندگی ساکنان آن محدودیت‌های زیادی دارد. کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به حساب می‌آید. بر همین اساس در بخش کشاورزی که یکی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف آب است، شناسایی راهکارهایی برای افزایش کارایی مصرف آب در راستای کشاورزی پایدار ضروری به نظر می‌رسد. خاک‌ورزی حفاظتی و حفظ بقایا بر روی سطح خاک بر حفظ و نگهداری رطوبت در خاک تأثیرگذار است و شکل حرکت آب در خاک را تغییر می‌دهد (Noroozi & Asoodar, 2014). همچنین، روش کشت مناسب در افزایش کارایی مصرف آب می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد (Kilic, 2010). البته با توجه به افزایش جمعیت مردم جهان و تداوم این روند و دغدغه‌ی تأمین نیازهای غذایی مردم، استفاده از راهکارهایی برای افزایش کارایی مصرف آب که تأثیر منفی بر عملکرد داشته باشند، منطقی به نظر نمی‌رسد.

بسیاری از مطالعات گزارش نمودند که سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر بهبود کارایی مصرف آب، باعث افزایش عملکرد محصول مورد نظر نیز شده‌اند (Mirshekali et al., 2015; He et al., 2011; Halde et al., 2015; Yang et al., 2019). با این حال در بعضی از مطالعات نیز نتایج متفاوتی به دست آمده است و نتایج به دست آمده اثرات منفی سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر کارایی مصرف آب و عملکرد را نشان داده‌اند (Guan et al., 2002; Wang et al., 2015). بنابراین می‌توان گفت که اثر سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی با توجه به نوع آب و هوا و خاک هر منطقه می‌تواند متفاوت باشد و پیش از اجرا بایستی مورد مطالعه قرار گیرد.

طبق آمار ارائه شده حدود ۳۵ درصد از دی‌اکسیدکربنی که به جو کره زمین وارد می‌شود از خاک‌ها انتشار می‌یابد (IPCC, 2013)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسیدکربن از سطح خاک‌ها از اواسط قرن هجدهم با افزایش فعالیت‌های کشاورزی به‌طور معناداری افزایش یافت (Oertel et al., 2016). در مورد اثر خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک نتایج

ضد و نقیضی وجود دارد (Six et al., 2004; Dendooven et al., 2012; Beare et al., 2009). اثر این روش‌ها به نوع خاک، آب و هوای منطقه و گیاه مربوطه بستگی دارد. انتخاب روش کشت مناسب برای اطمینان از جوانه‌زنی بهتر، استفاده کارا از آب آبیاری و در نتیجه رشد بهتر گیاه و عملکرد بیشتر آن ضروری به نظر می‌رسد. آرایش کاشت مناسب به دلیل تأثیر بر زودرسی محصول و یکنواختی در رسیدگی به‌خصوص در مزارع تولید بذریه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Hakoomat et al., 2013). گیاه گندم با توجه به شرایط محیطی و آب و هوایی منطقه همچون میزان بارندگی، شوری خاک و آب آبیاری، میزان وزش باد و دیگر عوامل، به روش‌های متفاوتی کشت می‌شود. برای مثال، در مطالعه‌ای توصیه شده است تا در شرایط شوری خاک یا آب آبیاری، کشت گندم در داخل جوی صورت گیرد (Behdarvand et al., 2013). اما از سوی دیگر کشت بر روی پشته و آبیاری شیاری باعث کاهش آب ماندگی و مشکلات مربوط به سله می‌شود (Kilic, 2010). بنابراین، برای تعیین بهترین روش کاشت در هر منطقه، بایستی تمامی عوامل تأثیرگذار در نظر گرفته شوند.

با توجه به اینکه سامانه‌های خاک‌ورزی و روش‌های کشت می‌توانند بر یکدیگر اثر متقابل داشته‌باشند و اثرگذاری هر کدام تحت تأثیر دیگری قرارگیرد (Hamzei & Seyyedi, 2016)، بهتر است تا همزمان مورد مطالعه قرار گیرند. از این‌رو در این مطالعه، اثر دو نوع سامانه کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم و روش‌های کشت مسطح و کشت بر روی پشته بر کارایی مصرف آب، انتشار دی‌اکسیدکربن از خاک و شاخص‌های عملکردی گندم در قالب طرح آزمایشی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محل انجام آزمایش

این طرح در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در ۳۵ کیلومتری شمال اهواز در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و در ارتفاع ۲۰ متری از سطح دریا اجرا شد. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحت مطالعه، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک انجام گرفت. از مناطق متفاوت مزرعه سه نمونه خاک گرفته و ترکیب

مسطح نیز فواصل کشت ۱۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای کشت گندم از بذر گندم چمران ۲ که برای مناطق گرمسیر و جنوبی کشور توصیه شده است و یکی از بذور معمول و رایج در منطقه است، استفاده شد. دستگاه بذرکار- کودکار بر روی میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از این بذر با جوانه‌زنی ۹۷ درصد و خلوص ۹۸/۱ درصد کالیبره شد. یک روز پیش از عملیات کاشت، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل در عمق توصیه‌شده قرار گرفت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در حین عملیات کاشت، استفاده شد. همچنین ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو نوبت در طول فصل به صورت سرک توزیع شد. برای مبارزه با علف‌های هرز و با در نظر گرفتن شرایط مزرعه ۳۰ روز بعد از عملیات کاشت، از دو نوع علف‌کش برومیسید ام-آ و اتللو هر کدام به میزان یک لیتر در هکتار استفاده شد.

رطوبت‌سنج برای تعیین زمان مناسب آبیاری، مورد استفاده قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری میزان دبی آب آبیاری در این طرح از پمپ و کنتور آب استفاده شد. حجم آب در هر نوبت آبیاری با استفاده از معادلات (۱) و (۲) به دست آمد (Bafkar et al, 2006).

$$d_n = (FC - PWP) \times (MAD) \times (D) \quad (1)$$

که در آن، d_n = عمق خالص آبیاری (mm)، FC = ظرفیت زراعی (%)، PWP = نقطه پژمردگی دائم (%)، MAD = حداکثر تخلیه مجاز (%) و D = عمق توسعه ریشه گیاه (mm) است.

$$d_g = \frac{d_n}{E} \quad (2)$$

که در آن، d_g = عمق ناخالص آبیاری (mm) و E = راندمان آبیاری (%) است.

یکی از فاکتورهایی که اندازه‌گیری و محاسبه شد، کارایی مصرف آب است. کارایی مصرف آب که با معادله (۳) نشان داده می‌شود برای تیمارهای مختلف محاسبه و مقایسه شد (Ghazanfar et al., 2010).

$$WUE = \frac{E_y}{E_t} \quad (3)$$

که در آن، WUE = کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، E_y = عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار) و E_t = آب مصرفی گیاه (مترمکعب در هکتار) است.

شد تا دقت کار افزایش یابد و نمونه حاصله بیانگر بهتری از کل مزرعه تحت مطالعه باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحت

مطالعه	
خاصیت خاک	خاک محل آزمایش
بافت خاک	رسی-لومی
درصد رس	۳۶/۵
درصد شن	۱۹/۵
درصد سیلت	۴۴
اسیدیته خاک	۷/۷
هدایت الکتریکی (ds/m)	۱/۵
درصد ماده آلی	۱/۰۱

آزمایش در قالب طرح کرت‌های یک‌بار خردشده با پایه بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل خاک‌ورزی در دو سطح خاک‌ورزی متداول (گاواهن برگرداندار همراه با یک‌بار دیسک) و کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) به دلیل نیاز به فضای زیاد برای حرکت تراکتور و ماشین‌های کشاورزی در کرت‌های اصلی قرار گرفت و عامل روش کاشت در دو سطح کشت مسطح و کشت بر روی پشته به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. پیش از عملیات خاک‌ورزی، از علف‌کش رانداپ استفاده شد. سه لیتر از این علف‌کش به وسیله سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار در سطح مزرعه پخش شد. برای انجام عملیات خاک‌ورزی متداول از گاواهن برگرداندار سه خیش استفاده شد و یک روز بعد از آن عملیات دیسک‌زنی (یک مرتبه) با دیسک آفست انجام پذیرفت. عملیات کم‌خاک‌ورزی به وسیله خاک‌ورز مرکب (گاواهن چیزل پکر) ساخت شرکت بوکان انجام شد. درصد پوشش بقایا به روش برش عرضی خطی مشخص شد، بدین ترتیب که از یک طناب ۱۵ متری که در روی آن صد گره که فاصله آن‌ها ۱۵ سانتی‌متر است، استفاده شد. عملیات کاشت در تاریخ ۹۷/۹/۱۵ به وسیله بذرکار-کودکار مستقیم ساخت شرکت جیران صنعت که قابلیت تنظیم فاصله بین خطوط کشت را دارا بود، انجام گرفت. در روش کاشت بر روی پشته، سه خط کشت با فواصل ۱۸ سانتی‌متر بر روی پشته‌ای به عرض ۷۵ سانتی‌متر کشت شد. در کشت

عامل خاک‌ورزی و اثرات متقابل خاک‌ورزی و روش کاشت از نظر آماری اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشتند. همچنین تنها خاک‌ورزی بر روی انتشار کربن‌دی‌اکسید اثر معناداری در سطح ۵ درصد داشت. هر چند برخی از اثرات مثبت خاک‌ورزی حفاظتی همچون حفظ رطوبت به‌وسیله حفظ بقایا بر روی سطح را در همان سال اول می‌توان مشاهده نمود (Angás *et al.*, 2006). بسیاری از اثرات سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر خاک همچون افزایش مواد آلی خاک، افزایش جمعیت کرم‌های خاکی، بهبود ساختمان خاک که می‌توانند باعث افزایش عملکرد شوند، به آرامی و طی چند سال اتفاق می‌افتد (Farahani *et al.*, 2019). بنابراین عدم معناداری تفاوت میانگین عملکرد گندم در سامانه کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با سامانه خاک‌ورزی مرسوم قابل توجیه و هم‌راستا با نتایج Farahani *et al.* (2019)، Safari *et al.* (2012) و Mack *et al.* (2005) است.

میانگین عملکرد گندم در سامانه کم‌خاک‌ورزی و سامانه خاک‌ورزی مرسوم به‌عنوان سطوح عامل اصلی به‌ترتیب ۵۰۱۶ و ۴۸۱۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که از لحاظ آماری این تفاوت معنی‌دار نبود. این در حالی است که همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، کشت بر روی پشته در مقایسه با کشت مسطح، عملکرد گندم را ۷۱۱ کیلوگرم در هکتار افزایش داد که این اختلاف از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. Safari *et al.* (2012) در مطالعه‌ای در شمال خوزستان به بررسی تأثیر روش‌های کاشت بر رشد و عملکرد گندم پرداختند و گزارش نمودند که روش کشت سه خط کشت بر روی پشته نسبت به کشت مسطح عملکرد گندم را در سطح ۱ درصد افزایش می‌دهد که این یافته هم‌راستا با نتایج این مطالعه است. همچنین یافته‌های Mousavi *et al.* (2013) و Yousefi *et al.* (2013) نشان داد که کشت با استفاده از جوی و پشته‌ساز در مقایسه با خطی‌کاری در زمین مسطح باعث افزایش عملکرد گندم می‌شود.

اجزای عملکردی گندم مربوط به ترکیب‌های تیماری در جدول ۳ نشان داده شده است. اگر چه تیمار خاک‌ورزی مرسوم-کشت روی پشته کمترین تعداد سنبله در مترمربع را به خود اختصاص داده بود، به‌علت بیشتر بودن تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در مقایسه با تیمارهای کم‌خاک‌ورزی-کشت مسطح و خاک‌ورزی مرسوم-کشت

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه گندم، بعد از حذف ۱ متر از دو طرف کرت و ۲ متر از بالا و پایین کرت، با استفاده از یک کادر چوبی یک مترمربعی نمونه‌گیری از هر کرت با سه تکرار انجام شد. پیش از جداسازی دانه‌ها، به منظور اندازه‌گیری عملکرد غیردانه‌ای، کاه، ساقه و سنبله‌های مربوط به سه مترمربع نمونه برداشت‌شده با ترازویی به دقت ۱ گرم اندازه‌گیری شدند. شاخص برداشت بر اساس عملکرد دانه و عملکرد کل (دانه‌ای و غیردانه‌ای) محاسبه شد. برای این منظور از معادله (۴) استفاده شد (Safari *et al.*, 2012).

$$Hi = \frac{Ys}{Yb} \times 100 \quad (4)$$

که در آن؛ Hi = شاخص برداشت، Ys = عملکرد دانه در هکتار و Yb = عملکرد کل در هکتار است.

جهت اندازه‌گیری شاخص مخروطی (مقاومت به نفوذ) از فرسوج حافظه‌دار (Eijkelkamp) ساخت شرکت Royal Eijkelkamp کشور هلند در ۵ تکرار در نقاط مختلف هر کرت استفاده شد.

برای اندازه‌گیری غلظت گاز دی‌اکسیدکربن متصاعد شده سنسور مخصوص مدل TES1370 ساخت شرکت TES کشور تایوان مورد استفاده قرار گرفت. روش کار بدین‌صورت بود که با قرار دادن ظروف پلاستیکی (روش اتا‌فک ساکن) و قرار دادن سنسور در زیر اتا‌فک‌ها و قرائت آن میزان انتشار اندازه‌گیری شد. این کار ۶ بار در طول فصل کشت انجام گرفت. همچنین دمای هوای اتا‌فک ساکن در حین نمونه‌گیری اندازه‌گیری و ثبت شد.

داده‌ها در محیط نرم‌افزار Excel 2013 ذخیره و نمودارها رسم شد. برای آنالیز آماری از نرم‌افزار SAS 0.9 استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس میانگین عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در جدول ۲ نشان داده شده است. آزمون واریانس نشان داد که سامانه‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر کارایی مصرف آب به‌ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد تأثیر معنی‌داری داشتند. همچنین، اثر متقابل دوگانه‌ی خاک‌ورزی و روش کاشت بر کارایی مصرف آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. این در حالی است که تنها اثر روش کاشت بر روی عملکرد گندم معنی‌دار بود، اما

کاهش می‌دهد. میانگین انتشار دی‌اکسیدکربن در سامانه کم‌خاک‌ورزی برابر ۱۳/۶ کیلوگرم بر هکتار در روز به دست آمد که در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، انتشار دی‌اکسیدکربن ۶/۵۴ کیلوگرم بر هکتار در روز کاهش داشت. خاک‌ورزی با برهم‌زدن خاک باعث افزایش تنفس خاک و در نتیجه از دست رفتن دی‌اکسیدکربن بیشتری می‌شود. (Yarahmadi et al. (2013) نیز گزارش نمودند که خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم به‌طور معناداری انتشار دی‌اکسیدکربن خاک را کاهش داد که این نتایج هم‌راستا با نتایج این مطالعه است.

اثر متقابل خاک‌ورزی و روش کاشت بر انتشار دی‌اکسیدکربن در شکل ۴ نشان داده شده است. کمترین مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن با ۱۳/۳۳ کیلوگرم بر هکتار در روز مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی - کشت بر روی پشته و بیشترین مقدار با ۲۱ کیلوگرم بر هکتار در روز مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم - کشت مسطح بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود کشت بر روی پشته در مقایسه با کشت مسطح، انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش داد، هر چند این کاهش از لحاظ آماری معنادار نبود. در کشت مسطح در زمان آبیاری کل سطح به زیر آب می‌رود، درحالی‌که در کشت بر روی پشته، در هنگام آبیاری بخشی از سطح زمین یعنی همان قسمت بالای پشته‌ها معمولاً به‌طور کامل به زیر آب نمی‌رود و بازدهی آبیاری جویچه‌ای نیز از کرتی معمولاً بهتر است. (Yarahmadi et al. (2013) نیز گزارش نمودند هر چه حجم آب آبیاری بیشتری وارد خاک شود، به همان نسبت دی‌اکسیدکربن بیشتری از خاک رها می‌شود.

بر روی مسطح در مجموع عملکرد بهتری داشت. اگرچه بین تیمار کم‌خاک‌ورزی - کشت بر روی پشته و خاک‌ورزی مرسوم - کشت بر روی پشته از لحاظ عملکرد گندم تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما تیمار کم‌خاک‌ورزی - کشت بر روی پشته به‌طور معناداری تعداد بیشتری سنبله در مترمربع داشت.

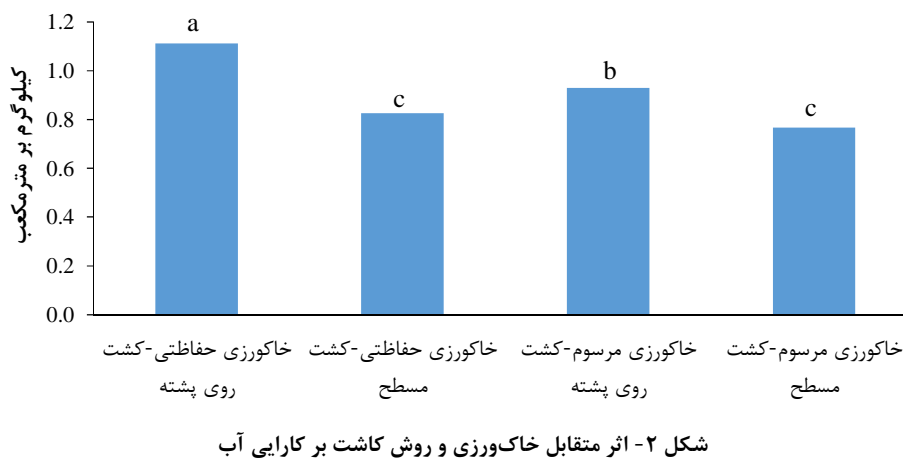
کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم به‌طور کلی در طول دوره رشد میزان آب مصرفی را کاهش داده و باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب شد. نگهداری بقایا بر روی سطح زمین باعث شده که متوسط عملکرد و کارایی مصرف آب در روش خاک‌ورزی حفاظتی افزایش یابد. متوسط کارایی مصرف آب برای کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. (Safari et al. (2013) نیز در پژوهشی افزایش رطوبت خاک و عملکرد محصول را با افزایش حفظ بقایا به همراه خاک‌ورزی حفاظتی گزارش نمودند. اثر متقابل خاک‌ورزی و روش کاشت بر کارایی آب در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین کارایی مصرف آب با ۱/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به کم‌خاک‌ورزی - بر روی پشته و کمترین میزان با ۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم - کشت مسطح بود. نگهداری بقایا بر روی سطح زمین در سامانه کم‌خاک‌ورزی و مزایایی کشت روی پشته باعث افزایش عملکرد گندم و کاهش مصرف آب شد.

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، انتشار دی‌اکسیدکربن را به‌طور معناداری در سطح ۵ درصد

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین‌های عملکرد و کارایی مصرف آب گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	واریانس عملکرد گندم	واریانس کارایی مصرف آب	دی‌اکسیدکربن
تکرار	۲	۲۸۴۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۱۱/۸۶ ^{ns}
خاک‌ورزی	۱	۱۲۲۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۴۴ [*]	۱۱۹/۲۹ [*]
خطا	۲	۱۲۷۰۸	۰/۰۰۲	۶/۹۱
روش کاشت	۱	۱۵۱۹۴۰۸ [*]	۰/۱۵۱ ^{**}	۱/۱۲ ^{ns}
اثر متقابل خاک‌ورزی - روش کاشت	۱	۳۵۲۰۸ ^{ns}	۰/۰۱۱ [*]	۴/۴۳ ^{ns}
خطا	۴	۲۱۲۰۸	۰/۰۰۱	۵/۵۶
کل	۱۱			
ضریب تغییرات		۲/۹۸	۴/۱۸	۲/۱۳

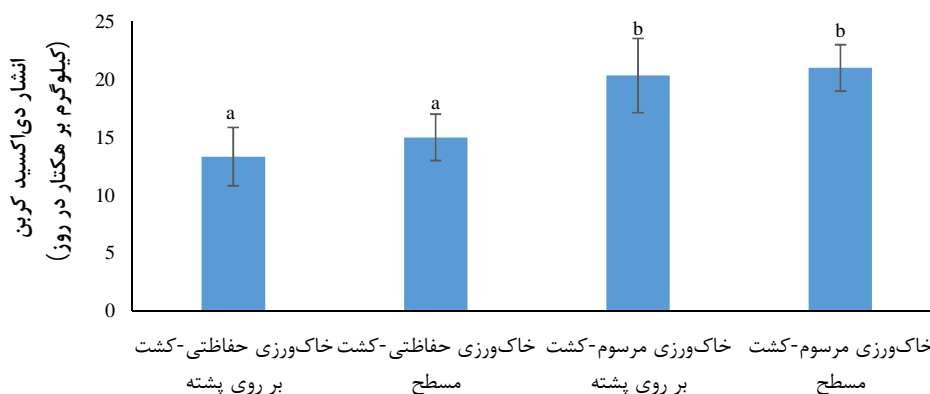
*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، معنی‌داری در سطح ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار



جدول ۳- نتایج مربوط به اجزای عملکردی گندم

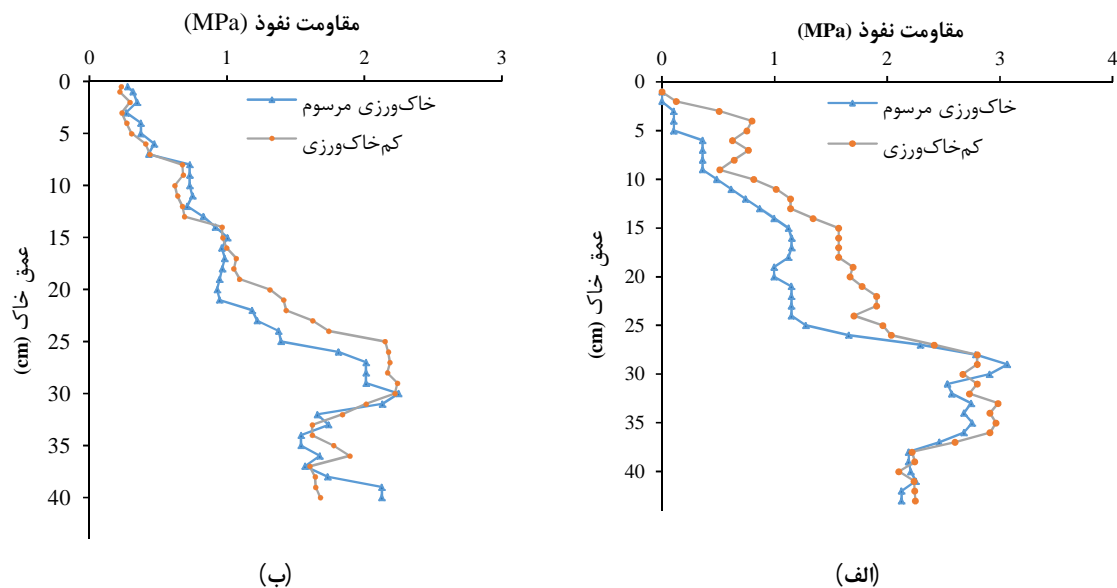
تیمار	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت
کم‌خاک‌ورزی-کشت روی پشته	۳۲۴/۹۵ ^{bc}	۳۹/۳۳ ^{ab}	۴۲/۱۱ ^{ab}	۵۴۲۶ ^a	۴۶/۹۱ ^a
کم‌خاک‌ورزی-کشت مسطح	۳۳۳/۹۲ ^{ab}	۳۳/۰۱ ^c	۴۱/۳۶ ^{bc}	۴۶۰۷ ^b	۴۱/۱۸ ^a
خاک‌ورزی مرسوم-کشت روی پشته	۳۱۶/۹۰ ^c	۳۸/۶۷ ^{bc}	۴۱/۷۸ ^{bc}	۵۱۱۷ ^a	۴۴/۰۴ ^a
خاک‌ورزی مرسوم-کشت روی مسطح	۳۲۴/۱۷ ^{bc}	۳۵/۱۴ ^{bc}	۳۹/۶۵ ^c	۴۵۱۳ ^b	۴۵/۸۷ ^a

اعداد با حروف یکسان از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری ندارند.



آبیاری، در مقایسه با کم‌خاک‌ورزی افزایش بیشتری داشت. این افزایش بیشتر در مقدار شاخص مخروطی را به نبود ریشه بقایای گیاهی و همچنین پودر شدن بیشتر خاک در مرحله خاک‌ورزی و پر شدن منافذ خاک در گذر زمان در سامانه خاک‌ورزی مرسوم می‌توان نسبت داد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ۵ سانتی‌متر اول در زمان سنبله‌دهی، مقدار شاخص مخروطی در سامانه کم‌خاک‌ورزی کمی کمتر است که این با نتایج Bayat *et al.* (2007) هم‌راستا است. این امر را به وجود بقایا ایستاده و ریشه آنها می‌توان نسبت داد.

اثر خاک‌ورزی بر شاخص مخروطی خاک در دو زمان قبل از کاشت و زمان سنبله‌دهی در عمق ۰ تا ۴۰ سانتی‌متر در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار شاخص مخروطی در سامانه کم‌خاک‌ورزی در مرحله قبل از کاشت در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم بیشتر است. هر چند در عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر و احتمالاً به‌علت فشردگی که گاواهن برگرداندار در کف شیار در عمق خاک‌ورزی شده به وجود آورده‌است، مقدار شاخص مخروطی در سامانه خاک‌ورزی مرسوم در این عمق بیشتر از سامانه کم‌خاک‌ورزی به دست آمد. با گذر زمان مقدار شاخص مخروطی در خاک‌ورزی مرسوم بر اثر



شکل ۵- تأثیر خاک‌ورزی بر شاخص مخروطی خاک (الف) قبل از کاشت، (ب) زمان سنبله‌دهی

را گزارش نمودند. همچنین در شرایط کم‌خاک‌ورزی، کشت بر روی پشته باعث می‌شود تا بعد از پشته‌سازی و کشت، بقایای بیشتری بر روی پشته‌ها حفظ شود. این در حالی است که در کشت مسطح معمولاً بقایا به‌وسیله آب آبیاری جابه‌جا می‌شوند. بقایای حفظ شده بر روی پشته کمک می‌کنند تا رطوبت برای مدت بیشتری در اختیار گیاه قرار گیرد.

اگرچه کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش عملکرد نشد، اما به‌طور معناداری کارایی مصرف آب را بهبود و انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش داد. در چندین مطالعه گزارش شده است که سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی نفوذ رطوبت و هدایت هیدرولیکی

همان‌طور که از نتایج این مطالعه به دست می‌آید، کشت بر روی پشته در مقایسه با کشت مسطح اثرات مثبتی را بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در هر دو روش کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم از خود نشان داد. در شرایط آبیاری غرقابی، کشت بر روی پشته باعث می‌شود تا مشکلات مربوط به سله‌بستن سطح خاک در مقایسه با کشت مسطح کمتر شود و در نتیجه بذور با صرف انرژی کمتری سبز شوند. همچنین گرم‌شدن سریع‌تر پشته در کشت گندم پاییزه، یکی دیگر از مزیت‌هایی است که می‌توان به آن اشاره نمود. چندین مطالعه از جمله Safari *et al.* (2012)، Fahong *et al.* (2004) و Hosseain *et al.* (2004) نیز افزایش عملکرد در روش کشت بر روی پشته

منابع

1. Angás, P., Lampurlanes, J., & Cantero-Martinez, C. (2006). Tillage and N and fertilization effects on N dynamics and Barley yield under semiarid Mediterranean conditions. *Soil & Tillage Research*, 87: 59-71.
2. Bafkar, A., Ghamarnia, H., & Tizro, A. (2006). *Principles of General Irrigation* (2th ed). Razi University Press, Kermanshah, Iran. (In Persian).
3. Bayat, H., Mahboobi, A. A., Haj-Abbasi, M., A., & Mosadeghi, M. R. (2007). Effect of tillage systems and different agricultural machineries on bulk density, cone index and stability of a loamy sandy soil. *Journal of Water and Soil Science*, 42(11): 451-461. (In Persian).
4. Beare, M. H., Gregorich, E. G., & St-Georges, P. (2009). Compaction effects on CO₂ and N₂O production during drying and rewetting of soil. *Soil Biol. Biochem*, 41: 611-621.
5. Behdarvand, S., Asoodar, M. A., & Nadian, H. (2013). Effect of tillage and planting methods on wheat yield in Salinity soils. 8th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization. Ferdosi University. Mashhad. (In Persian).
6. Buczko, U., Bens, O., & Huttl, R. F. (2006). Tillage effects on hydraulic properties and macroporosity in silty and sandy soils. *Soil Soil Science Society of America Journal*, 70: 1998.
7. Dendooven, L., Patino-Zúniga, L., Verhulst, N., Luna-Guido, M., Marsch, R., & Govaerts, B. (2012). Global warming potential of agricultural systems with contrasting tillage and residue management in the central highlands of Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 152: 50-58.
8. Fahong, W., Xuqing, W., & Sayre, K. (2004). Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Field Crops Research*, 87: 35-42.
9. Farahani, S. S., Asoodar, M. A., & Khalilimoghadam, B. (2019). Short-term impacts of biochar, tillage practices and irrigation systems on nitrate and phosphorus concentrations in subsurface drainage water. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, DOI: 10.1007/s11356-019-06942-w.
10. Fraser, P. M., Curtin, D., Harrison-Kirk, T., Meenken, E. D., Beare, M. H., Tabley, F., Gillespie, R. N., & Francis, G. S. (2013). Winter nitrate leaching under different tillage and winter cover crop management

خاک را در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم بهبود می‌دهد (Fraser *et al.*, 2013; Buczko *et al.*, 2006; Farahani *et al.*, 2019). این احتمالاً به خاطر افزایش جمعیت کرم‌های خاکی، حفظ بقایا بر روی سطح و بهبود ساختار خاک است. اگرچه در کوتاه مدت امکان افزایش جمعیت کرم‌های خاکی و بهبود ساختار خاک وجود ندارد اما کاهش به‌هم‌خوردگی خاک و حفظ بقایا بر روی سطح خاک می‌تواند باعث بهبود نفوذ و نگهداری خاک شوند. نباید فراموش کرد که سامانه کم‌خاک‌ورزی علاوه بر مزایای عنوان شده به‌علت کاهش تردد باعث کاهش مصرف انرژی و هزینه تولید نیز می‌شود.

نتیجه‌گیری

روش کشت بر روی پشته در هر دو سامانه کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم اثرات معناداری بر عملکرد و کارایی مصرف آب داشت. اگر چه سامانه کم‌خاک‌ورزی باعث افزایش معنادار عملکرد نشد، کارایی مصرف آب را در مقایسه با سامانه خاک‌ورزی مرسوم به‌طور معناداری افزایش داد. همچنین نتایج نشان داد که کم‌خاک‌ورزی نه تنها باعث افزایش شاخص مخروطی خاک نمی‌شود، بلکه به مرور زمان فشردگی خاک را کاهش می‌دهد. به‌علاوه نتایج کم‌خاک‌ورزی بر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن بسیار قابل‌توجه بود. با توجه به نتایج انتظار می‌رود تا نتایج مثبت سامانه کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب افزایش یابد. کم‌خاک‌ورزی با کاهش عملیات خاک‌ورزی باعث کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های تولید نیز می‌شود. البته بایستی توجه نمود که در صورتی که اصول کشاورزی حفاظتی از جمله حفظ سطح مناسب بقایا بر روی سطح خاک و تناوب زراعی رعایت نشود، ممکن است مشکلاتی همچون ازدیاد علف‌های هرز و آفات پدیدار شود. با توجه به اثرات متقابل، می‌توان تیمار کم‌خاک‌ورزی - کشت بر روی پشته را به‌عنوان تیماری مناسب برای منطقه پیشنهاد نمود.

سپاس‌گزاری

از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به خاطر فراهم آوردن بخشی از هزینه‌های این مطالعه قدردانی می‌گردد.

- irrigated spring durum wheat varieties. *Scientific Research and Essays*, 5(20): 3063-3069.
20. Mack, U. D., Feger, K. H., Gong, Y. & Stahr, K. (2005). Soil water balance and nitrate leaching in winter wheat–summer maize double-cropping systems with different irrigation and N fertilization in the North China Plain. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168: 454-460.
 21. Mirshekali, S., Asoodar, M. A., & Ghaseminejad, M. (2015). *Effect of tillage systems, bean pre-planting and planting methods on water use efficiency and maize yield*. M.Sc thesis, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. (In Persian).
 22. Mousavi, G. H., Asoodar, M. A., & Poormohammadi, P. (2013). Investigate effects of tillage systems, planting methods and residue management on water use efficiency in canola production. *8th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization*. Ferdosi University, Mashhad, Iran. (In Persian).
 23. Noroozi, S., & Asoodar, M. A. (2014). Effects of conservation tillage on soil moisture content, organic matter management, soil erosion and runoff control. *Elixir International Journal*, 77: 29333-29338.
 24. Oertel, C., Matsschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils-A review. *Chemie der Erde*, 76: 327-352.
 25. Safari, A., Asoodar, M. A., & Ghasemi Nejad, M. (2012). *Effect of residue management, different conservation tillage and seeding on soil physical properties and wheat grain yield*. M.Sc thesis, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran (In Persian).
 26. Safari, A., Asoodar, M. A., Ghasemi nejad, M., & Abdali, A. (2013). Effect of Residue Management, Different Conservation Tillage and Seeding on Soil Physical Properties and Wheat Grain Yield. *Agricultural science and sustainable production*, 23: 49-59.
 27. Six, J., Ogle, S. M., Conant, R. T., Mosier, A. R., & Paustian, K. (2004). The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. *Global Change Biol.*, 10: 155-160.
 28. Wang, H., Liu, C., & Zhang, L. (2002). practices. *Soil Science Society of America Journal*, 77: 1391-1401.
 11. Ghazanfar, M., Asoodar, M. A., & Saadat-Far, M. (2010). Effect of conservation tillage systems, planting methods and irrigation systems on water use efficiency and wheat yield in north of Ahwaz. *6th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization*. University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian).
 12. Guan, D., Zhang, Y., Al-Kaisi, M. M., Wang, Q., Zhang, M., & Li, Z. (2015). Tillage practices effect on root distribution and water use efficiency of winter wheat under rain-fed condition in the North China Plain. *Soil & Tillage Research*, 146: 286-295.
 13. Hakoomat, A., Nadeem, I., Shakeel, A., Ahmad Naeem, S., & Naeem, S. (2013). Performance of late sown wheat crop under different planting geometries and irrigation regimes in arid climate. *Soil and Tillage Research*, 130: 109-119.
 14. Halde, C., Bamford, K. C., & Entz, M. H., (2015). Crop agronomic performance under a six year continuous organic no-till system and other tilled and conventionally managed systems in the northern great plains of Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213: 121-130.
 15. Hamzei, J., & Seyyedi, M. (2016). Energy use and input-output costs for sunflower production in sole and intercropping with soybean under different tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 157: 73-82.
 16. He, J., Li, H., Rasaily, R. G., Wang, Q., Cai, G., Su, Y., Qiao, X., & Liu, L. (2011). Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain. *Soil & Tillage Research*, 113: 48-54.
 17. Hossain, I. M., Meisner, C., Duxbury, J. M., Lauren, J. G., Rahman, M. M., Meer, M. M., & Rashid, M. H. (2004). Use of raised beds for increasing wheat production in rice-wheat cropping systems. *Agronomy Journal*, 23: 54-59.
 18. Anonymous. (2013). *IPCC*. In: Stocker, T. F. Qin, D. Plattner, G. K. Tignor, M. Allen, S. K. Boschung, J. Nauels, A. Xia, Y. Bex, V. Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1535.
 19. Kilic, H. (2010). The effect of planting methods on yield and yield components of

- Water-saving agriculture in China: an overview. *Advanced in Agronomy*, 75: 135-171.
29. Yang, H., Wu, G., Mo, P., Chen, S., Wang, S., Xiao, Y., Ma, H. A., Wen, T., Guo, X., & Fan, G. (2019). The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Soil & Tillage Reseach*.
30. Yarahmadi, F., Landi, A., Asoodar, M. A., & Moradi-Sabzkohi, A. (2013). Effect of tillage systems and irrigation methods on carbon dioxide emission from wheat cultivation in north of Ahwaz. *Journal of Agricultural Engineering*, 35(2): 71-82. (In Persian).
31. Yousefi, Z., Asoodar, M. A., Haghazari, A., Shekari, F., & Afsahi, K. (2013). Effect of mechanized planting methods and different rate of seed on emergence percentage, plant establishment and yield of canola. *Applied Field Crops Research*, 96: 1-10. (In Persian).