DOI: http://dx.doi.org/10.22092/erams.2016.106421

مجله تحقیقات مهندسی سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۱۷/ شماره ٦٦/سال ۱۳۹۵/ص ۷۰-۵۷

اثر خاک‌ورزی حفاظتی و روش‌های آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب و عملکرد گندم در تناوب با پنبه (مطالعهٔ موردی در استان فارس)

صادق افضلی‌نیا*، علیرضا ضیایی، سید ابراهیم دهقانیان و سید منصور علوی‌منش**

* نگارنده مسئول: بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. تلفن: ۳۷۲۰۵۱۰۷(۰۷۱)، پیام‌نگار: afzalinia@farsagres.ir

** به ترتیب: دانشیار و محققین بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۷

چکیده

در این تحقیق اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و آبیاری بر خصوصیات خاک، بهره‌وری مصرف آب و عملکرد گندم در قالب طرح کرت‌های خرد شده با نه تیمار و سه تکرار بررسی شده است. این تحقیق از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بختاجرد در شهرستان داراب فارس اجرا شد. روش‌های آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای نواری، آبیاری سطحی و آبیاری بارانی به عنوان عامل اصلی و سه روش خاک‌ورزی: مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. جرم مخصوص ظاهری خاک، نفوذپذیری خاک، میزان آب مصرفی، عملکرد گندم و بهره‌وری مصرف آب آبیاری تعیین شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های خاک‌ورزی و آبیاری اثر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری خاک دارند به طوری که در آبیاری نواری قطره‌ای، در مقایسه با دیگر روش‌های آبیاری، جرم مخصوص ظاهری خاک بیشتر نشان داده شده‌است. همچنین، جرم مخصوص ظاهری خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، به طور متوسط ۲/٤ درصد بیشتر است. عملکرد گندم در روش‌های آبیاری تحت فشار نسبت به آبیاری سطحی بیشتر است. در روش‌های آبیاری نواری قطره‌ای و بارانی، در مقایسه با روش آبیاری سطحی، به ترتیب ۵۹ و ٤۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب نشان داده شده است. بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب مربوط به آبیاری نواری قطره‌ای و کمترین آن مربوط به آبیاری سطحی است.

واژه‌های کلیدی

جرم مخصوص ظاهری خاک، روش‌های خاک‌ورزی، عملکرد محصول، نفوذپذیری خاک

مقدمه

استان فارس یکی از قطب‌های مهم تولیدات کشاورزی در کشور است. اما واقع شدن این استان در اقلیم خشک و نیمه خشک، باعث وارد آمدن خسارات زیادی بر منابع آبی این استان گردیده است. پایین بودن بازده آبیاری در روش آبیاری سطحی و کاهش منابع آب زیر زمینی باعث شده است تا استان فارس در بخش استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار از جایگاه ممتازی در سطح کشور برخوردار باشد. مدیریت مصرف آب و استفاده از روش آبیاری مناسب از مهم‌ترین راهکارهای افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی است. اشنایدر و هاول (Schneider & Howell, 1999) در تحقیقی روش‌های مختلف آبیاری بارانی کم‌فشار و تنش رطوبتی شامل مقادیر مختلف آب آبیاری را بر اساس ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی درکشت گندم، ذرت و سورگوم بررسی کردند و نشان دادند که عملکرد گندم در روش‌های مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری ندارد و متوسط عملکرد برابر با ۴/۶ تن در هکتار است. این محققان می‌گویند با

۲۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، میزان عملکرد کاهش یافته ولی در تیمار ۷۵ درصد، کاهش عملکرد قابل توجه نبوده است. ترک نژاد و همکاران (Torknejad *et al.*, 2006) با مقایسهٔ فنی و اقتصادی روش آبیاری قطره‌ای با آبیاری سطحی در زراعت گندم نتیجه گرفتند که آبیاری قطره‌ای می‌تواند بهره‌وری مصرف آب را تا دو برابر افزایش دهد. میانگین عملکرد گندم در روش آبیاری قطره‌ای ۸۴۴۵ کیلو گرم در هکتار با آب مصرفی ۳۲۸۰ متر مکعب در هکتار و در آبیاری سطحی ۷۴۸۰ کیلو گرم در هکتار با آب مصرفی ۵۴۳۶ متر مکعب در هکتار بوده‌است.

ارون و همکاران (Oron *et al.*, 1986) آبیاری قطره‌ای با استفاده از فاضلاب تصفیه شده را در دوره‌های مختلف آبیاری در کشت گندم پاییزه بررسی کردند. در تیمار با دور آبیاری یک بار در هفته، عملکرد دانه بیشتر از ۱۰ تن در هکتار بود. در حالی‌که در سایر تیمارها با دور آبیاری روزانه یا ۲۵ تا ۳۰ روز ، عملکرد دانه حدود ۸/۵ تن درهکتار و بیش از میانگین عملکرد دانه به روش آبیای بارانی بود.

در ایتالیا عملکرد پنج رقم گندم دورم را با روش آبیاری قطره‌ای در سه تیمار مقایسه کردند: اول، آبیاری ۱۰ روز پس از ظهور سنبلهٔ زودرس‌ترین رقم؛ دوم، آبیاری زمانی‌که ظرفیت ماتریک خاک معادل ۶۷ درصد آب قابل دسترس[1] بود؛ و سوم، بدون آبیاری. نتایج این مقایسه نشان داد که عملکرد دانهٔ گندم در آبیاری قطره‌ای با شرایط فوق و بدون آبیاری، به ترتیب برابر ۷/۲۳ و ۶/۷۷ تن در هکتار است (Monotti *et al.*, 1982). حق (Haq, 1990) گزارش کرد که کاهش آب مصرفی در آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی ۳۰ درصد است در صورتی که بهره‌وری مصرف آب در آبیاری بارانی ۴/۱۳ کیلوگرم بر متر مکعب و در آبیاری سطحی ۲/۸۸ کیلوگرم بر متر مکعب است. مقدار کاهش آب مصرفی در آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی در گیاهان مختلف بین ۴۶ تا ۶۵ درصد نیز گزارش شده است (Latif, 1990).

ستین و بلگل (Cetin & Bilgel, 2002) اثر سه روش آبیاری جویچه‌ای، بارانی و قطره‌ای را بر عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری دانه پنبه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که آبیاری قطره‌ای ۲۱ درصد بیشتر از آبیاری جویچه‌ای و ۳۰ درصد بیشتر از آبیاری بارانی محصول تولید کرده است. کارایی مصرف آب آبیاری در این سه روش برابر با ۴/۸۷، ۳/۸۷ و ۲/۳۶ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر آب مصرفی به ترتیب برای آبیاری قطره‌ای، جویچه‌ای و بارانی بود. سیاهپوش و همکاران (Siahpoosh *et al.*, 2006) عملکرد، اجزای عملکرد و همچنین کارایی مصرف آب آبیاری هشت رقم گندم را تحت آبیاری بارانی تک شاخه‌ای بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری در ارقام مختلف در رژیم‌های مختلف رطوبتی اختلاف معنی‌دار دارند. روش خاک‌ورزی نیز می‌تواند در حفظ رطوبت خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب مؤثر باشد.

دویتا و همکاران (De Vita *et al*, 2007) در ایتالیا روش بی‌خاک‌ورزی را روی گندم در سه سال متوالی با روش خاک‌ورزی مرسوم مقایسه کردند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بی‌خاک‌ورزی عملکرد گندم ۴/۶ تن بر هکتار و در خاک‌ورزی مرسوم ۲/۹ تن در هکتار است. مقدار پروتئین دانه و تبخیر رطوبت در بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم کمتر است.

فریبارین و همکارارن (Freebarin *et al.*, 1986) تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی را بر میزان آب، فرسایش خاک و عملکرد گندم و سورگوم در استرالیا بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان آب از دست رفته در خاک‌ورزی حفاظتی کاهش یافته و عملکرد گندم ۱۲ درصد بیشتر از روش خاک‌ورزی مرسوم شده‌است.

مک گری و همکاران (McGarry *et al.*, 2000) با مطالعهٔ اثر سیستم بی‌خاک‌ورزی بر میزان نفوذ آب در خاک به این نتیجه رسیدند که در صورت استفاده از روش بی‌خاک‌ورزی، فعالیت موجودات زندهٔ خاکی از قبیل کرم‌های خاکی زیاد می‌شود که باعث افزایش هدایت هیدرولیکی و نفوذ آب در خاک خواهد شد.

ارنستین و لاکسمی (Erenstein & Laxmi, 2008) مزایای استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در کشت گندم

1- Available water (AW)

پس از برداشت برنج را این گونه توجیه می‌کند: امکان کشت زودتر گندم، کنترل علف هرز فالاریس، کاهش هزینه‌های تولید، صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش درآمد بهره‌بردار.

جت و همکاران (Jat *et al.*, 2009) روش‌های مختلف خاک‌ورزی و استقرار گیاه را در دو سیستم تسطیح دقیق و تسطیح سنتی جهت بهبود کارایی مصرف آب، منافع اقتصادی و کیفیت خاک به مدت دو سال بررسی و گزارش کردند که تسطیح دقیق میزان سودمندی سیستم تولید گندم- برنج را در سال دوم، در مقایسه با روش تسطیح سنتی، به میزان ۷/۴ درصد افزایش می‌دهد. عملکرد برنج در روش مرسوم، در مقایسه با روش حفاظتی، بیشتر اما در گندم عملکرد کشت مستقیم بیشتر از عملکرد کشت به روش مرسوم است. در میان روش‌های مختلف خاک‌ورزی و استقرار گیاه، در کشت نشایی مرسوم برنج و کشت گندم به روش مرسوم، در مقایسه با دیگر روش‌ها، ۱۲ تا ۳۳ درصد آب بیشتری به‌مصرف می‌رسد. در شرایط مرطوب، روش خاک‌ورزی مرسوم به دلیل تردد بیشتر وسایل ماشینی، موجب می‌شود جرم مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ خاک در لایه‌های ۱۵-۱۰ و ۲۰-۱۵ سانتی‌متری بیشتر شود.

بر اساس نتایج تحقیقاتی که در این زمینه ارائه شده است، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث حفظ بیشتر رطوبت در خاک، کاهش مصرف آب و افزایش اندکی در جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. از نظر تأثیر روش‌های آبیاری بر مصرف آب و بهره‌وری آن، اختلافی در نتایج تحقیقات گذشته وجود ندارد و همه نتایج نشان دهندهٔ کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن در روش‌های آبیاری تحت فشار است. اما موضوعی که کمتر مورد تحقیق قرار گرفته بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و آبیاری به طور همزمان و تعیین اثر متقابل آنهاست. بنابراین در این تحقیق، اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و آبیاری بر خصوصیات خاک، میزان مصرف آب، بهره‌وری آب و عملکرد گندم در تناوب با پنبه بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب آبیاری گندم در تناوب گندم- پنبه در روش‌های مختلف خاک‌ورزی و آبیاری، آزمایشی به صورت کرت‌های نواری یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در نه تیمار و سه تکرار اجرا شد. تحقیق از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ در مزارع ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب (ایستگاه بختاجرد) اجرا شد؛ این ایستگاه در ۲۶۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز، در نقطه‌ای با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۹ دقیقه و ارتفاع ۱۰۸۰ متر از سطح دریا واقع است. خصوصیات خاک مزرعهٔ محل اجرای پروژه در جدول ۱ ارائه شده است. در این پژوهش، عامل اصلی آزمایش سه روش آبیاری شامل: آبیاری قطره‌ای (نواری)، آبیاری سطحی (با استفاده از لولهٔ دریچه‌دار) و آبیاری بارانی (قرقره‌ای) است. عامل فرعی سه روش خاک‌ورزی است شامل: اول، خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک، لولر و کشت گندم با خطی‌کار و کشت پنبه با ردیف‌کار)؛ دوم، کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورزی با خاک‌ورز مرکب و کشت گندم با خطی‌کار و کشت پنبه با ردیف‌کار)؛ و سوم، بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم گندم و پنبه).

در تمام تیمارهای خاک‌ورزی، بقایای بریده شدهٔ گندم (خارج شده از انتهای کمباین برداشت) از مزرعه خارج گردید و بقایای ایستاده در مزرعه حفظ شد. بقایای پنبه نیز بعد از برداشت غوزه‌ها با استفاده از ساقه‌خردکن پشت تراکتوری خرد و در مزرعه حفظ شد. در روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی)، هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی اجرا نشد و با یک بار حرکت مستقیم کار در مزرعه کشت انجام گرفت. در روش کم‌خاک‌ورزی از یک دستگاه خاک‌ورز مرکب استفاده و خاک‌ورزی در یک مرحله انجام شد و در روش مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار و دیسک استفاده و سپس پنبه با ردیف‌کار و گندم با خطی‌کار کشت شد. مشخصات ماشین‌های استفاده شده در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. از گندم رقم

چمران (رقم غالب منطقه به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و پنبه رقم بختگان (به مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار) استفاده شد. گندم در اواخر آذرماه کشت و در اواسط خردادماه برداشت شد. پنبه در اواخر خردادماه کشت و اواسط آذرماه برداشت شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعهٔ مورد آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر)	اسیدیته	جرم مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
۱۰ -۰	۰/۸۷	۰/۹۷	۷/۷	۱/۳۴	۲۱/۶۷	۳۶/۰۰	۴۲/۳۳	لوم
۲۰ -۱۰	۰/۷۹	۰/۸۵	۷/۷	۱/۴۱	۲۰/۰۰	۳۸/۰۰	۴۲/۰۰	لوم

ابعاد کرت‌ها ۲۰×۶ متر انتخاب شد. در کشت پنبه، هر کرت شامل ۸ خط کاشت به طول ۲۰ متر با فاصلهٔ خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر، فاصلهٔ بین کرت‌ها ۲ متر و فاصلهٔ بین تکرارها ۵ متر در نظر گرفته شد. برای اینکه آب پاشیده شده در آبیاری بارانی تیمارهای مجاور را تحت تأثیر قرار ندهد، فاصلهٔ کرت اصلی آبیاری بارانی با کرت اصلی مجاور (آبیاری سطحی) ۲۰ متر در نظر گرفته شد.

جدول ۲- مشخصات ماشین‌ها و ادوات استفاده شده در تحقیق

نوع ادوات	مشخصات
گاوآهن	برگردان‌دار، چهار خیش و یک طرفه
دیسک	کششی، دارای دو گروه بشقاب و ۶ بشقاب در هر گروه
خاک‌ورز مرکب	خاک‌ورز مرکب پوتینگر، سوار شونده، عرض کار ۳ متر
ردیف‌کار کشت مستقیم	ردیف‌کار سمیتو، ۴ ردیفه، با عرض کار ۳ متر و شیاربازکن دیسکی
خطی‌کار کشت مستقیم	بذرکار- کودکار اسفوجیا، ۱۷ ردیفه، عرض کار ۳ متر و شیاربازکن دیسکی

در روش آبیاری بارانی، سامانهٔ آبیاری قرقره‌ای با دو خط لوله فرعی با فاصلهٔ ۲۵ متر به طول ۱۰۰ متر و با دو آب‌پاش پروت «ZK 30» با آب‌دهی ۱/۶۷ لیتر در ثانیه انتخاب شد. در روش آبیاری قطره‌ای(نواری)، به ازای هر سه خط کشت گندم و یک ردیف کشت پنبه یک لولهٔ آبیاری نواری استفاده شد. نیاز آبی با استفاده از روش تشتک تبخیر تعیین شد. بر اساس نتایج آزمایش‌های اولیه، راندمان آبیاری در آبیاری بارانی قرقره‌ای ۷۰ درصد، در آبیاری قطره‌ای نواری ۹۰ درصد و در آبیاری سطحی ۴۵ درصد در نظر گرفته شد. در روش آبیاری سطحی نیز ابعادکرت‌ها ۲۰×۶ متر انتخاب و برای آبیاری از لوله‌های دریچه‌دار (هیدروفلوم) استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان مصرف آب در هر تیمار، در هر کرت اصلی یک دستگاه کنتور (مدل TWMI 80 کارخانه آبفار با قطر داخلی ۸۰ میلی متر و خطای ۲ درصد ±) تعبیه و به تمام کرت‌های خاک‌ورزی در هر روش آبیاری آب یکسان داده شد.

دور آبیاری برای هر سه روش آبیاری بر اساس میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه، ظرفیت ذخیرهٔ آب در خاک منطقه و نیز میزان تخلیهٔ مجاز رطوبتی تعیین و اعمال شد. پارامترهای جرم مخصوص ظاهری خاک در دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری، سرعت نفوذ آب در خاک، مصرف آب، عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب در این تحقیق اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، در زمان برداشت محصول با استفاده از استوانه های نمونه‌گیری از اعماق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری هر کرت نمونه برداری شد (از هر کرت ۲ نمونه). نمونه‌های دست‌نخورده به مدت ۲۴ ساعت

در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد درآون خشک و با استفاده از رابطهٔ ۱ جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد:

$$BD = \frac{W_d}{V} \qquad (۱)$$

که درآن: BD جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر ساتنی‌متر مکعب)، W_d جرم خاک خشک (گرم) و V حجم کل خاک (سانتی‌متر مکعب) است. برای اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری خاک، از روش استوانهٔ دوگانه استفاده شد. ابتدا یک استوانه با قطر ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر به اندازهٔ ۵ سانتی‌متر در خاک فرو برده شد و پس از آن، استوانهٔ دیگری 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 در زمان ۱۵۰ دقیقه میزان افت سطح آب در داخل استوانهٔ داخلی که با واحد سانتی‌متر مدرج شده بود، یاداشت گردید. بر اساس اطلاعات ثبت شده، سرعت نفوذ آب در خاک در زمان ۱۵۰ دقیقه محاسبه شد.

در پایان فصل رشد، پس از حذف حاشیه‌های هر کرت، محصول هر کرت به صورت دستی برداشت و عملکرد گندم اندازه‌گیری شد به منظور تعیین بهره‌وری مصرف آب، حجم آب مصرفی در هر روش آبیاری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و با داشتن عملکرد محصول در هر کرت و با استفاده از رابطهٔ ۲، بهره‌وری مصرف آب در هر تیمار محاسبه گردید:

$$WP = \frac{Y}{W} \qquad (۲)$$

که در آن: WP بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) و W آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار) است. بهره وری مصرف آب در این پژوهش در دو حالت، با احتساب بارندگی و بدون احتساب بارندگی، محاسبه گردید. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند و برای مقایسهٔ میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک در مراحل مختلف اندازه‌گیری نشان می‌دهد که در مرحلهٔ اول اندازه‌گیری (آبان ۱۳۸۹)، روش آبیاری، روش خاک‌ورزی و اثر متقابل آبیاری و خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری در عمق‌های ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک نداشتند (جدول ۳). در مرحلهٔ دوم اندازه گیری (اردیبهشت ۱۳۹۰)، اثر روش آبیاری بر جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر (سطح احتمال ۹۵درصد) و عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر (سطح احتمال ۹۹درصد) معنی‌دار بود در حالی که جرم مخصوص ظاهری خاک فقط در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک (سطح احتمال ۹۵درصد) تحت تأثیر معنی دار روش خاک ورزی قرار گرفت و اثر متقابل روش آبیاری و خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک نیز معنی‌دار نبود. در اندازه‌گیری سوم (آبان ۱۳۹۰)، فقط روش خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک اثر معنی‌دار داشت (سطح احتمال ۹۹درصد) و جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر دیگرمتغیرها قرار نگرفت. در آخرین مرحلهٔ اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک (اردیبهشت ۱۳۹۱)، اثر روش آبیاری در هر دو عمق خاک و اثر خاک‌ورزی فقط در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک بر جرم مخصوص ظاهری معنی‌دار بود و جرم مخصوص ظاهری تحت تأثیر اثر متقابل روش آبیاری و تیمار خاک‌ورزی قرار نگرفت.

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس داده‌های جرم مخصوص ظاهری خاک در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری (اعداد ارائه شده در جدول، مقادیر F هستند)

منابع تغییر	آبان ۱۳۸۹		اردیبهشت ۱۳۹۰		آبان ۱۳۹۰		اردیبهشت ۱۳۹۱	
	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰
تکرار	۰/۲۲ ns	۰/۸۱ ns	۳/۳۷ ns	۵/۰۵ *	۲/۲۰ ns	۲/۲۹ ns	۰/۳۹ ns	۰/۷۲ ns
آبیاری	۰/۰۱ ns	۱/۸۱ ns	۵/۶۵ *	۷/۸۵ **	۲/۳۲ ns	۰/۲۶ ns	۱۰/۹۴ **	۴/۲۹ *
خاک ورزی	۰/۶۸ ns	۲/۶۸ ns	۷/۱۷ **	۰/۷۹ ns	۱/۸۸ ns	۸/۵۰ **	۲/۰۳ ns	۷/۱۹ **
اثر متقابل	۱/۵۴ ns	۱/۲۳ ns	۱/۱۶ ns	۲/۸۰ ns	۰/۴۲ ns	۰/۵۲ ns	۰/۶۱ ns	۱/۶۳ ns

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌دار

نتایج مقایسهٔ میانگین تیمارهای آبیاری از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک نشان می‌دهد که در مرحلهٔ اول و سوم اندازه گیری (آبان۱۳۸۹ و آبان ۱۳۹۰) در هر دو عمق خاک و در مرحلهٔ دوم اندازه‌گیری (اردیبهشت ۱۳۹۰) در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک، تمام تیمارهای آبیاری در یک سطح آماری قرار دارند و اختلاف معنی‌داری بین میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در روش‌های مختلف آبیاری وجود ندارد (جدول ۴). در مرحلهٔ چهارم اندازه‌گیری (اردیبهشت ۱۳۹۱) در هر دو عمق اندازه‌گیری و در مرحلهٔ دوم اندازه‌گیری (اردیبهشت ۱۳۹۰)، در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک، از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری وجود ندارد و در تمام این موارد، آبیاری نواری قطره‌ای بیشترین جرم مخصوص ظاهری خاک را نشان می‌دهد. همچنین، تیمار آبیاری سطحی هیدروفلوم تقریباً در تمام مراحل اندازه‌گیری دارای کمترین جرم مخصوص ظاهری خاک است و تیمار آبیاری بارانی قرقره‌ای بین دو تیمار دیگر قرار دارد. به نظر می رسد بالا بودن حجم آب مصرفی در آبیاری سطحی باعث تسهیل و تسریع در پوسیدگی بقایای گیاهی حفظ شده بر سطح خاک یا مخلوط شده با خاک شده و ترکیب این بقایای پوسیده با خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در این روش آبیاری گردیده است. از طرف دیگر، در آبیاری نواری قطره‌ای علاوه بر اینکه حجم آب مصرفی برای تجزیهٔ بقایای گیاهی کافی نیست، آب مصرف شده فقط روی ردیف‌های کاشت این بقایا را خیس می‌کند و آب به اندازهٔ کافی بین ردیف‌ها نمی‌رسد (به خصوص در کشت‌های ردیفی صیفی)، بنابراین سرعت تجزیهٔ بقایای گیاهی کم است و کمکی به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک نمی‌شود. کندی تجزیهٔ بقایای گیاهی در آبیاری نواری قطره‌ای و افزایش تجمعی حجم بقایای گیاهی تجزیه نشده طی سال‌های متوالی، یکی از معضلات استفاده از این روش آبیاری در کشت‌های حفاظتی است.

جدول ٤- مقایسهٔ میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) در تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار اصلی (روش آبیاری)	آبان ۱۳۸۹		اردیبهشت ۱۳۹۰		آبان ۱۳۹۰		اردیبهشت ۱۳۹۱	
	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰	عمق ۱۰-۰	عمق ۲۰-۱۰
قطره‌ای نواری	۱/۳۳ a	۱/۴۶ a	۱/۴۳ a	۱/۴۶ a	۱/۳۶ a	۱/۴۰ a	۱/۳۴ a	۱/۳۹ a
سطحی	۱/۳۳ a	۱/۳۹ a	۱/۳۷ b	۱/۴۳ a	۱/۲۹ a	۱/۴۰ a	۱/۳۲ a	۱/۳۸ a
بارانی	۱/۳۳ a	۱/۴۱ a	۱/۴۱ ab	۱/۴۹ a	۱/۳۳ a	۱/۳۸ a	۱/۲۶ b	۱/۳۵ b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

نتایج مقایسهٔ میانگین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، در مراحل اول، سوم و چهارم اندازه‌گیری (آبان ۱۳۸۹، آبان ۱۳۹۰ و اردیبهشت ۱۳۹۱)، در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک و در مرحلهٔ دوم اندازه‌گیری (اردیبهشت ۱۳۹۲) در عمق ۰-۱۰

سانتی‌متری خاک، اختلاف بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار است. در تمام موارد فوق، جرم مخصوص ظاهری خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) ، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، بیشتر است یعنی خاک‌ورزی مرسوم کمترین جرم مخصوص ظاهری را به خود اختصاص داده است. در مراحل اول، سوم و چهارم اندازه گیری (آبان ۱۳۸۹، آبان ۱۳۹۰ و اردیبهشت ۱۳۹۱) در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک و در مرحلهٔ دوم اندازه‌گیری (اردیبهشت ۱۳۹۲) در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک، تیمارهای خاک‌ورزی از نظر جرم مخصوص ظاهری خاک در یک کلاس آماری قرار دارند و تفاوت معنی‌داری با هم نشان نمی‌دهند. هرچند در مواردی هم که تفاوت بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نیست، جرم مخصوص در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، نسبت به روش مرسوم، بیشتر است. در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل اینکه خاک شخم نمی‌خورد یا عمق شخم و میزان بهم‌خوردگی خاک کم است، طبیعی است که جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بیشتر باشد. نتایج برخی تحقیقات گذشته (Afzalinia *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2005; Taser & Metinoglu, 2005) نیز افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک را در خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، نشان می‌دهد. اختلاف بین جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در انتهای فصل رشد گیاه ممکن است معنی‌دار نباشد اما حداقل در دو ماههٔ اول فصل رشد، این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار خواهد بود (Afzalinia & Zabihi, 2014). مقایسهٔ میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (جدول ۶) تحت تأثیر اثر متقابل روش آبیاری و خاک‌ورزی نیز نشان می‌دهد که ترکیب تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) و آبیاری نواری قطره‌ای بیشترین جرم مخصوص ظاهری خاک را دارند که قبلاً به دلایل آن اشاره شده است.

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

تیمار فرعی (روش خاک‌ورزی)	آبان ۱۳۸۹		اردیبهشت ۱۳۹۰		آبان ۱۳۹۰		اردیبهشت ۱۳۹۱	
	عمق ۰-۱۰	عمق ۱۰-۲۰	عمق ۰-۱۰	عمق ۱۰-۲۰	عمق ۰-۱۰	عمق ۱۰-۲۰	عمق ۰-۱۰	عمق ۱۰-۲۰
خاک‌ورزی مرسوم	۱/۳۴ a	۱/۳۷ b	۱/۴۰ ab	۱/۴۵ a	۱/۳۰ a	۱/۳۳ b	۱/۲۹ a	۱/۳۴ b
کم‌خاک‌ورزی	۱/۳۴ a	۱/۴۶ a	۱/۳۷ b	۱/۴۷ a	۱/۳۲ a	۱/۴۵ a	۱/۳۱ a	۱/۳۷ ab
بی‌خاک‌ورزی	۱/۳۲ a	۱/۴۲ ab	۱/۴۳ a	۱/۴۵ a	۱/۳۵ a	۱/۴۰ a	۱/۳۲ a	۱/۴۰ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

جدول ۶- مقایسهٔ میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) تحت تأثیر اثر متقابل روش آبیاری و خاک‌ورزی

اثر متقابل تیمار اصلی و فرعی	آبان ۱۳۸۹		اردیبهشت ۱۳۹۰		آبان ۱۳۹۰		اردیبهشت ۱۳۹۱	
	عمق ۰-۱۰	عمق ۱۰-۲۰	عمق ۰-۱۰	عمق ۱۰-۲۰	عمق ۰-۱۰	عمق ۱۰-۲۰	عمق ۰-۱۰	عمق ۱۰-۲۰
قطره‌ای- خاک‌ورزی مرسوم	۱/۳۳ a	۱/۴۰ a	۱/۴۴ a	۱/۴۷ a	۱/۳۲ a	۱/۳۳ a	۱/۳۱ a	۱/۳۴ a
قطره‌ای-کم‌خاک‌ورزی	۱/۳۱ a	۱/۴۵ a	۱/۳۸ a	۱/۴۳ a	۱/۳۷ a	۱/۴۹ a	۱/۳۶ a	۱/۴۲ a
قطره‌ای- بی‌خاک‌ورزی	۱/۳۶ a	۱/۵۲ a	۱/۴۶ a	۱/۴۷ a	۱/۳۷ a	۱/۳۹ a	۱/۳۶ a	۱/۴۲ a
سطحی – خاک‌ورزی مرسوم	۱/۳۴ a	۱/۳۶ a	۱/۳۸ a	۱/۴۲ a	۱/۲۷ a	۱/۳۳ a	۱/۳۲ a	۱/۳۷ a
سطحی –کم‌خاک‌ورزی	۱/۳۵ a	۱/۴۶ a	۱/۳۲ a	۱/۴۴ a	۱/۲۶ a	۱/۴۴ a	۱/۳۱ a	۱/۳۵ a
سطحی – بی‌خاک‌ورزی	۱/۳۰ a	۱/۳۴ a	۱/۴۱ a	۱/۴۱ a	۱/۳۴ a	۱/۴۲ a	۱/۳۳ a	۱/۴۱ a
بارانی – خاک‌ورزی مرسوم	۱/۳۳ a	۱/۳۴ a	۱/۳۹ a	۱/۴۵ a	۱/۲۹ a	۱/۳۲ a	۱/۲۳ a	۱/۳۱ a
بارانی –کم‌خاک‌ورزی	۱/۳۷ a	۱/۴۷ a	۱/۴۰ a	۱/۵۳ a	۱/۳۳ a	۱/۴۱ a	۱/۲۶ a	۱/۳۴ a
بارانی- بی‌خاک‌ورزی	۱/۲۹ a	۱/۴۱ a	۱/۴۴ a	۱/۴۸ a	۱/۳۵ a	۱/۴۱ a	۱/۲۹ a	۱/۳۸ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

سرعت نفوذ آب در خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های سرعت نفوذ آب در خاک (جدول ۷) نشان می‌دهد که اختلاف بین تیمارهای آبیاری از نظر سرعت نفوذ آب در خاک در تمام مراحل اندازه‌گیری معنی‌دار است در حالی که تفاوت بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر این فاکتور، در مرحلهٔ دوم اندازه‌گیری (اردیبهشت ۹۰) معنی‌دار نیست و در بقیهٔ مراحل معنی‌دار است.

جدول ۷- تجزیهٔ واریانس داده‌های متوسط سرعت نفوذ آب در خاک در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری (اعداد ارائه شده در جدول، مقادیر F هستند)

منابع تغییر	آبان ۱۳۸۹	اردیبهشت ۱۳۹۰	مهر ۱۳۹۰	مهر ۱۳۹۱
تکرار	۴/۵۹*	۲/۹۴^{ns}	۱/۷۱^{ns}	۰/۱۶^{ns}
آبیاری	۱۳/۴۸**	۴/۹۷*	۱۷/۳۵**	۲۹/۸۷**
خاک‌ورزی	۳/۷۳*	۰/۹۰^{ns}	۸/۱۰**	۴۵/۲۰**
اثر متقابل	۷/۹۵**	۰/۵۶^{ns}	۱۹/۲۳**	۲۳/۸۲**

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌دار

نتایج مقایسهٔ میانگین تیمارهای آبیاری، خاک‌ورزی و اثر متقابل آنها از نظر سرعت نفوذ آب در خاک به ترتیب در جدول‌های ۸ تا ۱۰ ارائه شده است. روش آبیاری قطره‌ای نواری بیشترین سرعت نفوذ آب در خاک را در تمام مراحل اندازه‌گیری و آبیاری سطحی هیدروفلوم کمترین سرعت نفوذ آب در خاک را دارد (جدول ۸). در بین روش‌های خاک‌ورزی نیز خاک‌ورزی مرسوم بیشترین سرعت نفوذ آب در خاک را در تمام مراحل اندازه‌گیری دارد و کمترین سرعت نفوذ مربوط به روش کم‌خاک‌ورزی است (جدول ۹). مقایسهٔ میانگین سرعت نفوذ آب در خاک تحت تأثیر اثر متقابل روش آبیاری و خاک‌ورزی نشان می‌دهد که در تمام مراحل اندازه‌گیری، تیمار خاک‌ورزی مرسوم آبیاری شده با روش آبیاری قطره‌ای نواری دارای بیشترین سرعت نفوذ آب در خاک و دو تیمار کم‌خاک‌ورزی آبیاری شده با روش‌های آبیاری بارانی و سطحی هیدروفلوم دارای کمترین سرعت نفوذ آب در خاک است (جدول ۱۰).

جدول ۸- مقایسهٔ میانگین متوسط سرعت نفوذ آب در خاک (میلی‌متر در دقیقه) در تیمارهای مختلف آبیاری در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری

تیمار اصلی	آبان ۱۳۸۹	اردیبهشت ۱۳۹۰	مهر ۱۳۹۰	مهر ۱۳۹۱
آبیاری قطره‌ای نواری	۰/۸۰a	۱/۰۲a	۱/۲۵a	۱/۲۶a
آبیاری سطحی	۰/۵۷b	۰/۵۶b	۰/۸۱b	۰/۹۴b
آبیاری بارانی	۰/۹۹a	۰/۸۲a	۰/۷۹b	۱/۰۹b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

جدول ۹- مقایسهٔ میانگین متوسط سرعت نفوذ آب در خاک (میلی‌متر در دقیقه) در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری

تیمار فرعی	آبان ۱۳۸۹	اردیبهشت ۱۳۹۰	مهر ۱۳۹۰	مهر۱۳۹۱
خاک‌ورزی مرسوم	۰/۸۷a	۰/۸۸a	۱/۱۶a	۱/۳۲A
کم‌خاک‌ورزی	۰/۶۶b	۰/۶۹a	۰/۸۴b	۰/۹۹b
بی‌خاک‌ورزی	۰/۸۳ab	۰/۸۳a	۰/۸۵b	۰/۹۹b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

جدول ۱۰- مقایسهٔ میانگین متوسط سرعت نفوذ آب در خاک (میلی‌متر در دقیقه) تحت تأثیر اثر متقابل روش آبیاری و خاک‌ورزی در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری

تیمار	آبان ۱۳۸۹	اردیبهشت ۱۳۹۰	مهر ۱۳۹۰	مهر ۱۳۹۱
آبیاری قطره‌ای نواری – خاک‌ورزی مرسوم	۰/۹۸	۱/۱۵	۱/۶۹	۱/۵۶
آبیاری قطره‌ای نواری –کم‌خاک‌ورزی	۰/۸۴	۰/۷۸	۱/۵۰	۱/۲۳
آبیاری قطره‌ای نواری – بی‌خاک‌ورزی	۰/۵۶	۱/۱۵	۰/۵۸	۰/۹۹
آبیاری سطحی – خاک‌ورزی مرسوم	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۷۳	۰/۸۹
آبیاری سطحی -کم خاک ورزی	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۴۹	۰/۹۴
آبیاری سطحی – بی‌خاک‌ورزی	۰/۶۱	۰/۵۵	۱/۲۱	۱/۰۱
آبیاری بارانی – خاک‌ورزی مرسوم	۱/۰۸	۰/۹۶	۱/۰۶	۱/۵۱
آبیاری بارانی –کم‌خاک‌ورزی	۰/۵۷	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۷۸
آبیاری بارانی – بی‌خاک‌ورزی	۱/۳۱	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۹۹

عملکرد محصول

بررسی نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های عملکرد گندم مشخص می‌کند که در دورهٔ تحقیق (دو سال)، روش آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد گندم داشته است که سطح احتمال این معنی‌داری در سال اول ۹۹ و در سال دوم ۹۵ درصد بوده است (جدول ۱۱). روش خاک‌ورزی و اثر متقابل روش آبیاری و خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گندم نداشته‌اند. معنی‌دار نبودن اثر روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد گندم بیانگر این واقعیت است که در شرایط آب و هوایی گرم و در خاک لوم، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد گندم نمی‌شوند و این روش‌های خاک‌ورزی با توجه به سایر مزایای ارزشمندی که دارند، به راحتی می توانند جایگزین خاک‌ورزی مرسوم شوند.

جدول ۱۱- تجزیهٔ واریانس داده‌های عملکرد گندم (اعداد ارائه شده در جدول، مقادیر F هستند)

منابع تغییر	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۱
تکرار	۲/۰۷^{ns}	۰/۰۱^{ns}
آبیاری	۲۳/۳۷**	۳/۷۷*
خاک‌ورزی	۱/۴۵^{ns}	۳/۴۱^{ns}
اثر متقابل	۱/۹۳^{ns}	۱/۴۰^{ns}

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌دار

مقایسهٔ میانگین تیمارهای مختلف آبیاری از لحاظ عملکرد گندم نشان می‌دهد که در سال اول کشت گندم، آبیاری قطره‌ای نواری بیشترین عملکرد را داشته است که با عملکرد روش‌های آبیاری سطحی و بارانی اختلاف معنی‌دار دارد (جدول ۱۲). اختلاف بین دو تیمار آبیاری سطحی هیدروفلوم و آبیاری بارانی از نظر عملکرد محصول معنی‌دار نیست و عملکرد هردو تیمار تقریباً یکسان است. در سال دوم، بیشترین عملکرد گندم مربوط به آبیاری بارانی قرقره‌ای است که با عملکرد آبیاری نواری قطره‌ای اختلاف معنی‌داری ندارد، کمترین عملکرد نیز مربوط به تیمار آبیاری سطحی هیدروفلوم است. هرچند عملکرد گندم در روش آبیاری نواری قطره‌ای در سال دوم نسبت به مقدار آن در سال اول کاهش چشمگیری دارد، اما برتری آن نسبت به روش آبیاری سطحی هیدروفلوم در سال دوم همچنان ادامه دارد که نشان دهندهٔ موفقیت این روش آبیاری در کشت گندم است. در هر دو سال دورهٔ تحقیق، آبیاری بارانی از نظر عملکرد گندم نوسان زیادی دارد که دلیل آن احتمالاً حساسیت این روش آبیاری به شرایط جوی از جمله وزش باد به هنگام آبیاری است.

جدول ۱۲- مقایسهٔ میانگین عملکرد گندم در تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار اصلی	عملکرد گندم (کیلوگر در هکتار)	
	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۱
آبیاری قطره‌ای نواری	۶۷۴۴a	۵۴۶۸a
آبیاری سطحی	۴۶۴۴b	۴۶۱۷b
آبیاری بارانی	۴۵۵۳b	۵۵۱۰a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

نتایج مقایسهٔ میانگین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر عملکرد گندم در دورهٔ تحقیق نشان می‌دهد که در سال اول، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک‌ورزی وجود ندارد هرچند تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم عملکرد بیشتری دارند (جدول ۱۳). در سال دوم، تیمار خاک‌ورزی مرسوم عملکرد بیشتری نسبت به دو تیمار دیگر دارد که اختلاف آن با عملکرد تیمار بی‌خاک‌ورزی معنی‌دار است اما با عملکرد تیمار کم‌خاک‌ورزی معنی‌دار نیست. کمترین عملکرد در سال دوم متعلق به تیمار بی‌خاک‌ورزی است در حالی که این تیمار در سال اول بیشترین عملکرد را داشته است. به نظر می‌رسد اثر تجمعی بقایای گیاهی در سطح خاک در سال‌های مختلف اجرای پروژه (چهار فصل کشت) که باعث کاهش دمای خاک می‌شود، افت عملکرد گندم (حدود ۱۶درصد) را در تیمار بی‌خاک‌ورزی در سال آخر تحقیق به دنبال داشته است. کاهش دمای خاک در اثر وجود بقایای گیاهی در کشت صیفی هم اتفاق می‌افتد و معمولاً درصد افت دما در تابستان، در مقایسه با زمستان، بالاتر هم هست اما اثر سوء کاهش دما بر سرعت جوانه زنی و رشد گیاه در محصولات صیفی (که در فصل گرم کشت می‌شوند) کمتر است. فریبارین و همکارارن (Freebarin *et al.*, 1986) و د ویتا و همکاران (De Vita *et al.*, 2007) در بارهٔ افزایش عملکرد گندم دیم در روش خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، گزارش کرده‌اند که با توجه به محدودیت رطوبت در کشت دیم و نقش بقایا در حفظ رطوبت، این امر دور از انتظار نیست.

جدول ۱۳- مقایسهٔ میانگین عملکرد گندم در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

تیمار فرعی	عملکرد گندم (کیلوگر در هکتار)	
	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۱
خاک‌ورزی مرسوم	۴۹۶۰a	۵۵۵۷a
کم‌خاک‌ورزی	۵۴۵۱a	۵۳۸۴ab
بی‌خاک‌ورزی	۵۵۳۱a	۴۶۵۳b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

بهره‌وری مصرف آب

میانگین حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف آبیاری برای گندم در دو حالت بدون احتساب بارندگی و با احتساب بارندگی در جدول ۱۴ ارائه شده‌است. در هر دو سال دورهٔ تحقیق، بیشترین مقدار مصرف آب در آبیاری سطحی اتفاق افتاده‌است و روش‌های آبیاری بارانی و نواری قطره‌ای در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. در کشت گندم، متوسط میزان صرفه جویی در مصرف آب در روش‌های آبیاری نواری قطره‌ای و بارانی، نسبت به روش آبیاری سطحی هیدروفلوم، به ترتیب برابر با ۵۹ و ۴۰ درصد است. حق (Haq, 1990) و لطیف (Latif, 1990) نیز کاهش مصرف آب در آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی را گزارش کرده‌اند.

جدول۱۴- مصرف آب گندم در تیمارهای مختلف آبیاری در دو حالت با احتساب بارندگی مؤثر و بدون احتساب باران مؤثر

روش آبیاری	مصرف آب در گندم (متر مکعب در هکتار)					
	سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۹۱		میانگین	
	بدون احتساب بارندگی	با احتساب بارندگی	بدون احتساب بارندگی	با احتساب بارندگی	بدون احتساب بارندگی	با احتساب بارندگی
آبیاری قطره‌ای نواری	۳۳۶۴	۶۰۸۹	۳۴۰۸	۴۷۷۴	۳۳۷۷	۵۴۳۱/۵
آبیاری سطحی	۸۱۵۴	۱۰۸۷۹	۸۲۲۶	۹۵۹۲	۸۱۹۰	۱۰۲۳۵/۵
آبیاری بارانی	۴۹۵۵	۷۶۸۰	۴۸۸۱	۶۲۴۷	۴۹۱۸	۶۹۶۳/۵

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های بهره‌وری مصرف آب آبیاری در گندم نشان می‌دهد که در هر دو سال دورهٔ تحقیق، بهره‌وری مصرف آب فقط تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های آبیاری قرار داشته‌است و روش‌های خاک‌ورزی و اثر متقابل روش خاک‌ورزی و آبیاری اثر معنی‌داری بر بهره‌وری مصرف آب گندم نداشته است (جدول ۱۵).

جدول ۱۵- تجزیهٔ واریانس داده‌های بهره‌وری مصرف آب آبیاری در گندم (اعداد ارائه شده در جدول، مقادیر F هستند)

منابع تغییر	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۱
تکرار	۲/۵۲^{ns}	۰/۰۴^{ns}
آبیاری	۱۹۳/۶۷**	۸۰/۵۸**
خاک‌ورزی	۳/۲۵^{ns}	۳/۳۲^{ns}
اثر متقابل	۲/۷۰^{ns}	۱/۷۰^{ns}

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌دار

در تولید گندم در هردو سال دورهٔ تحقیق، آبیاری نواری قطره‌ای بیشترین و تیمار آبیاری سطحی کمترین بهره‌وری مصرف آب را دارد (جدول ۱۶). در هر دو سال، اختلاف بین سه تیمار آبیاری از نظر بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار است. با توجه به اینکه بهره‌وری مصرف آب گندم در هر دو سال در تیمار آبیاری نواری قطره‌ای با فاصله‌ای قابل توجه بیشتر از بهره‌وری مصرف آب در دو تیمار دیگر است، بنابراین آبیاری نواری قطره‌ای به عنوان روشی مناسب برای آبیاری گندم قابل توصیه خواهد بود. ترک نژاد و همکاران نیز گزارش کرده‌اند که آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری سطحی می‌تواند بهره‌وری مصرف آب گندم را تا دو برابر افزایش دهد (Torknejad *et al.*, 2006).

جدول ١٦- مقایسهٔ میانگین بهره‌وری مصرف آب در گندم در تیمارهای مختلف آبیاری در دو حالت با احتساب بارندگی مؤثر و بدون احتساب باران مؤثر

تیمار اصلی	بهره‌وری مصرف آب در گندم (کیلوگر بر متر مکعب)			
	سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۹۱	
	بدون احتساب بارندگی	با احتساب بارندگی	بدون احتساب بارندگی	با احتساب بارندگی
آبیاری قطره‌ای نواری	۲/۰۵a	۱/۱۱a	۱/۶۱a	۱/۱۵a
آبیاری سطحی	۰/۵۷c	۰/۴۳c	۰/۵۶c	۰/۴۸c
آبیاری بارانی	۰/۹۲b	۰/۵۹b	۱/۱۳b	۰/۸۸b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

تیمارهای مختلف خاک‌ورزی از نظر بهره‌وری مصرف آب گندم در هر دو سال دورهٔ تحقیق در یک سطح آماری قرار دارند و با هم اختلاف معنی‌داری ندارند(جدول ۱۷). دلیل معنی‌دار نشدن اختلاف بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر بهره‌وری مصرف آب، معنی‌دار نبودن اختلاف عملکرد گندم (جدول ۱۳) و همچنین یکسان بودن حجم آب مصرفی در این تیمارهاست. حفظ بقایا در سطح خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی کمک شایانی به حفظ رطوبت خاک می کند (De Vita *et al.*, 2007; Freebarin *et al.*, 1986)، بنابراین چنانچه آبیاری تیمارهای خاک‌ورزی بر اساس نتایج پایش رطوبت خاک باشد، قطعاً تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بهره‌وری مصرف آب بیشتری را به خود اختصاص می دادند. از این رو برای تعیین بهره‌وری مصرف آب واقعی در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و مقایسهٔ آن با خاک‌ورزی مرسوم باید مقدار رطوبت تیمارهای مختلف پایش شود و هر تیمار در زمان مورد نیاز آبیاری گردد. در این حالت حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی لزوماً یکسان نخواهد بود و نقش هر دو عامل تأثیرگذار در بهره‌وری مصرف آب (حجم آب مصرفی و عملکرد محصول) دیده خواهد شد.

جدول ۱۷- مقایسهٔ میانگین بهره‌وری مصرف آب در گندم در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در دو حالت با احتساب بارندگی مؤثر و بدون احتساب باران مؤثر

تیمار فرعی	بهره‌وری مصرف آب در گندم (کیلوگر بر متر مکعب)			
	سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۹۱	
	بدون احتساب بارندگی	با احتساب بارندگی	بدون احتساب بارندگی	با احتساب بارندگی
خاک‌ورزی مرسوم	۱/۰۵a	۰/۶۵a	۱/۱۷a	۰/۸۹a
کم‌خاک‌ورزی	۱/۲۲a	۰/۷۴a	۱/۱۵a	۰/۸۸a
بی‌خاک‌ورزی	۱/۲۲a	۰/۷۴a	۰/۹۸a	۰/۷۵a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از اجرای این تحقیق، جرم مخصوص ظاهری خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، بیشتر است. از میان روش‌های آبیاری، جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار آبیاری نواری قطره‌ای بیشتر از جرم مخصوص ظاهری خاک در دو روش آبیاری دیگر است. همچنین، آبیاری نواری قطره‌ای بیشترین مقدار متوسط سرعت نفوذ آب در خاک را در میان روش‌های آبیاری دارد و کمترین متوسط سرعت نفوذ آب در خاک مربوط به روش آبیاری سطحی است. در بین روش‌های خاک‌ورزی، متوسط سرعت نفوذ آب در خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از دو تیمار دیگر است در حالی که کمترین مقدار متوسط سرعت نفوذ آب در خاک در تیمار کم خاک‌ورزی اتفاق افتاده است. روش‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد گندم ندارند اما عملکرد گندم تحت تأثیر معنی‌دار روش آبیاری قرار دارد که روش‌های آبیاری تحت فشار موفق تر از آبیاری سطحی عمل کرده‌اند. بیشترین مقدار مصرف آب در روش آبیاری سطحی (هیدروفلوم) و کمترین آن در روش آبیاری قطره‌ای نواری دیده می‌شود به طوری که در آبیاری قطره‌ای، نسبت به آبیاری بارانی و سطحی هیدروفلوم، به ترتیب ۳۱ و ۵۹ درصد آب صرفه‌جویی شده است. بهره‌وری مصرف آب تحت تأثیر روش آبیاری قرار گرفته است در حالی که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر بهره‌وری مصرف آب گندم نداشته است. بیشترین بهره‌وری مصرف آب مربوط به روش آبیاری نواری قطره‌ای و کمترین آن مربوط به روش آبیاری سطحی است. بنابراین، روش آبیاری نواری قطره‌ای برای گندم قابل توصیه است.

مراجع

Afzalinia, S., Karami, A. and Alavimanesh, S. M. 2012. Comparing Conservation and Conventional Tillage Methods in Corn-Wheat Rotation. Proceeding of the International Conference of Agricultural Engineering, July 8-12. Valencia, Spain.

Afzalinia, S. and Zabihi, J. 2014. Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. Soil and Tillage Research. 137, 1-6.

Cetin, O. and Bilgel, L. 2002. Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. Agricultural Water Management. 54, 1-15.

De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N. and Pisante, M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil and Tillage Research. 92(1-2), 69-78.

Erenstein, O. and Laxmi, V. 2008. Zero tillage impacts in India's rice–wheat systems: A review. Soil and Tillage Research, 100, 1-14.

Freebarin, D. M, Ward, L. D., Clarke, A. L. and Smith, G. D. 1986. Research and development of reduced tillage systems for vertisols in Queensland, Australia. Soil and Tillage Research. 8, 211-229.

Haq, N. 1990. Evaluation of modern irrigation techniques for sandy loam soil having low slopes. M. Sc. Thesis, Dept. of Irrigation and Drainage, University of Agriculture, Faisalabad.

Jat, M. L., Gathala, M. K., Ladha, J. K., Saharawat, Y. S., Jat, A. S., Kumar, V., Sharma, S. K., Kuma, V. and Gupta, R. 2009. Evaluation of precision land leveling and double zero-till systems in the rice–wheat rotation: Water use, productivity, profitability and soil physical properties. Soil and Tillage Research. 105 (1), 112-121.

Latif, M. 1990. Sprinkler irrigation to harness potential of water scarcity area in Pakistan. Technical Report No. 41. CEWRE. Pub. No. 37.

Liu, S., Zhang, H., Dai, Q., Huo, H., Xu, Z. K. and Ruan, H. 2005. Effects of no-tillage plus inter-planting and remaining straw on the field on cropland eco-environment and wheat growth. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 16, 393-396.

McGarry, D., Bridge, B. J. and Radford, B. J. 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. Soil and Tillage Research. 53,105-115.

Monotti, M., Borghi, B., Chiducci, Boggini, M. G. and Gambelli, M. L. 1982. Effects of irrigation and other agronomic practices on wheat grain yield. Universita di Perugia General e Coltivazioni Erba Universita di Perugia.

Oron, G., Demalach, J. and Bearman, J. E.1986. Trickle irrigation of wheat applying renovated waste water. Water resources-Bulletin. 22(3), 439-446.

Schneider, A. D. and Howell, T. A. 1999. LEPA and spray irrigation for grain crops.J. Irrig Drain Engin. 125(4), 167-172.

Siahpoosh, M. R., Dehghanian, S. E., Kamkarhaghighi, A. A. and Amin, H. 2006. Evaluation of water productivity and its component as criteria of selecting drought tolerant wheat. Final report, Institute of Agricultural Engineering Research. 85/803. (in persian).

Taser, O. and Metinoglu, F. 2005. Physical and mechanical properties of a clay soil as affected by tillage systems for wheat growth. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-soil and Plant. 55, 186-191.

Torknejad, A., Aghaee Sarbezeh, M., Jafari, H., Shirvani, A., Ruintan, R., Nemati, A. and Shahbazi, Kh. 2006. Technical and economical evaluation of drip irrigation in wheat and comparing with surface irrigation. Journal of Research and development in Agriculture and Horticulture. 72, 36-44. (in persian).

Journal of Engineering Research in Agricultural Mechanization and Systems /Vol.17/No.66/2016/P:57-70

Effect of Conservation Tillage and Irrigation Methods on Water Productivity and Wheat Yield in Rotation with Cotton (Case Study in Fars Province)

S. Afzalinia*, A. R. Ziaee, S. E. Dehghanian and S. M. Alavimanesh

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.
Email: afzalinia@farsagres.ir
Received: 3 November 2015, Accepted: 7 March 2016

In this study, effect of conservation tillage and irrigation methods on soil properties, water productivity, and wheat yield was evaluated by using split plot experimental design with nine treatments and three replications. Main plots were irrigation methods including surface irrigation (gated pipe), tape irrigation, and sprinkle irrigation. Tillage methods including zero tillage (direct drilling), reduced tillage, and conventional tillage (control treatment) were considered as sub plots. Soil bulk density, infiltration rate, water consumption, wheat yield, and water productivity were measured in different tillage and irrigation treatments. Results showed that both tillage and irrigation methods had significant effect on soil bulk density in such a way that drip irrigation had the maximum soil bulk density compared to the other irrigation methods. Meanwhile, conservation tillage methods increased soil bulk density compared to the conventional tillage for 2.4%. Wheat yield was higher in pressurized irrigation methods compared to the surface irrigation. The maximum water consumption was related to the surface irrigation, and drip irrigation had the minimum water consumption. Drip and sprinkle irrigation saved water for 59 and 40%, respectively compared to the surface irrigation. The highest water productivity was obtained from drip irrigation and surface irrigation had the lowest water productivity.

Keywords: Irrigation methods, Tillage methods, Water productivity, Wheat yield