روابط خاک و گیاه / سال دوازدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۰ / صفحات ۱۰۷-۹۳
مقاله پژوهشی

بهره‌وری آب گندم در دو تاریخ کاشت و مدیریت عرضه محور آب در شرق اصفهان

مهسا خسروی‌فرد[۱]، مهدی قیصری* و محمد شایان‌نژاد

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹)

چکیده

با توجه به کمبود منابع آب در کشور، مدیریت تاریخ کاشت و آبیاری برای تولید گندم با بهره‌وری آب زیاد ضروری است. هدف این پژوهش بررسی اثر دو تاریخ کاشت آبان ماه (PD1) و بهمن ماه (PD2) و دو رژیم آبیاری سنتی (T) و تکمیلی (W) بر عملکرد و بهره‌وری آب گندم (رقم پیشتاز) در شرق اصفهان (سوسارت) بود. آزمایش‌های مزرعه‌ای در دو فصل متوالی پاییز و زمستان در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در یک خاک لوم رسی در شرق اصفهان انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاریخ کاشت نه تنها بر عملکرد گندم در هر دو مدیریت سنتی و تکمیلی بلکه بر بهره‌وری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) داشت. عملکرد در PD1 به میزان ۱۱/۵ درصد بیش‌تر از PD2 بود، درحالی که بهره‌وری آب آبیاری در PD1 به میزان ۹ درصد کم‌تراز PD2 بود. آبیاری تکمیلی در دوره خوشه‌دهی تأثیر معنی‌داری بر عمکرد دانه گندم داشت. انجام یک آبیاری تکمیلی در هر دو تاریخ کاشت موجب افزایش عملکرد شد اما بهره‌وری آب کاهش یافت. به‌طوری که اگر هدف افزایش عملکرد باشد انجام آبیاری تکمیلی توصیه می‌شود اما اگر هدف افزایش بهره‌وری آب باشد، آبیاری تکمیلی توصیه نمی‌شود. مقایسه تبخیر و تعرق (ET_c) محاسبه شده به روش فائو-پنمن-مانتیث نشان داد که مقدار آب آبیاری در تیمارهای TPD1 و TPD2 به‌ترتیب ۶۶/۷ و ۲۴/۹ درصد بیش‌تر از نیاز آبی گیاه بود. بنابراین تبدیل آبیاری از نوع عرضه‌محور به تقاضامحور و در کنار آن انجام یک آبیاری تکمیلی نه تنها جلو این تلفات را خواهد گرفت بلکه بهره‌وری آب را به‌طور قابل توجهی افزایش خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: کارایی مصرف آب آبیاری، تاریخ کاشت بهینه، گندم رقم پیشتاز، آبیاری سطحی

مقدمه

گندم، یکی از اصلی‌ترین گیاهان زراعی و غذای اصلی نیمی از جمعیت جهان و کشورهای در حال توسعه مانند ایران است. به همین دلیل گندم به یکی از محصولات استراتژیک ایران تبدیل شده که از نظر سطح و ارزش غذایی دارای اهمیت زیادی است (۱۱، ۱۴ و ۱۵). بنابراین، برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت به‌منظور افزایش تولید این محصول در واحد سطح و به‌ازای آب مصرفی اجتناب‌ناپذیر است. بر اساس آمار سال ۱۳۹۹، سطح زیر کشت گندم در کشور حدود ۵/۸ میلیون هکتار برآورد شده که دو میلیون هکتار آن مربوط به کشت گندم آبی و ۳/۸ میلیون هکتار کشت گندم دیم است (۲۱). کشت گندم، در استان اصفهان به‌ویژه در شرق اصفهان نیز اهمیت زیادی دارد به طوری که برداشت گندم استان اصفهان در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵، حدود ۲۵۰ هزار تن گزارش

۱- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gheysari@iut.ac.ir

شده است (۳۷). گندم در ایران به دو صورت بهاره و زمستانه کشت می‌شود (۲۲).

در اقلیم‌های خشک از جمله ایران و شهرستان‌هایی مانند اصفهان، به‌دلیل تقاضای تبخیر زیاد اتمسفر، نیاز آبیاری گیاهان افزایش می‌یابد، درحالی که منابع آب قابل استفاده در این مناطق، محدود است (۱). یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت آبیاری تعیین دقیق زمان آبیاری گیاه گندم به‌ویژه در آبیاری سطحی است. اثر زمان اعمال آبیاری تکمیلی بر عملکرد گندم متفاوت است به‌طوری که یک آبیاری ۱۰۰ میلی‌متری در مرحله گرده‌افشانی گندم سبب افزایش عملکرد ۳۵ درصدی و یک آبیاری ۱۴۰ میلی‌متری آبیاری در زمان گل‌دهی یا پر شدن دانه سبب افزایش عملکرد ۶۸ درصدی شده است (۹). بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم در سه سطح بدون آبیاری، آبیاری در مرحله گل‌دهی و آبیاری در مرحله پرشدن دانه نشان داد آبیاری تکمیلی در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه بر وزن خشک گیاه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم تأثیر مثبتی دارد. با توجه به نتایج این آزمایش، انجام یک نوبت آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی یا پرشدن دانه در افزایش عملکرد گندم دیم مؤثر بوده است (۲۰). شناخت مراحل حساس رشد گیاه و پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد دانه به زمان و میزان آب دریافتی در آبیاری تکمیلی تحت شرایط دیم، نقش مهمی در افزایش تولید گندم دارد (۳۶).

زمان کاشت نیز تأثیر بسزایی در رشد و نمو گیاه طی فصل رشد دارد. تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند طول مراحل نمو را به‌شدت تغییر دهد و معمولاً صفات ژنتیکی و شرایط محیطی، طول دوره پیش از گل‌دهی را تعیین می‌کند. بسته به ویژگی‌های گیاه، مراحل نمو را می‌توان صرفاً به‌عنوان تابعی تلفیقی از دما و زمان در نظر گرفت (۳). سینکلر (۲۰۱۴) نشان داد دما مهم‌ترین عامل پیش‌برنده نمو در گیاه است (۱۲). اولیوار و انانـدال (۲۸) بیان کردند که در شرایط بهینه، دما و طول روز مهم‌ترین عوامل هستند که نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با تأخیر در تاریخ کاشت به‌دلیل مواجه شدن با دمای‌های بیش‌تر، دوره رشد رویشی تسریع پیدا می‌کند. کاشت دیرهنگام گندم به‌عنوان مهم‌ترین مانع برای افزایش بهره‌وری شناخته شده است. کاهش یک درصدی عملکرد دانه تحت تأثیر تأخیر یک روزه از زمان مناسب کاشت (۱۹) و کاهش ۳۹ کیلوگرم عملکرد دانه گندم به ازای یک روز تأخیر در کاشت از زمان مناسب (۳۲) گزارش شده است. کاشت دیرهنگام نه تنها بر جوانه‌زنی بلکه بر سنبله دانه‌ها، وزن هزار دانه، و در نهایت عملکرد دانه تأثیر منفی می‌گذارد (۷، ۱۳ و ۳۱) ولی تاریخ کاشت مناسب عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (۲۹). عبداللهی (۲۰۱۶) نشان داد تاریخ کاشت به‌عنوان یک عامل مهم مدیریتی در تولید هر محصول، بر کمّیت و کیفیت تولید محصول و بهره‌وری آب، اثر معنی‌داری دارد (۲). اثر تاریخ کاشت بر رشد و نمو گیاه و تغییر شدید طول مراحل رشد گزارش شده است (۸). تأخیر در کاشت گندم نان، موجب کاهش معنی‌دار در تعداد روز تا ظهور بساک، رسیدگی فیزیولوژیک، دوره پرشدن دانه، برجستگی دوگانه و سنبلچه انتهایی می‌شود (۲۴). همچنین اثر تاریخ کاشت بر رقم‌های مختلف گندم در گرگان نشان داد تاریخ کاشت بهینه برای رقم‌های مختلف متفاوت است (۳).

برای افزایش بهره‌وری آب، انجام مدیریت آبیاری در سیستم مدیریتی کشاورزی شرق اصفهان اجتناب‌ناپذیر است. در شرق اصفهان کمبود آب و ضرورت انجام کشاورزی به دلایل اجتماعی، پژوهشگران و مسئولان را به چاره‌اندیشی برای مدیریت علمی با بهره‌وری آب زیاد سوق داده است. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی در زمینه آبیاری تکمیلی و تاریخ کاشت گندم انجام شده است. اما، تاکنون پژوهشی در مورد تاریخ کاشت و نقش آبیاری عرضه‌محور آب و آبیاری تکمیلی گیاه گندم رقم پیشتاز در شرق اصفهان صورت نگرفته است. اهداف این پژوهش شامل ۱) بررسی عملکرد گندم رقم پیشتاز تحت تأثیر آبیاری عرضه‌محور آب در شرق اصفهان در یک خاک لوم رسی در سیستم آبیاری سطحی نواری، ۲) بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و ۳) تأثیر تاریخ کاشت بر عمکرد و مراحل فنولوژیک رقم مذکور بود.

جدول ۱. میانگین روزانه برخی از پارامترهای هواشناسی و بارندگی در ماه‌های فصل رشد (ایستگاه اصفهان، سال‌های زراعی ۱۳۹۶–۱۳۹۵).

Table 1. Average of some of daily meteorological parameters and precipitations at Isfahan weather station (growing season1395-1396).

بارندگی Precipitation	میانگین سرعت باد Average wind speed	ساعات آفتابی روزانه Daily sunshine hours	رطوبت‌نسبی Average relative humidity	دمای میانگین Average temperature	بیشینه دما Maximum temperature	کمینه دما Minimum temperature	پارامتر هواشناسی Meteorological parameter
(mm)	(ms^{-1})	(hr)	(%)	(^0C)	(^0C)	(^0C)	ماه سال
12.12	43.1	7.08	48.4	84.5	12.09	–0.4	آذر ۱۳۹۵
73.12	1.3	51.7	45.48	45.6	69.13	–0.87	دی
16.11	02.2	8.7	05.48	19.5	44.11	-1.5	بهمن
0	98.1	1.8	9.44	65.9	06.16	24.3	اسفند
1.15	03.3	18.8	17.38	49.16	02.23	97.0	فروردین ۱۳۹۶
1.40	45.2	9.8	29.40	71.21	47.28	95.14	اردیبهشت
0	79.2	76.12	43.15	15.28	37	61.20	خرداد

مواد و روش‌ها

مشخصات مکان اجرای آزمایش و چگونگی اجرای طرح آزمایشی، در سال ۱۳۹۶–۱۳۹۵، در منطقه سوسارت در شرق اصفهان با مختصات جغرافیایی ۳۲/۶۴۲۱ شمالی و ۵۱/۸۹۷۱ شرقی در زمین‌های کشاورزان پیشرو انجام شد. در دوره رشد گندم، بیشینه دمای هوا در سال ۱۳۹۶ در خرداد ماه ۳۵/۷ درجه سلسیوس و کمینه دمای هوا در سال ۱۳۹۵ در بهمن ماه ۵/۱– درجه سلسیوس و میزان بارندگی سال آبی شهر اصفهان ۱۱۴ میلی‌متر بود جدول (۱) (www.esfahanmet.ir).

تیمارهای آزمایشی در کرت‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰۰ متر×متر شامل دو تاریخ کاشت و دو مدیریت آبیاری بودند که طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عملیات کاشت گندم در دو تاریخ ۲۰ آبان ماه (PD1) و ۱۴ بهمن ماه (PD2) سال ۱۳۹۵ مطابق با برنامه کاشت غالب منطقه انجام شد. رقم گندم پیشتاز با استفاده از بذر کار کمبینات به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاشت شد. پس از سبز شدن به‌طور میانگین تراکم بوته در کشت آبان ماه ۴۲۰ بوته در متر مربع و برای کشت بهمن ماه ۴۰۰ بوته در متر مربع بود. کشت سال پیش در مزرعه نیز گندم پیشتاز بوده است.

در کشت آبان ماه، آبیاری اول به مقدار ۱۷۱ میلی‌متر برای خاکاب با آب چاه و با شوری ۵/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. چهار نوبت آبیاری دیگر نیز با آب مخلوط رودخانه و چاه با شوری ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر به روش آبیاری سطحی نواری انجام شد. برای کاشت بهمن ماه ۴ نوبت آبیاری با آب مخلوط رودخانه و چاه با شوری ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر به روش آبیاری سطحی نواری انجام شد.

مدیریت‌های آبیاری شامل مدیریت کشاورز یعنی مدیریت عرف منطقه (T) (زمان تخصیص آب به کشاورز توسط شرکت آب منطقه‌ای تعیین می‌شود) و مدیریت با آبیاری تکمیلی (W) بودند. در مدیریت آبیاری سنتی (T) به‌طور میانگین هر ۳۰ روز یک بار، بر اساس تخصیص حق‌آبه به کشاورزان، آبیاری انجام شد. در تیمار آبیاری تکمیلی یک آبیاری اضافه بین دو آبیاری سنتی مشخص در مرحله حساس رشد گندم انجام شد. در هر نوبت، حجم آب آبیاری کاربردی، با استفاده از پارشال فلوم و اندازه‌گیری زمان آبیاری تعیین شد. رابطه دبی و ارتفاع آب روی شاخص پارشال فلوم (H) مورد استفاده در این پژوهش با معادله زیر ارائه شد (۳۴):

$$Q = KH^U \qquad (۱)$$

که در اینجا K=0.0294 و U=2.102، H ارتفاع آب قرائت شده

از روی خط کش پارشال فلوم بر حسب سانتی‌متر و Q دبی جریان بر حسب لیتر در ثانیه بود.

در تیمار WPD1 یک آبیاری تکمیلی بین آبیاری چهارم و پنجم با عمق ۴۵ میلی‌متر و در تیمار WPD2 یک آبیاری تکمیلی بین آبیاری سوم و چهارم با عمق ۴۵ میلی‌متر هر دو در زمان خوشه‌دهی گندم انجام شد. همچنین باران مؤثر نیز با استفاده از داده‌های هواشناسی و رابطه (۲) محاسبه شد (۲۳):

$$PE = 0.6\ PT\text{-}10 \qquad \text{if } PT < 70 \text{ mm} \qquad (۲)$$

در اینجا PE: بارندگی مؤثر ماهانه (میلی‌متر) و PT: بارندگی ماهانه (میلی‌متر) است.

مدیریت کود بر اساس عرف منطقه در سه مرحله پنجه‌زنی، به ساقه رفتن و گل‌دهی انجام شد. در مرحله پنجه‌زنی ۱۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیم (۴۶ درصد فسفر و ۱۶ درصد نیتروژن) در سطح مزرعه پخش شد و در مرحله به ساقه رفتن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) و در مرحله گل‌دهی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت کود آبیاری به مزرعه داده شد.

شاخص‌های رشد گیاه شامل وزن خشک زیست‌توده، ساقه، برگ و شاخص سطح برگ در چهار مرحله رشد (پنجه‌زنی، به ساقه رفتن، گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیک) در سه تکرار اندازه‌گیری شدند. در مرحله برداشت پایانی، وزن دانه‌ها و وزن خشک کاه و کلش اندازه‌گیری شد. برداشت محصول، در تاریخ‌های ۷ تیر (۲۲۷روز پس از کاشت) برای کاشت آبان ماه و ۳۰ تیر (۱۷۰روز پس از کاشت) برای کاشت بهمن ماه انجام شد. تاریخ مراحل پنجه‌زنی، شروع ساقه‌دهی، خوشه‌دهی، شروع گل‌دهی و شروع پرشدن دانه ثبت شد.

به‌منظور تعیین ویژگی‌های خاک، نمونه‌برداری از دو لایه ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری در سه نقطه مزرعه انجام شد. کلاس بافت خاک مورد بررسی لوم رسی بود. به‌منظور تعیین چگالی ظاهری با استفاده از سیلندر فلزی با قطر ۷ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر نمونه‌برداری در سه عمق (۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) و در هر عمق با سه تکرار در مزرعه انجام شد. رطوبت گنجایش مزرعه‌ای (FC) به روش میدانی در مزرعه در سه عمق (۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) با سه تکرار اندازه‌گیری شد. میانگین چگالی ظاهری و رطوبت گنجایش مزرعه‌ای به روش وزنی به‌ترتیب برابر ۱/۳۴ g/cm^3 و ۲۸ درصد به دست آمد. پس از برداشت محصول، دو پروفیل به عمق یک متر در هر تیمار آبیاری حفر شده و نمونه‌های خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی-متر در سه تکرار برای تعیین شوری گرفته شد.

شاخص‌های بهره‌وری آب آبیاری (IWP) برابر نسبت عملکرد محصول به کل آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی (IWP_R) برابر نسبت عملکرد به کل آب آبیاری و بارش‌های جوی با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه شد (۳۹):

$$IWP = \frac{Yield}{10 \times (Irrigation)} \qquad (۳)$$

$$IWP_R = \frac{Yield}{10 \times (Irrigation + PE)} \qquad (۴)$$

در اینجا IWP: بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Yield: وزن ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار) و Irrigation: عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر) (مقدار آبی که وارد مزرعه می‌شود)، IWP_R: بهره‌وری آب کاربردی (کیلوگرم بر مترمکعب)، و PE: بارندگی مؤثر (میلی‌متر) است.

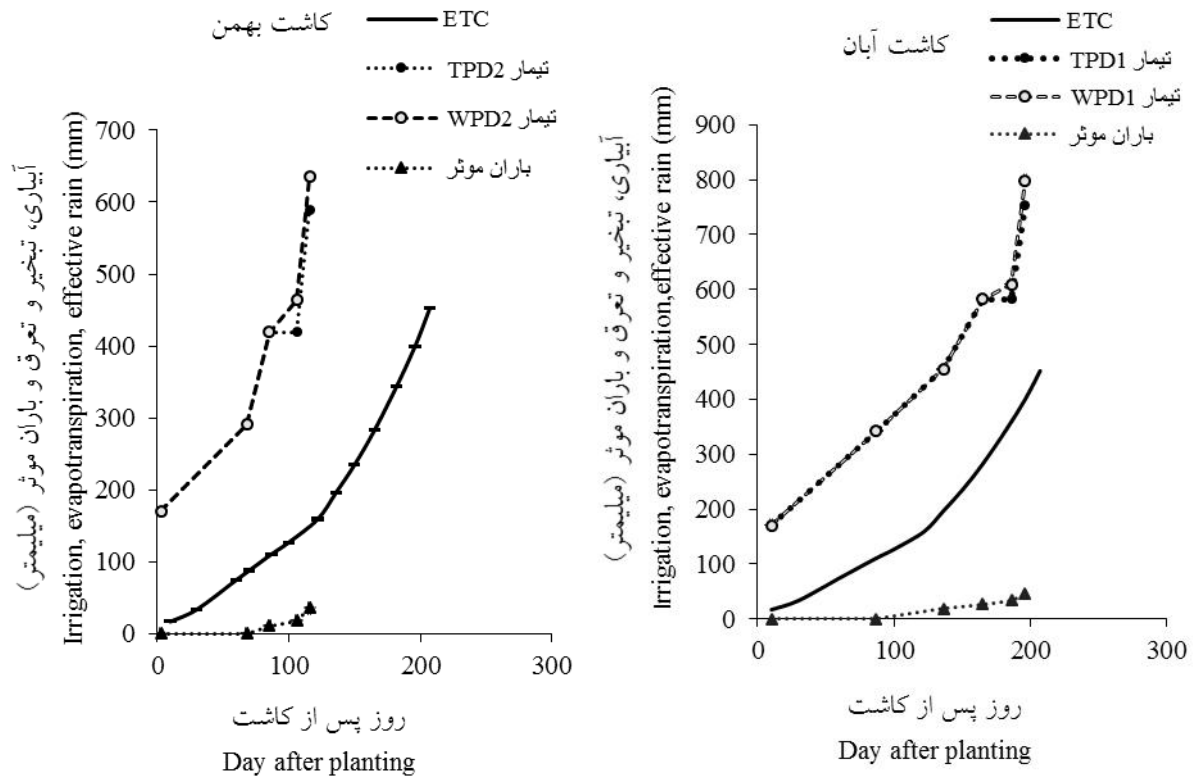
تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش فاکتورهای طرح تاریخ کاشت و مدیریت آبیاری هستند که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شدند. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد.

نتایج و بحث

مدیریت آبیاری و نیاز آبی

تیمار TPD1 پنج مرحله آبیاری در یک فصل زراعی (۲۰۷ روز) برابر ۷۵۴ میلی‌متر (با میانگین عمق آبیاری در هر آبیاری ۲۵± ۱۵۱ میلی‌متر)، در تیمار آبیاری تکمیلی WPD1 در شش مرحله



شکل ۱. تبخیر و تعرق تجمعی گندم، بارندگی مؤثر تجمعی و عمق آب آبیاری تجمعی در تیمارهای دو تاریخ کاشت آبان (PD1) و بهمن (PD2) در طول دوره رشد.

Fig. 1. Cumulative wheat evapotranspiration, cumulative effective rain and cumulative irrigation water for two planting dates of November (PD1) and February (PD2) during the growing season.

آبیاری برابر ۷۹۹ میلی‌متر، در تیمار TPD2 طول دوره رشد (۱۹۷ روز) چهار مرحله آبیاری برابر ۵۹۰ میلی‌متر (با میانگین عمق آبیاری در هر آبیاری ۲۱± ۱۴۷ میلی‌متر) و در تیمار آبیاری تکمیلی WPD2 در پنج مرحله آبیاری ۶۳۵ میلی‌متر بود. تبخیر و تعرق گندم از رابطه فائو-پنمن-مانتیث (FAO) و ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه فائو محاسبه شد (۶) و برابر ۴۵۲ میلی‌متر در تاریخ کشت آبان و ۴۷۲ میلی‌متر در تاریخ کشت بهمن بود. مقدار آب مصرفی در تیمارهای TPD1 و TPD2 به‌ترتیب ۳۰۱/۸۶ میلی‌متر (۶۶/۷ درصد) و ۱۱۷ میلی‌متر (۲۴/۸ درصد) و همچنین در WPD1 و WPD2 به‌ترتیب ۳۴۶ میلی‌متر (۷۶/۷ درصد) و ۱۶۲/۵ میلی‌متر (۳۴/۳ درصد) بیش‌تر از نیاز آبی گیاه بود (شکل ۱ و جدول ۲).

بررسی نیاز آبی و عمق آبیاری گندم بین دو رویداد آبیاری می‌تواند در فهم وضعیت تناسب بین عرضه آب و نیاز آبی گیاه کمک کند. در تاریخ کشت آبان ماه با لحاظ کردن شرایط رطوبت اولیه خاک در زمان تخصیص آب به کشاورز، عمق خالص آب آبیاری مورد نیاز در آبیاری اول ۱۱۱ میلی‌متر، آبیاری دوم ۸۶ میلی‌متر، آبیاری سوم ۸۶ میلی‌متر، آبیاری چهارم ۱۱۷ میلی‌متر و آبیاری پنجم ۵۳ و مجموعاً ۴۵۳ میلی‌متر بود. درصورتی که کشاورز در آبیاری اول ۶۰ میلی‌متر، آبیاری دوم ۸۵ میلی‌متر و آبیاری سوم ۲۷ میلی‌متر مازاد نیاز تبخیر و تعرق، آبیاری چهارم ۱۱ میلی‌متر کمبود و آبیاری پنجم ۱۲۹ میلی‌متر آب مازاد نیاز تبخیر-تعرق گندم (جمعاً ۲۹۰ میلی‌متر مازاد) به مزرعه داده بود.

در تاریخ کاشت بهمن ماه بر اساس دور آبیاری تخصیص آب و دوره رشد گیاه آب مورد نیاز در آبیاری اول ۹۰/۵ میلی‌متر، آبیاری دوم ۲۹ میلی‌متر، آبیاری سوم ۴۳ میلی‌متر و آبیاری چهارم ۳۰۹ میلی‌متر (در مجموع ۴۷۲ میلی‌متر) بود. اما

جدول ۲. آبیاری، تبخیر و تعرق، مازاد آبیاری در تیمارهای TPD1، TPD2، WPD1 و WPD2.

Table 2. Irrigation, evapotranspiration, excess irrigation for treatments of TPD1, TPD2, WPD1, WPD2.

مازاد آبیاری (درصد) Excess irrigation (%)	مازاد آبیاری (میلی‌متر) Excess irrigation (mm)	تبخیر و تعرق (میلی‌متر) Evapotranspiration (mm)	آبیاری (میلی‌متر) Irrigation (mm)	تیمار Treatment
66.7	302	452	754	TPD1
76.7	347	452	799	WPD1
24.9	117	472	590	TPD2
34.3	162	472	635	WPD2

جدول ۳. عمق آب آبیاری و عمق خالص آب مورد نیاز گندم با لحاظ کردن ذخیره رطوبتی خاک بر حسب میلی‌متر برای دو تاریخ کاشت آبان و بهمن طی دوره رشد.

Table 3. Depth of irrigation water and net depth of water required for wheat, taking into account the soil moisture storage (mm) for the two planting dates of November and February during the growing season.

کشت بهمن		کشت آبان		
آب مورد نیاز Water needs	آب داده شده Applied water	آب مورد نیاز Water needs	آب داده شده Applied water	شماره آبیاری Irrigation number
90	171	111	176	1
28	123	86	171	2
43	118	86	113	3
309	181	117	106	4
–	–	53	182	5

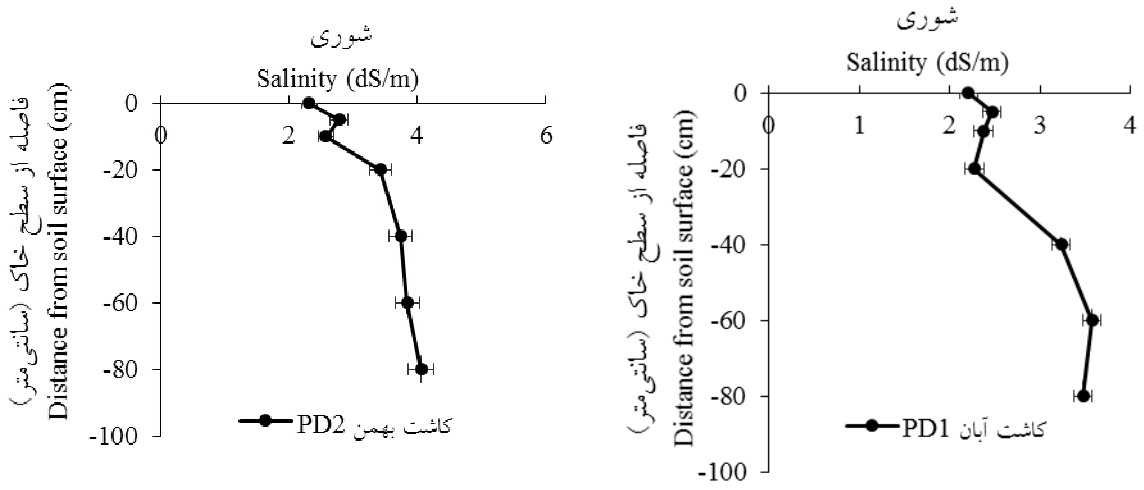
در آبیاری اول تا سوم به‌ترتیب ۸۰/۵، ۹۵/۶ و ۷۶/۲ میلی‌متر آب مازاد و در آبیاری چهارم ۱۲۸/۴ میلی‌متر کمبود در تأمین نیاز خالص آبی گندم رخ داده است (جدول ۳). در تاریخ کاشت بهمن، پس از آبیاری چهارم هیچ تخصیص آبی وجود نداشته و بنابراین گندم وارد مرحله تنش شدید شده بود.

نتایج نشان می‌دهد اگرچه کشاورز در کل فصل رشد عمق آب آبیاری بیش‌تری نسبت به نیاز آبی گندم (ET_c) استفاده کرده ولی آب مازاد به‌صورت رواناب و یا نفوذ عمقی از دسترس ریشه گیاه خارج شده است. برعکس در زمانی که نیاز آبی گیاه بیش‌تر از آب آبیاری بود، گیاه با کمبود آب مواجه شده است. نتایج (جدول ۳) نشان می‌دهد که عرضه‌محور بودن آب از نظر زمان و مقدار در منطقه مورد بررسی باعث عدم تناسب تخصیص آب چه به لحاظ زمانی و چه به لحاظ مقدار شده است. همچنین نتایج ارائه شده دلالت بر این دارد که عدم تناسب گنجایش نگهداشت آب خاک و نیاز آبی گیاه موجب هدر رفتن آب به‌صورت رواناب و نفوذ عمقی در مقطعی از فصل رشد و تنش کمبود آب در مقطع دیگر شده و مجموعاً منجر به کاهش راندمان کاربرد آبیاری[1] شده است.

شوری خاک در عصاره اشباع

شوری خاک در زمان برداشت محصول، در لایه‌های ۵-۰، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری، بین ۲/۱ تا ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر و در لایه‌های ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰، ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متری، بین ۳/۳ تا ۴/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود؛ بنابراین با افزایش عمق شوری خاک افزایش یافت. شوری خاک در اعماق مختلف، در کاشت آبان ماه نسبت به کاشت بهمن ماه کم‌تر بود که این یافته نشان‌دهنده اثر مثبت یک نوبت آبیاری بیش‌تر در کاشت آبان ماه است. اگرچه در آبان ماه آبیاری اول با آب با شوری ۵/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر انجام شده است، این آبیاری موجب افزایش

1. Application efficiency



شکل ۲. توزیع شوری عصاره گل اشباع خاک در اعماق مختلف مزرعه پژوهشی (PD1) و (PD2).

Fig 2. Salinity of saturated soil extract at different depths of research fields PD1 and PD2.

ذخیره رطوبتی خاک شد به‌طوری که آبیاری‌های بعدی با شوری حدود ۲ دسی‌زیمنس بر متر موجب آبشویی بهتر نمکاز خاک‌رخ شده است. حد آستانه شوری عصاره اشباع خاک برای گندم برابر ۷/۶ دسی‌زیمنس بر متر برای ۱۰ درصد کاهش محصول گزارش شده است (۱۱). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این پژوهش تنش شوری به گیاه گندم وارد نشده است (شکل ۲). حد آستانه شوری آب آبیاری گندم برای ۹۰ درصد تولید محصول برابر ۴/۹ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است، درصورتی که شوری آب آبیاری در خاکاب کشت آبان ماه برابر ۵/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. با توجه به اینکه ۱۰ درصد کاهش عملکرد در آبیاری سطحی در اثر شوری قابل پذیرش است (۶) شوری آب در خاکاب کشت آبان ماه حداکثر می‌تواند ده درصد کاهش عملکرد را سبب شده باشد.

شاخص‌های رشد گیاه

وزن ساقه، عملکرد زیتوده، شاخص سطح برگ بیشینه و وزن دانه تحت تأثیر مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت ($P < ۰/۰۱$) قرار گرفت. اما اثر برهم‌کنش مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت تنها بر وزن ساقه معنی‌دار بود (جدول ۴). شاخص سطح برگ و وزن ساقه در دو تاریخ کاشت به‌طور معنی‌داری متفاوت بودند. عملکرد دانه در تیمارهای TPD1، WPD1، TPD2 و WPD2 به‌ترتیب برابر ۵۶۷۳، ۵۸۵۶، ۵۱۷۶ و ۵۲۴۲ کیلوگرم در هکتار بود. در مرحله برداشت نیز عملکرد کل زیست‌توده در TPD1 برابر ۱۵۴۹۹ کیلوگرم در هکتار، در WPD1 برابر ۱۵۸۳۷ کیلوگرم در هکتار، در TPD2 برابر ۱۳۴۳۶ کیلوگرم در هکتار و در WPD2 برابر ۱۳۷۷۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد عملکرد دانه در PD1 برابر ۵۸۰۹ کیلوگرم در هکتار و در PD2 برابر ۵۲۰۹ کیلوگرم در هکتار بود. کشت بهمن عملکرد کم‌تری داشت؛ یکی از دلایل کاهش عملکرد در کشت بهمن می‌تواند تنش آبی در اوایل دوره خوشه رفتن و گل‌دهی رشد گندم باشد. همچنین در تاریخ کاشت دوم (بهمن)، کوتاه شدن دوره رشد رویشی موجب شد با وجود تشعشع خورشیدی بیش‌تر، عملکرد تولید شده در مقایسه با تاریخ کاشت آبان کم‌تر شود. علاوه بر این مواجه شدن گندم با طول روزهای بلند در مراحل ابتدایی رشد در تاریخ کاشت بهمن سبب شد دمای مورد نیاز برای طی مراحل فنولوژیک و ورود گیاه به مرحله فاز زایشی تأمین شود که این عامل منجر به کوتاه شدن دوره رشد رویشی گیاه، کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، محدودیت سطح برگ و در نهایت کاهش عملکرد شود (۲ و ۳).

جدول ۴. تجزیه واریانس وزن دانه، عملکرد زیتوده، وزن ساقه، شاخص سطح برگ بیشینه، بهره‌وری آب کاربردی، بهره‌وری آب آبیاری و شاخص برداشت تحت تأثیر مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت.

Table 4. Analysis of variance for grain weight, total biomass, stem weight, maximum leaf area index, applied water productivity, irrigation water productivity and harvest index as affected by irrigation management and planting date.

HI	IWP	IWP_R	LAI_{max}	W_{stem}	TB	GR	درجه آزادی	منابع تغییرات
							df	Sum of squares
0.00000335^{ns}	0.00020303**	0.00018119**	0.00275833**	29388.000**	52304.33^{ns}	927.082**	2	تکرار Replication
0.0004450**	0.0317590**	00281302**	0.279075**	6311850.**	12796805.3**	1080600.0**	1	تاریخ کاشت Planting date (PD)
0.00000685	0.00000937	0.00000832	0.0003250	1533.00	6932.33	118.083	2	خطا Error (a)
0.0000325^{ns}	0.0124502**	0.01013183**	0.002408**	319154.0**	338016.33**	19120.083**	1	رژیم آبیاری Irrigation regime (I)
0.0000046^{ns}	0.0002427**	0.0001908*	0.000008^{ns}	9464.083*	8.33^{ns}	546.750 ^{ns}	1	تاریخ کاشت × رژیم آبیاری PD × I
0.606815	0.321844	0.320098	0.221327	0.423305	0.606810	0.272505		ضریب تغییرات CV

ns اثر غیرمعنی‌دار، * اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** اثر معنی‌دار در سطح ۱ درصد را نشان می‌دهد، دانه: GR، زیتوده: TB، وزن ساقه: W_{stem}، بیشینه شاخص سطح برگ: LAI_{max}، بهره‌وری مصرف آب کاربردی: IWP_R، بهره‌وری مصرف آب آبیاری: IWP، شاخص برداشت: HI.

ns: no significance * significance at 5% level and ** significance at 1% level, GR: grain yield, TB: Total biomass, W_{stem}: Stem weight, LAI_{max}: Maximum leaf area index, IWP_R: Applied water productivity, IWP: Irrigation water productivity, HI: Harvest index.

جدول ۵. مقایسه میانگین وزن دانه، عملکرد زیست‌توده، وزن ساقه، شاخص سطح برگ بیشینه، بهره‌وری آب کاربردی، بهره‌وری آب آبیاری و شاخص برداشت بین دو تاریخ کاشت آبان (PD1) و بهمن (PD2).

Table 5. Mean comparisons of grain weight, total biomass, stem weight, maximum leaf area index, applied water productivity, irrigation water productivity and harvest index for planting dates of November (PD1) and February (PD2).

HI	IWP	IWP_R	LAI_{max}	W_{stem}	TB	GR	تیمار
	($kg\ m^{-3}$)	($kg\ m^{-3}$)	($cm^2\ cm^{-2}$)	($kg\ ha^{-1}$)	($kg\ ha^{-1}$)	($kg\ ha^{-1}$)	Treatments
0.370 ^{b}	0.742 ^{b}	0.701 ^{b}	3.60 ^{a}	8210 ^{a}	15668 ^{a}	5809 ^{a}	PD1
0.384 ^{a}	0.851 ^{a}	0.803 ^{a}	3.29 ^{b}	6759 ^{b}	13603 ^{b}	5209 ^{b}	PD2

در هر صفت وجود حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر مبنای آزمون LSD است، GR: دانه، TB: زیتوده، W_{stem}: وزن ساقه، LAI_{max}: بیشینه شاخص سطح برگ، IWP_R: بهره‌وری آب کاربردی، IWP: بهره‌وری آب آبیاری، HI: شاخص برداشت.

In each trait, the presence of different letters indicates significanct different at the 5% level based on the LSD test, GR: grain yield, TB: Total biomass, W_{stem}: Stem weight, LAI_{max}: Maximum leaf area index, IWP_R: Applied water productivity, IWP: Irrigation water productivity, HI: Harvest index.

نتایج پژوهش سلامات (۱۸) و قنبری و همکاران (۳۰) نیز نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و زیست‌توده گندم در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است. کاهش ۲۴ درصدی عملکرد دانه دو رقم گندم تحت تأثیر تاخیر کاشت گزارش شده است (۱۷). مناسب‌ترین دمای خاک در زمان کاشت برای رسیدن به تعداد بوته مناسب در هر مترمربع حدود ۱۷ تا ۲۰ درجه سلسیوس است و تغییر دما می‌تواند به‌طور مستقیم بر تعداد بوته گندم تأثیر بگذارد (۳) که با توجه به تاریخ کاشت در TPD2 دمای حداقل هوا کم‌تر از ۱۷ درجه سلسیوس بود. آنچه از این نتایج بر می‌آید این است که عوامل طول روز و دما در طی مراحل فنولوژیک گیاه به‌ویژه طول دوره رشد رویشی، تأثیر مستقیم بر عملکرد نهایی گندم داشته است.

جدول ۶. مقایسه میانگین وزن دانه، عملکرد زیست‌توده، وزن ساقه، شاخص سطح برگ بیشینه، بهره‌وری آب کابردی، بهره‌وری آب آبیاری و شاخص برداشت برای تیمارهای تاریخ کاشت و مدیریت آبیاری TPD1، WPD1، TPD2 و WPD2.

Table 6. Mean comparisons of grain yield, total biomass, stem weight, maximum leaf area index, applied water productivity, irrigation water productivity, and harvest index under two planting dates and irrigation managements (TPD1, WPD1, TPD2, WPD2).

HI	IWP	IWP_R	LAI_{max}	W_{Stem}	TB	GR	مدیریت آبیاری
	($kg\ m^{-3}$)	($kg\ m^{-3}$)	($cm^2\ cm^{-2}$)	($kg\ ha^{-1}$)	($kg\ ha^{-1}$)	($kg\ ha^{-1}$)	Irrigation regime
0.380 a	0.880 a	0.832 a	3.28 b	6568 b	13436 b	5176 b	TPD2
0.380 b	0.811 b	0.773 b	3.31 a	6950 a	13770 a	5242 a	WPD2
0.371 a	0.773 a	0.731 a	3.59 a	8075 b	15499 a	5763 b	TPD1
0.362 a	0.722 b	0.680 b	3.61 a	8345 a	15837 a	5856 a	WPD1

در هر صفت وجود حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر مبنای آزمون LSD است، عملکرد دانه (GR)، زیتوده (TB)، وزن ساقه (W_{stem})، شاخص سطح برگ بیشینه (LAI_{max})، بهره‌وری آبیاری (IWP)، بهره‌وری آب کاربردی (IWP_R) و شاخص برداشت (HI).

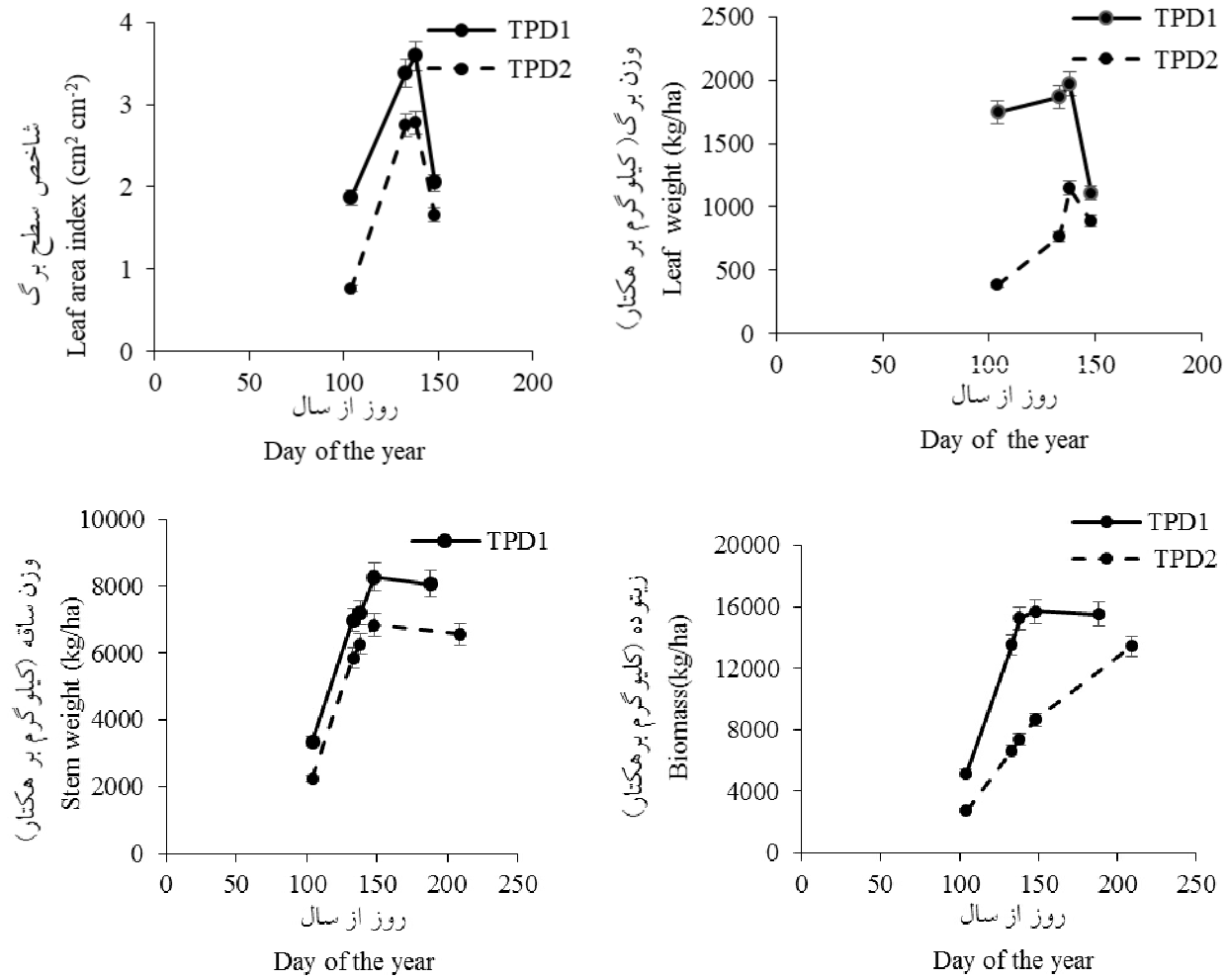
In each trait, the presence of common letters indicates no significance at the 5% level based on the LSD test, GR: grain yield, TB: Total biomass, W_{stem}: Stem weight, LAI_{max}: Maximum leaf area index, IWP_R: Applied water productivity, IWP: Irrigation water productivity, HI: Harvest index.

عملکرد در TPD1 حدود ۱۱ درصد (۵۸۶ کیلوگرم) بیش‌تر از TPD2 بود، با توجه به اینکه مقدار آبیاری در TPD1 ۴۰ درصد و در TPD2 ۱۹/۹۱ درصد بیش از نیاز آبی گیاه در کل فصل رشد بود (جدول ۶)، عامل تأثیرگذار در کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، مدیریت نادرست آبیاری (با توجه به تنش خشکی در اوایل مرحله خوشه رفتن و گل‌دهی در کاشت بهمن) و تاریخ کاشت نامناسب بود. در این خصوص پژوهشگران نشان دادند گندم در مرحله گل‌دهی با ضریب حساسیت به تنش آبی ۱/۹۶ و در دوره شیری یا خمیری شدن با ضریب حساسیت به تنش آبی ۱/۶۷ بیش‌ترین کاهش عملکرد را در شرایط تنش آبی نشان می‌دهد (۵).

عملکرد زیست‌توده، وزن ساقه، وزن برگ و شاخص سطح برگ در تمامی مراحل اندازه‌گیری شاخص گیاهی در تیمار TPD1 بیش‌تر از تیمار TPD2 بود. همچنین تفاوت در روند تغییرات در وزن برگ، شاخص سطح برگ و وزن ساقه در دو تاریخ کاشت کاملاً مشهود است (شکل ۳) که تفاوت در روند نشان‌دهنده تأخیر در مراحل فنولوژیک گیاه در تاریخ کاشت PD2 است. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد به‌واسطه تاریخ کاشت دیرهنگام گندم با کاهش سطح برگ تولید شده و کاهش طول دوره ساقه‌دهی مواجه می‌شود. کاهش طول دوره رشد رویشی با تأخیر در کاشت یکی از عوامل تأثیرگذار بر میزان شاخص سطح برگ و وزن ساقه است. همچنین کوتاه شدن دوره رشد باعث کاهش جذب تشعشع طی فصل رشد و در نهایت کاهش مقدار کل زیتوده در مرحله برداشت می‌شود (۱۳).

بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی

اثر مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت بر شاخص‌های IWP و IWP_R دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی به‌ترتیب برابر ۰/۸۸۰ و ۰/۸۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب در کشت بهمن مشاهده شد (جدول ۶)، که می‌تواند به‌دلیل آب کاربردی کم‌تر در کشت دوم و کم‌آبیاری باشد. مقادیر بهره‌وری آب آبیاری بین رژیم آبیاری سنتی و آبیاری تکمیلی در تاریخ کاشت بهمن تفاوت معنی‌داری داشتند. مقادیر IWP در شرق اصفهان بین ۰/۸۸۰ و ۰/۷۷۳ کیلوگرم بر مکعب و IWP_R بین ۰/۸۳۲ و ۰/۶۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود. پژوهشگران پیشین نشان دادند دامنه تغییرات IWP برای گندم ۰/۷ تا ۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب و برای IWP_R بین ۰/۲ تا ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود (۲۵). بین دو گروه داده IWP و IWP_R، آزمون *t* student انجام گرفت، مقدار $P > |t|$ در آزمون برابری و نابرابری واریانس‌ها برابر با ۰/۰۹ و مقدار Pr > F نیز برابر با ۰/۸۱ به‌دست آمد که حاکی از معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین دو گروه داده است. بنابراین وارد شدن داده‌های بارندگی در



شکل ۳. شاخص سطح برگ، وزن برگ، زیتوده و وزن ساقه طی دوره رشد در دو تاریخ کاشت آبان (TPD1) و بهمن (TPD2).

Fig 3. Leaf area index, leaf weight, total biomass and stem weight during the growing season at the two planting dates of November (TPD1) and February (TPD2).

محاسبه بهره‌وری آب تأثیر معنی‌داری بر نتایج نداشت، که دلیل آن کم بودن مقدار بارندگی مؤثر در برابر آب آبیاری بود.

بهره‌وری آب آبیاری در TPD1 ۱۵ درصد کم‌تر از TPD2 بود (جدول ۶)، عملکرد دانه TPD1 ۵۷۶۳ کیلوگرم در هکتار و در TPD2 ۵۱۷۶ کیلوگرم در هکتار (تفاوت معنی‌دار ۱۱ درصدی) و عمق آب آبیاری در TPD1 ۲۷/۷۹ درصد (۱۶۴ میلی‌متر) بیش‌تر از TPD2 بود. باوجود بیش‌تر بودن عملکرد در تیمار TPD1، آبیاری بیش‌تر در این تاریخ کاشت موجب کاهش بهره‌وری آب آبیاری در TPD1 نسبت به TPD2 شده است.

زیرا آبیاری‌های انجام شده متناسب با نیاز آبی گیاه نبوده و بر اساس دسترسی به آب، آبیاری انجام شده است. ولی پژوهشگران نشان دادند قطع یک نوبت آبیاری، بهره‌وری کل را ۱۰/۵ درصد افزایش می‌دهد. همچنین، قطع اولین آبیاری بهاره با ۲۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب، منجر به افزایش ۳/۳ درصدی عملکرد و افزایش بهره‌وری آب آبیاری می‌شود (۳۸). در این پژوهش به‌دلیل عرضه‌محور بودن آب و عدم تناسب زمان و عمق آب آبیاری با نیاز آبی گیاه، و کاربرد آب بیش از نیاز گیاه، بهره‌وری آب آبیاری کم‌تر از ۰/۸۵ کیلوگرم بر متر

مکعب برای دو تاریخ کاشت بود.

عملکرد تیمار WPD2 به میزان ۱/۲۶ درصد (۶۶/۳ کیلوگرم بر هکتار) بیش‌تر از TPD2 بود (جدول ۶) و آبیاری تکمیلی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد شده است. لازم به ذکر است در آبیاری چهارم در TPD2 بر اساس محاسبه نیاز آبی گیاه با استفاده از معادله فائو-پنمن-مانتیث، کمبود آبیاری (۱۲۸/۳۸- میلی‌متر) وجود داشته و گیاه تحت تأثیر تنش خشکی بوده است. از این‌رو انجام یک آبیاری تکمیلی در این دوره تنش با عمق ۴۵ میلی‌متر موجب افزایش عملکرد شده است. تنش آب بر همه جنبه‌های رشد و نمو گیاه مؤثر بوده و موجب تغییرات ساختمانی، مورفولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه می‌شود. تنش کم‌آبی تنها بر یک شاخص به‌ویژه در گیاه اثر نمی‌گذارد، بلکه بسیاری از عوامل تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند (۲۶ و ۲۷). تنش کم‌آبی منجر به پژمردگی پنهان در سلول‌ها می‌شود که دارای علائم آشکار نبوده و سبب کاهش استحکام برگ‌ها و یا افزایش زاویه برگ‌ها با ساقه و پژمردگی برگ‌ها و نهایتاً کل بوته می‌شود. تنش کم‌آبی همچنین از راه بستن و یا کاهش اندازه منفذ روزنه‌ها موجب کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود (۳۵). تأمین آب در مرحله پنجه‌زنی نیز برای تولید عملکرد گندم بسیار مهم است و خشکسالی در این دوره به‌شدت بر تعداد سنبله و میزان فتوسنتز تأثیر گذاشته و تولید را کاهش می‌دهد (۱۶، ۳۳ و ۴۰).

با توجه به اینکه در کشت بهمن، آبیاری تکمیلی بین رخدادهای آبیاری سوم و چهارم (در اوایل خوشه‌دهی) انجام شد، می‌توان نتیجه گرفت، آبیاری تکمیلی تا حدی توانسته کمبود آب در آبیاری چهارم را جبران کند و منجر به افزایش عملکرد دانه شود. اما اثر آن بر بهره‌وری مصرف آب برعکس بود به‌طوری که IWP در TPD2 برابر ۰/۸۸ و در WPD2 برابر ۰/۸۱ بود و تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۶). به‌طور کلی در مدیریت عرضه محور آب ۱۹/۹ درصد آب آبیاری بیش از نیاز آبی گیاه به‌کار رفته است، و در سه آبیاری اول آب مازاد بر نیاز آبی گیاه استفاده شده است. از طرفی با توجه به مقدار بهره‌وری آب آبیاری، مقدار عملکرد به‌دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت کمبود عمق آب آبیاری استفاده شده در کل دوره باعث کاهش عملکرد نشده، بلکه عدم اعمال مدیریت صحیح آبیاری متناسب با نیاز آبی گیاه در مراحل حساس رشد گندم منجر به کاهش عملکرد نسبت به پتانسیل مورد انتظار شده است.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی از این پژوهش بررسی تأثیر تاریخ کاشت و مدیریت عرضه‌محور آب گندم رقم پیشتاز در بخش کشاورزی شرق اصفهان بود. نتایج نشان داد مدیریت تاریخ کاشت آبان و بهمن که متأثر از شرایط آب و هوایی مانند دما و طول روز است، اثر معنی‌داری بر عملکرد گندم در شرق اصفهان داشت و بهترین تاریخ کاشت گندم در شرق اصفهان آبان ماه تعیین شد. تخصیص آب به کشاورزان به‌صورت عرضه‌محور موجب اتلاف ۴۰ درصد و ۱۹/۹ درصد آب به‌ترتیب در کشت آبان و بهمن در طی دوره رشد گندم می‌شود این در حالی است که گندم در طی دوره رشد تنش متوسط تا شدید را تجربه می‌کند. به‌طوری که انجام یک آبیاری اضافه به میزان ۶ و ۷/۶ درصدی آب آبیاری رایج منطقه در تاریخ کاشت آبان و بهمن به‌ترتیب موجب افزایش عملکرد ۹۳/۳ و ۶۶/۳ کیلوگرم در هکتار دانه گندم شد که از نظر افزایش بهره‌وری آب اثر مطلوبی نداشت. نتایج این پژوهش نشان داد تاریخ کاشت آبان بهتر از بهمن است و همچنین مقدار آب کاربردی توسط کشاورزان در طی دوره رشد گندم بیش‌تر از نیاز آبی گیاه است. این در حالی است که مقدار عملکرد گندم در این منطقه نسبت به مقدار قابل حصول بر اساس مقدار آب مصرفی بسیار کم‌تر است. بنابراین تحویل تقاضامحور آب به کشاورزان شرق اصفهان می‌تواند شکاف تولید دانه گندم تا پتانسیل مورد انتظار را کاهش دهد و از تلفات آب در کشت گندم جلوگیری کند.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., Sohrab, F., Abbasi, N., 2017. Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research* 67(17): 113–128. (in Persian with English abstract)
2. Abdulahi, A., 2016. Effect of seed density and planting date on yield and yield components of bread wheat in dry land conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture* 4(8): 99–114. (In Persian with English abstract)
3. Accevedo, E., Silva, P., Silva, H., 2002. Wheat Growth Physiology. FAO, Italy.
4. Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A.,Zeynali, E., Arabameri, R., 2010. The effect of planting date on duration of phonological phases in wheat cultivars and its relation with grain yield. *Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Science and Natural Resources*) 2: 109–122. (In Persian with English abstract)
5. Akbari. M., Mohseni Movahed, A., 2011. Effect of irrigation removal at different stages of growth on wheat yield of Alvand cultivar (Case study: Hamedan). *Iranian Journal of Water and Soil* 6: 1386–1394. (in Persian with English abstract)
6. Allen, R.G., Pereira L.S., Rase, .D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requierments. FAO, United Nations Rome.
7. Anwar, J., Ahmad , A., Khaliq, T., Mubeen, M., Sultana, S. R., 2012. Optimization of sowing time for promising wheat genotypes in semiarid environment of Faisalabad. *Crop & Environment* 1: 24–27.
8. Ashena, M., Kafi, M., Jafarnezhad, A., Sharifi, H. R., 2016. Evaluation of planting date and nitrogen effects on the development stages of wheat cultivars and their relationship with yield and yield components in Nishabur. *Iranian Journal of Crop Production* 8(4): 143–162. (In Persian with English abstract)
9. Attia, A., Rajan, N. Q., Xue, A., ShyamNair, I., Brahim, A., Hays, D., 2016. Application of DSSAT-CERES-Wheat model to simulate winter wheat response to irrigation management in the Texas High Plains. *Agricultural Water Management* 165: 50–60.
10. Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985.Water Quality for Agriculture. FAO, UK, Rome.
11. Bannayan, M., Eyshi Rezaei, E., Hoogenboom, G., 2013. Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. *Agricultural Water Management* 126: 56–63.
12. Boote, K. J., Bennett J. M., Sinclair, T. R., Paulsen, G. M., 1994. Physiology and Determination of Crop Yield. American Society of Agronomy, USA.
13. Coventry, D. R., Gupta, R. K., Yadav, A., 2011. Wheat quality and productivity as affected by varieties and sowing time in Haryana. *Journal Field Crops Research* 3: 214–225.
14. Delghandi, M., 2012. Assessing the effects of climate change risk on wheat yield and providing adaptation strategies in the South of Khuzestan plain. PhD Thesis, Chamran University, Ahvaz, Iran.
15. Dokoohaki, H., Gheysari , M., Mousavi, S. M., Mirlatifi, S. M., 2012. Estimation soil water content under deficit irrigation by using DSSAT. *Journal of Water and Irrigation Management* 1: 1–14.
16. Fan, Y.L., Liu, J.M., Zhao, J.R., Ma, Y.Z., Li ,Q. Q., 2019. Effects of delayed irrigation during the jointing stage on the photosynthetic characteristics and yield of winter wheat under different planting patterns. *Agricultural Water Management* 221: 371–376.
17. Flowers, M., James, C., Petrie, S., Machado, S., Rhinhart, K., 2006. Planting date and seeding rate effects on the yield of winter and spring wheat varieties results from the 2005-2006 cropping year. *Agricultural Research* 12(2): 72–74.
18. Ganbari, A., Roshani, H., Tavassoli, A., 2012. Effect of sowing date on some agronomic charactristics and seed yield of winter wheat cultivars. *Journal of Crop Ecophysioplogy* 2(22): 122–124.
19. Gul, H., Saeed, B., Khan, A.Z., 2012. Morphological and some yield attributes in cultivars of wheat in response of varying planting dates and nitrogen application. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 2: 100–109.
20. Jafari, H., Heidari, G.H., Khalesro, S., 2019. Effects of supplemental irrigation and biofertilizers on yield and yield components of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Science* 29(2): 173–187. (in Persian with English abstract)
21. Karimi, A., 2012. Agricultural Statistics. Ministry of Jihad Agriculture, Tehran.
22. Malakouti, M. J., Keshavarz, P., 2006. The effects of salinity on extractability and chemical fractions of zinc in selected calcareous soils of Iran (Evaluation and Utilization). Sana, Tehran.
23. MoaserMoghaddam, H., Golmakani, T. 2002. Calculation and monitoring of rainfall in irrigation systems. *Bulletin of the National Center for Climatolo*gy 4: 13–21.
24. Nakhjavanimoghaddam,M.M., Ghahraman, B., Zarei, Gh., 2017. Wheat water productivity analysis under different irrigation management practices in some regions of Iran. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture (Formerly Soil and Water Science)* 1: 43–57.
25. Nazeri, M., 2017. Changes in developmental stages and canopy temperature depression of bread wheat under

different environmental conditions due to differential sowing dates. *Applied Research in Field Crops* 30 (1): 46–72. (in Persian with English abstract)
26. Noble, P.S., 2009. Physicochemical and Environment Plant Physiology. Academic Press, UK.
27. Oliver, F.C., Annadal, J.G. 1998. Thermal time requirements for the development of green pea. *Journal of Field Crops Research* 56: 301–307.
28. Pessarkli, M., 2014. Handbook of Plant Crop Stress. Marcel Dekker, USA.
29. Rajput, R., Verma, L., 1994. Effect of sowing dates on the yield of different varieties of wheat in Chambal Command area of Madhya Pradesh. *Indian Journal of Agronomy* 9: 165–169.
30. Salamat, N., 2009. The effect of planting date on yield and yield components of Late puberty wheat cultivars. *Journal of Crop Physiology* 3: 37–50. (in Persian with English abstract)
31. Sattar, A., Iqbal, M. M., Areeb, A., 2015. Genotypic variations in wheat for phenology and accumulative heat unit under different sowing times. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 8: 1–8.
32. Singh, V. P. N., Uttam, S. K., 1999. Influence of sowing dates on yield of wheat cultivars under saline sodic conditions in Central Utter Pradesh. *Indian Agriculture* 1: 64–68.
33. Song, H., Li, Y.B., Zhou, L., Xu, Z.Z., Zhou, G.S., 2018. Maize leaf functional responses to drought episode and re-watering. *Agricultural Forest Meteorology* 249: 57–70.
34. Shokoohi Langeroodi, A., Daneshkar Araste, P., 2012. Partial flums. In: Sahba, A., Parsafar, A. (Eds.), Irrigation Principles, Parctices and System Design. Dibagaran Cultural and Artistic Institute of Tehran, pp. 464–475.
35. Tabatabai Aghdaei, R., 2004. Reactions of plants against water scarcity and increasing resistance to drought and agricultural drought. *Iranian Journal of Agricultural Drought and Drought* 11: 53–47. (in Persian with English abstract)
36. Tadayon, M. R., Emam,Y., 2007. Responses of grain yield and yield components of wheat to supplemental irrigation in dryland conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 5(2): 159–169. (in Persian with English abstract)
37. Tavakoli, M. 2019. Wheat production in Isfahan. Available online at: http://www.irna.ir/news/=83323248.
38. Tavakoli,A.,2013. Deficit irrigation and supplementary irrigation management of irrigated and dryland wheat in Selseleh County. *Journal of Water Research in Agriculture* 4: 590–600. (in Persian with English abstract)
39. Vazifedoust, M., van Dam, J.C., Fedds, R.A., Feizi, M., 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management* 95: 89–102.
40. Yang, Y.H., Ding, J.L., Zhang, Y.H., Wu, J.C., Zhang, J.M., Pan, X.Y., 2018. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature photosynthetic characteristics and yield of winter wheat. *Agricultural Water Management* 201: 299–308.

Yield and Water Productivity of Wheat for Two Planting Dates Under Supply-Oriented Water Management in The East of Isfahan

M. Khosravi Fard[1], M. Gheysari[1]* and M. Shayannejad[1]

(Received: 19 September 2021; Accepted: 19 January 2021)

Abstract

Regarding the scarcity of water resources in Iran, management of planting dates and irrigation is necessary for wheat production. The goal of this study was to determine the effect of two planting dates of November (PD1) and February (PD2) and two irrigation regimes: traditional (T) and supplementary (W) on wheat yield and irrigation water productivity in the east of Isfahan. Field experiments were carried out during two consecutive seasons' autumn and winter in the crop year of 2016-2017 in a clay loam soil. The results showed that planting date significantly affected wheat yield and water productivity ($P < 0.01$). Yield in PD1 was 11.5% higher than PD2, while water productivity in PD1 was 9.0% lower than PD2. Supplementary irrigation in clustering period had a significant effect on wheat grain yield. Comparison of crop evapotranspiration (ET_c) calculated by FAO-Penman-Monteith method with that of applied irrigation water showed that the later in TPD1 and TPD2 treatments were, respectively, 40.0 and 19.9% more than the ET_c. In traditional irrigation management (T), lack of coordinations between the supplied water and the timely water requirement based on ET_c led to high water losses due to deep percolation and runoff. Supplementary irrigation regime on both planting dates significantly increased yield, with no positive effect on water productivity. We concluded that due to supply-oriented water management in the east of Isfahan, farmers use irrigation water more than what is needed for wheat yield production leading to less yield and much low water productivity than the potentials realizable in the region.

Keywords: Irrigation water use efficiency, Optimal planting date, Pishtaz wheat cultivar, Surface irrigation.

Background and Objective: In recent years, extensive research has been conducted on supplementary irrigation and planting dates on wheat. As shown, applying one additional irrigation at the flowering or grain filling stage has effectively increased wheat yield in the arid area (3). In addition, the late planting date of wheat is known as the most crucial barrier to high productivity (2, 4). This study aimed to investigate the effect of two irrigation managements and two planting dates on wheat (Pishtaz Cultivar) yield and irrigation water productivity in the east of Isfahan.

Methods: The experimental site was a wheat farm located in the Susart area east of Isfahan. Treatments comprised of two planting dates and two irrigation managements, including traditional (T) and supplementary (W) irrigation managements with three replications. Wheat seed of Pishtaz cultivar was planted on November 11 (PD1) and February 5 (PD2) in 2016. After harvest, two profiles with a depth of

1- Department of Irrigation, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.
* Corresponding Author, Email: gheysari@iut.ac.ir

one meter were excavated in each treatment to measure soil salinity in three replications. Measured plant indices included total biomass in three stages, grain weight, and dry weight of straw at harvest time.

Results: Soil salinity increased with increasing soil depth. Soil salinity at harvest stage, at layers of 0–5, 5–10, 10–20, and 20–40 cm, was in the range 1.2 to 2.3 dS m^{-1} and at layers of 40–60, 60–80, and 80–100 cm, it was in the range 3.3 to 4.1 dS m^{-1}. According to the wheat salinity threshold, (7.6 dS m^{-1} for 10% reduction in yield), there was no salinity stress for wheat in the present study. Grain yields were 5673, 5856, 5176 and 5242 kg ha^{-1} for TPD1, WPD1, TPD2 and WPD2, respectively. At the harvest stage, total biomass was 15499, 15837, 13436, and 13770 kg ha^{-1} in TPD1, WPD1, TPD2, and WPD2, respectively. The results showed that planting date and supplementary irrigation had a significant effect on wheat yield. Analysis of variance results showed that the effect of irrigation management and planting date on total applied water productivity (IWP_R) and irrigation water productivity (IWP) was significant. In PD2, the highest IWP and IWP_R were 0.880 and 0.832 kg m^{-3}, respectively. The corresponding values for PD1 were 0.773 and 0.680 kg m^{-3}. The difference between PD1 and PD2 can be due to less water used in the second planting date and water stress conditions. Other researchers have shown that the ranges of IWP and IWP_R changes were 0.7–1.9 kg m^{-3} and 0.2–1.5 kg m^{-3}, respectively The yield for TPD1 was 11.0% (586 kg) higher than TPD2, and the amount of irrigation was 40.0 and 19.9% more than the plant water requirement during the whole growing season for the two treatments, respectively. However, seed yield was reduced due to improper irrigation management. The results showed that the planting date of November and irrigation management based on crop water requirement would significantly affect wheat yield in the east of Isfahan. Moreover, the results showed that water allocation to farmers as a supply-oriented regime might cause 40% and 19.9% water loss on November and February planting dates, respectively, while the crop experiences water stress during the the growing season.

Conclusions: Despite the higher yield in TPD1 treatment, one excess irrigation in this treatment reduced water productivity as compared to TPD2. This is due to higher irrigation water in TPD1. Results imply that although the farmers obligatory receive irrigation water more than the crop need (i.e., ET_c) during the growing season, irrigations are not being performed timely, leading to water stress during the crop sensitive growth stages and thus to lower yield and much lower water productivity. Finally, the results of this study showed that the planting date of November is better than February. Also delivery of demand-driven water to farmers in the region would effectively improve yield and water productivity.

References:

1. Flowers, M., James, C., Petrie, S., Machado, S., Rhinhart, K., 2006. Planting date and seeding rate effects on the yield of winter and spring wheat varieties results from the 2005-2006 cropping year. *Agricultural Research* 12(2): 72–74.
2. Gul, H., Saeed, B., Khan, A.Z., 2012. Morphological and some yield attributes in cultivars of wheat in response of varying planting dates and nitrogen application. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 2: 100–109.
3. Jafari, H., Heidari, G.H., Khalesro, S., 2019. Effects of Supplemental Irrigation and biofertilizers on Yield and Yield Components of Dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Science* 29(2): 173–187.
4. Sattar, A., Iqbal, M. M., Areeb, A., 2015. Genotypic variations in wheat for phenology and accumulative heat unit under different sowing times. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 8: 1–8.