نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲ / مقاله علمی- پژوهشی: صفحات ۱۵۱ تا ۱۶۲

عملکرد و بهره‌وری آب گندم در سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای- نواری در شرق اصفهان

سپیده آقایی*، مهدی قیصری و محمد شایان نژاد[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۴)

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل کمبود میزان بارندگی و محدودیت آب امکان زیر سطح بردن تمام اراضی تحت کشاورزی فاریاب امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل کشت‌های متراکم با روش آبیاری قطره‌ای که آب را در محدوده ریشه گیاه توزیع می‌کند می‌تواند گزینه مناسبی برای تولید و ارتقاء بهره‌وری آب باشد. اهداف این پژوهش شامل مقایسه عملکرد و بهره‌وری آب گندم در دو الگوی توزیع آب در آبیاری قطره‌ای- نواری و سطحی (آبیاری درجا) در آبیاری کامل و تنش رطوبتی در شرق استان اصفهان بود. تیمارهای آزمایشی شامل دو سامانه آبیاری (آبیاری قطره‌ای- نواری و سطحی) و سه سطح مختلف آبیاری (یک سطح آبیاری کامل (W1)، دو سطح کم‌آبیاری شامل دور آبیاری دو برابر و عمق برابر با آبیاری کامل (W2) و دریافت نصف مقدارآب در تیمار آبیاری کامل و آبیاری همزمان با آبیاری کامل (W3)) بودند. در آبیاری سطحی آبیاری یکجا بدون رواناب با راندمان ۱۰۰ درصد اعمال شد. عملکرد در سطح آبیاری کامل در سامانه آبیاری قطره‌ای ۵۳۳۸/۴ کیلوگرم در هکتار و در سامانه آبیاری سطحی یکجا ۵۷۷۲/۸ کیلوگرم در هکتار بود. اعمال تنش در دو سامانه آبیاری نتایج متفاوتی به‌دلیلی تفاوت در الگوی خیس‌شدگی داشت. در سامانه آبیاری قطره‌ای بیشترین کاهش محصول در تیمار W2 و در سامانه آبیاری سطحی بیشترین کاهش محصول در تیمار W3 بود. همچنین، بیشترین شاخص بهره‌وری آب در سامانه آبیاری قطره‌ای $1/44 kg/m^3$ مربوط به تیمار W3 و در سامانه آبیاری سطحی $1/46 kg/m^3$ مربوط به تیمار آبیاری W2 بود. در سامانه آبیاری قطره‌ای مدیریت کم آبیاری دور ثابت عمق متغیر بهترین گزینه مدیریت کم آبیاری است. اما در آبیاری سطحی روش کم‌آبیاری دور متغیر عمق ثابت (به‌عبارتی حذف یک آبیاری یا افزایش دور آبیاری) بهترین گزینه مدیریت کم‌آبیاری است.

واژه‌های کلیدی: کارایی مصرف آب، آبیاری موضعی، قطره‌ای تیپ، آرایش کاشت

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sepideaghaei71@gmail.com

مقدمه

کشور ایران با بارش معادل یک سوم بارش متوسط جهان و یک دوم متوسط بارش آسیا در منطقه‌ای خشک و کم‌آب قرار دارد با نگاهی به نسبت آب برداشتی برای بخش کشاورزی که در گزارش فائو در سال ۲۰۱۵ ارائه شده‌است، این نکته مشخص می‌شود که حجمی بالغ بر ۹۰ درصد مجموع آب برداشت شده در ایران، صرف امور کشاورزی می‌شود (۳). در این شرایط با توجه به محدودیت منابع آب، لازم است به شیوه‌های مدیریت آبیاری، الگوی کشت، تعیین نیاز آبی، تخصیص آب بر اساس نیاز آبی گیاه طی دوره رشد، استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری به‌منظور کاهش جزء تلفات تبخیر و افزایش کارایی آب توجه ویژه‌ای شود.

گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی رده غلات در تغذیه انسان‌ها و جز اساسی‌ترین منابع دنیا برای تأمین کالری مورد نیاز است که حفظ و افزایش تولید جهانی آن ارتباط مستقیم و قوی با امنیت غذایی دارد. تولید جهانی گندم در حال حاضر حدود ۵۸۲/۷ میلیون تن بوده و حدود ۲۱۳/۸ میلیون هکتار از اراضی دنیا برای تهیه نان، تغذیه حیوانات و همچنین مصارف صنعتی زیر کشت گندم است (۳). گندم معمولاً به سه روش دیم، آبی و آبیاری تکمیلی کشت می‌شود. تنش آبی یکی از اساسی‌ترین عوامل محدود کننده (به‌ویژه در مراحل حساس به تنش آب) تولید است. با وجود اینکه شواهد کنونی نشان می‌دهد که یک استراتژی کم‌آبیاری می‌تواند بهترین گزینه برای افزایش بهره‌وری آب باشد، نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که عملکرد دانه گندم با افزایش میزان آبیاری افزایش می‌یابد (۱۵). پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که آبیاری مداوم و پیوسته عملکرد گندم را افزایش می‌دهد (۸، ۱۷ و ۲۱) و بیشترین عملکرد دانهٔ گندم با آبیاری گندم در تمام مراحل رشد به‌دست می‌آید (۲۱).

آبیاری تکمیلی در دو زمان گلدهی و گرده‌افشانی با روش آبیاری قطره‌ای نشان داد تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه در تمام تیمارها وجود دارد (۲۴). همچنین، عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در هر سنبله، وزن هزار دانه و ارتفاع گیاه بطور معنی‌داری تحت استرس رطوبتی قرار می‌گیرد. کاهش موارد مذکور تحت استرس رطوبتی منجر به کاهش ۳۹ درصد عملکرد دانه گندم نسبت به آبیاری کامل شد (۱۲). عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق معتدل تا خشک فقط به کل آب استفاده شده در طول دوره رشد بستگی ندارد، بلکه آب استفاده شده در هر مرحله رشد بطور مجزا، اثر متفاوتی دارد. گندم در واکنش به تنش رطوبتی در مراحل طویل شدن ساقه تا پرشدن دانه حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهد (۲۵). عملکرد دانه ارقام مختلف گندم بطور معنی‌داری در اثر تنش آب در مراحل حساس رشد کاهش می‌یابد که این کاهش عملکرد در مرحله گلدهی حداکثر است (۱۰). در غلات حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی، حدفاصل سنبله رفتن تا گلدهی است و واریته‌هایی که قبل از گلدهی بتوانند زی‌توده بالایی تولید و ذخیره اسیمیلات در ساقه را افزایش دهند جزء واریته‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شوند (۲۳).

در شرایط بحران آب، توجه به افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. در این شرایط ارتقا سامانه‌های آبیاری برای توزیع آب مورد نیاز گیاهان راهکاری است که می‌تواند در افزایش بهره‌وری آب سهم بسزایی داشته باشد. در سامانه‌های کشاورزی بهره‌وری آب به عوامل متعددی بستگی دارد. عمده این عوامل در کشت گندم عبارتند از: تبخیر زیاد از خاک نسبت به تبخیر- تعرق گیاه، سرعت پایین رشد گیاه در مراحل اولیه، ریشه‌های کم عمق، عملیات آبیاری که منجر به رواناب و نفوذ زیاد یا تلفات آب در حین انتقال می‌شود. ارزیابی فنی و اقتصادی روش آبیاری قطره‌ای درگندم و مقایسه آن با روش آبیاری سطحی نشان داد هر دو طرح به‌دلیل B/C>1 (منفعت به هزینه) دارای توجیه اقتصادی هستند. بنابراین، هر دو روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند. اما بهره‌وری آب در آبیاری قطره‌ای (۲/۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در مقایسه با روش سطحی (۱/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب) حدود دو برابر بود (۲۰). پژوهش‌ها نشان داده است که روش و میزان آب آبیاری

توسعه ریشه، الگوی توزیع ریشه و الگوی جذب آب توسط ریشه (RWU) را تحت تأثیر قرار می دهد (۱۱).

توسعه روزافزون استفاده از آبیاری قطره‌ای_ نواری در کشت‌های ردیفی مانند سیب‌زمینی، چقندرقند، گوجه‌فرنگی و غیره ایجاب می کند تا پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه استفاده از این سامانه‌ها انجام گیرد. این امر در زراعت گندم با تراکم بیشتر بوته‌ها نسبت به گیاهان دیگر به‌دلیل افزایش مصرف نوار آبیاری در واحد سطح و افزایش هزینه‌ها از حساسیت بیشتری برخوردار است که باید به نحوهٔ آرایش سامانه و مدیریت آبیاری توجه ویژه‌ای شود. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر مدیریت آبیاری و سامانه آبیاری روی گیاه گندم در شرق استان اصفهان، با توجه به کمبود آب و ضرورت انجام کشاورزی با توجه به مسائل اجتماعی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در منطقه شرق اصفهان صورت گرفت. ازآنجایی که محصول عمده کشاورزی این منطقه گندم است، مزرعه گندم دراین منطقه انتخاب شد. این مزرعه دارای موقعیت جغرافیایی عرض جغرافیایی "۲۵/۸ ′۳۹ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی"۱۸/۸۴ ′۵۲ °۵۱ شرقی است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه شرق اصفهان از نوع فراخشک سرد و بر طبق تقسیم بندی آمبرژه از نوع خشک سرد و بر اساس تقسیم بندی گوسن نیمه‌بیابانی است. بر اساس داده‌های بلندمدت هواشناسی (۱۹۷۷-۲۰۱۵) میانگین بلندمدت دمای ایستگاه شرق اصفهان ۱۵/۳ درجه سلسیوس است. میانگین دما در سردترین ماه سال ژانویه (دی ماه) ۱/۵ درجه سلسیوس و در گرم‌ترین ماه سال ژولای (تیرماه) ۲۹ درجه سلسیوس است. در ایستگاه شرق اصفهان بیشترین ساعات آفتابی ماهانه با میانگین ۳۴۹ ساعت به ماه ژولای و کمترین ساعات آفتابی ماهانه با میانگین ۱۹۲ ساعت به ماه دسامبر تعلق دارد. در این پژوهش در طول دوره رشد ۱۸۳ روزه گندم ۸۴ میلی‌متر بارندگی رخ داد. داده‌های هواشناسی مربوط به زمان انجام آزمایش به‌صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی اصفهان اخذ شد (جدول ۱).

در طی مدت ۱۸۳ روزه انجام پژوهش، میانگین کمینه دمای روزانه ۶/۸۴ درجه سلسیوس، میانگین بیشینه دمای روزانه۲۰/۱۶ درجه سلسیوس، میانگین تابش خورشیدی (PAR)، ۱۷/۷ MJ/(m2.day) و میانگین تشعشعات فعال فتوسنتز (m^2.day)/moles۳۴/۷۷ بود.خاک مزرعه دارای بافت لوم و سطح مزرعه دارای توپوگرافی یکنواخت بود. برخی از پارامترهای فیزیکی خاک مزرعه تا عمق ۶۰ سانتی متری خاک اندازه‌گیری شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متری بصورت میانگین آورده شده‌است (جدول ۲).

منبع اصلی تأمین آب این مزرعه آب کانال بود. از لحاظ تخصیص آب ثبات زمانی و حجمی نداشت و آب چاه مزرعه با دبی بسیار کم در دسترس بود که بصورت ترکیبی استفاده می‌شد. هدایت الکتریکی آب ترکیبی مزرعه ۲/۲dS/m و pH آب ۷/۵ بود. رقم گندم تقریباً زودرس پیشتاز با آرایش کاشت سه ردیف کاشت در عرض ۳۵ سانتی‌متر و فاصله ۷۵ سانتی‌متر فاصله مرکز به مرکز ردیف‌های کاشت بود (تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع). تاریخ کشت گندم ۹ آذر ماه و اولین آبیاری در تاریخ ۱۴ آذر انجام شد. آزمایش در قطعه‌ای از مزرعه که دارای تراکم کشت مطلوب و قابلیت اجرای مدیریت آبیاری مستقل داشت، انجام گرفت.

تیمارهای آزمایشی شامل دو سامانه آبیاری قطره‌ای- نواری و آبیاری سطحی یکجا بود که هر کدام از روش‌های آبیاری شامل سه سطح آبیاری بودند. سامانه آبیاری قطره‌ای- نواری (Drip-Tape) با فاصله ۷۵ سانتی‌متری نوارهای تیپ استفاده شد. آبگیری لوله‌های تیپ از لوله ۶۳ میلی‌متری پلی‌اتیلن (مانیفلد) که از لوله نیمه اصلی مزرعه انشعاب‌گیری شده بود انجام می‌گرفت و افت اصطکاکی در مسیر لوله مانیفلد قابل صرف‌نظرکردن بود. برای اندازه‌گیری آب استفاده شده در مزرعه از کنتور حجمی ۰/۷۵ اینچ با دقت یک لیتر استفاده شد. نوار آبیاری بغل‌دوخت از شرکت PFP (ساخت

جدول ۱. میانگین تعدادی از پارامترهای هواشناسی ایستگاه اصفهان در سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

پارامتر هواشناسی / ماه سال	کمینه دما	بیشینه دما	دمای میانگین	میانگین رطوبت نسبی	بارندگی ۲۴ ساعته	متوسط ساعات آفتابی روزانه	میانگین سرعت باد
	(^{0}C)	(^{0}C)	(^{0}C)	(%)	(mm)	(hr)	(mps)
آذر ۱۳۹۵	-۰/۴	۱۲/۱	۵/۸	۴۸/۴	۰/۴	۷/۱	۱/۴
دی ۱۳۹۵	-۰/۸۷	۱۳/۷	۶/۴	۴۸/۴	۰	۷/۵	۱/۳
بهمن ۱۳۹۵	-۱/۵	۱۱/۴	۵/۲	۴۸	۰/۴	۷/۸	۱/۲
اسفند ۱۳۹۵	۳/۲۴	۱۶/۱	۹/۶	۴۴/۹	۰/۴	۸/۱	۲
فروردین ۱۳۹۶	۰/۹۷	۲۳/۱	۱۶/۵	۳۸/۱	۰/۵	۸/۲	۳/۱
اردیبهشت ۱۳۹۶	۱۴/۹۵	۲۸/۵	۲۱/۸	۴۰/۲	۱/۳	۹	۲/۵
خرداد ۱۳۹۶	۲۰/۶۱	۳۵/۷	۲۸/۲	۱۵/۳	۰	۱۲/۸	۲/۸

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه

عمق نمونه (cm)	رس (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)	بافت خاک	ظرفیت نگهداری آب خاک (mm/m)	سرعت نفوذ (mm/hr)	رطوبت در حد گنجایش زراعی (٪)	چگالی ظاهری (g/cm^3)
۶۰-۰	۲۰/۹	۳۸/۶	۴۰/۵	لوم	۱۷۰	۱۳	۲۷	۱/۳

ایران) با آبدهی روزنه ۳ لیتر در ساعت در فشار ۱ بار با فاصله روزنه ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. به‌دلیل PC نبودن نوار تیپ، آبدهی روزنه‌ها در فشارهای مختلف متفاوت بود، بنابراین، در طول آزمایش همواره فشار ابتدای مانیفلد روی یک بار تنظیم می‌شد.

بر اساس نتایج پژوهش‌های قبلی مراحل حساس به استرس آبی در گندم زمان خوشه‌دهی و پر شدن دانه است (۱۴). تیمارها از زمان کاشت تا خوشه‌دهی آب یکسانی دریافت نمودند. سامانه آبیاری قطره‌ای (T) و سامانه آبیاری غرقابی (S) دارای سه تیمار آبیاری شامل تیمار آبیاری کامل (W1)، تیمار سطح تنش با دور آبیاری دو برابر آبیاری کامل و عمق آب برابر با آبیاری کامل (W2) و تیمار سطح تنش با دریافت ۵۰ درصد آب تیمار آبیاری کامل با دور آبیاری مشابه تیمار آبیاری کامل (W3) بودند.

از داده‌های ایستگاه هواشناسی اصفهان به‌عنوان ایستگاه غیر مرجع (از دیدگاه کشاورزی) استفاده شد و داده‌های دمای حداکثر رابطه (۱) و حداقل رابطه (۲) آن با توجه به دستورالعمل نشریه فائو ۵۶ به داده‌های ایستگاه مرجع اصلاح شد رابطه (۳):

$$(T_{max})_{cor} = (T_{max})_{obs} - \frac{\Delta T - K_0}{2} \quad (۱)$$

$$(T_{min})_{cor} = (T_{min})_{obs} - \frac{\Delta T - K_0}{2} \quad (۲)$$

$$\Delta T = T_{min} - T_{dew} \quad (۳)$$

که در آن $\Delta T > K_0$ است و اندیس‌های cor و obs به‌ترتیب به دو مقدار اصلاح و اندازه‌گیری‌شده اشاره دارد. K_0 یک مقدار اصلاحی و مساوی ۲ درجه سلسیوس است. با استفاده از داده‌های هواشناسی اصلاح‌شده ایستگاه هواشناسی اصفهان

تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) روزانه (۲۴ ساعته) با استفاده از معادله فائو- پنمن- مانتیث (FPM) محاسبه شد. پایش رطوبت خاک روز قبل از آبیاری در تیمار آبیاری کامل برای پایش دقت آبیاری انجام می‌شد. مکان برداشت نمونه رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیر نوار تیپ و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از نوار تیپ در عمق ۰ و ۲۰ سانتی‌متری، در محدوده حضور ریشه انجام می‌شد. از طریق محاسبه بیلان آب در خاک مقدار آبیاری و زمان آبیاری محاسبه شد.

$$P+I-R-D-\Delta S-ETc=0 \quad (۴)$$

پارامترهای رابطه بالا به‌ترتیب بیانگر بارندگی، آبیاری، رواناب، نفوذ عمقی، تغییر در ذخیره رطوبت خاک و تبخیر و تعرق گیاه است. در این پژوهش در دو روش آبیاری رواناب وجود نداشت. در روش سطحی به‌دلیل وجود پشته‌ها رواناب کنترل می‌شد. با توجه به اینکه راندمان ۱۰۰ درصد و آبیاری یکجا انجام می شد و عمق آبیاری متناسب با نیاز آبی گندم بکار برده می شد (شکل ۱) نفوذ عمقی نیز وجود نداشت.

برای پی‌بردن به الگوی خیس‌شدگی و تشخیص پیاز رطوبتی زیر نوارهای تیپ، خاک رخ پیاز رطوبتی، قبل و بعد آبیاری با استفاده از روش وزنی با فواصل اندازه‌گیری ۱۰×۱۰ سانتی‌متری بررسی شد و چگونگی توزیع آب در خاک بررسی شد (شکل ۲)

در سامانه آبیاری سطحی از آبیاری یکجا استفاده شد در این سامانه برای اندازه‌گیری آب مصرفی از کنتور حجمی ۱ اینچ استفاده شد. میزان کود داده شده در تمام تیمارها یکسان و برابر ۸۴ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود که از طریق سامانه آبیاری توزیع شد. برداشت در زمان رسیدگی محصول انجام شد. در آغاز نیمه دوم خرداد ماه، گیاهان مزرعه به مرحله پایانی رشد و رسیدگی کامل رسیده بودند، برداشت در اول تیر ماه انجام شد. پارامترهای برداشت محصول شامل وزن خشک ساقه و برگ (کاه و کلش)، زیتوده و عملکرد دانه بودند.

شاخص بهره‌وری آب آبیاری، برابر نسبت عملکرد محصول به کل آب آبیاری با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد (۵):

$$WP=\frac{Yield}{Irrigation\times 10} \quad (۵)$$

در اینجا WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Yield: وزن ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار) و Irrigation: عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر) است. شاخص برداشت نیز طبق رابطه (۶) تعیین شد (۱۰).

$$HI=\frac{GY}{BY}\times 100 \quad (۶)$$

که در آن HI شاخص برداشت، GY عملکرد دانه و BY عملکرد بیولوژیکی است.

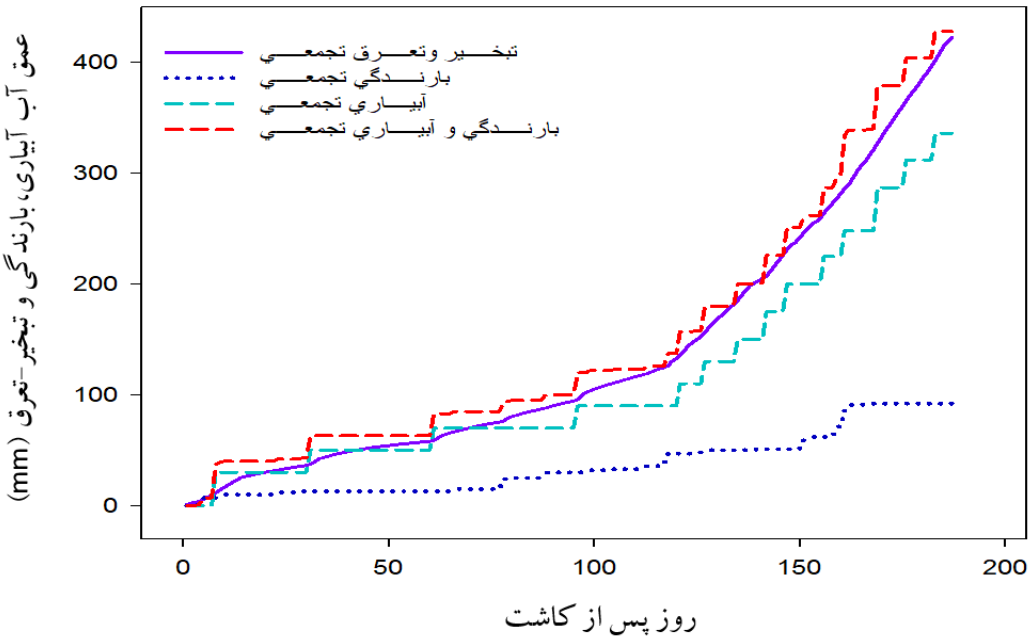
تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش فاکتورهای طرح، سامانه آبیاری و مدیریت آبیاری هستند که در قالب کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) با سه تکرار اجرا شدند. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شدند.

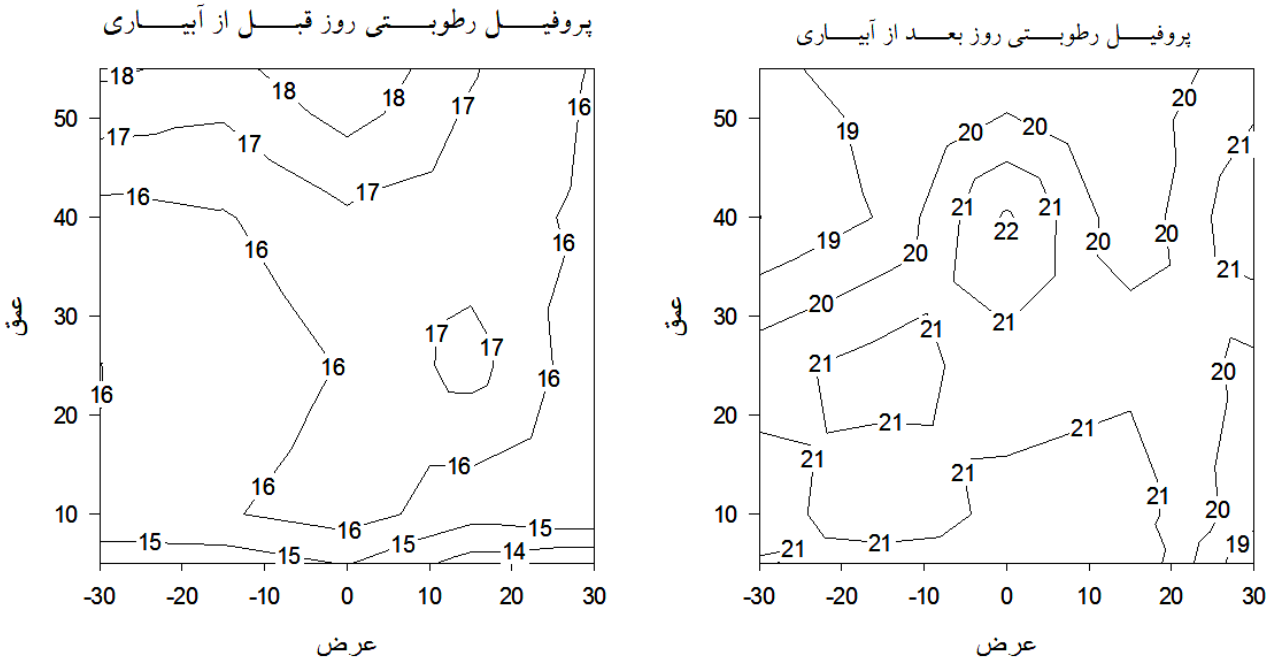
نتایج و بحث

در این بخش اثر سطوح مختلف آبیاری و نوع سامانه آبیاری بر شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده و بهره‌وری آب و شاخص برداشت در زمان رسیدگی کامل گیاه بررسی شده است. نتایج نشان داد دانه، کاه و کلش و بهره‌وری آب ($P<۰/۰۵$) و زیتوده ($P<۰/۰۱$) تحت تأثیر سطوح آبی قرار گرفت اما شاخص برداشت تحت تأثیر سطوح آب نبود (جدول ۳). همچنین بهره‌وری آب و شاخص برداشت ($P<۰/۰۵$) تحت تأثیر نوع سامانه آبیاری بود، اما دانه، کاه و کلش و زیتوده تحت تأثیر سامانه آبیاری نبود (جدول ۳).

اثر متقابل سامانه آبیاری در سطوح آبیاری بر دانه، زیتوده و بهره‌وری آب معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار دانه (۵۵۵۶ کیلوگرم در هکتار)، کاه و کلش و زیتوده (۱۳۴۷۶ کیلوگرم در هکتار) در سطح آبی W1 مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری با سطوح W2 و W3 داشت، اما برای شاخص‌های دانه (GR)، زیتوده (TB) و کاه و کلش(ST) تفاوت



شکل ۱. مقادیر آب کاربردی و تبخیر وتعرق در تیمار آبیاری کامل (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲. پروفیل رطوبتی قبل و بعد از آبیاری در تیمار آبیاری قطره‌ای_ نواری (رنگی در نسخه الکترونیکی)

معنی‌داری بین W2 و W3 مشاهده نشد (جدول ۴). بیشترین مقدار بهره‌وری آب در سطح آبیاری W2 برابر ۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد و با سطح آبیاری W3 تفاوت معنی‌داری داشت، اما W2 با سطح آبیاری W1 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین بهره‌وری آب در تیمارهای TW3 و SW2 مشاهده شد. بین دو تیمار TW3 و SW2 و دو تیمار TW2 و SW1 تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اثر نوع آبیاری و تنش کم آبیاری بر خصوصیات زراعی گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		دانه (GR)	کاه و کلش (ST)	زیتوده (TB)	بهره‌وری آب (WP)	برداشت (HI شاخص)
بلوک	۲	۱۴۱۸۵۴ns	۱۱۱۷۶۸ns	۵۵۵۶۶۳ns	۰/۰۱۰۹ns	۰/۰۰۰۳۱۰۹*
سامانه آبیاری	۱	۱۲۵۷۷ns	۱۱۵۰۱۴۹ns	۱۴۰۳۲۵۹ns	۰/۰۳۶۸۵*	۰/۰۰۰۹۹۱۶*
خطای فاکتور اصلی	۲	۱۸۱۷۸۳	۳۶۵۷۸۸	۲۰۱۴۷۶	۰/۰۰۳۹۳	۰/۰۰۰۰۲
تنش آبی	۲	۱۲۲۴۶۷**	۲۱۸۴۹۹۹*	۶۶۵۱۵۷۹**	۰/۰۴۹۹*	۰/۰۰۰۰۴۸ns
تنش*سامانه آبیاری	۲	۶۴۹۰۰۱*	۸۲۷۴۱۵ns	۲۹۳۰۶۴۸*	۰/۱۵۶۷۱**	۰/۰۰۰۱۲۳ns
خطا	۸	۷۷۵۱۰۸	۳۴۵۸۳۹۴	۵۳۹۱۱۴۵	۰/۰۵۷۲۷	۰/۰۰۰۴۳
کل	۱۲					
ضریب تغییرات		۶/۱۷	۱۰/۱۵	۶/۶۷	۶/۴۹	۱/۷۸

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر اصلی تنش کم آبی بر صفات زراعی و عملکرد گندم

سطوح آب	GR (kg/ha)	TB (kg/ha)	ST (kg/ha)	WP (kg/m^{3})	HI
W1	۵۵۵۵/۶a	۱۳۴۷۶a	۷۱۴۳a	۱/۳۰ab	۰/۴۱a
W2	۴۸۷۲/۹b	۱۱۹۸۴b	۶۳۳۳/۷ab	۱/۴a	۰/۴۱a
W3	۴۷۰۲/۸b	۱۱۴۴۴b	۵۹۶۳b	۱/۲۱b	۰/۴۱a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع سامانه آبیاری و تنش کم آبی بر صفات زراعی و عملکرد گندم

تیمار	سطوح آبیاری	GR (kg/ha)	TB (kg/ha)	ST (kg/ha)	WP (kg/m3)	HI
TW1	W1	۵۳۳۸/۴ab	۱۲۸۳۹ab	۶۷۲۲/۶ab	۱/۲۷b	۰/۴۱ab
TW2	W2	۴۶۵۷/۴cd	۱۱۲۵۸c	۵۸۲۳b	۱/۳۳ab	۰/۴۱ab
TW3	W3	۵۰۵۶/۱bc	۱۱۹۷۰bc	۶۱۳۵/۸b	۱/۴۴a	۰/۴۲a
SW1	W1	۵۷۷۲/۸a	۱۴۱۱۴a	۷۵۶۳/۵a	۱/۳۳ab	۰/۴۰bc
SW2	W2	۵۰۸۸/۳bc	۱۲۷۱۱ab	۶۸۴۴/۴ab	۱/۴۶a	۰/۴۰c
SW3	W3	۴۳۴۹/۵d	۱۰۹۱۷c	۵۷۹۰/۱b	۰/۹۸c	۰/۳۹c

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

بین دو تیمار SW3 و TW1 و چهار تیمار دیگر تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بیشترین عملکرد دانه (۵۷۷۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار SW1 مشاهده شد و با سایر تیمارها به جز تیمار TW1 تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۵).

مقایسه میانگین اثر اصلی نوع آبیاری بر صفات زراعی و عملکرد گندم نشان داد نوع سیستم آبیاری فقط بر دو شاخص بهره وری آب و شاخص برداشت اثر معنی‌دار دارد (جدول ۶). عملکرد محصولات کشاورزی وابسته به زمان وقوع، مدت زمان و شدت تنش آبی هستند (۹). در سامانه آبیاری قطره‌ای بیشترین کاهش محصول در تیمار تنش آبی با دور آبی دوبرابر (TW2) بود (جدول ۵). این مسئله بیانگر اهمیت دور آبیاری کوتاه در آبیاری قطره‌ای است. در دورهای طولانی آبیاری، خاک محدوده ریشه سریع خشک می‌شود و به‌دلیل تجمع املاح در محدوده پیاز رطوبتی و مرطوب تر بودن آن در مقایسه با محدوده توسعه ریشه، املاح همراه رطوبت وارد محدودهٔ فعال ریشه می‌شوند. چرا که الگوی توزیع رطوبت در خاک در آبیاری قطره‌ای یکنواخت نبوده و در کشت‌های متراکم مانند گندم که هر نوار آبیاری برای آبیاری چند ردیف کشت استفاده می‌شود می‌تواند ردیف‌های حاشیه را دچار تنش رطوبت و شوری کند.

در آبیاری قطره‌ای، آبیاری با تواتر زیاد شرایط مطلوب برای حرکت آب در خاک و جذب آب توسط ریشه گیاه را فراهم می‌کند (۱۸). پژوهش‌های متعدد پاسخ مثبت عملکرد محصولات کشاورزی به آبیاری قطره‌ای با تواتر زیاد را نشان داده‌است (۴، ۱۹ و ۲۲).

در سامانه آبیاری سطحی کمترین محصول در تیمار تنش آبی با دور آبی برابر با آبیاری کامل (SW3) بود و در تیمار آبیاری با دور آبیاری طولانی (SW2) عملکرد بیشتر بود (جدول ۵). در سامانه آبیاری سطحی به‌دلیل خیس‌شدن کل سطح خاک، در هر آبیاری میزان زیادی از رطوبت خاک صرف تبخیر از سطح خاک شده و تلفات تبخیر زیاد است. از این‌رو انجام آبیاری متواتر با عمق کم منجر به افزایش تبخیر شده (۱۶) و مقدار آب در اختیار گیاه برای تعرق کاهش یافته و منجر به کاهش تولید محصول شده است. انگلیش و ناکامورا (۲) با بررسی دور آبیاری کوتاه، نرمال و بلندمدت در سطوح مختلف آبیاری گندم، بیشترین عملکرد را در دور آبیاری بلند مدت در آبیاری سطحی مشاهده کردند.

در هر دو سامانه آبیاری بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای آبیاری تحت تنش بود. در سامانه آبیاری قطره‌ای بیشترین مقدار بهره‌وری آب در تیمار آبیاری متواتر با عمق کم آب کاربردی (TW3) و در سامانه آبیاری سطحی بیشترین مقدار بهره‌وری آب در تیمار با دور آبیاری طولانی (SW2) مشاهده شد. تفاوت مشاهده‌شده در دو سامانه آبیاری قطره‌ای- نواری و سطحی تحت تأثیر مقدار تلفات تبخیر از سطح خاک و الگوی خیس‌شده در خاک است. که این خود مبین این است که در شرایط کم آبی با اعمال مدیریت آگاهانه کم‌آبیاری می‌توان با پذیرش کاهش جزئی عملکرد، میزان تولید محصول به‌ازای واحد آب مصرفی را افزایش داد. جا و همکاران () در دشت شمال چین با اعمال تنش روی گندم در دو سامانه آبیاری قطره‌ای و سطحی به بیشترین مقدار WP در سطح آبیاری FC ۶۰ درصد در هر دو سامانه آبیاری رسیدند (۱۳). بیشترین میزان عملکرد در سامانه آبیاری قطره‌ای مربوط به تیمار آبیاری کامل با ۴۲۰ میلی‌متر آبیاری بود. اعمال تنش در این سامانه آبیاری با کاهش ۶۵ میلی‌متر آبیاری در مراحل حساس رشد گیاه، منجر به ۱۳ درصد کاهش عملکرد دانه و ۱۴ درصد کاهش کاه و کلش مربوط به تیمار آبیاری با دور آبیاری طولانی و ۵ درصد کاهش محصول و ۹ درصد کاهش کاه و کلش مربوط به تیمار آبیاری با دور آبیاری کوتاه بود. بهره‌وری آب در تیمار تنش با دور آبیاری کوتاه ۱۲ درصد و در تیمار تنش با دور آبیاری طولانی ۳ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش داشت. همچنین، شاخص برداشت ۲ درصد افزایش در تیمار تنش با دور آبیاری کوتاه داشت.

اعمال تنش در دو سامانه آبیاری نتایج متفاوتی تحت تأثیر الگوی خیس‌شدگی متفاوت داشت. بیشترین میزان

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع آبیاری بر صفات زراعی و عملکرد گندم

	GR (kg/ha)	TB (kg/ha)	ST (kg/ha)	WP (kg/m^3)	HI
سطحی	۵۰۷۰/۲ a	۱۲۵۸۱ a	۶۷۳۲/۷ a	۱/۲۵ b	۰/۴۰ b
قطره ای	۵۰۱۷/۳ a	۱۲۰۲۲ a	۶۲۲۷/۱ a	۱/۳۴ a	۰/۴۲ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

عملکرد در سامانه آبیاری سطحی مربوط به تیمار آبیاری کامل با ۴۲۰ میلی‌متر آبیاری بود. اعمال تنش در این سامانه آبیاری با تخصیص نصف آب مورد نیاز در مراحل حساس خوشه‌زنی و دانه‌دهی گیاه، منجر به ۱۲ درصد کاهش محصول مربوط به تیمار آبیاری با دور آبیاری طولانی و ۲۵ درصد کاهش محصول مربوط به تیمار آبیاری با دور آبیاری کوتاه بود. بهره‌وری آب در تیمار تنش با دور آبیاری کوتاه ۲۷ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری کامل و در تیمار تنش با دور آبیاری طولانی ۹ درصد افزایش نسبت به تیمار آبیاری کامل داشت. با مقایسه میانگین اثر اصلی سامانه آبیاری بر صفات زراعی و عملکرد گندم، تنها شاخص بهره‌وری آب با افزایش ۷ درصد و شاخص سطح برداشت با افزایش ۵ در صد در سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به سامانه آبیاری سطحی دارای تفاوت معنی‌دار بودند.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل کمبود میزان بارندگی و محدودیت آب امکان زیر سطح بردن تمام اراضی تحت کشاورزی فاریاب امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل کشت‌های متراکم با روش آبیاری قطره‌ای که آب را در محدوده ریشه گیاه توزیع می‌کند می‌تواند گزینه مناسبی برای تولید و ارتقاء بهره‌وری آب باشد. در سامانه آبیاری قطره‌ای- نواری تلفات نفوذ عمقی و رواناب حذف و در صورت اجرای دقیق و اصولی امکان مدیریت آبیاری دقیق وجود دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش آبیاری سطحی با کارآیی ۱۰۰درصد (آبیاری یکجا) استفاده شد. به عبارتی فقط ماهیت توزیع آب در سطح و سطح خیس‌شده متفاوت از سامانه آبیاری قطره‌ای نواری بود. نتایج نشان داد با میزان آب مصرفی یکسان در دو نوع مدیریت آبیاری سطحی و قطره ای- نواری میزان عملکرد در سامانه آبیاری سطحی ۱/۰۱ برابر آبیاری قطره‌ای نواری و بهره‌وری آب در سامانه سطحی ۰/۹۳ برابر آبیاری قطره‌ای بود (جدول ۶). اما در شرایط واقعی مزرعه که راندمان ۱۰۰ درصد نیست با توجه به وجود تلفات انتقال و توزیع آب در سامانه آبیاری سطحی، بهره‌وری مصرف آب در سامانه آبیاری سطحی به شدت کاهش پیدا خواهد کرد درصورتی که عملکرد تقریباً ثابت خواهد بود. با اعمال تنش در دو سامانه آبیاری بدون تغییر در دور آبیاری، میزان عملکرد در آبیاری قطره‌ای ۱/۱۶ برابر و بهره‌وری آب ۱/۴۶ برابر آبیاری سطحی بود بنابراین، سامانه آبیاری قطره‌ای برای مدیریت صحیح و آبیاری می‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش تولید محصول به‌ازای واحد آب مصرفی در شرایط کمبود آب باشد. با دو برابرشدن دور آبیاری، در آبیاری قطره‌ای میزان عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ۰/۹ برابر آبیاری سطحی بود. نتایج نمایانگر این است که تصمیم بر اعمال تنش و مدیریت آبیاری باید بر اساس سامانه آبیاری آگاهانه اتخاذ شود.

در پژوهشی که روی ذرت در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری انجام شد، مدیریت کم‌آبیاری با دور ثابت بهتر از مدیریت کم‌آبیاری با دور متغیر گزارش شد (۷) نتایج این پژوهش نیز نشان داد در سامانه آبیاری قطره ای- نواری بهره‌وری آب بین تنش ملایم و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری نداشت و همچنین تنش آبی کاهش عملکرد کمی را ایجاد کرده بود. اما در سامانه آبیاری سطحی یکجا که با راندمان

۱۰۰ درصد پیاده شد، مدیریت کم‌آبیاری تنش- دور ثابت منجر به کاهش شدید عملکرد و شاخص‌های عملکرد در سطوح تنش شده است که افزایش تبخیر سطحی یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در کاهش عملکرد در تیمارهای تنش بود. بنابراین، نوع سامانه آبیاری در انتخاب نوع بهترین مدیریت کم آبیاری نقش دارد، همانطور که نتایج این پژوهش نشان داد و پژوهشگران قبلی (۶) گزارش کردند، در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری مدیریت کم‌آبیاری دور ثابت عمق متغیر بهترین روش است. اما در آبیاری سطحی روش کم‌آبیاری دور متغیر عمق ثابت (به عبارتی حذف یک آبیاری یا افزایش دور آبیاری) بهترین گزینه مدیریت کم‌آبیاری است.

منابع مورد استفاده

1. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao. Rome.
2. English, M and B. Nakamura. 1989. Effects of deficit irrigation and irrigation frequency on wheat yields. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 115: 172-184.
3. FAO Statistical Pocketbook. Resource Statistics. 2015. Food and Agriculture Organization, FAOSTAT, report 2015.
4. Freeman, B. M., J. Blackwell and K. V. Garzoli, 1976. Irrigation frequency and total water application with trickle and furrow systems. *Agricultural Water Management* 1: 21-31.
5. Gheysari, M., H. Loescher, H. Sadeghi, S. Mirlatifi, and M. Zareian. 2015. Water-yield relations and water use efficiency of maize under nitrogen fertigation for semiarid environments: experiment and synthesis. *Advances in Agronomy* 10. 1016.
6. Gheysari, M., H. Sadeghi, H. Loescher, S. Amiri, M. Zareian, M. Majidi, P. Askarinia and J. Payero. 2016. Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. *Agricultural Water Management*. 182: 126-138.
7. Gheysari, M., F. Pirnajmedin, H. Movahedrad, M. Majidi and M. Zareian. 2021. Crop yield and irrigation water productivity of silage maize under two water stress strategies in semi-arid environment: Two different pot and field experiments. *Agricultural Water Management* 255. 106999.
8. Hunt, L. A., J. W. White and G. Hoogenboom. 2001. Agronomic data: advances in documentation and protocols for exchange and use. *Agricultural Systems* 70: 477-492.
9. Hsiao, T. C. and K. J. Bradford. 1983. Physiological Consequences of Cellular Water Deficits 1sa. Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. *American Society of Agronomy* 36: 227-265.
10. Jamal, M., M. S. Nazir, S. H. Shah and N. Ahmed. 1996. Varietal response of wheat to water stress at different growth stages. III. Effect on grain yield, straw yield, harvest index and protein content in grain. *Rachis* 15: 38-45.
11. Jha, S. K., Y. Gao, H. Liu, Z. Huang, G. Wang, Y. Liang and A. Duan. 2017. Root development and water uptake in winter wheat under different irrigation methods and scheduling for North China. *Agricultural Water Management* 182: 139-150
12. Johari-Pireivatlou, M. and H. Maralian. 2011. Evaluation of 10 wheat cultivars under water stress at Moghan (Iran) condition. *African Journal of Biotechnology* 10: 10900-10905.
13. Jones, J. W. and J. T. Ritchie. 1990. Crop growth models. PP. 63-89. *In:* Hoffman. G. I., Howell, G. J. Solomon, T. A. (Eds.), Management of Farm Irrigation Systems.
14. Kirkham, M. B. 2014. Principles of Soil and Plant Water Relations Water and Yield. Kansas State University, Throckmorton Plant Science Ctr, Manhattan, USA, 66506.
15. Lopez, J. R., J. M. Winter, J. Elliott, A. C. Ruane, C. Porter and G. Hoogenboom. 2017. Integrating growth stage deficit irrigation into a process based crop model. *Agricultural and Forest Meteorology* 243: 84-92.
16. Manupeerapan, T., J. L. Davidson, C. J. Pearson and K. R. Christian. 1992. Differences in flowering responses of wheat to temperature and photoperiod. *Australian Journal of Agricultural Research* 43: 575-584.
17. Rezzoug, W., B. Gabrielle, A. Suleiman and K. Benabdeli. 2008. Application and evaluation of the DSSAT-wheat in the Tiaret region of Algeria. *African Journal of Agricultural Research* 3: 284-296.
18. Sharmasarkar, F. C., S. Sharmasarkar, S. D. Miller, G. F. Vance and R. Zhang. 2001. Assessment of drip and flood irrigation on water and fertilizer use efficiencies for sugarbeets. *Agricultural Water Management* 46: 241-251.
19. Shorter, R., R. J. Lawn and G. L. Hammer. 1991. Improving genotypic adaptation in crops- a role for breeders, physiologists and modelers. *Experimental agriculture* 27: 155-175.
20. Torknejad, A., M. Aghaei Sarbarzeh, H. Jafari, A. Shirvani, R. Roeintan, A. Nemati and K. Shahbazi. 2006. Study

and economic evaluation of drip (tape) irrigation method on wheat compared to surface irrigation in water limited areas. *Pajouhesh-Va-Sazandegi* 19: 36-44

21. Wang, F. X., Y. Kang, and S. P. Liu. 2006. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. *Agricultural Water Management* 79: 248-264.
22. White, J. W., G. Hoogenboom, B. A. Kimball and G. W. Wall. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research* 124: 357 -368.
23. Winkel, A. 1989. Breeding for drought tolerance in cereals. *Vertage-furpflan* 16: 368-357.
24. Zhang, H. and T. Oweis. 1999. Water–yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 38: 195-211.
25. Zhang, X., W. Qin, S. Chen, L. Shao and H. Sun. 2017. Responses of yield and WUE of winter wheat to water stress during the past three decades' case study in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 179: 47-54.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 2, Summer 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Yield and Water Productivity of Wheat under Drip-Tape and Surface Irrigation System in East of Isfahan

S. Aghaei*, M. Gheysari and M. Shayannejad[1]

(Received: August 10-2022 ; Accepted: January 24-2023)

Abstract

Due to water scarcity, it is impossible to utilize all irrigated cropland in arid and semi-arid areas. Therefore, dense cultivation with a drip irrigation system that delivers water directly to the plant's root zone is an appropriate choice to enhance water productivity. The objectives of the present study were to compare wheat yield and water productivity under two different water distribution patterns in the drip-tape irrigation system and surface irrigation in full irrigation and deficit irrigation levels. The experimental treatments consist of two irrigation systems (drip-tape (DT), and surface irrigation (SU)), and three different irrigation levels (a full irrigation level (W1), two deficit irrigation levels, the irrigation interval twice, and the same irrigation depth of W1 level (W2), applied half of the irrigation depth of W1 level at the same time (W3)). The SU was implemented in place with 100% efficiency to avoid runoff. The yield in full irrigation level in DT was 5338.4 kg/ha and in SU was 5772.8 kg/ha. Applying deficit irrigation in two irrigation systems has different effects due to various water distribution patterns. In the DT, the most yield reduction was in W2, and in SU was in W3. The highest water productivity in DT was observed in W3 with a 1.44 kg/m3 value. The highest water productivity in SU was observed in W2 with a 1.46 kg/m3 value. For each irrigation system, some type of deficit irrigation management is optimal.

Keywords: Water use efficiency, Trickle irrigation, Drip-tape, Cultivation pattern

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author, Email: sepideaghaei71@gmail.com