مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد دوم، شماره سوم، پاییز ۸۸
۱۷-۳۶
www.ejcp.info

بررسی تأثیر تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و کارآیی مصرف آب در ارقام گندم

*فرزاد پاک‌نژاد[۱]، مجید جامی‌الاحمدی[۲]، سعید وزان[۳] و محمدرضا اردکانی[۴]

[۱]استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، [۲]استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند،
[۳]استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، [٤]دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۸/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۵/۱٤

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آبی، تعیین حداقل مقدار آبی که منجر به تولید حداکثر عملکرد می‌شود از اهمیت بسیار برخوردار است. در این راستا پژوهشی در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ به‌طور همزمان در دو منطقه تربت‌جام و کرج، به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و در چهار تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل ۹ رژیم مختلف آبیاری بر مبنای درصد تخلیه رطوبتی خاک بود که عبارت بودند از T_1 (آبیاری در ٤۰ درصد تخلیه رطوبتی در تمام دوره رشد)؛ T_2 و T_3 (آبیاری به‌ترتیب در ٦۰ درصد و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی از ابتدای طویل شدن ساقه‌ها تا پایان دوره رشد)؛ T_4 و T_6 (آبیاری به‌ترتیب در ٦۰ درصد و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی در زمان گلدهی، آبیاری در ٤۰ درصد تخلیه رطوبتی در سایر مراحل رشد)؛ T_5 و T_7 (آبیاری در ٤۰ درصد تخلیه رطوبتی تا زمان گلدهی؛ آبیاری به‌ترتیب در ٦۰ درصد و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی از زمان گلدهی تا پایان دوره رشد)؛ T_8 (آبیاری در ٤۰ درصد تخلیه رطوبتی تا زمان گلدهی؛ قطع آبیاری از گلدهی تاپایان دوره رشد)؛ و T_9 (آبیاری در ٤۰ درصد تخلیه رطوبتی تا ابتدای پر شدن دانه؛ قطع آبیاری در طول دوره پر شدن دانه). فاکتور دوم شامل سه رقم گندم (چمران، مرودشت و گاسپارد) بود. نتایج نشان داد که انجام کم

*- مسئول مکاتبه: farzadpaknejad@kiau.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

آبیاری آخر فصل، نسبت به اعمال تیمارهای کم آبیاری در مراحل ابتدایی رشد تأثیر زیادتری بر عملکرد و کارایی مصرف آب داشت، و مراحل گلدهی و دانه‌بندی حساس‌ترین مراحل به تنش بودند. کارایی مصرف آب در بین تیمارهای مختلف تنش رطوبتی بین ۰/۱۷ تا ۱/۳٤ کیلوگرم در مترمکعب در نوسان بود. واکنش ارقام گندم به رژیم‌های آبیاری در دو منطقه مورد بررسی متفاوت بود و شرایط گرم و خشک حاکم در تربت‌جام منجر به مصرف آب بیشتر و کارایی مصرف آب کمتر در این منطقه شد. در بین صفات مورد مطالعه عملکرد دانه بیشترین تأثیر مستقیم را بر کارایی مصرف آب داشت و بعد از آن میزان آب مصرفی مابقی تغییرات کارایی مصرف آب را توجیه کرد. بنابراین به نظر می‌رسد مدیریت آبیاری گندم به‌ویژه در مراحل انتهایی رشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، و باید در هر منطقه مطابق با شرایط اقلیمی حاکم مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: گندم، عملکرد، کارایی مصرف آب، کارایی تبخیر و تعرق، شاخص برداشت

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آبی در مناطق گرم و خشک، حصول حداکثر عملکرد متضمن مصرف آب بسیار زیادی است، لذا یکی از اهداف مهم در تولید محصولات زراعی در چنین مناطقی تعیین حداقل آبی است که حداکثر عملکرد را تولید نماید و در این رابطه شناسایی مراحلی از رشد که حساسیت کمتری به کمبود آب داشته باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ویرچ و همکاران (۱۹۹۵) اعلام نمودند برای دستیابی به حداکثر کارایی مصرف آب (WUE)[1]، آب مصرفی در مزرعه باید حدود ۳۰ درصد کمتر از میزان تبخیر و تعرق منطقه باشد، در حالی‌که جهت دستیابی به حداکثر عملکرد، میزان آب مصرفی باید حدود ۲۰ درصد بیشتر از تبخیر و تعرق در منطقه باشد.

محققان تعاریف متفاوتی از تنش رطوبتی ارایه نموده‌اند. کرامر (۱۹۸۳) تنش رطوبتی را به‌عنوان نبود و یا کمبود بارندگی در مراحل حساس رشد گیاه تعریف نموده است. ویتز (۱۹۷۱) تنش رطوبتی را دوره‌ای که کمبود آب چه به‌صورت حاد و چه به‌صورت مزمن رشد گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و مانع رشد معمول گیاه می‌شود تعریف کرده است. زمان رسیدگی گیاه نیز در این رابطه مؤثر است و در مناطقی که دوره تنش رطوبتی در ابتدای فصل رخ می‌دهد دیررسی صفتی مطلوب می‌باشد (دررا و

1- Water Use Efficiency (WUE)

Archive of SID

www.SID.ir

همکاران، ۱۹٦۹). جانستون و فاولر (۱۹۹۲) اظهارکرده‌اند که برتری ارقام دیررس به‌علت توانایی آنها در استفاده از رطوبت ذخیره شده در اعماق خاک می‌باشد.

کارآیی مصرف آب را می‌توان از دو جنبه هیدرولوژیک و فیزیولوژیک مورد توجه قرار داد (ویتز، ۱۹۷۱). از لحاظ هیدرولوژیک، کارآیی مصرف آب در وهله اول با کارآیی استفاده از آب آبیاری ارتباط پیدا می‌کند و به‌صورت افزایش مقدار آب در منطقه ریشه به دنبال آبیاری که به‌صورت نسبتی از کل آب مورد استفاده در آبیاری بیان می‌شود تعریف شده است (گرگوری، ۲۰۰٤). در مقیاس یک گیاه یا پوشش گیاهی، کارآیی مصرف آب می‌تواند به‌عنوان نسبت تولید بیوماس کل، بیوماس اندام هوایی یا عملکرد قابل برداشت در مقابل کل تبخیر و تعرق یا تعرق گیاه بیان شود (لومیس و کونور، ۱۹۹۲). از آنجا که در اکثر گیاهان زراعی تنها بخشی از ماده خشک تولید شده از اهمیت اقتصادی برخوردار است، بنابراین از دیدگاه زراعی می‌توان در محاسبه کارآیی مصرف آب، تنها عملکرد اقتصادی را مورد استفاده قرار داد (کوچکی و سلطانی، ۱۹۹۸).

طباطبایی و همکاران (۲۰۰۰) در آزمایشی برروی ارزن نوتریفید مشاهده کردند با افزایش شرایط تنش اعمال شده از طریق کم آبیاری، عملکرد کاهش ولی کارآیی مصرف آب افزایش پیدا کرد. نتایج امام و رنجبر (۲۰۰۰) در ذرت دانه‌ای نیز نشان داد که تنش رطوبتی اعمال شده از طریق تیمارهای کم آبیاری موجب کاهش عملکرد و افزایش کارآیی استفاده از آب گردید.

بر طبق نظر بارنز (۱۹۸۳) یکی از راهکارهای افزایش عملکرد گیاهان زراعی استفاده از ارقام پرمحصول و مقاوم به تنش‌ها و سازگار به عوامل نامساعد می‌باشد. این محققان اعلام نمودند همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارآیی مصرف آب و هدایت روزنه‌ای به‌ویژه در تنش شدید مشاهده می‌شود و هدایت روزنه‌ای را می‌توان به‌عنوان معیاری جهت گزینش ژنوتیپ‌های دارای کارآیی مصرف آب بالا به‌ویژه در شرایط تنش استفاده نمود. این در حالی است که بر طبق نتایج اهدایی و همکاران (۱۹۹۱) به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش رطوبتی گندم در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس دارای کارآیی مصرف آب بالاتری هستند. این محققان گزارش نمودند ارقام گندمی که مقاوم به تنش رطوبتی هستند در فرآیند فتوسنتز بین ایزوتوپ‌های کربن ۱۲ و ۱۳ تبعیض قائل می‌شوند و این تبعیض به‌صورتی است که ارقام مقاوم به تنش رطوبتی احتمالاً دارای کارآیی مصرف آب بالاتری هستند. تنوع ژنتیکی برای میزان کارآیی مصرف آب در ارقام گندم وجود دارد، هر چند این تنوع ژنتیکی در کارآیی مصرف آب را می‌توان به برهم‌کنش تعداد زیادی از صفات مورفوفیزیولوژیکی که

Archive of SID

www.SID.ir

به‌طور کمی به ارث برده می‌شوند مرتبط ساخت که ممکن است اثر این صفات روی عملکرد بسته به شرایط غالب محیطی از هر دو جنبه بزرگی و جهت، نوسان قابل توجهی داشته باشد (توبروزا، ۲۰۰٤).

در بسیاری از مطالعات، واکنش عملکرد به تیمارهای آبیاری به‌علت تأثیرات آب و هوایی در سال‌های مختلف یکسان نبوده است، و به همین علت گزارش‌های متفاوتی در مورد مراحل حساس رشد و نمو گندم نسبت به تنش آب وجود دارد (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۱). با این وجود تعداد زیادی از محققان بر این باورند که مرحله گلدهی حساس‌ترین مرحله رشد گندم به تنش خشکی است و تنش رطوبتی در مرحله گلدهی موجب خسارت شدیدی به عملکرد دانه در اثر کاهش تعداد دانه در هر سنبله می‌شود (برای مثال، انتز و فاولر، ۱۹۸۸؛ مصطفی و همکاران، ۱۹۹۰، جانستون و فاولر، ۱۹۹۲؛ طباطبایی و همکاران، ۲۰۰۰). خشکی در طی مرحله پرشدن دانه، به‌ویژه اگر با گرما نیز همراه باشد، موجب تسریع پیری، کاهش دوره پرشدن دانه و کاهش وزن دانه می‌شود (شکیبا و همکاران، ۱۹۹٦). بر این اساس، در این تحقیق بیشتر تیمارهای تنش رطوبتی و کم آبیاری براساس مرحله گلدهی و بعد از گلدهی طراحی گردیدند. هدف از این تحقیق ارزیابی کارآیی مصرف آب آبیاری در ارقام مختلف گندم به‌منظور شناسایی ارقام متحمل و همچنین شناسایی مراحلی از رشد که حساسیت کمتری به تنش رطوبتی دارند می‌باشد تا بتوان با حذف آبیاری و یا کم آبیاری در این مراحل، کارآیی مصرف آب را افزایش داد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در آبان ماه ۱۳۸۲ به‌طور همزمان در مزارع پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ٦ دقیقه شرقی) به ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا و مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت‌جام (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٦۰ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی) به ارتفاع ۹۱۰ متر از سطح دریا اجرا شد. داده‌های هواشناسی درجه حرارت و بارندگی سال آزمایش در جدول (۱) آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- داده‌های هواشناسی آماری درجه حرارت و بارندگی در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ در دو منطقه کرج و تربت‌جام.

منطقه	عامل هواشناسی	سال ۱۳۸۲						سال ۱۳۸۳			
		آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
کرج	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	۸/٤	۳٤/٥	۳۰/٥	٤٥/۲	٥۸	۳٥/۳۱	۲٥/۲	۱٥/٥	٤/۱
	میانگین درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	۱۰/۱	٥	٤/۹	٦/۳	۷/۸	۱۳/۲	۲۰/٤	۲٥	۲٦/۲
تربت‌جام	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	٦/۳	۱۸/٤	۲٦/۸	۳۰/۸	۳۲/۲	۲٦/۱	۱۸/۸	٤	۰/۳
	میانگین درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	۱۰/٦	٤/٦	۲/۲	۳/۲	۷	۱٤	۲٤/۳	۲۷/٥	۲۹/۸

خاک محل آزمایش در منطقه کرج دارای بافتی شنی لومی با EC برابر ۱/٤ و اسیدتیه‌ای معادل ۷/٦، و در منطقه تربت‌جام دارای بافتی لومی رسی با EC برابر ۱/۲ و اسیدیته‌ای معادل ۸/٥ بود.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ٤ تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۹ سطح مختلف از اعمال خشکی در مراحل مختلف رشد (جدول ۲) و سه رقم گندم شامل ارقام چمران (زودرس)، مرودشت (میان‌رس) و گاسپارد (دیررس) بودند، که ارقام چمران و گاسپارد به‌ترتیب متحمل و حساس به خشکی بوده و رقم مرودشت در حد واسط این دو قرار دارد (پاک‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۸b). هر کرت آزمایشی شامل ۷ خط کاشت با ۱٥ سانتی‌متر فاصله بین خطوط و طول ٤ متر بود. قبل از انجام آزمایش به‌منظور اطلاع از میزان حرکت آب بین کرت‌ها و تعیین فاصله بین کرت‌های آزمایشی کرت‌هایی با ابعاد موجود در آزمایش ولی با فواصل مختلف از ٥۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر از یکدیگر احداث و مورد آبیاری قرار گرفت. میزان رطوبت داخل و بین کرت‌ها با نصب بلوک‌های گچی به‌طور مرتب کنترل شد. بلوک‌ها قبلاً واسنجی و منحنی رطوبت خاک تعیین شده بود. براساس نتایج آزمایش اولیه، بین کرت‌های آزمایشی در منطقه کرج یک متر و در منطقه تربت‌جام ۱/۲ و بین تکرارهای آزمایشی ۲ متر فاصله جهت اجتناب از تداخل اثر تیمارهای آبیاری در نظر گرفته شد. در انتهای هر تکرار یک جوی زه آب به‌منظور هدایت آب مازاد بر کرت که احتمال

Archive of SID

www.SID.ir

می‌رفت توسط بارندگی‌های شدید بهاره سرریز نماید احداث شد. تراکم به‌میزان ٤٠٠ بذر در مترمربع با مدنظر قرار دادن وزن هزار دانه ارقام در نظر گرفته شد. همزمان با کاشت براساس آزمایش خاک کود نیتروژنه پایه به‌مقدار ٦٠ کیلوگرم ازت خالص از منبع اوره و کود فسفره نیز به‌مقدار ١٠٠ کیلوگرم فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل به زمین داده شد و در مرحله طویل شدن ساقه نیز ٦٠ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره به‌صورت سرک به زمین داده شد.

جدول ۲- مشخصات تیمارهای اعمال تنش خشکی بر مبنای مراحل رشد گندم.

تیمار	توصیف
T_1	آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی در تمام دوره رشد (شاهد)
T_2	آبیاری در٦٠ درصد تخلیه رطوبتی از ابتدای طویل شدن ساقه‌ها (تشخیص اولین گره: مرحله رشدی ٣١ زادوکس) تا پایان دوره رشد
T_3	آبیاری در ٨٠ درصد تخلیه رطوبتی از ابتدای طویل شدن ساقه‌ها (تشخیص اولین گره: مرحله رشدی ٣١ زادوکس) تا پایان دوره رشد
T_4	آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی تا زمان گل‌دهی؛ آبیاری در ٦٠ درصد تخلیه رطوبتی در زمان گلدهی (از مرحله رشدی آبستنی: مرحله رشدی ٤٣ زادوکس، تا پایان گلدهی کامل: مرحله ٦٩ زادوکس)؛ آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی از پایان گل‌دهی تا پایان رشد
T_5	آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی تا زمان گل‌دهی؛ آبیاری در ٦٠ درصد تخلیه رطوبتی از زمان گلدهی (مرحله رشدی آبستنی: مرحله رشد ٤٣ زادوکس) تا پایان دوره رشد
T_6	آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی تا زمان گل‌دهی؛ آبیاری در ٨٠ درصد تخلیه رطوبتی در زمان گلدهی (از مرحله رشدی آبستنی: مرحله رشد ٤٣ زادوکس تا پایان گلدهی کامل: مرحله ٦٩ زادوکس)؛ آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی از پایان گل‌دهی تا پایان رشد
T_7	آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی تا زمان گل‌دهی؛ آبیاری در ٨٠ درصد تخلیه رطوبتی از زمان گلدهی (از مرحله رشدی آبستنی: مرحله رشد ٤٣ زادوکس) تا پایان دوره رشد
T_8	آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی تا زمان گل‌دهی (مرحله رشدی آبستنی: مرحله رشد ٤٣ زادوکس)؛ قطع آبیاری ازگل‌دهی تاپایان دوره رشد
T_9	آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبتی تا ابتدای پر شدن دانه؛ قطع آبیاری در طول دوره پر شدن دانه (از مرحله شیری شدن دانه: مرحله رشدی ٧٠ زادوکس تا انتهای دوره رشد)

Archive of SID

www.SID.ir

اولین آبیاری در تاریخ ۲۰ آبان ماه، بلافاصله پس ازکاشت بذرها صورت گرفت. رطوبت کرت‌های آزمایشی به‌طور مرتب توسط دستگاه Wet HH2[1] اندازه‌گیری شده و براساس اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در منطقه کرج به‌دلیل بارندگی‌های مکرر تا مرحله طویل شدن ساقه نیازی به اجرای آبیاری مجدد نبود و در منطقه تربت‌جام یک آبیاری دیگر نیز انجام شد و آبیاری‌های بعدی براساس تیمارهای تعریف شده صورت گرفت. جهت سهولت آبیاری و افزایش دقت در اعمال تیمارهای تنش رطوبتی، کل مزرعه لوله‌کشی شد و به‌منظور کنترل دقیق آب ورودی به هر کرت، از کنتورهای حجمی قابل تنظیم و اتوماتیک استفاده گردید. در صورت احتمال ریزش باران، به جهت اجتناب از ورود آب باران به کرت‌هایی که در آنها تیمارهای تنش کم آبیاری اعمال می‌شد، این کرت‌ها با استفاده از پلاستیک پوشانده می‌شدند. نصب پلاستیک‌ها به حالت شیب‌دار بود تا آب باران از دسترس گیاه و کرت‌های آزمایشی خارج شود.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در پایان دوره رشد برروی گیاهان برداشت شده از ۳ متر طولی از خطوط ٤ و ٥ هر کرت به طول ۳ متر، با رعایت حاشیه‌گذاری تعیین شدند. کارآیی مصرف آب (WUE) از نسبت عملکرد اقتصادی تولید شده به کل آب مصرفی[2] محاسبه شد و کارآیی تبخیر و تعرق[3] (ETE) بر طبق تعریف اهدایی و وینز (۱۹۹٤) از نسبت کل عملکرد بیولوژیک تولیدی به کل آب مصرفی تعیین شد. شاخص برداشت (HI)[4] نیز از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد. جهت محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌های تیماری پس از تجزیه واریانس با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت و کلیه نمودارها و منحنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده حاکی از واکنش متفاوت و معنی‌دار گیاهان در دو منطقه به تیمارهای اعمال شده می‌باشد (جدول ۳)، به‌طوری‌که گیاهان در منطقه کرج دارای عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و کارآیی مصرف آب بیشتری نسبت به منطقه تربت‌جام بودند (جدول ٤). با وجود پایین‌تر

1- Moisture Meter, Version 2, Delta-T Devices Ltd, Type Wet1
2- Total Water Used
3- Evapotranspiration Efficiency
4- Harvest Index

Archive of SID

www.SID.ir

بودن کارآیی مصرف آب در تربت‌جام (جدول ٤)، مقدار کل آب مصرفی در این مکان بیشتر از منطقه کرج بود (شکل ۱) و به نظر می‌رسد گیاهان در منطقه کرج بهتر توانسته‌اند از آب مصرفی استفاده نمایند. مصرف آب بیشتر، با کارآیی کمتر در منطقه تربت‌جام احتمالاً به‌دلیل شرایط نامناسب آب و هوایی و گرمای بیشتر در این منطقه بوده است (جدول ۱) که سبب افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه کاهش کارآیی‌های مصرف آب و تبخیر و تعرق در این منطقه نسبت به کرج شده است. نتایج سایر محققان نیز نشان داده است که گرما عامل محدودکننده رشد و عملکرد بوده (جیونتا و همکاران، ۱۹۹۳) و در شرایط گرم گیاه زودرس‌تر می‌شود (گوئراو آنتوینی، ۱۹۹٦). وقوع گرما، به‌ویژه در مراحل پایانی رشد، در مناطق خشکی مانند تربت‌جام موجب کاهش طول دوره زایشی و پر شدن دانه‌ها می‌شود (اهدایی و وینز، ۱۹۹٦؛ پاک‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۸a).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در سه رقم گندم تحت تیمارهای مختلف کم آبیـاری در دو منطقه کرج و تربت‌جام.

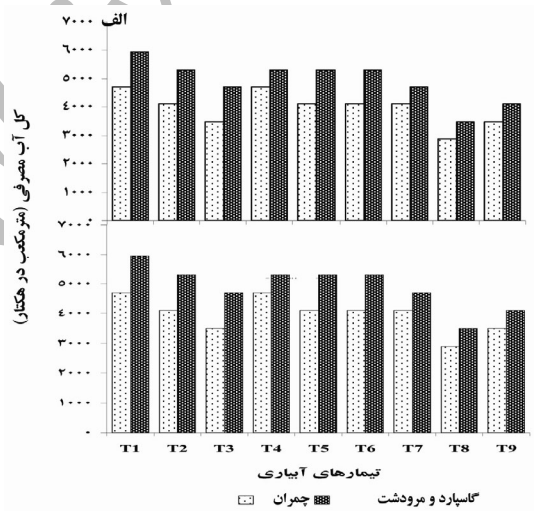
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	کارآیی مصرف آب	کارآیی تبخیر و تعرق
مکان	۱	٦۲۳٤۹۲۱**	٤۰۹۰۰۰٦**	۲۰۷/٤^{ns}	۵/۳۷**	۷۰/۹۳**
تکرار در مکان	٦	۷٦۳٤۱/۱٦*	۱۱٤٤٤/۸٤**	۱۲۰/۸۳^{ns}	۰/۰٤۸**	۰/٤۳٤*
تنش رطوبتی	۸	۱۰۰۲٤۵۷*	۵۰۵۹۸۰/٤۸**	۲٤٤٤/۲*	۱/۰۹۳**	٤/۹۲^{ns}
مکان × تنش رطوبتی	۸	۲۱۳۵۹۰/۵**	۱۰٦٤۷/٤۹**	٤۵۱/۳**	۰/۰۷۵**	۲/۰۳**
رقم	۲	٤۷٤٤۰٦^{ns}	۱۹۸۰۱/٤۲**	۱۰۵/۹*	۰/۹۸^{ns}	٤/٤۵^{ns}
مکان × رقم	۲	۳٤۳۵۱/۷^{ns}	۱۸۰/٤۱۹^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۰/۰۷۳**	۰/۲۸^{ns}
تنش خشکی× رقم	۱٦	۲۵۳۲۰^{ns}	۱۱۹۳۸/۲۷**	۸۹/٤^{ns}	۰/۰٤۳**	۰/۱۸۹^{ns}
مکان × تنش× رقم	۱٦	۳۹۱۵٤^{ns}	۳٦۰/٦۵^{ns}	۳۸/۲۵^{ns}	۰/۰۰۳۸^{ns}	۰/۲٤۲^{ns}
خطای آزمایش	۱۵٦	۳۵۰۳٤	۱۸۹٤/۵۵	٦٤/٦۳	۰/۰۰۸۵	۰/۱۹۳
ضریب تغییرات	-	۱٦/۵۸	۱۰/۳۵	۲۰/۸۸	۹/۵۳	۱٦/٤٤

^{ns} و * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

Archive of SID

www.SID.ir

تنش رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در تیمار شاهد (T_1) به‌دست آمد و اختلاف آن با سایر تیمارهای مورد بررسی معنی‌دار بود. تیمار T_8 (قطع آبیاری از گلدهی تا پایان دوره رشد) کمترین عملکرد دانه را تولید کرد (جدول ۳). تیمار T_2 با این‌که در تمام دوره رشد پس از طویل شدن ساقه‌ها، ۶۰ درصد تخیله رطوبتی را تحمل کرد، نسبت به تیمار T_4 که فقط در مرحله گلدهی و نسبت به تیمار T_5 که از گلدهی تا پایان دوره رشد این مقدار تنش را تحمل کرد، از کاهش عملکرد کمتری برخوردار بود و این نشان‌دهنده این است که بوته‌های گندم در شرایط آزمایش در تنش‌های سرتاسری (کل دوره رشد) سازگاری‌هایی نسبت به تنش پیدا کرده‌اند که این سازگاری‌ها شامل تولید پنجه کمتر، ارتفاع کوتاه‌تر و برگ‌های کوتاه‌تر و باریک‌تر است (نتایج نشان داده نشده است). فیشر و مائورر (۱۹۷۸) اعلام نمودند که بیشتر بودن عملکرد تحت شرایط تنش می‌تواند در اثر سازوکارهای گریز یا تحمل به تنش، سازگاری‌های نسبی و پتانسیل عملکرد بالا باشد. در موافقت با نتایج تحقیق حاضر، طبق گزارش‌های گوپتا و همکاران (۲۰۰۱)، وقوع خشکی در زمان گرده‌افشانی گندم موجب کاهش وزن خشک ساقه، تعداد و وزن دانه‌ها، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت می‌شود. همچنین عملکرد دانه در رطوبت پایین خاک نسبت به رطوبت بالای خاک به‌میزان ۳۳ درصد کاهش یافت که این کاهش خود حاصل کاهش اندازه دانه بود.



شکل ۱. مجموع آب مصرفی در هر تیمار برای ارقام چمران و مرودشت و گاسپارد در دو منطقه کرج (الف) و تربت‌جام (ب). شرح تیمارهای آبیاری در جدول ۱ آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

تنش رطوبتی بر کارآیی مصرف آب تأثیر بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۳). روند تغییرات کارآیی مصرف آب تقریباً مشابه روند تغییرات عملکرد دانه بود و بین این دو همبستگی بالایی وجود داشت (جدول‌های ٤ و ٥)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مصرف آب در واحد سطح، عملکرد دانه با شدت بیشتری افزایش یافته و در نتیجه موجب افزایش کارآیی مصرف آب شده است، در حالی که کاهش مصرف آب در واحد سطح در تیمارهای تنش رطوبتی در مرحله گل‌دهی نسبت به شرایط معمول (شکل ۱) موجب افت شدید عملکرد شده و پیامد آن کاهش کارآیی مصرف آب بوده است. به‌طور مشابه، اویس و همکاران (۲۰۰۰) نتیجه گرفتند که عملکرد دانه گندم به‌شدت تحت‌تأثیر الگوی مصرف آب در طی دوره پس از گل شکفتگی است. آنها ضمن تأکید بر اهمیت تأمین آب کافی در طی دوره گل‌دهی برای دستیابی به عملکرد و کارآیی مصرف آب بالاتر، بیان داشتند که آبیاری در این مرحله علاوه‌بر افزایش نرخ فتوسنتزی گیاه، زمان اضافی برای انتقال ذخایر کربوهیدرات به دانه را در اختیار گیاه قرار می‌دهد؛ این در حالی است که طباطبایی و همکاران (۲۰۰۰) و امام و رنجبر (۲۰۰۱) در مطالعات خود برروی ارزن و ذرت دانه‌ای نتیجه گرفتند که تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد و افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود. نتایج مخالف احتمالاً به‌دلیل تفاوت متابولیسم بین گیاهان مورد بررسی می‌باشد، زیرا به خوبی مشخص شده است که گیاهان ٤ کربنه دارای کارآیی مصرف آب بالاتری نسبت به گیاهان ۳ کربنه بوده و در شرایط کمبود آب بهتر می‌توانند از کاهش عملکرد و کاهش کارآیی مصرف آب جلوگیری نمایند (ژانگ و یانگ، ۲۰۰٤).

در آزمایش ما تیمارهای $T_۲$ تا $T_۹$ به‌ترتیب دارای ۲٤، ۳۹، ۲۷، ٤۸، ٤۰، ٥۸، ۷۰ و ٥۳ درصد کاهش عملکرد نسبت به شاهد بودند، در حالی که کاهش کارآیی مصرف آب در این تیمارها به‌ترتیب برابر با ۱۳، ۱۹، ۲٤، ٤۰، ۳۲، ٤۷، ٤٦ و ۳۱ درصد است (جدول ٤). این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که ارقام به‌کار رفته در آزمایش نسبت به شرایط تنش رطوبتی و تنش کم آبیاری حساس هستند و با کاهش محتوای آب خاک، عملکرد دانه آنها به‌شدت کاهش پیدا می‌کند. با توجه به کاهش شدید کارآیی مصرف آب درتیمارهای $T_۷$، $T_۸$، و $T_۹$ (جدول ٤) می‌توان اظهار نمود که قطع آبیاری و یا شرایط کم آبیاری در مراحل پایانی رشد از طریق کاهش شدید عملکرد موجب کاهش خیلی زیادی در کارآیی مصرف آب شده و موجب هدرروی مقادیر زیادی آب در واحد سطح می‌شود. تیمارهای $T_۲$ و $T_۳$ با اینکه شرایط کم آبیاری را از مرحله طویل شدن ساقه‌ها تا پایان دوره رشد تجربه نموده‌اند، ولی دارای کارآیی مصرف آب بالایی می‌باشند. این مسأله نشان می‌دهد که گیاه گندم در دوره‌های پایان رشد به کاهش آب مصرفی شدیداً حساس می‌باشد. به‌رغم این‌که آب مصرفی در واحد سطح در

Archive of SID

www.SID.ir

تیمارهای T_4، T_5، T_6 و T_7 زیاد بوده است (شکل ۱)، ولی این تیمارها دارای کارآیی مصرف آب بسیار پایینی بودند (جدول ٤) که نشان می‌دهد با وجود دریافت مقدار کافی آب توسط گیاهان در این تیمارها، عملکرد دانه آنها بسیار کمتر از سایر تیمارها بوده است که پیامد آن کاهش شدید کارآیی مصرف آب در این تیمارها است. به‌عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که کم آبیاری و یا قطع آبیاری در مراحل انتهایی رشد موجب صدمه زیادی بر عملکرد دانه شده است، ولی هنگامی‌که تنش‌های کم آبیاری از مراحل ابتدایی رشد تا پایان دوره رشد اعمال شدند، به‌دلیل سازگاری‌های صورت گرفته، افت کمتری در عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب بروز کرد، به‌طوری‌که تیمارهای T_2 و T_3 که تنش‌های نسبتاً شدیدی را متحمل شده و نسبت به سایر تیمارهای تنش، آب کمتری دریافت کردند، از کاهش عملکرد دانه کمتری برخوردار بوده و از این رو کارآیی مصرف آب آنها در حد تیمار شاهد که آب کافی دریافت نموده است می‌باشد.

اثر تیمارهای تنش بر کارآیی تبخیر و تعرق (ETE) معنی‌دار نبود (جدول ۳). با توجه به تأثیر معنی‌دار شرایط تنش رطوبتی بر عملکرد بیولوژیک و نیز تفاوت سطوح آب مصرفی در بین تیمارهای مختلف تنش (شکل ۱)، معنی‌دار نبودن ETE، که از نسبت عملکرد بیولوژیک بر تبخیر و تعرق به‌دست می‌آید، به معنای این است که با کاهش مصرف آب در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک نیز به همان نسبت کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه ETE بدون تغییر باقی می‌ماند. همبستگی معنی‌دار بین کل آب مصرفی و عملکرد بیولوژیک (جدول ۵) نیز مبین تغییرات هم‌سوی این صفات می‌باشد. معنی‌دار بودن WUE و معنی‌دار نبودن ETE در بین تیمارهای تنش (جدول‌های ۳ و ٤)، نشان‌دهنده حساسیت بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولـوژیک در رابطه با کاهش مصرف آب است (جدول ٤)، که خود ناشی از تأثیر کاهش مصرف آب بر اجزاء تشکیل‌دهنده عملکرد مانند تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در هر سنبله می‌باشد.

این احتمال نیز وجود دارد که در شرایط کمبود آب توزیع مواد به دانه‌ها نیز تحت‌تأثیر قرار گیرد. تغییرات معنی‌دار شاخص برداشت تحت‌تأثیر شرایط تنش رطوبتی (جدول ۳) نشان‌دهنده تغییر توزیع مواد فتوسنتزی در شرایط تنش رطوبتی می‌باشد. در شرایط تنش رطوبتی به‌دلیل اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی، شاخص برداشت نیز کاهش پیدا نموده است (جدول ٤)، که از دلایل احتمالی آن می‌توان به تسریع پیری گیاه و کاهش دوره پر شدن دانه و در نتیجه کاهش وزن دانه اشاره نمود (شکیبا و همکاران، ۱۹۹٦). کیو و همکاران (۲۰۰۸) نیز در آزمایش خود مشاهده کردند که کاهش دفعات آبیاری در طی فصل رشد سبب کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در تیمارهای تنش خشکی، ارقام و مناطق مختلف آزمایش.

تیمارهای آزمایش	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	کارآیی مصرف آب	کارآیی تبخیر و تعرق
تنش خشکی	$kgha^{-1}$	$kgha^{-1}$	درصد	kgm^{-3}	kgm^{-3}
T_1	۱٤۲٤۲^{a}	٦۹۸۸^{a}	٤۹/۹^{a}	۱/۳٤^{a}	۲/۷٥^{a}
T_2	۱۰۸۳٦^{ab}	٥۳۳۹^{b}	٥۱/٤^{a}	۱/۱۷^{ab}	۲/۳۹^{a}
T_3	۸۸٦۱^{b}	٤۲۷٥^{cd}	٥۰/۸^{a}	۱/۰۹^{ab}	۲/٥۹^{a}
T_4	۱۳٥٤٥^{ab}	٥۰۸۱^{bc}	۳۹/۲^{ab}	۱/۰۲^{bcd}	۲/۷۱^{a}
T_5	۱۰٥۷٦^{ab}	۳٦٥۱^{de}	۳٥/۸^{ab}	۰/۸۰^{cd}	۲/۳۲^{a}
T_6	۱۲۰۲۹^{ab}	٤۱٦۰^{cd}	۳٥/٤^{ab}	۰/۹۱^{bcd}	۲/٦۳^{a}
T_7	۹٦۱۳^{ab}	۲۹۳۷^{ef}	۳۱/٦^{ab}	۰/۷۱^{d}	۲/۳۱^{a}
T_8	۸۷۷٦^{b}	۲۱۲۱^{f}	۲٥/۷^{b}	۰/۷۳^{d}	۳/۰۰^{a}
T_9	۱۳۱۱۳^{ab}	۳۳۰٦^{de}	۲٦/۷^{b}	۰/۹۳^{bcd}	۳/٦۹^{a}
ارقام					
چمران	۱۰٥۷٦^{a}	٤۰٥۲^{b}	۳۹/۰^{ab}	۱/۱۰^{a}	۲/۹۳^{a}
مرودشت	۱۱۱۱٥^{a}	٤۱۸٥^{ab}	۳۹/٤^{a}	۰/۸۸^{a}	۲/٤۳^{a}
گاسپارد	۱۲۱۷۲^{a}	٤۳۸۲^{a}	۳۷/۱^{b}	۰/۹۲^{a}	۲/٦۷^{a}
مکان آزمایش					
کرج	۱۲۹۸۷^{a}	٤٦٤۱^{a}	۳۷/٥^{a}	۱/۱^{a}	۳/۲۰^{a}
تربت‌جام	۹٥۸۹^{b}	۳۷۷۱^{b}	۳۹/٥^{a}	۰/۸۰^{b}	۲/۱۰^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری ندارند.

تفاوت بین ارقام تنها برای عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). با وجود پایین بودن شاخص برداشت در رقم گاسپارد، این رقم بیشترین عملکرد دانه را نسبت به دو رقم دیگر که دارای بالاترین شاخص برداشت بودند تولید کرد و همچنین دارای کارآیی مصرف آب پایینی نیز بود، گرچه از این نظر تفاوت معنی‌داری با دو رقم دیگر نداشت (جدول ٤). از آنجا که رقم گاسپارد نسبت به دیگر ارقام آزمایش دیررس‌تر است، عملکرد زیادتر آن با توجه به فصل رشد طولانی‌تر قابل انتظار می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به اینکه بخش بیشتری از دوره رشد ارقام دیررس مواجه با درجه حرارت‌های بالا است، کم بودن کارآیی مصرف آب آنها احتمالاً به‌دلیل تبخیر و تعرق بیشتر ناشی از

Archive of SID

www.SID.ir

گرمای محیط است. فیشر و مائورر (۱۹۷۸) در مطالعات خود برروی گندم اعلام نمودند که گیاهان دیررس‌تر، دیرتر به گل می‌روند و در شرایط تنش رطوبتی دیررسی رابطه منفی با کارآیی مصرف آب دارد. عدم تفاوت معنی‌دار کارآیی تبخیر و تعرق در بین تیمارها و مکان‌های آزمایش (جدول ۳) نشان‌دهنده این است که در ارقام مورد بررسی با کاهش آب مصرفی، عملکرد بیولوژیک نیز به همان نسبت کاهش پیدا نموده است. با وجود عدم تفاوت معنی‌دار کارآیی مصرف آب و عملکرد بیولوژیک بین رقم‌های آزمایشی، بالاتر بودن کارآیی مصرف آب و پایین بودن عملکرد بیولوژیک در رقم چمران نسبت به سایر ارقام (جدول ٤) می‌تواند به این دلیل باشد که در رقم چمران کارآیی توزیع مواد فتوسنتزی بهتر از رقم گاسپارد بوده است و بالاتر بودن شاخص برداشت رقم چمران نسبت به رقم گاسپارد نیز این موضوع راتأیید می‌کند (جدول ٤).

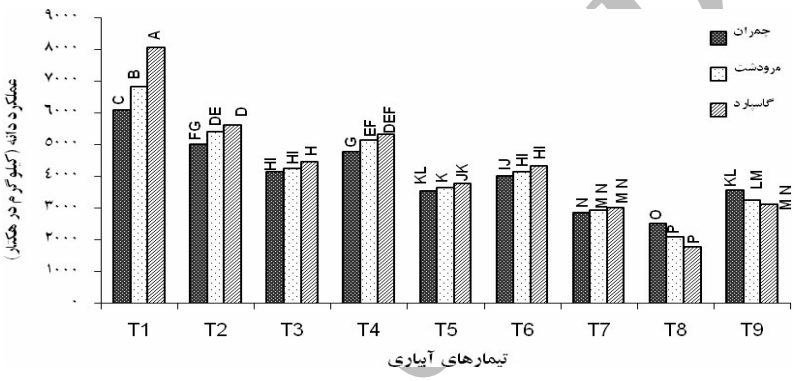
برهم‌کنش تنش رطوبتی و رقم برای عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب معنی‌دار و برای کارآیی تبخیر و تعرق و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود (جدول ۳). معنی‌داری اثر متقابل برای عملکرد دانه نشان‌دهنده اثر متفاوت تنش رطوبتی بر عملکرد است، به‌نحوی‌که رقم گاسپارد در تیمار شاهد بیشترین و در تیمار T_8 کمترین عملکرد و کارآیی مصرف آب را دارا بود (شکل‌های ۲ و ۳). رقم گاسپارد در تیمارهای T_1 تا T_7 برتری عملکرد دانه را نسبت به ارقام دیگر آزمایش حفظ نموده است و تنها در تیمارهای T_8 و T_9 با قطع آبیاری درمراحل گلدهی و پر شدن دانه و ادامه این شرایط تا پایان دوره رشد، با کاهش شدید عملکرد دانه نسبت به ارقام دیگر مواجه شده است (شکل ۲). این وضعیت نشان‌دهنده پتانسیل عملکرد بالای رقم گاسپارد در شرایط مطلوب و یا شرایط کم آبیاری نسبت به ارقام دیگر آزمایش از یک سو و حساسیت بیشتر آن به شرایط تنش قطع آبیاری در مراحل انتهایی رشد می‌باشد (پاک‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۸b) نتایج مقایسه کارآیی مصرف آب ارقام نیز نشان می‌دهد در حالی که رقم گاسپارد در تیمار شاهد بیشترین کارآیی مصرف آب را داشت، با شدت یافتن تنش کمبود آب، کارآیی مصرف آب آن کاهش بیشتری یافته و در نهایت این مزیت نسبی را در تیمارهای T_8 و T_9 از دست داده است (شکل ۳).

رقم چمران که کمترین عملکرد را در بین ارقام آزمایشی تولید کرد، دارای کارآیی مصرف آب بیشتری نسبت به سایر ارقام بود و با شدیدتر شدن شرایط تنش، اختلاف WUE این رقم نسبت به ارقام دیگر بیشتر شد (شکل ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص می‌شود که رقم چمران در بین ارقام دیگر مورد آزمایش از پایداری عملکرد بیشتری برخوردار بوده و میزان کاهش عملکرد آن در

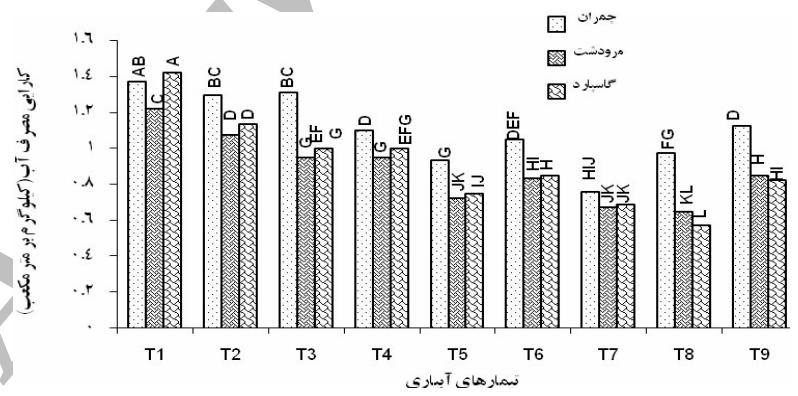
Archive of SID

www.SID.ir

شرایط تنش کمتر از سایر ارقام است. بنابراین می‌توان گفت رقم چمران هم در شرایط مطلوب و هم در شرایط تنش از یک عملکرد حدواسط برخورداراست، ولی رقم گاسپارد تنها در شرایط مطلوب عملکرد بسیارخوبی داشته و هرچه شرایط تنش شدیدتر می‌شود، عملکرد آن بیشتر کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که میزان کاهش عملکرد ارقام گاسپارد و شاهد در تیمار T_8 نسبت به شاهد (T_1) به‌ترتیب معادل ۷۸ و ۵۹ درصد می‌باشد.



شکل ۲- عملکرد دانه ارقام مختلف گندم در تیمارهای مختلف تنش آبیاری. بین عملکرد ارقام در تیمارهای مختلف آبیاری تفاوت معنی دار ($P\leq$۰/۰۱) وجود دارد. شرح تیمارهای آبیاری در جدول ۱ ارایه شده است.



شکل ۳- کارایی مصرف آب ارقام مختلف گندم در تیمارهای مختلف تنش آبیاری. بین کارایی مصرف آب ارقام در تیمارهای مختلف آبیاری تفاوت معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) وجود دارد. شرح تیمارهای آبیاری در جدول ۱ ارایه شده است.

www.SID.ir

نتایج همبستگی ساده صفات مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود همبستگی بالا بین عملکرد دانه با کل آب مصرفی و کارآیی مصرف آب می‌باشد (جدول ۵). محققان دیگر از جمله ترنر (۱۹۸٦) و اهدایی و وینز (۱۹۹۳) همبستگی قوی بین عملکرد دانه و آب مصرفی را گزارش نمودند. در آزمایش اهدایی و وینز (۱۹۹۳) همبستگی بین عملکرد دانه با آب مصرفی معادل ۰/۹۱ گزارش شده است که در آزمایش حاضر، همبستگی فوق ۰/۷۲ می‌باشد (جدول ۵). همبستگی پایین‌تر در این آزمایش نسبت به آزمایش اهدایی و وینز (۱۹۹۳) و گزارش‌های ارایه شده توسط ترنر (۱۹۸٦) احتمالاً ناشی از میزان بالای آب مصرفی در تیمارهای T_4 تا T_7 می‌باشد. از آنجا که گیاهان در تیمار T_4 و T_6 فقط در مرحله گلدهی و در تیمار T_5 و T_7 بعد از گلدهی تحت تنش‌های کم آبیاری قرار گرفته‌اند و تیمارهای کم آبیاری در مراحل ذکر شده موجب کاهش شدید عملکرد دانه شده‌اند، به‌عبارت دیگر کم آبیاری در مراحل پایانی رشد مزیت آبیاری مطلوب درمراحل قبل ازگلدهی را از بین برده است، که خود سبب کاهش همبستگی بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با آب مصرفی شده است. همبستگی بین آب مصرفی با عملکرد بیولوژیک کمتر از همبستگی آن با عملکرد دانه است (جدول ۵)، که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر آب مصرفی بر عملکرد دانه است. نتایج حاصله نیز نشان می‌دهد با کاهش آب مصرفی (شکل ۱) عملکرد دانه با شدت بیشتری کاهش پیدا کرد (جدول ٤).

جدول ۵- نتایج همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری شده (n=۲۷).

	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	ارتفاع بوته	کارآیی تبخیر و تعرق	عملکرد دانه	کل آب مصرفی
شاخص برداشت	۰/۰٦^{ns}					
ارتفاع بوته	۰/۸۲**	-۰/۰۵^{ns}				
کارآیی تبخیر و تعرق	۰/۳٦^{ns}	-۰/۵۱**	۰/۳٦^{ns}			
عملکرد دانه	۰/٦۲**	۰/۷۹**	۰/٤۳*	-۰/۱۹^{ns}		
کل آب مصرفی	۰/٦۰**	۰/٤۸*	۰/٤۵*	-۰/۵۱**	۰/۷۲**	
کارآیی مصرف آب	۰/۳۵^{ns}	۰/۷۵**	۰/۱۹^{ns}	۰/۱٤^{ns}	۰/۸۰**	۰/۱۸^{ns}

^{ns} و * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام براساس داده‌های هر دو آزمایش نشان داد که عملکرد دانه مؤثرترین صفت در توجیه تغییرات WUE بود و به همراه آب مصرفی ۹۶ درصد تغییرات کارآیی مصرف آب را توجیه کرد (جدول ٦). اهدایی و وینز (۱۹۹۳) نیز در آزمایش‌های خود به نتایج مشابهی دست یافتند. تأثیر شاخص برداشت بر کارآیی مصرف آب در همبستگی ساده مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵) با توجه به عدم ارتباط معنی‌دار کارآیی مصرف آب و عملکرد بیولوژیک، به نظر می‌رسد این همبستگی ناشی از رابطه عملکرد اقتصادی با کارآیی مصرف آب است (جدول ۵) و به همین دلیل در رگرسیون گام به گام نیز عملکرد بیولوژیک وارد مدل نشده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که با اعمال مدیریت‌های آبیاری و در اختیار قرار دادن آب کافی در مراحل حساس رشدی گیاه، می‌توان ضمن صرفه‌جویی در آب مصرفی، به حداکثر عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب دست یافت. اعمال تیمارهای کم آبیاری در اوایل دوره رشد می‌تواند بدون تأثیر سوء بر عملکرد اقتصادی، موجب افزایش بهره‌وری از منابع باارزش آب شده و از این رو پایداری نظام‌های زراعی را بهبود بخشد، هر چند تنش‌های کم آبیاری در مراحل گلدهی و یا بعد از آن و همچنین قطع آبیاری می‌تواند از طریق کاهش شدید عملکرد دانه تأثیر زیادی بر کارآیی مصرف آب بگذارد. بنابراین مدیریت آبیاری در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در اتخاذ بهترین گزینه‌های مدیریتی، باید شرایط اقلیمی منطقه به‌عنوان یک متغیر تأثیرگذار درنظر گرفته شود.

جدول ٦- نتایج تجزیه همبستگی به روش رگرسیون مرحله‌ای برای تعیین اثر صفات در تغییرات کارآیی مصرف آب.

مدل	ضریب تشخیص جزئی مدل	ضریب تشخیص مدل
WUE=۰/٤۳+۰/۰۰۰۱۳GY	۰/٦٤	۰/٦٤
WUE=۱/۰۳ + ۰/۰۰۰۲۲GY–۰/۰۰۰۲۳TWU	۰/٦٤ + ۰/۳۲	۰/۹٦

WUE و TWU به‌ترتیب نشان‌دهنده کارآیی مصرف آب و کل آب مصرفی می‌باشند. GY مبین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) است.

Archive of SID

www.SID.ir

فهرست منابع

Barnes, D.K. 1983. Managing root systems for efficient water use: breeding plants for efficient water use. Pp: 127-136, In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., and Sinclair, T.R. (eds.), Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. ASA-CSSA-SSSA., Madison, WI.

Derera, R.A., Marshall, D.R., and Balam, L.N. 1969. Genetic variability in root development in relation to drought tolerance in spring wheat. Exp. Agri. 5: 327-337.

Ehdaie, B., and Waines, J.G. 1993. Variation in water-use efficiency and its components in wheat. I. well watered pot experiment. Crop Sci. 33: 294-299.

Ehdaie, B., and Waines, J.G. 1994. Growth and transpiration efficiency of near-isogenic lines for height in spring wheat. Crop Sci. 34: 1443-1451.

Ehdaie, B., and Waines, J.G. 1996. Genetic variation for contribution of pre-anthesis assimilates to grain yield in spring wheat. J. Genet. Breed. 50: 47-56.

Ehdaie, B., Hall, A.E., Farquhar, G.H., Nguyan, H.T., and Waines, J.G. 1991. Water use efficiency and carbon isotope discrimination in wheat. Crop Sci. 31: 1282-1288.

Emam, Y., and Ranjbar, Gh. 2000. Effect of plant density and drought stress at vegetative growth stage on yield, yield components, and water use efficiency in corn. Iranian Journal of Crop Science. 2: 51-62.

Entz, M.H., and Fowler, D.B. 1988. Critical stress periods affecting productivity of no-till winter wheat in Western Canada. Agron. J. 80: 987-992.

Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars grain yield response. Aus. J. Agri. Res. 29: 897-912.

Giunta, F., Motzo, R., and Deidda, M. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in mediterranean environment. Field Crops Res. 33: 339-499.

Gregory, P.J. 2004. Agronomic approaches to increasing water use efficiency. Pp: 143-170, In: Bacon, M.A. (ed.), Water use efficiency in plant biology. Blackwell Publishing. 327p.

Guera, A.F., and Antoiini, J.C.D. 1996. Time for stopping irrigation on wheat crop. Pesquisa Brasileira. 31: 823-828.

Gupta, N.K., Gupta, S., and Kumar, A. 2001. Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. Wheat, Barley and Triticale Abstracts. 18: 497.

Johnston, A.M., and Fowler, D.B. 1992. Response of no till winter wheat to nitrogen fertilization and drought stress. Can. J. Plant Sci. 72: 1075-1089.

Koocheki, A., and Soltani, A. 1998. Crop production in dry regions. Agricultural Education Publications. 942p.

Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press. Pp: 342-415.

Archive of SID

www.SID.ir

loomis, R.S., and Connor, D.J. 1992. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press, Cambridge. 538p.

Moustafa, M.A., Boersma, L., and Kronstad, W.E. 1990. Response of four spring wheat cultivar to drought stress. Crop Sci. 36: 982-986.

Oweis, T., Zhang, H., and Pala, M. 2000. Water Use Efficiency of Rainfed and Irrigated Bread Wheat in a Mediterranean Environment. Agron. J. 92: 231-238.

Paknejad, F., Majidi, E., Normohamadi, G., Seadat, A., and Vazan, S. 2008. Evaluation of drought stress on effective traits at accumulative assimilate of grain in different cultivars of wheat. J. Agric. Sci. (Islamic Azad University). 13: 137-150.

Paknejad, F., Vazan, S., and Habibi, D. 2008. Comparison index of the tolerant stress for investigation response cultivars of wheat to water limitation in the last season. Iranian J. Agric. Sci. (Islamic Azad University). 4: 167-184.

Qiu, G.Y., Wang, L., He, X., Zhang, X., Chen, S., Chen, J., and Yang, Y. 2008. Water use efficiency and evapotranspiration of winter wheat and its response to irrigation regime in the north China plain. Agric. Forest Meteo. 148: 1848-1859.

Shakiba, M.R., Ehdaie, B., Madore, M.A., and Waines, J.G. 1996. Contribution of interned reserves to grain yield in tall and semi-dwarf spring wheat. J. Genetic Breed. 50: 91-100.

Tabatabaei, S.A., Normohammadi, Gh., Hashemi Dezfoli, A., and Majidi Heravan, A. 2000. Evaluation of effect of different irrigation regimes and planting dates on different traits and water use efficiency of pearl millet *(*nutrifid variety). Iranian Journal of Agricultural Science. 31: 59-70.

Tuberosa, R. 2004. Molecular approaches to unravel the genetic basis of water use efficiency.Pp: 228-301, In: Bacon, M.A. (ed.) Water use efficiency in plant biology. Blackwell Publishing. 327p.

Turner, N.C. 1986. Crop water deficits. Adv. Agron. 39: 1-51.

Viets, F.G.Jr., 1971 Effective drought control for successful dryland agriculture. In: Drought Injury and Resistance in Crop Plants. CSSA Spec. Pub. No. 2, Pp: 57-75.

Weyhrich, R.A., Carver, B.F., and Martin, B.C. 1995. Photosynthesis and water-use efficiency of awned and awnletted nearisogenic lines of hard red winter wheat. Crop Sci. 35: 172-176.

Zhang, J., and Yang, J. 2004. Crop yield and water use efficiency: a case study in rice. Pp: 199-227, In: Bacon, M.A. (ed.), Water use efficiency in plant biology. Blackwell Publishing. 327p.

Archive of SID

www.SID.ir

EJCP., Vol. 2 (3): 17-36
www.ejcp.info

Effects of water stress at different growth stages on yield and water use efficiency of some wheat cultivars

***F. Paknejad[1], M. Jami AL-Ahmadi[2], S. Vazan[3], M.R. Ardakani[4]**
[1]Assistant Prof., Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Karaj Branch, [2]Assistant Prof., Faculty of Agriculture, University of Birjand, [3]Assistant Prof., Islamic Azad University, Karaj Branch, [4]Associate Prof., Islamic Azad University, Karaj Branch

Abstract

Concerning limitation of water resources, determination of the least water that can lead to the maximum yield is of great importance in crop production. In order to evaluate effects of deficit irrigation on grain yield and water use efficiency of some wheat (*Triticum aestivum*) cultivars under different climatic conditions, two similar field experiments were conducted in 2004 in Agricultural Research Stations of Azad University of Karaj and Torbat-Jam (central and eastern part of Iran, respectively). The experiments were conducted as a randomized complete block design in a factorial arrangement with four replications. First factor was consisted of 9 different irrigation regimes, including a control treatment (irrigation at 40% soil moisture depletion), and irrigating when 60 and/or 80 percent of soil moisture was depleted from stem elongation to ripening, from the start of flowering to ripening, only at flowering stage, and irrigation termination at flowering and grain filling stages. The second factor was consisted of three wheat cultivars, including Chamran, Marvdasht and Gaspard. Results showed that yield, harvest index and water use efficiency were affected by water stress, as plants in control treatment produced the highest grain and biological yields, harvest index and water use efficiency. Water use efficiency varied from 0.17 to 1.34 kg m^{-3} between irrigation regimes. Deficit irrigation and drought stress at the end of season influenced yield and WUE extremely, whereas limited irrigation at early growth stages had no significant effects. Responses of wheat cultivars to irrigation regimes varied between two locations and warmer and drier conditions in Torbat-Jam lead to more water consumption and lower water use efficiency. Among measured characteristics, seed yield had the most direct effect on WUE and following that, total water used was accounted reasonably for the rest of variation in WUE. Thus it seems that wheat irrigation management, especially during late of growth season, is so important, and should be involved climatic conditions of each location as an effective variable.

Keywords: wheat; grain yield; water use efficiency; evapotranspiration efficiency; harvest index

*- Corresponding Author; Email: farzadpaknejad@kiau.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir