تنش های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

مجله تنش های محیطی در علوم زراعی
جلد چهارم، شماره اول، نیمه‌اول ۹۰
۶۳-۴۷

ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم مقاوم و حساس به خشکی تحت شرایط تنش رطوبتی با بهره‌گیری از مدل پنمن-مونتیث فائو

فرزاد حسین پناهی[1*]، محمد کافی[2]، مهدی پارسا[3]، مهدی نصیری محلاتی[4]، محمد بنایان[5]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۲ و۴. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد؛
۳ و ۵. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۳

چکیده

مطالعه روابط بین اجزای عملکرد کمک شایانی به درک اساس فیزیولوژیک عملکرد گیاهان زراعی می‌نماید. به منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام متحمل و حساس به خشکی گندم تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خرد شده با ۵ تیمار آبیاری (کرت اصلی)، ۲ رقم (کرت فرعی) و ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری به میزان نیاز کامل آب گیاه (شاهد اول)، بدون آبیاری در فصل بهار (شاهد دوم)، آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (۷۵٪)، آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (۵۰٪) و آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (۲۵٪) در نظر گرفته شد و کرت‌های فرعی شامل ارقام متحمل (پیشگام، رقم ریشک‌دار) و حساس (گاسکوژن، بدون ریشک) به خشکی گندم بودند. نتایج نشان داد که اختلاف بین تیمارهای آبیاری و ارقام مورد مطالعه از نظر اجزای عملکرد و عملکردهای اقتصادی و بیولوژیک معنی‌دار بود. با کاهش فراهمی آب تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله کاهش یافت اما وزن هزار دانه زیاد شد. افزایش وزن هزار دانه قادر به جبران کاهش تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله نبود و در نتیجه عملکرد اقتصادی و بیولوژیک نیز با کاهش فراهمی آب کاهش یافت. شاخص برداشت نیز در پاسخ به کاهش فراهمی آب دچار کاهش شد. در مجموع رقم متحمل از نظر عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و بهره‌وری مصرف آب برتر از رقم حساس بود اما شاخص برداشت کمتری نسبت به آن داشت. به طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که حفظ تعداد سنبله بیشتر در واحد سطح و تولید تعداد بالاتر دانه در سنبله جزء مهم‌ترین عوامل برتری رقم متحمل نسبت به رقم حساس بودند. همچنین سودمندی روش پنمن-مونتیث فائو در ارزیابی نیاز آبی گندم مثبت ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: **تنش خشکی، گاسکوژن، پیشگام، بهره‌وری مصرف آب**

مقدمه

خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا می‌باشد. طبق سناریوهای مختلف انجمن بین‌المللی تغییر اقلیم، کاهش در میزان بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق از جمله مشکلات پیش‌رو در آینده کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک خواهد بود (Villegas et al., 2010). این در حالیست که موفقیت کشاورزی در این نواحی بیش از هر چیز به میزان فراهمی آب وابسته است (Alderfasia and Nielsen, 2001). بر اساس برخی گزارشات میانگین عملکرد گندم در دنیا ۳۰ تا ۶۰ درصد عملکرد قابل حصول است که دلیل اصلی آن کمبود آب می‌باشد (Deng et al., 2003).

کشور ایران نیز به دلیل قرار گرفتن در نواحی خشک و نیمه خشک جهان از نزولات آسمانی محدودی برخوردار است و بر اساس یک آمار کلی میزان بارندگی آن حدود یک سومِ میانگین بارندگی دنیا می‌باشد (Faramarzi et al., 2010). بنابراین مطالعه اثرات تنش خشکی همیشه از اولویت‌های پژوهشی بوده و با وجود منابع علمی متعددی که در این زمینه منتشر شده، هنوز خلاءهای زیادی در این مطالعات به چشم می‌خورد.

از آنجایی که گندم مهم‌ترین محصول زراعی کشور بوده و سالانه نزدیک به نیمی از سطح زیر کشت محصولات زراعی به کشت و کار این گیاه استراتژیک

نگارنده پاسخگو: فرزاد حسین پناهی. آدرس: مشهد- دانشگاه فردوسی مشهد- دانشکده کشاورزی- گروه زراعت.
پست الکترونیک: agro_expert@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

اختصاص می‌یابد لذا طی چند دهه گذشته اقدامات زیادی در راستای افزایش عملکرد آن صورت گرفته است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به معرفی ارقام جدید، استفاده از سموم و کودهای شیمیایی، گسترش استفاده از ماشین-آلات، بهبود روش‌های زراعی و فعالیت‌های به‌نژادی اشاره کرد. در اغلب مناطق ایران دوره پرشدن دانه در گندم با ماه‌های گرم و کم باران برخورد می‌کند، لذا هر اقدامی برای افزایش عملکرد آن به میزان بسیار زیادی وابسته به میزان دما و فراهمی آب برای گیاه در این دوره می‌باشد. به همین دلیل بسیاری از پژوهش‌گران اعتقاد دارند که در محیط‌هایی که مرحله پر شدن دانه در معرض تنش خشکی است، نمو گیاه باید به صورت ژنتیکی به گونه‌ای دست‌کاری شود که دوره تشکیل و پر شدن دانه طولانی‌تر شود تا عملکرد افزایش یابد (Araus et al., 2002). با وجودی که گندم در بین تمام گیاهان زراعی به دلیل وجود تغییرات ژنتیکی طبیعی در خصوصیات مرتبط با مقاومت به خشکی بیش از هر گیاه دیگری مورد علاقه متخصصان اصلاح نباتات بوده (Loggini et al., 1999)، اما واقعیت این است که برنامه‌های اصلاحی در محیط‌های مستعد تنش خشکی فقط به میزان نصف مناطق معتدله سبب افزایش عملکرد گیاهان زراعی شده است (Turner, 2004). در محیط‌های خشک تنش‌های دیگری از قبیل دمای بالا، تشعشع بالا، کمبود آب و کمبود عناصر غذایی همزمان با تنش خشکی حادث می‌شوند که فرایند اصلاح گیاهان برای مقاومت به خشکی را پیچیده‌تر می‌سازند. بعلاوه خصوصیات خاک منطقه مانند بافت و ساختمان خاک تعادل این تنش‌ها را تحت تأثیر قرار داده و روند مطالعات را با مشکلات بیشتری روبرو خواهد ساخت (Whitmore and Whalley, 2009).

تولید ارقامی با طول دوره رشد کوتاه اگرچه بهترین استراتژی برای مناطق خشک می‌باشد (Araus et al., 2002)، اما باید در نظر داشت که کوتاه شدن دوره رشد گیاه ممکن است سبب کاهش عملکرد شود و یا در بهترین حالت می‌تواند عملکردهای کنونی را حفظ کند. این در حالیست که برای برطرف کردن نیاز روزافزون جمعیت در ۲۰ سال آینده لازم است رشد سالیانه عملکرد گندم از مقدار کنونی آن، یعنی ۰/۹ درصد به ۱/۶ درصد افزایش یابد (Reynolds et al., 2000). به همین دلیل محققان دیگری معتقدند که باید اساس فیزیولوژیک اجزای عملکرد به دقت مورد بررسی قرار گرفته تا پتانسیل تولید واحدهای عملکرد به ازای هر واحد مصرف آب افزایش یابد (Sinclair and Jamieson, 2006). در مطالعاتی که در سال‌های اخیر نیز انجام شده تلاش عمده محققان برای بهبود مقاومت به خشکی، بررسی مکان‌یابی ژن‌های مرتبط با اجزای عملکرد بوده است (Mathews et al., 2008; McIntyre et al., 2009). در گندم تعداد مکان‌های بالقوه برای تولید دانه بسیار بالاتر از تعداد دانه‌ای است که در عمل تشکیل می‌شودT زیرا در هر سنبله پتانسیل تولید ۱۴۰ گلچه وجود دارد اما در نهایت نزدیک به ۴۰ دانه واقعی در یک سنبله تشکیل می‌شود (Sinclair and Jamieson, 2006). از آنجایی که تولید دانه مهم‌ترین صفت مورد نظر اصلاح‌گران برای شرایط خشکی است (Guoth et al., 2009)، لذا محققان دنبال مکانیزم‌هایی هستند که در شرایط تنش خشکی تعداد گلچه‌های نابارور را کاهش داده و یا از راه‌های دیگری جبران کنند. پاسیورا (Passioura, 2007) نیز معتقد است که بررسی ناباروری گلچه در اثر تنش آب می‌تواند مهم‌ترین هدف برای بهبود عملکرد گندم در محیط‌های خشک باشد اما مکان‌های کمی این صفت روی کروموزوم‌ها (QTL) تا کنون مورد مطالعه قرار نگرفته است. طبق گزارش سایری و همکاران (Sayre et al., 1997) پیشرفت عملکرد در ارقام پاکوتاه مکزیکی نیز مرتبط با افزایش تعداد دانه بوده است.

ارقام مقاوم مکانیزم‌های مختلفی برای افزایش تعداد دانه در شرایط تنش خشکی دارند و شناسایی این مکانیزم‌ها کمک زیادی برای اصلاح واریته‌های مطلوب در آینده خواهد نمود. در مطالعه‌ای در جنوب استرالیا، ایزانلو و همکاران (Izanloo et al., 2008) سه ژنوتیپ گندم Kukri، Excalibur و RAC875 را تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی مورد بررسی قرار دادند. ژنوتیپ‌های Excalibur و RAC875 به عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم دو استراتژی مختلف را برای مقاومت به خشکی انتخاب کردند. در ژنوتیپ RAC875 از ابتدا پنجه‌های کمتری تولید شد، اما تعداد دانه تشکیل شده به ازای هر پنجه افزایش یافت. آن‌ها این مکانیزم را نوعی مکانیزم محافظه-کارانه[1] تلقی کردند. در ژنوتیپ Excalibur تعداد پنجه-های تولیدی در اوایل زیاد بود اما در مواجهه با تنش

[1] . Conservative mechanism

Archive of SID

www.SID.ir

خشکی سریعاً تعدادی از پنجه‌های تشکیل شده از بین - رفت و از دست رفتن پنجه با افزایش تعداد دانه به ازای هر سنبله جبران شد. آن‌ها این مکانیزم را نوعی مکانیزم واکنشی[1] عنوان کردند. هر کدام از این مکانیزم‌ها مزیت خاص خود را دارند. مکانیزم محافظه‌کارانه از این نظر مطلوب است که گیاه از همان ابتدا روی افزایش تعداد دانه برنامه‌ریزی کرده و با توجه به اینکه بروز، شدت و زمان تنش خشکی به طور دقیق قابل پیش‌بینی نیست، لذا این مکانیزم همراه با ریسک کمتری خواهد بود. بلوم و همکاران (Blum et al., 1990) نیز معتقدند که حفظ پتانسیل تعداد دانه به ازای هر سنبله در شرایط خشکی مهم‌تر از توانایی پنجه‌زنی است. همچنین آن‌ها عقیده دارند که گیاهان کوتاه با پنجه‌های کم کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به گیاهان بلند و دارای پنجه‌های بیشتر دارند. انعطاف‌پذیری در مکانیزم واکنشی نیز بسیار مهم می‌باشد زیرا اگر تنش خشکی در طول فصل رشد اتفاق نیفتد گیاه پتانسیل تولید تعداد سنبله‌های بیشتری در واحد سطح خواهد داشت.

با وجودی که به اعتقاد برخی محققان تعداد دانه همبستگی بالایی با عملکرد گندم دارد (Fischer, 2008) اما تنها تولید دانه بالا برای شرایط خشکی کافی نیست و وزن دانه‌های تولیدی هم در تعیین عملکرد بسیار حائز اهمیت است. مشکل عمده مناطق خشک و نیمه خشک کوتاه بودن دوره پر شدن دانه است و این مسئله سبب می‌شود که پتانسیل وزن دانه در این مناطق حاصل نشود (Sinclair and Jamieson, 2006). این وضعیت چنانچه با دماهای بالا نیز همراه شود مشکل را دوچندان خواهد ساخت زیرا گرما اثرات خشکی را تشدید خواهد کرد. کوتاه شدن دوره پر شدن دانه به دلیل افزایش سرعت نمو گیاه در اثر افزایش دما و خشکی و افزایش انتقال مجدد نیتروژن و کربوهیدرات‌های غیر ساختاری از اندام‌هایی مانند برگ‌ها و ساقه‌ها و انتقال آن به سمت دانه‌ها می‌باشد (Yang et al., 2003)، که اصطلاحاً نوعی مکانیزم خود تخریبی[2] است (Sinclair and Jamieson, 2006). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که بین تعداد دانه در سنبله و وزن آن رابطه منفی وجود دارد (Reynolds et al., 2005). وجود این رابطه منفی سبب شده که برخی محققان این فرضیه که تعداد دانه عامل تعیین کننده عملکرد گندم است را رد کنند (Sinclair and Jamieson, 2006).

با وجود مطالعات بسیار زیادی که در ارتباط با عملکرد و اجزای عملکرد گندم صورت گرفته اما به نظر می‌رسد که هنوز روابط دقیق بین اجزای عملکرد مخصوصاً در شرایط محدودیت آب به درستی شناسایی نشده و مقایسه پاسخ ارقام مقاوم و حساس در این زمینه می‌تواند مفید واقع شود. به همین دلیل هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات فراهمی آب در مقادیر مختلف روی عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم پیشگام (متحمل به خشکی) و گاسکوژن (حساس به خشکی) که کشت و کار آن طی چند سال اخیر گسترش بسیار زیادی در کشور داشته، می‌باشد. بدیهی است که اعمال دقیق تیمارهای آبیاری بر اساس یک روش معتبر همیشه به عنوان یک چالش در مطالعات تنش خشکی مطرح بوده است. لذا در این مطالعه سعی شد که از روش پنمن-مونتیث فائو (Allen et al., 1998) به منظور ارزیابی نیاز آبی گیاه و اعمال تیمارهای مختلف تنش بر اساس آن استفاده شود. بر اساس توصیه فائو این روش معتبرترین روش برآورد نیاز آبی گیاهان می‌باشد زیرا محاسبات این روش مبتنی بر داده‌های روزانه هواشناسی، اطلاعات جغرافیایی محل و خصوصیات آیرودینامیکی بوده و از این نظر نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد.

مواد و روش‌ها

آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی: ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی: ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا: ۹۸۵ متر، متوسط بارندگی سالیانه: ۲۸۶ میلی‌متر) در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. برای کرت‌های اصلی ۵ تیمار آبیاری شامل آبیاری به میزان نیاز کامل آب گیاه (FI، شاهد اول)، بدون آبیاری در فصل بهار (NI، شاهد دوم)، آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (FI ۷۵٪)، آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (FI ۵۰٪) و آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (FI ۲۵٪) در نظر گرفته شد و کرت‌های فرعی شامل ارقام متحمل (پیشگام، رقم ریشک‌دار) (Mahfozi et al.,

[1]. Responsive mechanism
[2]. Self-destruction

Archive of SID

www.SID.ir

2009) و حساس (گاسکوژن، بدون ریشک) (Maghsoudi and Maghsoudi Moud, 2008) به خشکی گندم بودند. کرت‌های فرعی در ابعاد ۶ متر طول و ۲ متر عرض ایجاد شد و بین دو کرت فرعی در هر کرت اصلی، یک متر فاصله به صورت نکاشت در نظر گرفته شد. همچنین جهت جلوگیری از نشت آب از هر کرت اصلی به کرت اصلی مجاور، فاصلهٔ ۲ متر بین کرت‌های اصلی و فاصله ۴ متر بین تکرارهای آزمایش منظور شد. جدول ۱ مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش را نشان می‌دهد. قبل از کاشت معادل ۲۵ تن در هکتار کود دامی پوسیده، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی سولفات پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی اوره به صورت یکنواخت در زمین پخش گردید. کشت ارقام در تاریخ ۲۰ مهرماه سال ۱۳۸۹ و با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع صورت گرفت. در طول فصل رشد معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی اوره طی دو مرحلهٔ ساقه-رفتن و سنبله‌دهی مورد استفاده قرار گرفت و دو مرحله سم‌پاشی نیز جهت پیشگیری از بیماری‌های قارچی و سن گندم انجام شد. با توجه به رویش محدود علف‌های هرز در مزرعه، کنترل آن‌ها طی فصل رشد به صورت دستی صورت گرفت.

جهت محاسبه میزان آب مصرفی، کرت‌های آزمایش با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلنی لوله کشی شد و مقدار آب مصرفی در هر آبیاری و برای هر کرت توسط کنتور اندازه-گیری شد. جهت استقرار یکنواخت گیاه، تمام تیمارها در فصل پاییز در دو مرحله و به میزان برابر آبیاری شدند (جدول ۲) و از زمان از سرگیری رشد فعال در فصل بهار (روز ۶ فروردین مصادف با اوایل ساقه‌رفتن) تیمارهای مختلف خشکی اعمال شد. جهت اعمال تیمارهای خشکی ابتدا نیاز آبی گیاه در هر هفته مطابق معادله ۱ برآورد گردید (Alizadeh and Kamali, 2008).

$$WR=(ET_c+Ro-P_e-CR)/(E_i/100) \qquad [۱]$$

که در آن WR: نیاز آبی گیاه (میلی‌متر)، ET_c: تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی‌متر)، Ro: رواناب (میلی‌متر)، P_e: بارندگی موثر (میلی‌متر)، CR: صعود کاپیلاری (میلی‌متر) و E_i: راندمان آبیاری (٪) می‌باشند. با توجه به پایین بودن سطح ایستابی آب در منطقه آزمایش، مقدار صعود کاپیلاری صفر در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998).

همچنین از آنجایی که کرتهای آزمایشی جهت جلوگیری از هدر رفت آب محصور شده بودند لذا مقدار رواناب نیز صفر لحاظ شد. از طرفی فاصله زیاد بین کرت‌ها و تکرارهای آزمایش مانع ورود و خروج جریان‌های افقی درون خاک گردید، لذا مقدار این اجزاء نیز صفر در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998). بنابراین نیاز آبی گیاه در عمل بر اساس معادله ۲ محاسبه گردید.

$$WR=(ET_c-P_e)/(E_i/100) \qquad [۲]$$

میزان تبخیر و تعرق گیاه گندم به صورت هفتگی توسط مدل پنمن مونتیث فائو و بر اساس داده‌های روزانه هواشناسی محاسبه شد. در این روش ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) با استفاده از معادلهٔ ۳ و تبخیر و تعرق گیاه زراعی (ET_c) با استفاده از معادلهٔ ۴ محاسبه شد.

$$ET_o = 0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + (\gamma \times 900 \times U_2 \times (e_s - e_a) / T + 273) / \Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U_2) \qquad [۳]$$

$$ET_c = K_c \times ET_o \qquad [۴]$$

که در این معادلات، ET_o: تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)، R_n: تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر متر مربع در روز)، G: شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)، T: دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، U_2: سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، e_s: فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a: فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما (کیلوپاسکال به ازای هر درجه سانتی‌گراد)، γ: ضریب سایکرومتری (کیلوپاسکال به ازای هر درجه سانتی‌گراد)، ET_c: تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی‌متر در روز) و K_c: ضریب گیاهی (بدون واحد) می-باشند. محاسبهٔ اجزای معادلهٔ تبخیر و تعرق مرجع نیازمند اطلاعات جغرافیایی محل از قبیل عرض جغرافیایی و ارتفاع محل از سطح دریا و اطلاعات هواشناسی از قبیل دماهای حداقل و حداکثر روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی می‌باشد که از ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات کشاورزی طرق اخذ گردید. طبق توصیه فائو مقدار K_c برای مرحله آغازین رشد ۰/۴، برای مراحل میانی رشد ۱/۱۵ و برای مرحله پایانی رشد ۰/۴ در نظر گرفته شد، اما از آنجایی که ضریب گیاهی تحت تأثیر خصوصیات گیاهی و محیطی قرار می‌گیرد لذا جهت تخمین دقیق‌تر

Archive of SID

www.SID.ir

مقادیر این ضریب، مقادیر توصیه شده فائو در طول فصل رشد بر اساس معادله ۵ اصلاح شد (Allen et al., 1998).

$$Kc_{adj}=Kc_{FAO}+(0.04\times(U_2-2)-0.004\times(RH_{min}-45))\times(H/3)^{0.3} \quad [۵]$$

که در آن RH_{min}: رطوبت نسبی حداقل (درصد) و H: ارتفاع گیاه (متر) می‌باشند. جزئیات محاسبهٔ سایر اجزای معادله پنمن مونتیث فائو در آلن و همکاران (Allen et al., 1998) موجود است.

محاسبه بارندگی موثر از طریق معادله ۶ صورت گرفت (Alizadeh and Kamali, 2008):

$$P_e=a.P \quad [۶]$$

که در آن P_e: مقدار بارندگی و a درصد ثابتی از بارندگی است که مقدار آن معمولاً بین ۰/۷ و ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود (Alizadeh and Kamali, 2008). در این آزمایش مقدار a ۰/۸ در نظر گرفته شد.

راندمان آبیاری غالباً حاصل‌ضرب راندمان ذخیره آب در مخزن، راندمان انتقال و راندمان کاربرد در مزرعه است اما از آنجایی که در شرایط آزمایشی محاسبه دو جزء اول مورد هدف نبود و کنتور آب مستقیماً بر سر مزرعه نصب شد لذا راندمان آبیاری کاربرد در مزرعه به عنوان راندمان نهایی آبیاری مورد استفاده قرار گرفت (Alizadeh and Kamali, 2008). معمولاً راندمان آبیاری در روش‌های کرتی پایین است اما با توجه به لوله کشی کرت‌های آزمایش و کنترل کامل ورود و خروج آب در مجموع راندمان ۹۰ درصد برای شرایط این آزمایش لحاظ شد. بدین ترتیب نیاز آبی برآورد شده برای هر هفته معیار آبیاری در تیمار شاهد اول (FI) قرار گرفت و برای تیمارهای FI ۷۵٪، FI ۵۰٪ و FI ۲۵٪ به ترتیب ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان آبیاری اعمال شد. تیمار شاهد دوم (NI) نیز در فصل بهار هیچ‌گونه آبی دریافت نکرد. جدول ۲ مقادیر تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق گیاه زراعی، بارندگی و میزان آب دریافتی توسط تیمارهای آزمایش را نشان می‌دهد.

در پایان فصل رشد عملکرد و اجزای عملکرد تیمارهای مختلف اندازه‌گیری و آنالیز داده‌ها توسط نرم افزار Minitab صورت گرفت. بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب) تیمارهای مختلف نیز از نسبت عملکرد (کیلوگرم) به مقدار آب مصرفی (متر مکعب) محاسبه شد.

نتایج و بحث

اختلاف بین تیمارهای آبیاری و ارقام آزمایش از نظر ارتفاع بوته معنی‌دار بود ($P<0.01$، جدول۳) اما اثر متقابل معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد. بیشترین و کم‌ترین ارتفاع بوته به ترتیب در تیمار FI (۹۳/۳۴ سانتیمتر) و NI (۵۰/۲۳ سانتیمتر) مشاهده شد و سایر تیمارها در حد فاصل این دو مقدار قرار داشتند (جدول ۵). به طور کلی تغییرات ارتفاع گیاه متناسب با مصرف آب در تیمارهای آبیاری بود به گونه‌ای که یک روند کاهشی در ارتفاع گیاه متناسب با کاهش مصرف آب در تیمارهای آبیاری مشاهده شد. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2006) نیز در مطالعه خود روی۱۶ ژنوتیپ گندم گزارش دادند که تنش خشکی در مجموع سبب کاهش ارتفاع بوته به میزان ۲۱/۷۱ درصد شد. آن‌ها همچنین ارتفاع زیاد را یکی از دلایل تحمل برخی ارقام به خشکی دانستند. این مسئله قبلاً توسط فیشر و وود (Fischer and Wood, 1979) نیز گزارش شده و آن‌ها نیز کاهش ارتفاع را یکی از صفات مرتبط با حساسیت به خشکی عنوان کردند. در این مطالعه نیز اختلاف ارقام متحمل و حساس از نظر ارتفاع معنی‌دار بود و رقم متحمل ارتفاع بیشتری در مقایسه با رقم حساس داشت (۷۴/۹۶ در مقابل ۶۶/۶۳ سانتیمتر، جدول ۵).

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در دشت مشهد

Table 1. physico-chemical properties of experiment soil at Mashhad plain

بافت خاک Soil texture	رطوبت ظرفیت زراعی Field capacity moisture ($m^3.m^{-3}$)	رطوبت نقطه پژمردگی Wilting point moisture ($m^3.m^{-3}$)	موجودی نیتروژن خاک Soil Nitrogen (ppm)	موجودی پتاسیم خاک Soil Potassium (ppm)	موجودی فسفر خاک Soil Phosphorous (ppm)	ماده آلی خاک Soil Organic matter (%)	pH	شوری خاک Soil Salinity ($dS.m^{-1}$)
رسی لومی Loamy-clay	0.3856	0.2213	966.12	541.39	37.47	1.0422	7.98	1.741

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲. مقادیر تبخیر و تعرق مرجع (ET_o)، تبخیر و تعرق گیاه زراعی (ET_c)، بارندگی و میزان مصرف آب در تیمارهای مختلف تنش خشکی گندم زمستانه در شرایط آب و هوایی مشهد

Table 2. The amounts of reference evapotranspiration (ET_o), crop evapotranspiration (ET_c), precipitation and water consume amount in different drought stress treatments of winter wheat under Mashhad climate condition

Timeframe	بازه زمانی	ET_o	ET_c	Precipitation	آبیاری در تیمار FI Irrigation in FI treatment	آبیاری در تیمار ۷۵٪ FI Irrigation in 75%FI treatment	آبیاری در تیمار ۵۰٪ FI Irrigation in 50%FI treatment	آبیاری در تیمار ۲۵٪ FI Irrigation in 25%FI treatment	آبیاری در تیمار NI Irrigation in NI treatment
		(mm)		بارندگی	($m^3.ha^{-1}$)				
12 Oct. - 22 Oct.	۲۰ تا ۳۰ مهر ماه	22.42	6.82	0	800	800	800	800	800
23 Oct. - 21Nov.	آبان ماه	26.99	13.77	12.2	500	500	500	500	500
22 Nov. - 21 Dec.	آذر ماه	15.09	8.35	0.2	-	-	-	-	-
22 Dec. - 20 Jan.	دی ماه	13.57	8.47	8.4	-	-	-	-	-
21 Jan. - 19 Feb.	بهمن ماه	24.81	22.82	39	-	-	-	-	-
20 Feb. - 20 Mar.	اسفند ماه	36.91	42.18	29.2	-	-	-	-	-
21 Mar. - 20 Apr.	فروردین ماه	85.01	98.24	15.8	824.4	618.3	412.2	206.1	-
21 Apr. - 21 May	اردیبهشت ماه	119.58	113.32	21.2	921.2	690.9	460.6	230.3	-
22 May - 7 June	۱ تا ۱۷ خرداد ماه	83.66	33.81	0.3	335.1	251.3	167.5	83.7	-
Sum	مجموع	428.04	347.78	126.3	3380.7	2860.5	2340.3	1820.1	1300

تفاوت بین تیمارهای آبیاری، ارقام و اثر متقابل آبیاری و رقم از نظر تعداد سنبله در واحد سطح معنی‌دار بود ($P<0.01$، جدول ۳). به طور کلی کاهش تدریجی مصرف آب در تیمارهای آزمایش همراه با کاهش تعداد سنبله در واحد سطح بود (جدول۶). با و جودی که اختلاف بین ارقام در هر سطح آبیاری فقط در تیمار FI معنی‌دار بود اما پاسخ دو رقم نسبت به کاهش فراهمی آب متفاوت بود به گونه‌ای که در تیمارهای FI و ۷۵٪ FI تعداد سنبله رقم حساس زیادتر از رقم متحمل بود در حالیکه در تیمارهای NI و ۲۵٪FI رقم متحمل تعداد سنبله بیشتری داشت. از آنجایی که تیمارهای آبیاری در فصل بهار و تقریباً پس از اتمام پنجه‌زنی اعمال شدند لذا کاهش تعداد سنبله در تیمارهای تنش دیده ناشی از غیر بارور شدن تعدادی از پنجه‌های تولیدی به دلیل کاهش آب خاک بود و این مسئله در رقم حساس شدت بیشتری در مقایسه با رقم متحمل داشت. با توجه به اینکه هم عملکرد بیولوژیک و هم عملکرد اقتصادی بیشترین همبستگی را در بین اجزای عملکرد با تعداد سنبله در واحد سطح داشتند (جدول ۸)، به نظر می‌رسد که توجه به این جزء عملکرد اهمیت بیشتری نسبت به سایر اجزای در محیط‌های مستعد تنش خشکی دارد.

نورمند و همکاران (Nourmand et al., 2001) پیشنهاد دادند که جهت افزایش عملکرد در شرایط خشکی ابتدا باید تعداد سنبله در واحد سطح را افزایش داد. امام و همکاران (Emam et al., 2007) نیز در مطالعه خود گزارش کردند که در شرایط مطلوب رشدی عملکرد بیشترین همبستگی را با تعداد دانه در سنبله داشت اما در شرایط خشکی بیشترین همبستگی عملکرد با تعداد سنبله در متر مربع بود. اسچیلینگر (Schillinger, 2005) نیز مهم‌ترین عوامل موثر در عملکرد گندم را به ترتیب تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله گزارش کرد. البته در مطالعات دیگری گزارش شده است که تعداد دانه در سنبله اهمیت بیشتری نسبت به سایر اجزای عملکرد دارد (Fischer, 2008).

در مطالعه عزیزی‌نیا و همکاران (Azizinya et al., 2005) نقش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در عملکرد گندم تحت شرایط خشکی بارزتر بود. همچنین بلوم و همکاران (Blum et al., 1990) پیشنهاد کردند که حفظ پتانسیل تعداد دانه به ازای هر سنبله در شرایط

Archive of SID

www.SID.ir

خشکی مهم‌تر از توانایی پنجه‌زنی می‌باشد. در مطالعه دیگری ملاحظه شد که رقم متحمل تعداد پنجه کمتری تولید کرد و این مسئله را با تولید تعداد زیادتر دانه در سنبله جبران نمود (Izanloo et al., 2008). در این مطالعه نیز همبستگی عملکرد با تعداد دانه در سنبله اگرچه کمتر از تعداد سنبله در متر مربع بود اما میزان همبستگی بالا (r=۰/۶۴) و در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۸).

جدول۳. تجزیه واریانس ارتفاع و صفات مرتبط با اجزای عملکرد ارقام گندم متحمل (پیشگام) و حساس (گاسکوژن) به خشکی تحت تیمارهای مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی مشهد

Table 3. Analyze of variance for height and yield components related traits of drought-tolerant (Pishgam) and drought-susceptible (Gascogne) cultivars in different irrigation treatments under Mashhad climate condition

			میانگین مربعات (mean squares)					
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant Height	تعداد سنبله Ear Number	تعداد دانه در سنبله Grain number per ear	وزن هزار دانه 1000 grain weight	وزن ریشک و پوشینه‌ها Awn, lemma & palea weight	وزن ساقه و برگ Stem & leaf weight
Block	بلوک	2	5.89	66.13	1.68	4.19	68.54	2247.33
Irrigation Treatments	تیمارهای آبیاری	4	1780.97**	176367.37**	434.38**	87.86**	59250.46**	19341.08**
First error	خطای اول	8	13.64	1716.96	17.38	3.03	181.74	819.27
Cultivar	رقم	1	520.48**	31312.90**	499.80**	37.27**	22247.45**	41458.66**
Cultivar× Irrigation Treatments	رقم × تیمارهای آبیاری	4	6.26ns	16160.64**	14.55ns	4.52*	1339.05**	4061.84**
Second error	خطای دوم	10	7.68	2203.41	26.25	1.37	94.95	795.85

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار

**, *, and ns significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively.

جدول۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد بیولوژیک و اقتصادی، شاخص برداشت و بهره‌وری مصرف آب ارقام گندم متحمل (پیشگام) و حساس (گاسکوژن) به خشکی تحت تیمارهای مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی مشهد

Table 4. Analyze of variance (squares mean) for biological and economical yield, harvest index and water use productivity of drought-tolerant (Pishgam) and drought-susceptible (Gascogne) cultivars in different irrigation treatments under Mashhad climate condition

			میانگین مربعات (mean squares)			
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد اقتصادی Economical yield	شاخص برداشت Harvest index	بهره‌وری مصرف آب Water use productivity
Block	بلوک	2	486083.11	31993.04	0.00007	0.002
Irrigation Treatments	تیمارهای آبیاری	4	78007930.12**	33911099.60**	0.054**	0.909**
First error	خطای اول	8	476686.03	124017.03	0.00018	0.015
Cultivar	رقم	1	13074571.17**	274620.62*	0.003*	0.113*
Cultivar× Irrigation Treatments	رقم × تیمارهای آبیاری	4	2513339.74**	384210.69**	0.000062ns	0.066ns
Second error	خطای دوم	10	229800.77	73115.40	0.00056	0.024

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار

**, *, and ns significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۵. مقایسه میانگین ارتفاع و تعداد دانه در سنبله ارقام گندم متحمل (پیشگام) و حساس (گاسکوژن) به خشکی تحت تیمارهای مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی مشهد

Table 5. Mean comparison of height and grain number per ear of wheat drought-tolerant (Pishgam) and drought-susceptible (Gascogne) cultivars in different irrigation treatments under Mashhad climate condition

	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد دانه در سنبله Grain number per ear
Irrigation treatments تیمارهای آبیاری		
FI	93.34	44.66
75% FI	80.74	37.69
50% FI	71.42	31.80
25% FI	58.27	21.65
NI	50.23	31.44
LSD value	7.15	8.07
Cultivars ارقام		
(Gascogne) گاسکوژن	66.63	29.36
(Pishgam) پیشگام	74.96	37.52
LSD value	4.56	5.92

FI: آبیاری به میزان نیاز کامل آبیاری گیاه، NI: بدون آبیاری در فصل بهار، FI ۷۵٪: آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، FI ۵۰٪: آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، FI ۲۵٪: آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه

FI, Irrigation at the rate of full crop water requirement; NI, Without irrigation during spring; 75%FI, Irrigation at the rate of 75% crop water requirement; 50%FI, Irrigation at the rate of 50% crop water requirement; 25%FI, Irrigation at the rate of 25% crop water requirement

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات مرتبط با عملکرد و اجزای عملکرد ارقام متحمل (پیشگام) و حساس (گاسکوژن) به خشکی گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی مشهد

Table 6. Mean comparison of yield and yield components traits of wheat drought-tolerant (Pishgam) and drought-susceptible (Gascogne) cultivars in different irrigation treatments under Mashhad climate condition

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	ارقام Cultivars	تعداد سنبله Ear number (m^{-2})	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	وزن ریشک و پوشینه‌ها Awn, lemma & palea weight ($g.m^{-2}$)	وزن ساقه و برگ Stem & leaf weight ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد اقتصادی Economical yield ($kg.ha^{-1}$)
FI	(Gascogne) گاسکوژن	848.4	25.48	292.8	588.3	16940.3	8133.6
	(Pishgam) پیشگام	618.1	22.47	321.4	587.6	16230.6	7548.4
75% FI	(Gascogne) گاسکوژن	711.4	24.29	202.4	588.8	13860.1	5952.6
	(Pishgam) پیشگام	609.0	24.81	254.7	658.6	14810.5	6064.1
50% FI	(Gascogne) گاسکوژن	574.9	27.49	148.6	584.0	11810.6	4483.2
	(Pishgam) پیشگام	573.4	25.35	227.8	659.7	13950.9	5071.5
25% FI	(Gascogne) گاسکوژن	518.7	31.76	76.8	472.2	8444.7	2954.6
	(Pishgam) پیشگام	533.8	27.55	142.4	598.5	11060.3	3652.8
NI	(Gascogne) گاسکوژن	286.0	20.33	42.0	469.4	6729.8	1615.9
	(Pishgam) پیشگام	298.3	18.01	68.5	590.0	8345.2	1758.7
LSD value		121.5	2.13	25.2	73.0	1240.1	699.7

FI: آبیاری به میزان نیاز کامل آبیاری گیاه، NI: بدون آبیاری در فصل بهار، FI ۷۵٪: آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، FI ۵۰٪: آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، FI ۲۵٪: آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه

FI, Irrigation at the rate of full crop water requirement; NI, Without irrigation during spring; 75%FI, Irrigation at the rate of 75% crop water requirement; 50%FI, Irrigation at the rate of 50% crop water requirement; 25%FI, Irrigation at the rate of 25% crop water requirement

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج تجزیه واریانس نیز نشان داد که اختلاف تیمارهای آبیاری و ارقام مورد مطالعه از نظر تعداد دانه در هر سنبله معنی‌دار بود (P<0.01) اما اثر متقابل آبیاری و رقم برای این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). به استثناء تیمار NI، در سایر تیمارها کاهش آبیاری همراه با کاهش تعداد دانه در سنبله بود (جدول ۵). بیشترین (۴۴/۶۶) و کم‌ترین (۲۱/۶۵) تعداد دانه در سنبله به ترتیب در تیمارهای FI و FI ۲۵٪ مشاهده شد. به احتمال زیاد کمبود رطوبت طی دورهٔ گرده‌افشانی سبب کاهش باروری دانه‌ها در تیمارهای در معرض تنش و در نتیجه کاهش تعداد دانه در سنبله شد.

امام و همکاران (Emam et al., 2007) در آزمایش خود روی ده ژنوتیپ گندم تعداد دانه در سنبله را در شرایط مطلوب رشدی بین ۲۴/۶ تا ۳۵ عدد با میانگین ۲۹/۰۲ و در شرایط تنش خشکی بین ۲۱ تا ۲۸/۵ عدد با میانگین ۲۴/۶۷ بدست آوردند که بسیار مشابه با نتایج این مطالعه می‌باشد. بر خلاف انتظار تعداد دانه در سنبله در تیمار NI نسبت به یک سطح رطوبتی بالاتر یعنی تیمار FI ۲۵٪ نه تنها کاهش نیافت بلکه حدود ۳۰ درصد دانه بیشتری در هر سنبله تولید کرد. احتمالاً دلیل این مسئله کاهش شدید تعداد سنبله در واحد سطح در تیمار NI بود که سبب کاهش رقابت درون بوته‌ای شد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد تراکم کاشت در تمام تیمارها ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. در تیمارهایی که آبیاری دریافت کردند تعداد سنبله در واحد سطح بیشتر از ۴۰۰ عدد بود (جدول۶) که این به منزله باروری تعدادی از پنجه‌های تولیدی متناسب با فراهمی آب در تیمارهای آبیاری می‌باشد. وجود این پنجه‌های تولیدی اگرچه ممکن است در مجموع مفید به نظر برسد، اما سبب افزایش رقابت درون بوته‌ای و در نتیجه تغییر در اجزای عملکرد آن بوته می‌شود. در تیمار NI میانگین تعداد سنبله تولیدی برای هر دو رقم حدود ۲۹۲ سنبله در متر مربع بود (جدول ۶). این تعداد نشان می‌دهد که نه تنها پنجه‌های گیاه در این تیمار بارور نشده‌اند بلکه کل بوته‌های سبز شده نیز قادر به تولید سنبله نبوده‌اند. این مسئله سبب کاهش رقابت درون و بین بوته‌ای شده و در نتیجه خاصیت جبرانی عملکرد در این تیمار، کاهش تعداد سنبله در متر مربع را با افزایش تعداد دانه در سنبله جبران کرده است.

به طور کلی تولید دانه بالا در شرایط خشکی عامل بسیار مهمی برای بهبود عملکرد گندم می‌باشد (Simane et al., 1993; Izanloo et al., 2008) و این صفت مهم‌ترین صفت مورد نظر متخصصان اصلاح نباتات برای برنامه‌های اصلاحی در شرایط خشکی است (Guoth et al., 2009). در این مطالعه نیز تعداد دانه در سنبله در رقم متحمل در مجموع حدود ۲۲ درصد زیادتر از رقم حساس بود (۳۷/۵۲ در مقابل ۲۹/۳۶، جدول۵).

اختلاف تیمارهای آبیاری، ارقام مورد مطالعه و اثر متقابل آبیاری و رقم از نظر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (P<0.01، جدول ۳). در هر سطح آبیاری وزن هزار دانه رقم حساس بیشتر از رقم متحمل بود (جدول۶). یکی از دلایل این مسئله خاصیت جبران عملکرد است. در بخش قبلی اشاره شد که تعداد دانه در سنبله در رقم گاسکوژن کمتر از رقم پیشگام بود. از آنجایی که تعداد دانه کمتر به منزله رقابت کمتر بین دانه‌ها بر سر مواد پرورده می‌باشد، لذا این مسئله سبب شد که تعداد دانه کمتر با افزایش وزن دانه‌ها جبران شود. وجود چنین خاصیت جبرانی در بین تیمارهای مختلف آبیاری نیز دیده شد. تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در هر سنبله با کاهش فراهمی آب کاهش یافت (جداول۵ و ۶) و این کاهش در دو جزء نامبرده تا حدودی با افزایش وزن هزار دانه جبران شد به گونه‌ای که میانگین وزن هزار دانه از ۲۳/۹۸ گرم در تیمار FI تا ۲۹/۶۶ گرم در تیمار FI ۲۵٪ افزایش یافت (جدول۶). البته چنین افزایشی در وزن هزار دانه قادر به جبران کامل کاهش در تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله نشد و در نتیجه عملکرد تیمارهای در معرض تنش نهایتاً کاهش یافت.

وجود همبستگی منفی بین وزن دانه و تعداد دانه در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (Simane et al., 1993; Reynolds et al., 2005). البته بروز خشکی در دوره پر شدن دانه غالباً سبب کاهش وزن دانه‌ها می‌شود که یکی از دلایل آن افزایش سطح آبسزیک اسید و نقش آن در کاهش تعداد سلول‌های اندوسپرمی و محدود کردن ذخیره سلول‌ها می‌باشد (Guoth et al., 2009). اما این مسئله بسته به نوع و میزان تنش متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال در آزمایشاتی که تنش خشکی بعد از مرحله گلدهی اعمال شد تعداد دانه تغییری نکرد اما وزن دانه بسته به شدت تنش دچار کاهش شد (Gooding et al., 2003). در این

Archive of SID

www.SID.ir

مطالعه تیمارهای تنش با درجات متفاوت اما به صورت مداوم در طول فصل بهار اعمال شد. در نتیجه قبل از گلدهی و دوره پر شدن دانه، خشکی با اثر روی پنجه‌های تولیدی و کاهش باروری گلچه‌ها سبب کاهش تعداد سنبله‌ها و تعداد دانه در هر سنبله شد و مکانیزم جبرانی عملکرد در دوره پر شدن دانه از طریق افزایش وزن دانه‌ها صورت گرفت. در مطالعه مشابهی نیز بهداد و همکاران (Behdad et al., 2009) نتیجه گرفتند که در تیمارهای خشکی وزن هزار دانه در پاسخ به کاهش تعداد دانه و تعداد سنبلچه‌های بارور افزایش یافت. در مطالعه آن‌ها نیز دو تیمار تنش خشکی مداوم شامل آبیاری در نقاط ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک وجود داشت. صرفنظر از تغییرات مذکور، در مجموع وزن هزار دانه بدست آمده در این مطالعه در مقایسه با مناطق معتدل بسیار پایین می‌باشد که دلیل آن کوتاه بودن دوره پر شدن دانه به دلیل دماهای بالا در شرایط آب و هوایی مشهد می‌باشد. سینکلر و جامیسون (Sinclair and Jamieson, 2006) اشاره کردند که در مناطق مشابه با آب و هوای مدیترانه‌ای که دما در مراحل پایانی فصل رشد بالا بوده و رطوبت خاک بسیار کم می‌باشد وزن دانه‌های گندم در مقایسه با مناطق معتدله بسیار کمتر خواهد بود.

اختلاف تیمارهای آبیاری، ارقام مورد مطالعه و اثر متقابل آبیاری و رقم برای وزن ریشک و پوشینه‌ها و وزن ساقه و برگ به عنوان دو جزء باقی‌مانده از اجزای عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود ($P<0.01$، جدول۳). در هر سطح آبیاری تفاوت زیادی بین وزن ریشک و پوشینه‌های دو رقم وجود داشت (جدول۶). دلیل این مسئله تفاوت ژنتیکی ارقام بود چرا که رقم پیشگام اساساً یک رقم ریشک‌دار و رقم گاسکوژن یک رقم بدون ریشک می‌باشد. پاسخ به این سوال که آیا وجود ریشک در گندم در مجموع مناسب یا غیر مناسب است هنوز هم در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. به عنوان مثال بر اساس داده‌های این آزمایش میانگین وزن ریشک و پوشینه‌های رقم پیشگام در تمام سطوح آبیاری حدود ۱۹۷ گرم در متر مربع بود در حالیکه این مقدار در رقم گاسکوژن ۱۴۲/۵ گرم در متر مربع بدست آمد. این اختلاف معادل ۵۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که برای گیاهی مثل گندم عدد قابل توجهی است. همان طوری که در بخش عملکرد خواهیم دید این مسئله یکی از دلایلی بود که باعث شد اختلاف بین عملکرد اقتصادی دو رقم بسیار کمتر از اختلاف آن‌ها از نظر عملکرد بیولوژیک باشد. از آنجایی که وزن ریشک و پوشینک همبستگی بسیار بالایی با تعداد سنبله در متر مربع داشت ($P<0.01$، جدول ۸) لذا روند این صفت نیز همراه با کاهش فراهمی آب در تیمارهای آبیاری کاهش یافت (جدول۶).

هر چند روند منظمی بین تیمارهای آبیاری از نظر وزن ساقه و برگ وجود نداشت اما در هر صورت وزن ساقه و برگ در تیمارهای FI ۲۵٪ و NI، که کم‌ترین میزان آب را دریافت کرده بودند کمتر از سایر تیمارها بود و اختلاف معنی‌داری ($P<0.01$) با آن‌ها داشت (جدول۶). اختلاف بین تیمارهای FI، FI ۷۵٪ و FI ۵۰٪ از این نظر معنی‌دار نبود. با توجه به اینکه بخش بسیار زیادی از ساقه و برگ در دو ماه اول فصل بهار، یعنی زمانیکه هنوز تبخیر و تعرق به دلیل بارندگی بیشتر و میانگین دمای کمتر نسبت به ماه آخر پایین‌تر می‌باشد (شکل۱)، تشکیل شد، لذا تأثیر عمده تنش خشکی در مراحل پایانی فصل رشد، و عمدتاً روی اجزای عملکرد اقتصادی دیده شد به همین دلیل اختلاف تیمارهای آبیاری از نظر ساقه و برگ به اندازه اختلاف در تعداد دانه و وزن دانه‌ها نبود. در هر سطح آبیاری وزن ساقه و برگ رقم پیشگام بیشتر از رقم گاسکوژن بود (جدول ۶) هر چند به لحاظ آماری فقط در تیمارهای FI ۵۰٪، FI ۲۵٪ و NI میزان اختلاف معنی‌دار بود. با توجه به همبستگی بالا و معنی‌دار بین وزن ساقه و برگ و ارتفاع گیاه ($P<0.01$، جدول۸)، به نظر می‌رسد که بالاتر بودن وزن ساقه و برگ در رقم پیشگام عمدتاً به دلیل ارتفاع بیشتر آن نسبت به گاسکوژن می‌باشد.

عملکرد و بهره وری مصرف آب

اثر تیمارهای آبیاری، ارقام و اثر متقابل آبیاری و رقم از نظر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود ($P<0.01$، جدول ۴). کاهش میزان فراهمی آب در تیمارها همراه با کاهش تدریجی عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۶). در همه سطوح آبیاری به جز تیمار شاهد اول (FI) عملکرد رقم متحمل بیشتر از رقم حساس بود. البته در شرایط مناسب فراهمی آب اختلاف دو رقم از نظر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود اما رقم حساس یک برتری نسبی نسبت به رقم متحمل داشت. به طور کلی گاسکوژن در راستای افزایش عملکرد اصلاح شده و پتانسیل بالایی در شرایط فراهمی مناسب آب دارد اما نسبت به کاهش میزان آب خاک نیز حساسیت

Archive of SID

www.SID.ir

بالایی نشان می‌دهد. میزان کاهش عملکرد بیولوژیک رقم گاسکوژن در تیمارهای FI ۷۵٪، FI ۵۰٪، FI ۲۵٪ و NI نسبت به تیمار شاهد اول به ترتیب ۱۸، ۳۰، ۵۰ و ۶۰ درصد بود در حالیکه این کاهش در رقم متحمل یعنی پیشگام به ترتیب ۹، ۱۴، ۳۲ و ۴۹ درصد بود. این نتایج نشان می‌دهد که شیب کاهش عملکرد رقم حساس در مقابل کاهش فراهمی آب تندتر از رقم متحمل می‌باشد (شکل ۱). در مجموع بیشترین و کم‌ترین عملکرد بیولوژیک متعلق به رقم گاسکوژن و به ترتیب در تیمارهای FI (۱۶۹۴۰/۳ کیلوگرم در هکتار) و NI (۶۷۲۹/۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول۶).

اثر تیمارهای آبیاری و ارقام نیز روی شاخص برداشت معنی‌دار بود ($P<0.01$ برای اثر آبیاری و $P<0.05$ برای رقم، جدول ۴) اما اثر متقابل معنی‌داری بین آبیاری و رقم از نظر این صفت مشاهده نشد. به دنبال کاهش فراهمی آب در تیمارهای آبیاری شاخص برداشت نیز دچار کاهش شد (جدول۷). دلیل این مسئله کوتاه شدن دوره پر شدن دانه در تیمارهای در معرض تنش یا به عبارتی بهتر زودرسی گیاه در این تیمارها بود. بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای تیمارهای FI ۷۵٪، FI ۵۰٪، FI ۲۵٪ و NI به ترتیب ۲، ۵، ۹ و ۱۳ روز زودتر از تیمار FI به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند و همین مسئله باعث شد که با کاهش فراهمی آب دوره پر شدن دانه و در نتیجه شاخص برداشت نیز دچار کاهش شود. امام و همکاران (Emam et al., 2007) نیز کاهش شاخص برداشت در اثر تنش خشکی را گزارش کرده‌اند. در مطالعه آن‌ها میانگین شاخص برداشت ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب ۳۶/۲۸ و ۲۹/۷۱ بدست آمد. بخشنده و همکاران (Bakhshandeh et al., 2003) نیز در آزمایشی با شش رقم گندم و سه تیمار آبیاری (آبیاری در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) نشان دادند که با کاهش فراهمی آب، شاخص برداشت دچار کاهش شد. کاهش شاخص برداشت در این مطالعه عمدتاً به دلیل کاهش در تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در هر سنبله بود زیرا در میان اجزای عملکرد اقتصادی بیشترین همبستگی را با این اجزای داشت (جدول۸).

نورمند و همکاران (Nourmand et al., 2001) نیز دلیل کاهش شاخص برداشت لاین‌های گندم در شرایط تنش را کاهش در تمام اجزای عملکرد اقتصادی مخصوصاً تعداد دانه و تعداد سنبله بیان کردند. محققان معتقدند که مکانیزم فرار بهترین استراتژی در محیط‌های مستعد تنش خشکی مخصوصاً خشکی‌های پایان فصل رشد می‌باشد (Araus et al., 2002) اما باید در نظر داشت که این مکانیزم باید به گونه‌ای در گیاه اصلاح شود که طول دوره رویشی کاهش یافته و طول دوره زایشی جهت تولید عملکرد قابل قبول تا حد امکان افزایش یابد. زیرا در حال حاضر شاخص برداشت محیط‌هایی با شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای به دلیل کوتاه شدن دوره پر شدن دانه پایین می‌باشد و این مسئله نشان می‌دهد که هنوز پتانسیل افزایش عملکرد در این محیط‌ها وجود دارد (Araus et al., 2002) زیرا در شرایط مطلوب رشدی شاخص برداشت به سقف خود رسیده و افزایش در عملکرد گندم فقط از طریق افزایش در تولید ماده خشک کل امکان‌پذیر است (Araus et al., 2003).

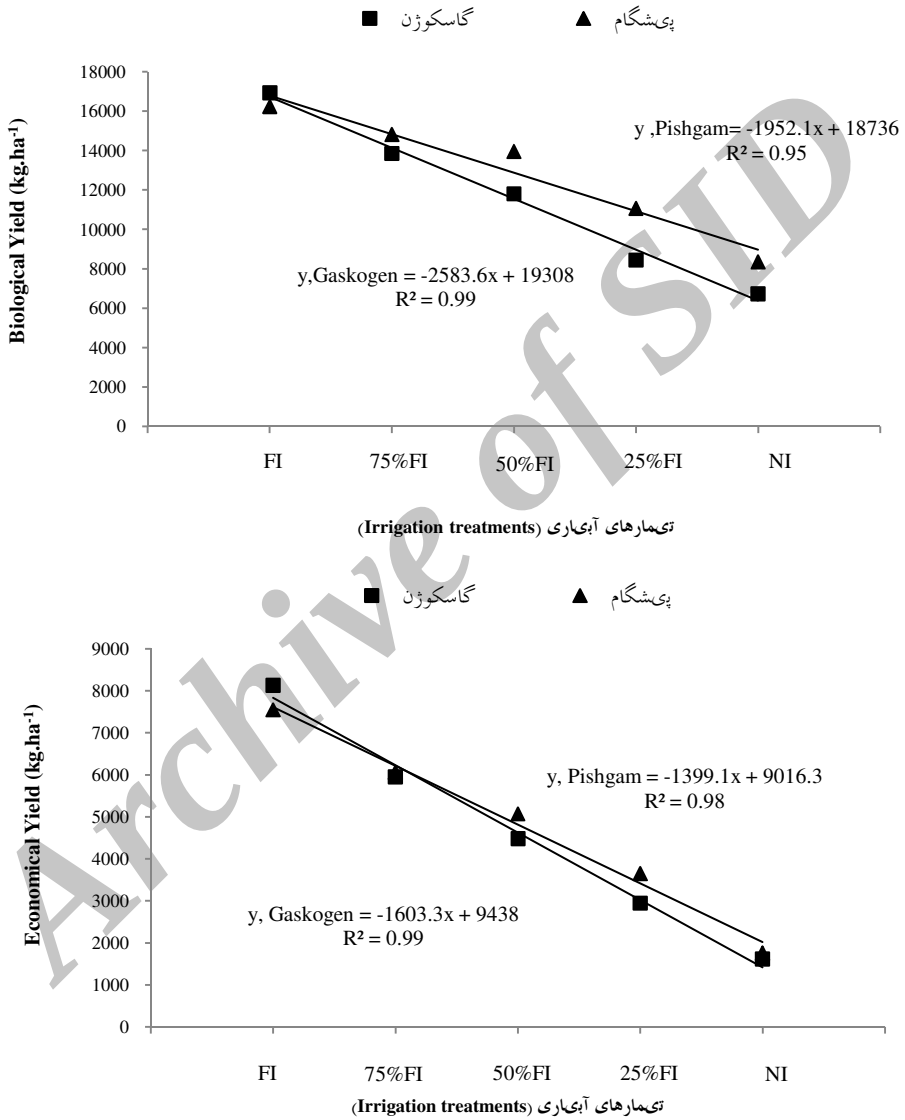
در مجموع رقم گاسکوژن شاخص برداشت بالاتری نسبت به رقم پیشگام داشت (جدول ۷). دلیل عمده این مسئله ارتفاع کمتر رقم گاسکوژن در مقایسه با رقم پیشگام بود. نورمند و همکاران (Nourmand et al., 2001) عنوان کردند که افزایش ارتفاع سبب کاهش شاخص برداشت می‌شود که کاملاً بدیهی نیز به نظر می‌رسد. ریشک‌دار بودن رقم پیشگام نیز تأثیر بسزایی در کاهش شاخص برداشت آن داشت (جدول۶). همچنین این موضوع یکی از مهم‌ترین دلایلی بود که سبب شد اختلاف عملکرد اقتصادی ارقام بسیار کمتر از اختلاف عملکرد بیولوژیک آن‌ها گردد (جدول۶).

بر اساس داده‌های جدول ۶ میزان کاهش عملکرد اقتصادی رقم گاسکوژن در تیمارهای FI ۷۵٪، FI ۵۰٪، FI ۲۵٪ و NI نسبت به تیمار شاهد اول به ترتیب ۲۷، ۴۵، ۶۴ و ۸۰ درصد و در رقم متحمل یعنی پیشگام به ترتیب ۲۰، ۳۳، ۵۲ و ۷۷ درصد بود. مقایسه این کاهش با کاهش در عملکرد بیولوژیک به وضوح نشان می‌دهد که بیشترین اثرات زیان‌آور تنش خشکی در مراحل پایانی فصل رشد یعنی زمان پر شدن اندام‌های اقتصادی بود (شکل ۱). با توجه به شرایط آب و هوایی مشهد گرم شدن هوا در این زمان نیز اثرات تنش خشکی را افزایش داد. بنابراین مدیریت منابع آبی متناسب با مراحل حساس گیاه کمک شایانی در افزایش بهره‌وری تولید گندم در این منطقه خواهد نمود. کاهش حجم آبیاری در اوایل بهار و افزایش

Archive of SID

www.SID.ir

آبیاری در مراحل پایانی مخصوصاً آبیاری‌های کم حجم با دور آبیاری کوتاه روش موثری در افزایش طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه بهبود عملکرد اقتصادی خواهد بود. عملکرد اقتصادی با عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن ریشک و پوشینک‌ها و وزن ساقه و برگ همبستگی معنی‌دار داشت (جدول۸). بنابراین به نظر می‌رسد که در محیط‌های مستعد تنش خشکی ارقامی که پنجه‌های تشکیل شده خود را بیشتر نگه می‌دارند و توانایی بالاتری در تولید تعداد بالاتر دانه در هر سنبله دارند مناسب می‌باشند. البته بیان این مسئله کاری بسیار ساده است اما تعیین صفاتی که منجر به بروز این خصوصیات می‌شوند نیازمند مطالعات گسترده می‌باشد.



شکل۱. رگرسیون خطی مربوط به عملکرد اقتصادی و بیولوژیک ارقام متحمل (پیشگام) و حساس (گاسکوژن) به خشکی تحت تیمارهای مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی مشهد. FI؛ آبیاری به میزان نیاز کامل آبیاری گیاه، NI ؛ بدون آبیاری در فصل بهار، FI ۷۵٪؛ آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، FI ۵۰٪؛ آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، FI ۲۵٪؛ آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه

Fig. 1. Linear regression for biological and economical yield of wheat drought-tolerant (Pishgam) and drought-susceptible (Gascogne) cultivars in different irrigation treatments under Mashhad climate condition. FI, Irrigation at the rate of full crop water requirement; NI, Without irrigation during spring; 75%FI, Irrigation at the rate of 75% crop water requirement; 50%FI, Irrigation at the rate of 50% crop water requirement; 25%FI, Irrigation at the rate of 25% crop water requirement

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷. مقایسه میانگین شاخص برداشت و بهره وری مصرف آب ارقام متحمل (پیشگام) و حساس (گاسکوژن) به خشکی گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی مشهد

Table 7. Mean comparison of harvest index and water use productivity of wheat drought-tolerant (Pishgam) and drought-susceptible (Gascogne) cultivars in different irrigation treatments under Mashhad climate condition

	شاخص برداشت Harvest index	بهره وری مصرف آب ($kg.m^{-3}$) Water use productivity ($kg.m^{-3}$)
تیمارهای آبیاری Irrigation treatments		
FI	0.47	2.31
75% FI	0.42	2.10
50% FI	0.37	2.04
25% FI	0.34	1.81
NI	0.22	1.29
LSD value	0.029	0.23
ارقام (Cultivars)		
گاسکوژن (Gascogne)	0.38	1.85
پیشگام (Pishgam)	0.35	1.97
LSD value	0.021	0.19

FI؛ آبیاری به میزان نیاز کامل آبیاری گیاه، NI ؛ بدون آبیاری در فصل بهار، FI ۷۵٪؛ آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، FI ۵۰٪؛ آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، FI ۲۵٪؛ آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه.

FI, Irrigation at the rate of full crop water requirement; NI, Without irrigation during spring; 75%FI, Irrigation at the rate of 75% crop water requirement; 50%FI, Irrigation at the rate of 50% crop water requirement; 25%FI, Irrigation at the rate of 25% crop water requirement.

میزان کاهش مصرف آب در تیمارهای FI۷۵٪، FI۵۰٪، FI۲۵٪ و NI نسبت به تیمار FI به ترتیب ۲۰، ۳۹، ۵۸ و ۷۷ درصد بود (جدول ۲). میزان کاهش عملکرد اقتصادی رقم حساس در تمام تیمارها بیشتر از میزان کاهش مصرف آب بود در حالیکه در رقم متحمل میزان کاهش عملکرد در تیمارهای FI۷۵٪ و NI تقریباً برابر و در تیمارهای FI۵۰٪ و FI۲۵٪ کمتر از میزان کاهش مصرف آب بود. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که بهره-وری مصرف آب رقم حساس در تیمارهای در معرض تنش کاهش و در رقم متحمل افزایش یافته و یا حداقل بدون تغییر قابل ملاحظه باقی مانده است. اختلاف تیمارهای آبیاری و ارقام از نظر بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۴) اما اثر متقابل معنی‌داری بین سطوح مختلف آبیاری و ارقام مشاهده نشد. بیشترین و کم‌ترین میزان بهره‌وری مصرف آب به ترتیب در تیمارهای FI (۲/۳۱) و NI (۱/۲۹) مشاهده شد. به طور کلی میزان بهره‌وری آب با کاهش مصرف آب در تیمارها کاهش یافت. این در حالیست که معمولاً در شرایط کم آبیاری میزان بهره‌وری آب بالا خواهد رفت (Zhang et al., 2004). دلیل اصلی این مسئله نوع مدیریت کم آبیاری در آزمایشات می‌باشد.

در اغلب آزمایشات کم آبیاری میزان مصرف آب در برخی مراحل غیر حساس کاهش و در مراحل بحرانی مثل گلدهی و پرشدن دانه افزایش می‌یابد (Ali et al., 2007). این مسئله سبب استفاده بهینه از آب شده و میزان کارایی مصرف آب نیز بالا می‌رود. اما در این آزمایش درجات مختلف کمبود آب در تیمارهای مختلف به طور مداوم در طول فصل رشد اعمال شد در نتیجه گیاه در مراحل حساس نیز با کمبود آب مواجه بود. بعلاوه گرم بودن هوا در مراحل پایانی فصل رشد نیز سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه گردید. مجموعه این عوامل سبب شد که میزان کاهش عملکرد اقتصادی بیشتر از میزان کاهش مصرف آب بوده و به تبع آن میزان بهره‌وری مصرف آب نیز دچار کاهش شد. رقم پیشگام با توجه به عملکرد اقتصادی بیشتری که در تیمارهای در معرض تنش نسبت به رقم گاسکوژن تولید کرد بهره‌وری مصرف آب بالاتری داشت (جدول۷).

در مجموع مقادیر بهره‌وری مصرف آب به دست آمده در این مطالعه بالاتر از سایر مطالعات بود. به عنوان مثال بخشنده و همکاران (Bakhshandeh et al., 2003) بهره‌وری مصرف آب ارقام مختلف گندم را بین ۰/۹۷ تا ۱/۳۵ بدست آوردند. همچنین میانگین بهره‌وری مصرف آب ارقام مورد مطالعه در آزمایش آن‌ها در تیمارهای آبیاری بر اساس ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب ۱/۲۹، ۱/۱ و ۱ بود. دلیل اصلی این مسئله مصرف

Archive of SID

www.SID.ir

اصولی آب و به عبارتی بهتر کارآمدی روش پنمن-مونتیث فائو در ارزیابی صحیح نیاز آبی گیاه بود. به عنوان مثال در تیمار FI که گیاه تا پایان فصل رشد به صورت کامل آبیاری شد میزان مصرف آب معادل ۳۳۸۰ متر مکعب آب در هکتار بود این در حالیست که در منابع گوناگون میزان مصرف آب گندم بسیار بالاتر گزارش می‌شود. در آزمایش بخشنده و همکاران (Bakhshandeh et al., 2003) نیز که نیاز آبی گیاه را بر اساس تشتک تبخیر محاسبه کرده بودند میزان مصرف آب در تیمار شاهد حدود ۵۶۸۸ متر مکعب بود که تقریباً دو برابر آب مصرفی در این مطالعه می‌باشد.

بلوم (Blum, 2005) نتیجه گرفت که تغییرات ژنوتیپی در بهره وری مصرف آب عمدتاً ناشی از تغییرات در مصرف آب می‌باشد و تغییر در اسیمیلاسیون گیاه اثر بسیار کوچک‌تری روی بهره وری مصرف آب دارد. نتایج این مطالعه صحت این نظریه را تایید می‌کند. بعلاوه آلن و همکاران (Allen et al., 1998) نیز روی این موضوع که محاسبه نیاز آبی گیاه بر اساس روش پنمن-مونتیث فائو معتبرترین روش موجود است تاکید دارند. البته در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۹۰ درصد نیز در کاهش مصرف آب این آزمایش نیز بسیار حائز اهمیت بود. معمولاً در روش‌های کرتی راندمان آبیاری پایین می‌باشد (Alizadeh and Kamali, 2008) اما از آنجایی که در این آزمایش کنتور مستقیماً بر سر کرت‌ها نصب شده بود و کرت‌ها نیز کاملاً محصور شده بودند لذا میزان تلفات آب بسیار کم، و راندمان آبیاری نیز بالا در نظر گرفته شد. بدیهی است که در شرایط واقعی میزان مصرف آب بیشتر از مقادیر ثبت شده در این آزمایش می‌باشد.

در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد که برتری رقم متحمل نسبت به رقم حساس در شرایط خشکی به دلیل تعداد سنبله زیادتر در واحد سطح و همچنین تعداد زیادتر دانه در هر سنبله بود. بنابراین می‌توان گفت که عوامل مذکور مهم‌ترین عوامل موثر در بهبود عملکرد گندم تحت شرایط خشکی می‌باشند. همچنین نتایج این مطالعه سودمندی روش پنمن-مونتیث فائو در برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی را تایید می‌نماید.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات گندم در آزمایش پاسخ ارقام متحمل (پیشگام) و حساس (گاسکوژن) به خشکی گندم به تیمارهای مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی مشهد

Table 8- Correlation coefficients among wheat traits in drought-tolerant and susceptible cultivars response to different irrigation treatments under Mashhad climate condition

traits صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
۱. ارتفاع 1. Height	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲. تعداد سنبله در متر مربع 2.Ear number per square meter	0.76 **	1	-	-	-	-	-	-	-	-
۳. تعداد دانه در سنبله 3. Grain number per ear	0.72 **	0.23 ns	1	-	-	-	-	-	-	-
۴. وزن هزار دانه 4. 1000 grain weight	0.03 ns	0.46 **	-0.53 **	1	-	-	-	-	-	-
۵. وزن ریشک و پوشینه‌ها 5. Awn, lemma & palea weight	0.94 **	0.75 **	0.75 **	0.01 ns	1	-	-	-	-	-
۶. وزن ساقه و برگ 6. Stem & leaf weight	0.49 **	0.32 ns	0.45 *	-0.03 ns	0.46 **	1	-	-	-	-
۷. عملکرد بیولوژیک 7. Biological Yield	0.93 **	0.83 **	0.69 **	0.10 ns	0.95 **	0.61 **	1	-	-	-
۸. عملکرد اقتصادی 8. Economical Yield	0.93 **	0.87 **	0.64 **	0.15 ns	0.95 **	0.44 *	0.97 **	1	-	-
۹. شاخص برداشت 9. Harvest Index	0.85 **	0.91 **	0.46 **	0.37 *	0.85 **	0.30 ns	0.88 **	0.95 **	1	-
۱۰. بهره‌وری مصرف آب 10. Water use productivity	0.27 ns	0.32 ns	0.27 ns	0.10 ns	0.41 *	0.45 *	0.45 *	0.37 *	0.32 ns	1

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار

**, *, and ns significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

Alderfasia, A.A., Nielsen, D.C., 2001. Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. Agric. Water Manage. 47, 69-75.

Ali, M.H., M.R. Hoque A.A. Hasan and A. Khair., 2007. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic returns of wheat. Agric. Water Manage. 92, 151-161.

Alizadeh, A., Kamali, GH., 2008. Plant Water Requirement in Iran. Astan Ghods Razavi Publication. 227p. [In Persian].

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.

Araus, J.L., Bort, J., Steduto, P., Villegas, D., Royo, C. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. Ann. Appl. Biol. 142, 129–141.

Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P., Royo, C., 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? Ann. Bot. 89, 925–940.

Azizinya, SH., Ghannadha, M.R., Zali, A., Yazdi-Samadi, B., Ahmadi, A., 2005. An Evaluation of Quantitative Traits Related to Drought Resistance in Synthetic Wheat Genotypes in Stress and Non-stress Conditions. Iranian J. Agric. Sci. 36, 281-293. [In Persian with English Summary].

Bakhshandeh, A., Fard, S., and Naderi, A., 2003. Evaluation of grain and grain yield components and some agronomic traits of spring wheat genotypes under limited irrigation condition in Ahwaz. Pajouhesh & Sazandegi. 61, 57-65. [In Persian with English Summary].

Behdad, M., Paknezhad, F., Vazan, S., Ardakani, M.R., Nasri, M., 2009. Effects of drought stress on grain yield and yield components during different growth stages in wheat genotypes. J. Environ. Stresses Plant Sci. 1, 143-157. [In Persian with English Summary].

Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential - are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Aust. J. Agric. Res. 56, 1159–1168.

Blum, A., Ramaiah, S., Kanemasu, E.T., Paulsen, G.M., 1990. Wheat recovery from drought stress at the tillering stage of development. Field Crops Res. 24, 67–85.

Deng, X.P., Shan, L., Kang, S.Z., Shinobu, I., 2003. Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of China. Agric. Sci. China. 2, 35-44.

Emam, Y., Ranjbari, A., and Bohrani, M.J., 2007. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under drought stress condition after anthesis. J. Agric. Natural Resour. Sci. Technol. 11, 317-327. [In Persian with English Summary].

Faramarzi, M., Yang, H., Schulin, R., Abbaspoura, K.C., 2010. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. Agric. Water Manage. 97, 1861–1875.

Fischer, R.A., 2008. The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson. Field Crops Res. 105:15–21.

Fischer, R.A., Wood, J.T., 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. Aust. J. Agric. Res. 30, 1001-1020.

Archive of SID

www.SID.ir

Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R., Schofield, J.D., 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. J. Cereal Sci. 37, 295–309.

Guoth, A., Tari, I., Galle, A., Csiszar, J., Pecsvaradi, A., Cseuz, L., Erdei, L., 2009. Comparison of the drought stress responses of tolerant and sensitive wheat cultivars during grain filling: Changes in flag leaf photosynthetic activity, ABA levels, and grain yield. J. .Plant Growth Regul. 28, 167-176.

Izanloo, A., Condon, A.G., Langridge, P., Tester, M., Schnurbusch, T., 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. J. Exp. Bot. 59, 3327-3346.

Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E., Navari-Izzo, F., 1999. Antioxidant defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. Plant Physiol. 119, 1091–1099.

Maghsoudi, K., Maghsoudi Moud, A.A. 2008. Assessment of osmoregulation capability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using response of projected pollen grains to drought stress. Iranian J. Crop Sci. 10, 1-14. [In Persian with English Summary].

Mahfozi, S., Akbari, A., Chaichi, M., Sanjari, A.GH., Nazeri, S.M., Oskoii, S.A., Aminzadeh, GH., Rezaii, M., 2009. Pishgam, A New Bread Wheat Cultivar for Normal Irrigation and Terminal Stage Deficit Irrigation Conditions of Cold Regions of Iran. Seed and Plant Improvement J. 25, 513-516. [In Persian with English Summary].

Mathews, K.L., Malosetti, M., Chapman, S., McIntyre, L., Reynolds, M., Shorter, R., van Eeuwijk, F., 2008. Multi-environment QTL mixed models for drought stress adaptation in wheat. Theor. Appl. Genet. 117, 1077–1091.

McIntyre, C.L., Mathews, K.L., Rattey, A., Chapman, S.C., Drenth, J., Ghaderi, M., Reynolds, M., Shorter, R., 2009. Molecular detection of genomic regions associated with grain yield and yield-related components in an elite bread wheat cross evaluated under irrigated and rainfed conditions. Theor. Appl. Genet. 120, 527–541.

Mohammadi, A., Majidi, E., Bihamta, M.R., Heidari Sharifabad, H., 2006. Evaluation of drought stress on agro-morphological characteristics in some wheat cultivars. Pajouhesh & Sazandegi. 73: 184-192. [In Persian with English Summary].

Nourmand, F., Rostami, M.A., Ghannadha, M.R. 2001. A study of morpho-physiological traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), relationship with grain yield under normal and drought stress conditions. Iranian J. Agric. Sci. 32, 785-794. [In Persian with English Summary].

Passioura, J., 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. J. Exp. Bot. 58, 113–117.

Reynolds, M.P., Pellegrineschi, A., Skovmand, B., 2005. Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. Ann. Appl. Biol. 146, 39–49.

Reynolds, M.P., van Ginkel, M., Ribaut, J.M., 2000. Avenues for genetic modification of radiation use efficiency in wheat. J. Exp. Bot. 51, 459–473.

Sayre, K.D., Rajaram, S., Fischer, R.A., 1997. Yield potential progress in short bread wheat's in northwest Mexico. Crop Sci. 37, 36–42.

Schillinger,W.F., 2005. Tillage method and sowing rate relations for dry land spring wheat, barley and oat. Crop Sci. 45, 2636-2643.

Archive of SID

www.SID.ir

Simane, B., Struik, P.C., Nachit, M.M., Peacock, J.M., 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. Euphytica. 71, 211-219.

Sinclair, T.R., Jamieson, P.D., 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. Field Crops Res. 98, 60–67.

Turner, N.C., 2004. Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. J. Exp. Bot. 55, 2413–2427.

Villegas, D., Casadesus, J., Atienza, S.G., Martos, V., Maalouf, F., Karam, F., Aranjuelo, I., Nogues, S. 2010. Tritordeum, wheat and triticale yield components under multi-local mediterranean drought conditions. Field Crops Res. 116, 68–74.

Whitmore, A.P., Whalley, W.R.. 2009. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. J. Exp. Bot. 60, 2845–2857.

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q., Liu, L., 2003. Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. Plant Cell Environ. 26, 1621–1631.

Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., Hongyong, S., 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. Agric. Water Manage. 64, 107–122.

Archive of SID

www.SID.ir