

ارزیابی تحمل گرما در ارقام گندم با استفاده از صفات فیزیولوژیکی و شاخص های تحمل به تنش در شرایط آب و هوایی اهواز

مهیار امیدی^۱، محمد رضا سیاهپوش^{۲*}، رضا مامقانی^۳ و محمد مدرسی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- نویسنده مسوول: استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز (Siahpoosh@scu.ac.ir)

۳- استاد گروه اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه خلیج فارس بوشهر

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۳۰

چکیده

به منظور ارزیابی تحمل به گرمای ۱۰ رقم گندم، تحقیقی در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو شرایط بدون تنش و تنش گرما در شرایط آب و هوایی اهواز اجرا شد. در این تحقیق صفات محتوای کلروفیل، هدایت روزنه ای و پایداری غشای سلولی مورد بررسی قرار گرفتند و همچنین شاخص های STI، HM، MP، GMP، SSI، TOL، YI و YSI بر اساس عملکرد دانه محاسبه شدند. نتایج نشان داد که تنش اعمال شده، یک تنش نسبتا شدید با شدتی معادل ۰/۵۸ در شرایط مزرعه ای بوده است. تفاوت بین ارقام برای تمام صفات معنی دار بود. با توجه به افزایش معنی دار هدایت روزنه ای در شرایط تنش گرمایی و بالا بودن مقادیر این صفت در ارقام متحمل می توان از آن بعنوان ابزاری مناسب در غربالگری ارقام متحمل به گرما استفاده کرد. بطوری که رقم متحمل کاز با ۰/۵۹ مول بر متر مربع بر ثانیه در شرایط تنش، بالاترین میزان تبادل گازی را به خود اختصاص داد. علیرغم وجود تفاوت معنی دار در بین ارقام برای پایداری غشای سلولی، این صفت در ارزیابی تحمل به گرما در مرحله باروری در شرایط تنش نسبتا شدید مناسب تشخیص داده نشد. علاوه بر این تفاوت معنی داری از نظر محتوای کلروفیل بین دو شرایط بدون تنش و تنش مشاهده نگردید. میانگین عملکرد ارقام تحت شرایط بدون تنش و تنش گرما به ترتیب برابر با ۶۳۶۱ و ۳۶۷۸ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. برآورد شاخص های مبتنی بر عملکرد نشان داد که شاخص های STI، HM، MP و GMP، شاخص های برتر در ارزیابی تحمل گرما می باشند. ارقام کاز و چمران ارقام متحمل به گرما و در مقابل ارقام ماتنا، نیک نژاد، M6 و -Durum ch-89 حساس به گرما تشخیص داده شدند.

کلیدواژه ها: پایداری غشا، شاخص تحمل، محتوای کلروفیل، هدایت روزنه ای

مقدمه

در خوزستان تنش گرمای انتهای فصل یکی از عوامل مهم کاهنده عملکرد گندم محسوب می شود (مدحج، ۱۳۸۹). در ایران سالانه حدود ۶/۵ میلیون هکتار گندم کشت می گردد، که حدود ۱۰ درصد از این اراضی در مناطق جنوبی کشور از جمله خوزستان با تنش گرمای انتهای فصل در طی مرحله گلدهی و دوره پر شدن دانه مواجه می شوند که باعث کاهش ۵ تا ۴۰ درصدی

عملکرد در این مناطق می گردد (جلال کمالی و دوویلر^۱، ۲۰۰۸). در این مناطق در فصل پاییز و زمستان گندم دوره رشدی مناسبی را طی می کند اما با افزایش ناگهانی دما در ماه های اسفند و فروردین مراحل گلدهی و پر شدن دانه با دماهای بالا مصادف می شود که منجر به کاهش شدید عملکرد دانه می گردد (مشتطی و همکاران، ۱۳۸۹). تحمل گرما با توجه به نوع رقم و مرحله رشدی

پایداری عملکرد یک ژنوتیپ از طریق ارزیابی تغییرات آن در محیط‌های غیریکسان ارزیابی می‌شود (روزیل و هامبلین^۷، ۱۹۸۱)، لذا در برنامه‌های اصلاحی اجرای آزمایشات مقایسه عملکرد در مناطق و سال‌های مختلف، با هدف انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار به شرایط بدون تنش و دارای تنش صورت می‌گیرد (فرناندز^۸، ۱۹۹۲). در بسیاری از پژوهش‌ها برای گزینش گیاهان در برابر تنش، فقط عملکرد دانه مدنظر قرار می‌گیرد در حالی که برخی از پژوهشگران معتقدند که باید شاخص‌هایی را که در ارزیابی پایداری ارقام در شرایط تنش موثرند شناخت و آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه به عنوان معیارهای انتخاب مورد استفاده قرار داد (پورچ^۹، ۲۰۰۶؛ فرناندز، ۱۹۹۲). فرناندز (۱۹۹۲) گیاهان را از نظر واکنش به دو شرایط تنش و بدون تنش به چهار گروه تقسیم کرد. گروه A ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط دارای عملکرد بالایی هستند، گروه B ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد مطلوبی دارند، گروه C ژنوتیپ‌هایی که عملکرد آن‌ها در شرایط تنش بیشتر بوده و گروه D ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط عملکرد پایینی دارند، به اعتقاد این محقق معیاری برای گزینش تحمل تنش مناسب است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها متمایز کند، لذا وی شاخص تحمل تنش (STI)^{۱۰} را معرفی کرد. هم‌چنین وی به منظور بررسی مقایسه کارآیی ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و یا مکان‌های مختلف میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)^{۱۱} را ارائه نمود (فرناندز، ۱۹۹۲). فیشر و مورر^{۱۲} (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش (SSI)^{۱۳} را ارائه کردند. مقادیر کوچکتر SSI نشان دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ به تنش می‌باشد. روزیل و هامبلین (۱۹۸۱) دو شاخص تحمل^{۱۴} (TOL) و میانگین

گیاه متفاوت می‌باشد، اما نتایج مطالعات نشان داده‌اند که اثرات تنش گرما بر گندم عموماً از دمای ۳۰ درجه سانتیگراد به بالا ظهور پیدا می‌کند (پورتر و گاویث^۱، ۱۹۹۹). دمای بالا با کاهش دوره رشدی، موجب اختلال در تکمیل مراحل نموی گیاه می‌گردد. هم‌چنین دمای بالاتر از حد آستانه تحمل گیاه موجب کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس می‌شود که همه این تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی منجر به کاهش عملکرد در شرایط تنش گرما می‌گردد (آینه و همکاران^۲، ۲۰۰۲). پایداری غشای سلولی (فوکار و همکاران^۳، ۱۹۹۸)، میزان کلروفیل (گور و همکاران^۴، ۲۰۱۰) و هدایت روزنه‌ای (رینولدز و همکاران^۵، ۱۹۹۴) از جمله صفات موثر بر تحمل گیاه در برابر گرما می‌باشند که می‌توان از آنها به عنوان معیار ارزیابی تحمل به گرما استفاده نمود. اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی براساس صدمه دمای بالا به بافت برگ و در نتیجه افزایش نفوذپذیری غشای سلول و الکترولیت‌های آزاد شده به درون محلول انجام می‌گیرد. نتایج مطالعات نشان داده‌اند که ارقام با پایداری غشای سلولی بالاتر کاهش عملکرد کمتری در شرایط تنش دارند (فوکار و همکاران، ۱۹۹۸). هدایت روزنه‌ای بالا به علت کاهش دمای پوشش گیاهی و افزایش جذب کربن و تداوم فتوسنتز در دوره پر شدن دانه به عنوان یک معیار مطلوب برای دستیابی به عملکرد بالاتر در شرایط تنش گرما معرفی شده است (باهار و همکاران^۶، ۲۰۱۱). محتوای کلروفیل صفتی مهم برای بررسی کارآیی فتوسنتز در شرایط تنش گرما بوده (گور و همکاران، ۲۰۱۰) و نتایج مطالعات نشان داده‌اند که ارقام با میزان کلروفیل برگ بالا تحمل بالاتری به گرما داشته و عملکرد بالاتری نسبت به دیگر ارقام در شرایط تنش گرما دارند (رینولدز و همکاران، ۲۰۰۰).

7- Rosielle & Hamblin

8- Fernandez

9- Porch

10- Stress tolerance index

11- Geometric mean productivity

12- Fischer & Maurer

13- Stress susceptibility index

14- Tolerance

1- Porter & Gawith

2- Ayeneh *et al*3- Fokar *et al.*4- Gur *et al.*5- Reynolds *et al.*6- Bahar *et al.*

M6 (رقم بین‌المللی در مطالعات تنش گرما) و هفت رقم داخلی به اسامی چمران، زاگرس، گهر، نیک‌نژاد، یاواروس، کوه‌دشت و Durum-ch-89 مورد ارزیابی قرار گرفتند. کاشت ارقام در ۱۵ آبان (تاریخ کاشت رایج) و ۳۰ دی (تاریخ کاشت تاخیری) در خاکی شنی لومی، نسبتاً قلیایی (pH=۷/۷۲) و هدایت الکتریکی ۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. اطلاعات مربوط به دما، میزان بارندگی و رطوبت نسبی منطقه در طول فصل زراعی در شکل ۱ ارائه شده است. بجز اعمال تنش طبیعی گرما بواسطه تأخیر در تاریخ کاشت، کلیه عملیات کاشت، داشت و برداشت در هر دو شرایط بدون تنش و تنش به صورت یکسان انجام شد. بذور هر رقم روی سه پشته دو متری با در نظر گرفتن سه خط کشت روی هر پشته با تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع کشت شدند. برداشت نهایی برای عملکرد دانه از پشته وسط با حذف ۱۰ سانتی‌متر از هر طرف در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شد. کوددهی براساس فرمول کودی N-P-K به ترتیب معادل ۲۵۰-۱۰۰-۵۰ کیلوگرم در هکتار براساس آزمایشات خاک بصورت پایه و سرک به خاک داده شد. مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد گیاه با وجین دستی صورت گرفت.

بررسی صفات فیزیولوژیکی

صفات فیزیولوژیکی شامل پایداری غشای سلولی، محتوای کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در ابتدای مرحله باروری (مرحله ۶۰-۶۱ زادکس) مورد بررسی قرار گرفتند. اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی (CMS)^۱ طبق روش فوکار و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد. اندازه‌گیری محتوای کلروفیل توسط کلروفیل‌متر (SPAD-502, Minolta, Japan) انجام گرفت. شیوه عمل و اندازه‌گیری به این ترتیب بود که در هر کرت آزمایشی، بطور تصادفی از برگ پرچم چهار بوته اندازه‌گیری انجام و میانگین اعداد بدست آمده محاسبه

بهره‌وری (MP)^۱ را ارائه نمودند. مقادیر بالاتر شاخص TOL بیان‌کننده حساسیت بیشتر به تنش است. شاخص متوسط بهره‌وری منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا می‌گردد. میانگین هارمونیک (HM)^۲ توسط کریستین و همکاران^۳ (۱۹۹۷) جهت ارزیابی و غربال ژنوتیپ‌های لویا در شرایط خشکی مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های دیگری از قبیل شاخص پایداری عملکرد (YSI)^۴ توسط بوسلاما و شاپاق^۵ (۱۹۸۴) و شاخص عملکرد (YI)^۶ توسط گاووزی و همکاران^۷ (۱۹۹۷) برای ارزیابی تحمل گرما و خشکی در سویا و غلات مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

علیرغم اهمیت تنش گرمای انتهای فصل در مناطق گرم کشور و به ویژه استان خوزستان، مطالعات بسیار کمی جهت ارزیابی ارقام گندم از نظر تحمل به گرما در شرایط مزرعه انجام شده است. این تحقیق به منظور بررسی اثر گرما بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و همچنین ارزیابی تحمل گرمای ارقام گندم با استفاده از شاخص‌های تحمل گرما انجام گرفت. به علاوه در این آزمایش کارآیی شاخص‌های مورد استفاده سنجیده و برترین شاخص‌ها در غربال ارقام متحمل به گرما شناسایی شدند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو شرایط بدون تنش (تاریخ کاشت رایج منطقه) و تنش (تاریخ کاشت تاخیری) اجرا شد. ده رقم گندم، متشکل از سه رقم خارجی به نام‌های کاز (رقم استاندارد متحمل به گرما)، ماننا (رقم استاندارد حساس به گرما) و

1- Mean productivity

2- Harmonic Mean

3- Kristin *et al.*

4- Yield Stability Index

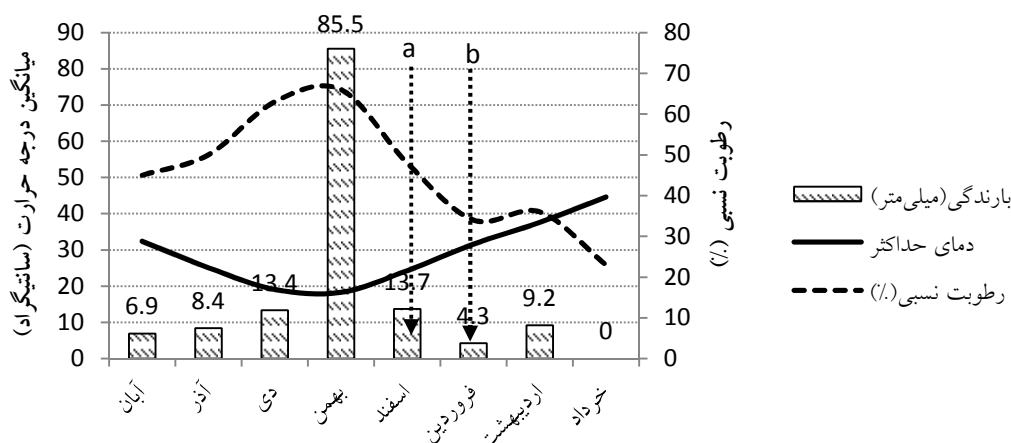
5- Bouslama & Schapaugh

6- Yield Index

7- Gavuzziet *al.*

8- Cell Membrane Stability

امیدی و همکاران: ارزیابی تحمل گرما در ارقام گندم با استفاده از ...



شکل ۱- میانگین درجه حرارت حداکثر ماهیانه، رطوبت نسبی و مجموع بارندگی در طول دوره رشد در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹. فلاش‌های a (۲۰ اسفند) و b (۱۵ فروردین) به ترتیب زمان آغاز گرده‌افشانی را در تاریخ کاشت به موقع و تاخیری نشان می‌دهند.

- میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

$$GMP = \sqrt{(Y_P)(Y_S)}$$

- میانگین هارمونیک (HM)

$$HM = \frac{2(Y_P * Y_S)}{Y_P + Y_S}$$

- شاخص پایداری عملکرد (YSI)

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P}$$

- شاخص عملکرد (YI)

$$YI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_S}$$

Y_P و Y_S به ترتیب نشان دهنده عملکرد هر رقم در شرایط بدون تنش و تنش گرما و \bar{Y}_P و \bar{Y}_S به ترتیب میانگین عملکرد تمام ارقام در شرایط بدون تنش و تنش گرما می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها براساس تجزیه مرکب داده‌ها در دو شرایط بدون تنش و تنش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. قبل از انجام آنالیز واریانس دو فرض اصلی تجزیه واریانس شامل نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون‌های شاپیرو-ویلک^۲ و کلموگروف-سمیرنوف^۳ و یکنواخت بودن واریانس خطاهای آزمایشی

شد. برای اندازه‌گیری هدایت‌روزنه‌ای از دستگاه پورومتر (ELE, UK) استفاده شد. در روزهای آفتابی و آرام و بین ساعات ۱۰ تا ۱۴ به صورت تصادفی از برگ پرچم چهار بوته در هر کرت آزمایشی اندازه‌گیری انجام و میانگین اعداد بدست آمده لحاظ گردید.

محاسبه شاخص‌های تحمل گرما

به منظور ارزیابی ارقام از نظر تحمل گرما، شدت تنش و شاخص‌های زیر براساس عملکرد دانه محاسبه شدند:

- شدت تنش (SI)

$$SI = 1 - \left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \right)$$

- شاخص حساسیت به تنش (SSI)

$$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_S}{Y_P} \right)}{SI}$$

- شاخص تحمل (TOL)

$$TOL = Y_P - Y_S$$

- شاخص متوسط بهره‌وری (MP)

$$MP = \frac{(Y_P + Y_S)}{2}$$

- شاخص تحمل تنش (STI)

$$STI = \frac{(Y_P * Y_S)}{(\bar{Y}_P)^2}$$

2- Shapiro-Wilk

3- Kolmogorov-Smirnow

1- Stress intensity

تاخیری (تنش گرما) نسبت به کشت به موقع مشاهده نکردند که با نتیجه این تحقیق مطابقت دارد. هم چنین هال و همکاران^۲ (۲۰۰۱) گزارش کردند که در شرایط دمایی بالا گیاهانی که هدایت روزنه‌ای بالاتری دارند اغلب ظرفیت فتوسنتز بالاتری نیز می‌توانند داشته باشند در حالی که در این تحقیق رقم متحمل کاز علیرغم داشتن بیشترین تبادلات گازی در شرایط تنش محتوای کلروفیل بالایی به خود اختصاص نداد.

نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌های صفت پایداری غشای سلولی نشان داد که ارقام تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0/01$) از نظر این صفت با یکدیگر دارند و عکس‌العمل متفاوتی در پاسخ به دمای بالا در ارتباط با این صفت نشان می‌دهند (جدول ۳). در بین ارقام مختلف، ارقام-Durum-ch-89 (۳۹٪)، چمران (۳۴٪) و ماننا (۳۲٪) بیشترین و ارقام یاواروس (۲۰٪)، M6 (۲۱٪) و گهر (۲۳٪) کمترین پایداری غشا را در برابر گرما داشتند (شکل ۲). پایداری غشای سلولی در رقم متحمل کاز ۲۸٪ برآورد گردید. علیرغم معنی‌دار بودن تفاوت صفت پایداری غشای سلولی در بین ارقام، ارتباط کاملاً منطقی در مقادیر این صفت و تحمل گرما در بین ارقام مشاهده نشد بطوری‌که رقم حساس ماننا پایداری بیشتری را نسبت به رقم متحمل کاز از خود نشان داد.

با توجه به این نتایج بنظر نمی‌رسد که اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی ارقام در مراحل باروری (مرحله ۶۰-۶۱ زادکس) معیار مناسبی در ارزیابی تحمل گرما باشد. کاکانی و همکاران^۳ (۲۰۰۵) گزارش کردند که همیشه پایداری غشای سلولی در طول مراحل رویشی به افزایش عملکرد تحت شرایط تنش منجر نمی‌گردد، زیرا مقاومت بر پایه اندام رویشی لزوماً ارتباطی با مقاومت در اندام‌های زایشی از جمله قابلیت زنده ماندن دانه‌گرده و تشکیل دانه ندارد.

با استفاده از آزمون بارتلت^۱ مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نیاز، تبدیل داده جهت برقرارشدن این مفروضات انجام شد. برای انجام مقایسات میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد. محاسبه شاخص‌های تحمل گرما و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel و همچنین محاسبه ضرایب همبستگی و رسم نمودارهای سه بعدی توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها حاکی از تفاوت معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بین ارقام و همچنین برهم کنش رقم و شرایط محیطی برای صفات محتوای کلروفیل و هدایت‌روزنه‌ای بود. تفاوت در شرایط محیطی برای صفت هدایت‌روزنه‌ای معنی‌دار ($P \leq 0/01$) شد، اما تفاوت معنی‌داری از نظر محتوای کلروفیل بین شرایط بدون تنش و تنش مشاهده نگردید (جدول ۱).

میانگین ارقام برای صفات هدایت‌روزنه‌ای و محتوای کلروفیل تحت شرایط بدون تنش و تنش در جدول ۲ ارائه شده است. در ارتباط با هدایت‌روزنه‌ای، رقم کاز در شرایط تنش و رقم Durum-ch-89 در شرایط بدون تنش به ترتیب بیشترین (۰/۵۹ مول بر متر مربع بر ثانیه) و کمترین (۰/۲۱ مول بر متر مربع بر ثانیه) تبادلات گازی را به خود اختصاص دادند. محتوای کلروفیل رقم Durum-ch-89 و رقم کاز در شرایط تنش به ترتیب با عدد اسپد ۵۸/۱۴ و ۴۶/۴۹ بیشترین و کمترین مقادیر در بین ارقام بود (جدول ۲).

زمانی که در شرایط دمایی بالا انتقال فرآورده به دانه محدود شده باشد حفظ میزان کلروفیل برگ نقش مهمی را در نمو دانه داشته و برگ با انجام عمل فتوسنتز فرآورده بیشتری را به سمت دانه هدایت می‌کند (بهار و همکاران، ۲۰۱۱). آینه و همکاران (۲۰۰۲) در آزمایشی با بررسی محتوای کلروفیل در دو مرحله گلدهی و شیرگی در شرایط کشت تاخیری، اثر معنی‌داری از محیط را در شرایط کشت

2-Hall et al.

3- Kakani et al.

1- Bartlett's test

امیدی و همکاران: ارزیابی تحمل گرما در ارقام گندم با استفاده از ...

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفات محتوای کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در بین ارقام گندم در دو شرایط محیطی مختلف

میانگین مربعات			
منبع تغییرات	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای	محتوای کلروفیل
شرایط محیطی	۱	۰/۰۷**	۴/۶۲ ^{ns}
بلوک در شرایط محیطی	۶	۰/۰۱	۳/۸۹
رقم	۹	۰/۰۱**	۵۱/۲۷**
شرایط محیطی × رقم	۹	۰/۰۳**	۱۳/۵۳**
خطا	۵۴	۰/۰۰۳	۴/۸۰
ضریب تغییرات (%)	-	۹/۲۶	۴/۳۳

** و * : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪، ns: غیر معنی‌دار

جدول ۲- میانگین صفات هدایت روزنه‌ای و محتوای کلروفیل در شرایط بدون تنش (S₁) و تنش گرما (S₂) در ارقام مورد مطالعه

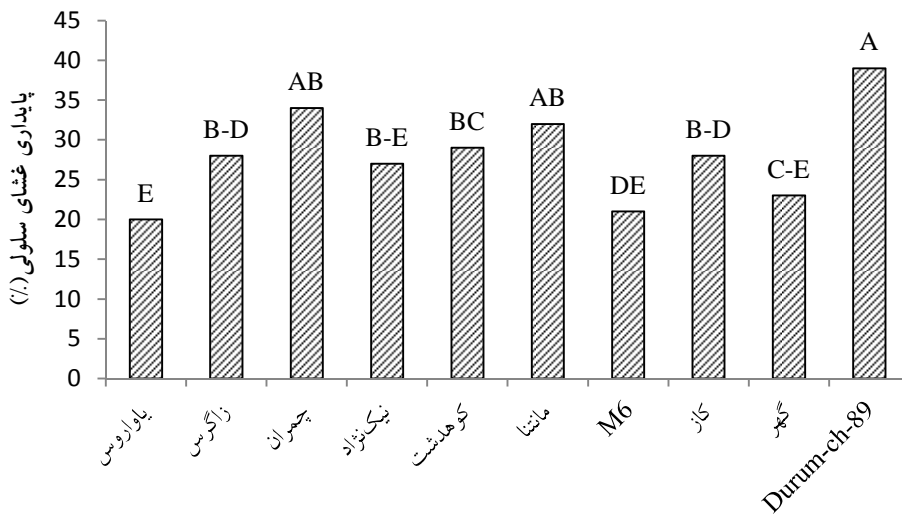
ارقام گندم	شرایط	هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)	محتوای کلروفیل
یاواروس	S ₁	۰/۳۶d-g	۵۰/۱۶c-h
	S ₂	۰/۳۷d-f	۵۴/۸۲b
زاگرس	S ₁	۰/۳۶d-g	۵۰/۵۵c-h
	S ₂	۰/۳۷d-f	۵۰/۳۴c-h
چمران	S ₁	۰/۲۸f-h	۵۲/۷۳b-e
	S ₂	۰/۴۱b-d	۵۳/۱۶bc
نیک‌نژاد	S ₁	۰/۳۸d-f	۵۱/۹۷b-f
	S ₂	۰/۳۳d-g	۵۱/۲۶c-g
کوه‌دشت	S ₁	۰/۳۱d-h	۵۱/۱۴c-g
	S ₂	۰/۵۱ab	۴۹/۰۸e-i
مانتنا	S ₁	۰/۲۹e-h	۴۸/۳۱f-i
	S ₂	۰/۳۷d-f	۴۹/۲۹e-i
M6	S ₁	۰/۳۷d-f	۵۰/۸۴c-g
	S ₂	۰/۲۵g-h	۴۸/۱۷g-i
کاز	S ₁	۰/۲۶f-h	۴۷/۰۵h-i
	S ₂	۰/۵۹a	۴۶/۴۹i
گهر	S ₁	۰/۴۹a-c	۴۸/۶۹f-i
	S ₂	۰/۴۰c-e	۴۸/۳۶f-i
Durum-ch-89	S ₁	۰/۲۱h	۵۲/۸۶b-d
	S ₂	۰/۴۲b-d	۵۸/۱۴a

- بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در هر ستون میانگین‌های با حروف غیر مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار با هم دارند.

جدول ۳- تجزیه واریانس پایداری غشای سلولی در ارقام گندم مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۳	۰/۰۴**
رقم	۹	۰/۰۱**
خطا	۲۷	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (%)	-	۱۵/۸۴

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪



شکل ۲- میانگین صفت پایداری غشای سلولی در ارقام مورد مطالعه (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک تفاوت آماری معنی دار در سطح احتمال ۵٪ دارند)

مقادیر برای شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI و HM بودند (جدول ۴).

از آنجایی که تحمل گرما صفت پیچیده‌ای بوده و تحت تاثیر عوامل مختلف قرار می‌گیرد، انتخاب ارقام تنها براساس یک معیار از دقت لازم برخوردار نبوده و گاهی با نتایج متناقض همراه است. لذا در این تحقیق در قدم اول اقدام به شناسایی بهترین شاخص‌های تحمل گرما گردید. با استفاده از ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش با شاخص‌های تحمل تنش می‌توان شاخص‌های مناسب را تعیین کرد (فرناندز، ۱۹۹۲). با محاسبه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط بدون

شاخص‌های تحمل به گرما

شدت تنش (SI) در تحقیق حاضر ۰/۵۸ برآورد گردید. شدت تنش عددی است که بین صفر و یک تغییر می‌کند و مقادیر بزرگتر آن بیانگر شدت تنش بیشتر می‌باشد. به نظر می‌رسد که تحقیق حاضر در شرایط تنش نسبتاً شدید انجام شده است. میانگین عملکرد ارقام تحت شرایط بدون تنش و تنش گرما به ترتیب برابر با ۶۳۶۱ و ۳۶۷۸ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. مقادیر شاخص‌های مختلف تحمل گرما بیانگر برتری ارقام کاز و چمران از نظر تحمل گرما بود، به گونه‌ای که این ارقام دارای کمترین مقادیر برای شاخص TOL و SSI و بیشترین

امیدی و همکاران: ارزیابی تحمل گرما در ارقام گندم با استفاده از ...

زاگرس، کوهدشت و گهر در منطقه B قرار گرفته و فقط در محیط بدون تنش عملکرد بالایی داشتند. سایر ارقام در منطقه D قرار گرفتند و در هر دو محیط عملکرد پایینی را نشان دادند. هیچ رقمی در منطقه C قرار نگرفت، یعنی رقمی که عملکرد بالاتری در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش داشته باشد مشاهده نگردید (شکل ۳). با توجه به عملکرد مطلوب ارقام کاز و چمران در هر دو شرایط بدون تنش و تنش و همچنین مقادیر بالاتر این ارقام از نظر اکثر شاخص‌های تحمل گرما در مقایسه با سایر ارقام می‌توان این ارقام را به عنوان متحمل‌ترین ارقام معرفی نمود. از سویی ارقام یاواروس، زاگرس، کوهدشت و گهر نتوانستند عملکرد مطلوبی را که در شرایط بدون تنش داشتند در شرایط تنش حفظ کنند و از اینرو می‌توان این ارقام را بعنوان ارقامی با پایداری عملکرد پایین و نسبتاً حساس به گرما معرفی نمود. ارقام مانتنا، نیک‌نژاد، M6 و Durum-ch-89 حساس به گرما شناسایی شدند.

نتایج حاصل نشان داد که در شرایط کشت تاخیری با افزایش دما بدلیل عدم محدودیت رطوبتی اعمال شده در این آزمایش، گیاهان توانستند با باز نگه داشتن روزنه‌ها، هدایت‌روزنه‌ای خود را حفظ و حتی تا حدی افزایش دهند که البته با توجه به شرایط نامطلوب از نظر رشد رویشی و هم زمانی گرده‌افشانی و دوره پر شدن دانه با دمای بالا در نهایت عملکرد دانه گیاه کاهش یافت. بعلاوه با توجه به اینکه تنش گرمایی اعمال شده یک تنش طبیعی مداوم و نسبتاً شدید در شرایط طبیعی رشدی گیاه بوده، گیاه فرصت لازم جهت سازگاری و اتخاذ مکانیسم‌های فیزیولوژیک مناسب جهت کاهش خسارات ناشی از تنش گرما را داشته است. همچنین در شرایط کشت تاخیری، گرمای انتهای فصل در حدی نبوده که منجر به اضمحلال کلروفیل در گیاه گردد. با توجه به مطالب عنوان شده افزایش هدایت‌روزنه‌ای و حفظ محتوای کلروفیل در ارقام تا حد زیادی توجیح‌پذیر است. بعلاوه با توجه به افزایش معنی‌دار هدایت‌روزنه‌ای در شرایط کشت تاخیری و بالا بودن

تنش و تنش مشاهده شد که عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش دارای بیشترین همبستگی با شاخص‌های STI، MP، GMP و HM بود (جدول ۵). لذا انتخاب ارقام براساس این شاخص‌ها می‌تواند منجر به دستیابی به ارقامی متحمل با عملکرد دانه مطلوب در شرایط بدون تنش و تنش شد. در مطالعاتی مشابه، شاخص‌هایی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش گزارش شده‌اند. بطوری که پورچ (۲۰۰۶) عنوان کرد که GMP و STI دو شاخص بسیار موثر و کارآ در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط بدون تنش و تنش گرما در لویامی‌باشند. مدرسی و همکاران (۱۳۹۰) شاخص‌های GMP، STI و MP را به عنوان شاخص‌هایی مطلوب در غربالگری ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش گرما معرفی کردند. زارع و همکاران (۱۳۸۳) شاخص‌های MP، GMP، STI و HM را به عنوان بهترین شاخص‌ها در جداسازی ژنوتیپ‌های متحمل سویا به خشکی پیشنهاد کردند. زهراوی (۱۳۸۸) شاخص‌های STI، MP، GMP و HM را مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌های جو تحت شرایط تنش خشکی معرفی کرد.

ارزیابی ارقام از نظر تحمل گرما

به منظور تعیین دقیق ارقام متحمل به گرما از نمودار سه‌بعدی استفاده شد (شکل ۳). براساس تعریف فرناندز (۱۹۹۲) بهترین راه شناسایی ژنوتیپ‌های برتر، بررسی اثر متقابل سه متغیر عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_p)، عملکرد در شرایط تنش (Y_s) و شاخص تحمل تنش می‌باشد. به گونه‌ای که ژنوتیپ‌های برتر علاوه بر داشتن عملکرد مطلوب در هر دو شرایط بدون تنش و تنش از نظر مقدار شاخص محاسباتی هم مطلوب بوده و در منطقه A قرار گیرند. با بررسی نمودارهای سه بعدی براساس هر چهار شاخص STI، MP، GMP و HM (با توجه به مشابهت نمودارهای هر چهار شاخص، در شکل ۳ فقط نمودار شاخص STI ارائه شده است) ارقام کاز و چمران در منطقه A قرار گرفته و عملکرد بالایی در هر دو شرایط بدون تنش و تنش گرمایی داشتند. ارقام یاواروس،

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه ارقام گندم تحت شرایط بدون تنش و تنش گرما و شاخص‌های تحمل تنش

ارقام گندم	Y _p (کیلوگرم در هکتار)	Y _s (کیلوگرم در هکتار)	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI	HM	SSI
زاگرس	۶۷۰۰	۳۵۸۰	۳۱۲۰	۵۱۴۰	۴۸۹۸	۰/۵۹	۰/۹۷	۰/۵۳	۴۶۶۷	۱/۱۰
چمران	۶۷۴۰	۴۹۰۰	۱۸۴۰	۵۸۲۰	۵۷۴۷	۰/۸۱	۱/۳۳	۰/۷۳	۵۶۷۵	۰/۶۵
نیک‌نژاد	۵۹۴۰	۳۳۸۰	۲۵۶۰	۴۶۶۰	۴۴۸۱	۰/۴۹	۰/۹۲	۰/۵۷	۴۳۰۹	۱/۰۲
کوه‌دشت	۷۱۴۰	۴۰۰۰	۳۱۴۰	۵۵۷۰	۵۳۴۴	۰/۷۰	۱/۰۹	۰/۵۶	۵۱۲۸	۱/۰۴
مانتا	۵۱۹۰	۳۱۷۵	۲۰۱۵	۴۱۸۳	۴۰۵۹	۰/۴۱	۰/۸۶	۰/۶۱	۳۹۳۹	۰/۹۲
M6	۵۳۴۰	۲۶۸۰	۲۶۶۰	۴۰۱۰	۳۷۸۳	۰/۳۵	۰/۷۳	۰/۵۰	۳۵۶۹	۱/۱۸
کاز	۷۰۶۰	۴۷۰۰	۲۳۶۰	۵۸۱۰	۵۷۶۰	۰/۸۲	۱/۲۸	۰/۶۷	۵۶۴۳	۰/۷۹
گهر	۷۳۲۰	۳۶۲۰	۳۷۰۰	۵۴۷۰	۵۱۴۸	۰/۶۵	۰/۹۸	۰/۵۰	۴۸۴۴	۱/۲۰
Durum-ch-89	۵۵۶۰	۳۶۰۰	۱۹۶۰	۴۵۸۰	۴۴۷۴	۰/۴۹	۰/۹۸	۰/۶۵	۴۳۷۰	۰/۸۴
میانگین	۶۳۶۱	۳۶۷۸								

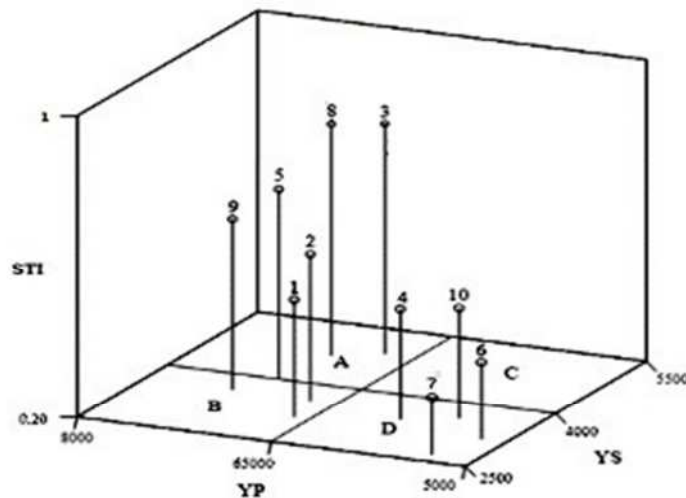
Y_p: عملکرد هر رقم در شرایط بدون تنش، Y_s: عملکرد هر رقم در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، STI: شاخص تحمل تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش.

جدول ۵- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل تنش با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش گرما

SSi	HM	YSI	YI	STI	GMP	MP	TOL	
-۰/۰۵	۰/۷۸**	-۰/۰۵	۰/۶۱	۰/۸۳**	۰/۸۵**	۰/۹۱**	۰/۵۵	Y _p
-۰/۷۵*	۰/۹۷**	۰/۷۵**	۱/۰۰**	۰/۹۵**	۰/۹۴**	۰/۸۸**	-۰/۳۲	Y _s

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

Y_p و Y_s: به ترتیب عملکرد هر رقم در شرایط بدون تنش و تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، STI: شاخص تحمل تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش.



شکل ۳- گزینش ارقام گندم براساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_p) و تنش (Y_s) و شاخص STI

۱- یاواروس ۲- زاگرس ۳- چمران ۴- نیک‌نژاد ۵- کوه‌دشت ۶- مانتا ۷- M6 ۸- کاز ۹- گهر ۱۰- Durum-ch-89

امیدی و همکاران: ارزیابی تحمل گرما در ارقام گندم با استفاده از ...

مقادیر این صفت در ارقام متحمل می‌توان به اهمیت این صفت در سازگاری ارقام به تنش گرما پی برد و از آن بعنوان ابزاری مناسب در غربالگری ارقام متحمل به گرما استفاده کرد. در این آزمایش شاخص‌های STI، HM، MP و GMP براساس همبستگی با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش به‌عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب شدند که می‌توانند در ارزیابی و غربال ارقام متحمل به گرما مورد استفاده قرار گیرند. بر این اساس ارقام کاز و چمران بعنوان بهترین ارقام با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به گرما شناخته شدند. در پایان پیشنهاد می‌گردد این ارقام در مناطق گرم دیگر هم مورد بررسی قرار گیرند. بعلاوه این ارقام قابلیت بکارگیری در برنامه‌های دورگ‌گیری به منظور ارتقاء تحمل گرمای لاین‌های امیدبخش را دارند.

منابع

۱. زارع، م.، زینالی خانقاه، ح. و دانشیان، ج. ۱۳۸۳. ارزیابی برخی ژنوتیپ‌های سویا به تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۵ (۴): ۸۵۹-۸۶۷.
۲. زهراوی، م. ۱۳۸۸. ارزیابی ژنوتیپ‌های جو اسپانثوم (*Hordeum spontaneum*) از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی. مجله به‌نژادی نهال و بذر، ۲۵ (۴): ۳۳-۵۴۹.
۳. مدحج، ۱۳۸۹. اثر مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم در شرایط تنش گرمای آخر فصل در اهواز. فصلنامه‌ی پژوهش‌های کشاورزی. ۲ (۴): ۵۳-۶۸.
۴. مدرسی، م.، محمدی، و.، زالی، ع. و مردی، م. ۱۳۹۰. بررسی شاخص‌های تحمل تنش گرما در گندم. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۲۴ (۳): ۴۶۵-۴۷۴.
۵. مشتقی، ع.، عالمی سعید، خ.، سیادت، س. ع.، بخشنده، ع. و جلال کمالی، م. ر. ۱۳۸۹. اثر تنش گرمای آخر فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان بهاره در اهواز. ۳ (۴): ۱۹۵-۲۰۳.
6. Ayeneh, A., Van Ginkel, M., Reynolds, M.P., and Ammar, K. 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*, 79:173-184.
7. Bahar, B., Yildirim, M., and Yucel, C. 2011. Heat and drought resistance criteria in spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.): Morpho-physiological parameters for heat tolerance. *Scientific Research and Essays*, 6:2212-2220
8. Bouslama, M., and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. part 1: evaluation of thre screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24: 933-937.
9. Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In Kuo, C.G. (ed), *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of*

- Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC Publications, Tainan, Taiwan, pp: 257-270.
10. Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.
 11. Fokar, M., Blum, A., and Nguyen, H.T. 1998. Heat tolerance in spring wheat II. Grain filling. *Euphytica*, 104:9-15.
 12. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, G.L., Ricciardi, G.L., and Borgi, B. 1997. Evaluaton of fild and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523-531.
 13. Gur, A., Demirel, U., Ozden, M., Kahraman, A., and Copur, O. 2010. Diurnal gradual heat stress affects antioxidant enzymes, proline accumulation and some physiological components in cotton (*Gossypium hirsutum L.*). *African Journal of Biotechnology*, 9:1008-1015.
 14. Hall, A.E. 2001. *Crop Responses to Environment*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.
 15. Jalal-Kamali, M. R., and Duveiller, E. 2008. Wheat production and research in Iran: A Success Story. In: Reynolds, M. P., Pietragalla, J. and Braun, H. J. (Eds.) proceeding of international symposium on wheat yield potential: Challenges to International Wheat Breeding. CIMMYT. D. F. Mexico.
 16. Kakani, V.G., Reddy, K.R., Koti, S., Wallace, T.P., Prasad, P.V.V., Reddy, V.R., and Zhao, D. 2005. Differences in vitro pollen germination and pollen tube growth of cotton cultivars in response to high temperature. *Annual of Bottany*, 96:59-67.
 17. Kristin, A.S, Senra, R.R., Perez, F.I., Enriquez, B.C., Gallegos, J.A.A., Vallego, P.R., Wassimi, N., and Kelley, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37: 43-50.
 18. Porch, T.G. 2006. Application of stress indicess for heat tolerance screening of common Bean. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192: 390-394.
 19. Porter, J.R., and Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10: 23-36
 20. Reynolds, M.P., Balota, M., Delgado, M.I.B., Amani, I., and Fischer, R.A. 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21:717-730.
 21. Reynolds, M.P., Delgado, M.I., Gutierrez-Rodriguez, M., and Larque-Saavedra, A. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research*, 66: 37-50.
 22. Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21: 943 - 946.