دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره پنجم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۴ (۳۴۰-۳۲۷)

ارزیابی صفات فیزیولوژیک، فنولوژیک و مورفولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی در گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

لیلا زارعی[1*]، عزت‌اله فرشادفر[2]، رضا حق‌پرست[3]، رحمان رجبی[3] و مریم محمدی سراب‌بادیه[4]

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۲۶

چکیده

این تحقیق به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بر اساس برخی از صفات مهم مورفولوژیک، فنولوژیک و فیزیولوژیک و شاخص‌های تحمل به خشکی در گندم نان اجرا شد. بیست ژنوتیپ گندم نان در دو آزمایش مزرعه‌ای تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در معاونت موسسه تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد دانه در سنبله، طول گردن سنبله، طول سنبله، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد دانه، مساحت برگ پرچم، محتوای آب نسبی برگ، غلظت کلروفیل‌های a، b و کل، محتوای پرولین، میزان آب نگهداری شده در برگ‌های بریده، پایداری غشاء سلولی و پتانسیل آب برگ بودند. علاوه بر این صفات، شاخص‌های تحمل به خشکی نیز بر اساس عملکرد دانه در دو شرایط رطوبتی محاسبه شدند. نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده برای اصلاح تحمل به خشکی وجود دارد. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، بهره‌وری متوسط (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص حساسیت به تنش (SSI)، ژنوتیپ‌های نسبتاً یکسانی را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی کردند، اما با توجه به همبستگی بالا و معنی‌دار بین شاخص‌های MP، GMP، STI و HMP با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، این شاخص‌ها جهت دستیابی به ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط مناسب بودند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های 72YRRGP، T179، T189، 914GB، MARAGHEH(1379-80) و رقم سرداری به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی شدند. تجزیه ضرایب همبستگی نیز نشان داد که از بین صفات مورد بررسی، محتوای پرولین برگ، پایداری غشاء سلولی و طول سنبله دارای رابطه قوی‌تری با شاخص تحمل به خشکی (STI) بودند و به عنوان مهم‌ترین صفات برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در این تحقیق معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: پایداری غشاء سلولی، شاخص‌های مقاومت به خشکی، محتوای آب نسبی، محتوای پرولین

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه
۳- محقق معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود کرمانشاه
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه
* نویسنده مسئول: lzarei1360@yahoo.com

مقدمه

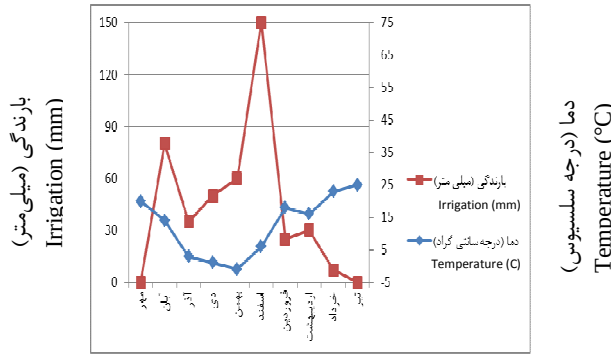
گندم اولین غله و مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا است (Arzani, 2004) و در بیش از ۲۵۰ میلیون هکتار در سراسر جهان کشت می‌شود (Royo *et al.*, 2005). گندم غذای اصلی بیش از ۳۵ درصد از جمعیت جهان است و وضعیت تولید آن به‌طور مستقیم به پایداری جامعه بستگی دارد (Dai and Li, 2004). زراعت غلات به‌ویژه گندم قسمت عمده فعالیت کشاورزان مناطق نیمه خشک جهان را شامل می‌شود. در شرایط اقلیمی متغیر مناطق نیمه خشک، انواع گیاهانی که بتوانند تحت شرایط دیم کشت شوند، نسبتاً محدود هستند و هیچ‌یک از آنها نتوانسته‌اند بر گندم که مهم‌ترین گیاه این مناطق است ارجحیت پیدا کنند (Kochaki, 2002). خشکی عامل محیطی مهم محدود کننده تولید گندم و سایر محصولات در دنیا است. کمبود آب، تولید ارقام زراعی دارای تحمل خشکی بالاتر را به هدف مهمی در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی تبدیل کرده است (Sivamani *et al.*, 2000).

امروزه تحقیقات مختلف در زمینه تنش خشکی به سمت بهره‌برداری از پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط طبیعی و تنش خشکی و یا گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی معطوف شده است (Blum, 1988). معیارهای گزینش زیادی برای ارزیابی تحمل به خشکی در گیاهان معرفی شده‌اند. انتخاب و جدا کردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به دو روش مستقیم (سنجش عملکرد) و غیر مستقیم (بر اساس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک که با تحمل به خشکی همبستگی دارند) انجام می‌شود (Singh, 2000). عملکرد غلات دانه‌ریز صفت پیچیده‌ای است که توسط دامنه‌ای از مکانیزم‌های فیزیولوژیک تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به‌ویژه در شرایط دیم دارای وراثت‌پذیری پایینی است. کارایی انتخاب برای عملکرد دانه را می‌توان با انتخاب صفات مورفوفیزیولوژیک وابسته به عملکرد که وراثت‌پذیری بالا و همبستگی مثبتی با عملکرد دارند و در عین حال به راحتی قابل اندازه‌گیری هستند، افزایش داد (Blum *et al.*, 1999). بر اساس مطالعات گذشته، کارآمدترین روش برای اصلاح ارقام متحمل به خشکی، گزینش همزمان چندین صفت است که همه آن‌ها بر عملکرد گیاه زراعی در شرایط تنش تأثیر می‌گذارند (Keim and Kronasted, 1981). تکنیک‌های غربال ژنوتیپ‌ها که اساس فیزیولوژیک داشته باشند را می‌توان برای گزینش مواد مادری یا غربال سریع جمعیت‌های در حال تفرق جهت بهبود تحمل به خشکی مورد استفاده قرار داد. مطالعه صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی، جهت شناسایی و انتخاب والدین و دورگ‌گیری برای ایجاد واریته‌های نوترکیب تحمل کننده تنش در اصلاح گندم برای مقابله با تنش، نقش مهمی ایفا می‌کند. به منظور کشت گندم در محیط‌های دارای تنش بالای رطوبتی، به نظر می‌رسد که انتخاب در جهت افزایش تحمل به خشکی بر اساس صفات فیزیولوژیک مرتبط با آن اهمیت بیشتری در مقایسه با انتخاب بر اساس حداکثر عملکرد تحت شرایط محیطی مطلوب داشته باشد (Rahimian and Banaian, 1997).

هدف از این تحقیق ارزیابی و تعیین میزان تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گندم نان بر اساس عملکرد در هر دو شرایط تنش رطوبتی و بدون تنش و بررسی اهمیت نسبی صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و فیزیولوژیک مؤثر بر عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به منظور دستیابی به معیارهایی برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این آزمایش تعداد ۲۰ ژنوتیپ گندم نان، شامل ۱۷ ژنوتیپ دریافت شده از مرکز تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه به همراه دو رقم تجاری آذر-۲ و سرارود به عنوان شاهد دیم و رقم مرودشت به عنوان شاهد آبی بودند که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شریط دیم و آبی در مزرعه تحقیقاتی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، ایستگاه سرارود، مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی شامل ۶ خط ۳ متری به فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. کاشت بذر به صورت دستی صورت گرفت و اولین بارندگی پس از کاشت (یک هفته پس از کاشت) به عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد (شکل ۱). از این زمان تا مرحله گرده‌افشانی، هر دو آزمایش تحت شرایط دیم بودند، ولی از این مرحله به بعد مزرعه بدون تنش سه نوبت (گلدهی، اواسط دانه بستن و اواخر دانه بستن) در طول ماه‌های اردیبهشت و خرداد به صورت نشتی آبیاری شد، در حالی که مزرعه تحت تنش تا زمان برداشت آبیاری نشد. مبارزه با علف‌های هرز نیز به صورت دستی انجام شد.



شکل ۱- نمودار آمبروترمیک ایستگاه تحقیقات دیم ایستگاه سرارود در سال ۸۴-۱۳۸۳

Figure 1. Ambrothermic diagram for Dryland Agricultural Research Institute, Sararood station during 2004-2005

برای انجام یادداشت برداری‌ها از هر ژنوتیپ در هر تکرار ۵ بوته به تصادف انتخاب شد. برای اندازه‌گیری صفات فقط از ردیف‌های وسطی با حذف اثر حاشیه‌ای از هر ژنوتیپ در هر تکرار استفاده شد. صفات مورفولوژیک و فنولوژیک اندازه‌گیری شده شامل تعداد دانه در سنبله، طول گردن سنبله (سانتی‌متر)، طول سنبله (سانتی‌متر)، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، وزن هزار دانه (گرم)، تعداد روز تا ظهور ۵۰ درصد سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد دانه در دو شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) بر اساس وزن دانه‌های سه ردیف هر کرت (کیلوگرم در هکتار) بودند. همچنین صفات فیزیولوژیک زیر نیز ارزیابی شدند:

- محتوای آب نسبی برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ، ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه یافته هر گیاه (FW) در ساعات اولیه صبح و در مرحله گلدهی جدا و RWC با رابطه زیر محاسبه شد (Barrs and Weatherley, 1968):

$$RWC\% = \left[\frac{FW - DW}{TW - DW}\right] \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه، FW و DW به ترتیب وزن تازه و وزن خشک نمونه پس از ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و TW وزن تورژسانس نمونه پس از ۲۴ ساعت شناور شدن در آب مقطر است.

- تعیین غلظت کلروفیل a، b و کل

غلظت کلروفیل‌های a، b و کل بر اساس روش آرنون (Arnon, 1961) محاسبه شد. مقدار ۰/۵ گرم برگ خشک از هر نمونه جدا و در لوله‌های درب‌دار ریخته شد و سپس روی هر نمونه سه میلی‌لیتر استون اضافه شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت دو ساعت در تاریکی قرار داده شدند. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و سپس میزان جذب مایع رویی نمونه‌ها در طول موج ۶۵۰ و ۶۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (Jenway 6105-UK) قرائت شد.

- تعیین میزان پایداری غشاء سلولی

میزان پایداری غشاء سلولی با روش (Kocheva and Georgiev, 2003) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، از هر ژنوتیپ ۵ بذر در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰ و عمق ۲۵ سانتی‌متر در سه تکرار در شرایط گلخانه کشت شد. در مرحله پنجه‌زنی کامل از برگ‌های جوان هر ژنوتیپ ۲۰ دیسک برگی تهیه شد. تعداد ۱۰ عدد دیسک برگی در لوله‌های مخصوص در شرایط بدون تنش (S_0) و ۱۰ عدد دیگر در شرایط تنش (S_1) قرار داده شدند. محتویات کلیه لوله‌ها با آب مقطر شستشو داده شد و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به لوله‌های S_0 اضافه و پس از محکم کردن درب لوله‌ها، در یخچال نگهداری شدند. در لوله‌های S_1 به میزان ۱۰ میلی‌لیتر پلی اتیلن گلیکول ۳۰ درصد اضافه و مانند لوله‌های S_0 در یخچال نگهداری شدند. پس از ۲۴ ساعت لوله‌ها از یخچال خارج و مجدداً به تمامی لوله‌ها آب مقطر اضافه و تا ۲۴ ساعت دیگر در یخچال قرار داده شدند. پس از این مدت، هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC) با دستگاه (Inolab COND, Level 1, Germany)، قرائت شد. پس از آن به منظور از بین بردن بافت نمونه‌ها، لوله‌های S_0 و S_1 به مدت یک ساعت درون آب جوش در بنماری قرار داده شدند. مجدداً لوله‌ها از دستگاه خارج و مانند مرحله قبل EC نمونه‌ها قرائت و سپس میزان پایداری غشاء سلولی (CMS) با استفاده از رابطه ۲ ارزیابی شد (Kocheva and Georgiev, 2003):

$$CMS\ \% = \left[\frac{1 - T_1/T_2}{1 - C_1/C_2}\right] \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، T_1 و T_2 به ترتیب میزان EC اولیه و ثانویه در شرایط تنش و C_1 و C_2 به ترتیب میزان EC اولیه و ثانویه در شرایط بدون تنش هستند.

- محتوای پرولین

مقدار اسید آمینه پرولین با استفاده از ۰/۱ گرم برگ پرچم خشک بر اساس روش بیتس (Bates, 1973) استخراج و به کمک غلظت‌های مشخص پرولین خالص به عنوان شاهد، محتوای پرولین نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر (Jenway 6105-UK) در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد.

- میزان آب نگهداری شده در برگ‌های بریده

برای اندازه‌گیری این صفت، در مرحله سنبله‌دهی ۵ برگ پرچم از بوته‌های هر کرت در شرایط تنش جدا و بلافاصله وزن تر آن‌ها با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به مدت سه ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از آن مجدداً وزن و میزان آب نگهداری شده در آنها از طریق رابطه ۳ محاسبه شد (Clarke, 1982):

$$WRCL = 1 - \left[\frac{FW - DW}{FW}\right] \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن، FW و DW به ترتیب وزن برگ‌های تازه و وزن برگ‌ها پس از سه ساعت قرار گرفتن در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و WRCL میزان آب نگهداری شده در برگ‌ها است.

- پتانسیل آب برگ

این صفت برای برگ پرچم در هر کرت با استفاده از دستگاه Pressure chamber (SKPM 1465- UK) بر حسب بار اندازه‌گیری شد.

- سطح مخصوص برگ پرچم

این صفت از تقسیم سطح برگ پرچم در مرحله گلدهی بر وزن خشک آن (پس از قرار گرفتن در آون در دمای ۸۰ درجه یلسیوس به مدت ۲۴ ساعت) محاسبه شد (Siosemardeh *et al.*, 2004). برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ Light Box, UK استفاده شد.

- شاخص‌های تحمل به خشکی

جهت ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، شاخص‌های تحمل و حساسیت زیر با استفاده از عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش (Y_p) و تنش (Y_s) و میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش ($\overline{Y}_p$) و تنش ($\overline{Y}_s$) ارزیابی شدند:

- شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index) بر اساس رابطه ۴ (Rossielle and Hamblin, 1981):

$$STI = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\overline{Y}_p)^2} \qquad (۴)$$

- شاخص تحمل (Tolerance) بر اساس رابطه ۵ (Rossielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_p - Y_s \qquad (۵)$$

- بهره‌وری متوسط (Mean Productivity) بر اساس رابطه ۶ (Rossielle and Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \qquad (۶)$$

- میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity) بر اساس رابطه ۷ (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \qquad (۷)$$

- شاخص عملکرد (Yield Index) بر اساس رابطه ۷ (Gavuzzi *et al.*, 1997):

$$YI = \frac{Y_s}{\overline{Y}_s} \qquad (۷)$$

- شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index) بر اساس رابطه ۸ (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p} \qquad (۸)$$

- میانگین هارمونیک (Harmonic Mean) بر اساس رابطه ۹ (Fernandez, 1992):

$$HMP = \frac{2 \times Y_p \times Y_s}{Y_p + Y_s} \qquad (۹)$$

- شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index) بر اساس رابطه ۱۰ (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1 - (Y_S/Y_P)}{SI} \quad , \quad SI = 1 - \frac{\overline{Y}_s}{\overline{Y}_p} \qquad (۱۰)$$

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای آماری MSTAT-C و SPSS استفاده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در ۲۰ ژنوتیپ گندم نان مورد مطالعه در این تحقیق حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها در بیشتر صفات مورد بررسی بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها و ارقام مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن در جدول شماره ۲ ارایه شده است. بیشترین مقدار عملکرد دانه تحت شرایط تنش مربوط به ژنوتیپ ۸ بود، در حالی که بیشترین مقدار عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش، ارتفاع بوته و طول گردن سنبله مربوط به رقم آذر-۲ (شماره ۱۹) بود. شاخص تحمل به تنش (STI) مبتنی بر عملکرد دانه بوده و انتخاب بر اساس آن منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت شرایط تنش و بدون تنش می‌شود و از این‌رو همبستگی آن با صفات اندازه‌گیری شده تحت شرایط تنش بسیار اهمیت دارد. نتایج ضرایب همبستگی (جدول ۳) نشان داد که همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین شاخص تحمل به تنش با عملکرد دانه تحت شرایط تنش (۰/۹۳**) و محتوای پرولین (۰/۶۲**) وجود داشت. مقادیر بالای این شاخص در یک ژنوتیپ بیانگر تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد بالای آن ژنوتیپ است. افزایش غلظت پرولین تحت تنش خشکی ممکن است نشان دهنده نقش احتمالی این اسید آمینه در تنظیم اسمزی باشد، در نتیجه ژنوتیپ‌هایی که از ظرفیت اسمزی بالایی برخوردار هستند، پایداری عملکرد بهتری را تحت تنش‌های محیطی از خود نشان می‌دهند. هرچند با وجود این که گزارشات زیادی در مورد افزایش تحمل اسمزی گیاهان به دلیل تجمع پرولین وجود دارد، هنوز این تردید وجود دارد که تجمع پرولین بالا مستقیماً بر تحمل به خشکی گیاهان تأثیر می‌گذارد یا اینکه نشانگر حساسیت به خشکی است و بر آسیب تحمیل شده در اثر خشکی دلالت دارد (Schafleitner *et al.*, 2007). افزایش قابل توجه میزان پرولین در گیاهان تحت تنش خشکی در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Kocheva and Georgiev, 2003; HongBo *et al.*, 2006; Mohsenzadeh *et al.*, 2006).

همبستگی منفی و معنی‌داری بین STI و کلروفیل b (۰/۴۵*-) مشاهده شد، به این معنی که ژنوتیپ‌های حساس مقدار کلروفیل b بیشتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های مقاوم داشتند. رنجبرفوردویی و همکاران (Ranjbarfordoei *et al.*, 2000) این مسئله را ناشی از افزایش فعالیت کلروپلاست برای حفظ فتوسنتز تحت تنش خشکی می‌دانند که باعث افزایش مقدار انواع کلروفیل در واریته‌های حساس به تنش می‌شود. در رابطه با واکنش متفاوت کلروفیل به خشکی در ارقام حساس و مقاوم و یا تأثیر نداشتن تنش خشکی بر غلظت کلروفیل نیز گزارش‌هایی ارایه شده است (Alimohammadi and Mirmohammady Maibody, 2011).

همبستگی تعداد دانه در سنبله با ارتفاع گیاه منفی و معنی‌دار (۰/۷۵**-) بود، در نتیجه گیاهان پاکوتاه تعداد دانه بیشتری تولید کردند. مهم‌ترین اثر ژن‌های پاکوتاهی انتقال آسیمیلات‌ها به سنبله در مرحله رشد و در نتیجه افزایش تعداد گلچه‌های بارور در سنبله است (Gupta *et al.*, 2001). سی و سه مرده و همکاران (Siosemardeh *et al.*, 2006) نیز رابطه منفی بین ارتفاع گیاه و تعداد دانه در گندم را تحت شرایط دیم گزارش کردند. نیمه پاکوتاهی برای خشکی آخر فصل ترجیح داده شده است (Fischerand Maurer, 1978; Richards, 1996; Van Ginkle *et al.*, 1998). همبستگی بین ارتفاع بوته و وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار (۰/۵۶**) بود. کواری و همکاران (Quarrie *et al.*, 1999) نیز به این نتیجه رسیدند که اگر فتوسنتز بعد از گلدهی محدود شود، زیاد بودن ذخایر ساقه گندم پابلند ممکن است در وضعیت‌های مختلف سودمند باشد. همبستگی بین طول گردن سنبله و ارتفاع گیاه نیز مثبت و معنی‌دار (۰/۶۹**) بود.

همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۵۸**) بین میزان پایداری غشاء سلولی و محتوای پرولین مشاهده شد. این عقیده وجود دارد که میزان پرولین ممکن است در پایداری غشاء در طول تنش آب نقش داشته باشد. این همبستگی در مطالعات کوچوا و جئورجیف (Kocheva and Georgiev, 2003) نیز مشاهده شد. همبستگی بین میزان پایداری غشاء سلولی در مرحله پنجه‌زنی و شاخص تحمل به خشکی نیز مثبت و معنی‌دار (۰/۴۵*) بود. یکی از استراتژی‌های مهم برای تکامل مقاومت به خشکی در گیاهان حفظ تمامیت غشاء سلولی پس از تحمیل تنش خشکی است (Vasquez-Tell *et al.*, 1990). همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۴۷*) بین میزان آب نگهداری شده در برگ‌های بریده با محتوای پرولین مشاهده شد. نگهداری بیشتر آب در برگ واکنش مثبتی با خشکی است (Haghparast, 1997). تنظیم اسمزی از طریق تنظیم فعال که به وسیله تجمع املاح یا اسمولیت‌های سازگار از

جمله پرولین صورت می‌گیرد در حفظ فشار آماس مؤثر است (Rascio *et al*., 1994). تجمع پرولین به تنظیم اسمزی برگ کمک می‌کند که ممکن است با مقادیر بالاتر آب برگ همراه باشد (Morgan, 1984).

تعیین شاخص‌های متحمل به خشکی مناسب

همبستگی بین عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش مثبت (*۰/۴۸) بود (جدول ۴). بر طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992) در صورتی که همبستگی Yp و Ys بین صفر تا ۰/۵ باشد، انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد تحت شرایط بدون تنش، فقط موجب افزایش عملکرد در محیط بدون تنش و انتخاب ژنوتیپ‌ها در محیط تنش موجب عملکرد بالاتر در محیط تنش می‌شود. با وجود معنی‌دار بودن این همبستگی، مقدار تقریباً پایین آن نشان از ارزش کم اصلاحی آن دارد، به عبارت دیگر اصلاح عملکرد برای دو شرایط بهتر است به طور جداگانه صورت گیرد. ژنوتیپ‌های پرمحصول تحت شرایط بدون تنش ممکن است در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های موفقی نباشند. عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت، اما همبستگی بین عملکرد تحت شرایط تنش خشکی با شاخص‌های TOL و SSI منفی و معنی‌دار بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده تحت شرایط تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of measured traits under drought stress condition

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square						
		عملکرد تحت شرایط تنش Ys	عملکرد تحت شرایط بدون تنش Yp	پایداری غشاء سلولی Cell membrane stability	محتوای آب نسبی برگ Relative water content	تعداد دانه در سنبله No. of grains.spike^{-1}	طول گردن سنبله Peduncle length	وزن هزار دانه 1000-grain yield
تکرار Replication	2	112168.14 ^{ns}	193428.61^{ns}	24.88^{ns}	51.36*	2.38 ^{ns}	6.92 ^{ns}	26.91^{ns}
تیمار Treatment	19	270838.71**	265315.48**	124.26^{ns}	27.88^{ns}	317.61**	19.35**	111.15**
خطای آزمایش Error	38	48756.81	69705.35	167.40	18.79	45.83	2.86	15.32
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.26	6.75	25.88	5.13	16.17	17.36	10.66

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۱- ادامه

Table 1. Continued

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square								
		محتوای پرولین Proline content	آب نگهداری شده در برگ Water retained in cut leaves	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	کلروفیل کل Total chlorophyll	کلروفیل a Chlorophyll-a	کلروفیل b Chlorophyll-b	ارتفاع بوته Plant length	طول سنبله Spike length	پتانسیل آب برگ Leaf water potential
تکرار Replication	2	0.140 ^{ns}	5.77 ^{ns}	178746.24^{ns}	79.42^{ns}	33.91^{ns}	0.363^{ns}	55.64**	0.98^{ns}	156.65**
تیمار Treatment	19	0.579*	25.66**	546448.99^{ns}	24.08^{ns}	9.72^{ns}	9.13*	264.69**	2.15**	13.68 ^{ns}
خطای آزمایش Error	38	0.269	9.93	315830.21	13.93	4.88	0.304	14.32	0.56	15.58
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	24.55	3.58	17.10	21.58	28.87	34.56	4.96	7.19	13.56

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مطالعه شده تحت شرایط تنش خشکی با استفاده از آزمون دانکن

Table 2. Mean comparisons of the studied genotypes under drought stress conditions using Duncan's test

شماره Code	ژنوتیپ Genotye	عملکرد تحت شرایط تنش Ys	عملکرد تحت شرایط بدون تنش Yp	طول گردن سنبله Peduncle length	آب نگهداری شده در برگ Water retained in cut leaves	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	ارتفاع بوته Plant height
1	Sabalan/6/…..	2745^{bcdef}	3765^{cdef}	11.09^{bcde}	91.88^{ab}	3023^{bc}	83.91^{abcd}
2	72YRRGP	2828^{abcdef}	3891^{abcdef}	9.38^{cdefg}	90.22^{abcd}	3499^{bc}	77.59^{def}
3	Ogosta/Sefid	2573^{def}	3490^{fg}	10.05^{cdef}	92.96^{a}	2937^{bc}	84.92^{abc}
4	Bow"s"/GEN…	2637^{bcdef}	4222^{a}	11.82^{bcd}	90.81^{abc}	3102^{bc}	83.03^{abcde}
5	87Zhong 291	2438^{fg}	3814^{bcdef}	9.09^{cdefg}	85.84^{bcde}	2863^{bc}	66.15^{hi}
6	TEU2/3URE…	2073^{g}	3141^{g}	8.84^{defg}	85.10^{cde}	3477^{bc}	60.00^{i}
7	IRENA/BAB…	2446^{fg}	3639^{ef}	8.21^{efg}	86.76^{abcde}	2658^{c}	62.49^{i}
8	T189	3230^{a}	4091^{abcde}	7.04^{fgh}	90.38^{abc}	3238^{bc}	69.39^{gh}
9	T179	3019^{abc}	3976^{abcdef}	8.97^{defg}	84.09^{de}	3746^{b}	64.88^{hi}
10	914GB	2973^{abcd}	4079^{abcde}	7.77^{efg}	87.48^{abcde}	3034^{bc}	75.65^{fg}
11	4848 …..	2930^{abcde}	3695^{def}	13.69^{ab}	88.78^{abcd}	3072^{bc}	86.98^{ab}
12	Roshan/…..	2657^{bcdef}	4316^{ab}	8.76^{defg}	91.76^{ab}	3298^{bc}	79.57^{cdef}
13	Maragheh	2536^{ef}	3693^{def}	11.91^{bcd}	81.71^{e}	3499^{bc}	82.93^{abcde}
14	Maragheh	2725^{bcdef}	3912^{abcdef}	12.35^{bc}	84.99^{cde}	3550^{bc}	86.03^{abc}
15	Maragheh	2124^{g}	3805^{bcdef}	8.79^{defg}	90.37^{abc}	3265^{bc}	83.47^{abcde}
16	Maragheh	2546^{def}	3956^{abcdef}	6.57^{gh}	89.23^{abcd}	3334^{bc}	80.17^{bcdef}
17	Marvdasht	2413^{fg}	4171^{abcd}	4.46^{h}	86.24^{bcde}	3477^{bc}	59.39^{i}
18	Cross alborz	2595^{cdef}	4222^{abc}	10.65^{bcde}	88.04^{abcd}	2990^{bc}	76.60^{ef}
19	Azar-2	2939^{abcde}	4350^{a}	15.49^{a}	87.18^{abcde}	2993^{bc}	88.20^{a}
20	Sardari	3043^{ab}	4028^{abcde}	10.20^{cdef}	88.14^{abcd}	4675^{a}	75.07^{fg}

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with a similar letter in each column are not significantly different using Duncan's test.

Table 2. Continued

جدول ۲- ادامه

شماره Code	کلروفیل کل Total chlorophyll	میزان آب نسبی برگ Relative water content	کلروفیل b Chlorophyll-b	میزان پرولین Proline content	وزن هزار دانه 1000-grain weight	تعداد دانه در سنبله No. of grain.spike^{-1}	طول سنبله Spike length
1	16.37^{bcd}	85.82^{ab}	3.62^{abc}	4.42^{abc}	33.93^{e}	40.89^{def}	9.99^{abcde}
2	15.69^{bcd}	87.38^{ab}	3.92^{abc}	3.52^{c}	36de	29.33^{f}	9.44^{bcde}
3	22.57^{ab}	81.74^{b}	7.16^{a}	5.84^{abc}	43.07^{abcd}	34.00^{def}	8.66^{ef}
4	17.12^{abcd}	80.52^{b}	4.95^{abc}	6.55^{ab}	36.73^{cde}	37.00^{def}	9.76^{abcde}
5	18.17^{abcd}	92.26^{a}	6.20^{ab}	4.26^{abc}	32.07^{ef}	43.33^{cde}	7.82^{f}
6	23.58^{a}	80.80^{b}	6.19^{ab}	3.29^{c}	34.13^{e}	57.44^{ab}	9.17^{de}
7	15.47^{bcd}	87.63^{ab}	4.26^{abc}	3.47^{bc}	34.67^{e}	59.33^{a}	10.33^{abcd}
8	20.28^{abc}	86.01^{ab}	4.96^{abc}	6.92^{a}	38.33 ^{bcde}	46.44^{bcde}	10.75^{ab}
9	15.27^{bcd}	86.31^{ab}	2.49^{bc}	3.96^{bc}	26.4^{fg}	63.33^{a}	10.57^{abcd}
10	12.56^{d}	81.07^{b}	0.78^{c}	4.16^{abc}	38.2^{bcde}	27.67^{f}	10.60^{abc}
11	16.28^{bcd}	84.86^{ab}	4.76^{abc}	4.33^{abc}	37.53^{bcde}	37.78^{def}	9.21^{cde}
12	13.32^{cd}	86.94^{ab}	1.80^{bc}	5.04^{abc}	32.27^{ef}	44.66^{cde}	11.08^{a}
13	17.42^{abcd}	85.04^{ab}	2.70^{bc}	3.87^{bc}	49.93^{a}	37.33^{def}	10.82^{ab}
14	21.21^{ab}	80.98^{b}	5.64^{ab}	3.52^{c}	44.4^{ab}	33.22^{ef}	11.04^{a}
15	16.07^{bcd}	82.69^{b}	4.87^{abc}	3.99^{abc}	36.87^{cde}	35.67^{def}	9.26^{cde}
16	15.86 ^{bcd}	83.48^{b}	1.23^{c}	4.70^{abc}	43.07^{abcd}	39.66^{def}	10.13^{abcd}
17	17.34^{abcd}	84.72^{ab}	2.44^{bc}	3.84^{bc}	24.33^{g}	55.11^{abc}	9.23^{cde}
18	15.73^{bcd}	87.10^{ab}	2.38^{bc}	4.05^{abc}	34.2^{e}	46.66^{bcd}	10.32^{abcd}
19	17.92^{abcd}	81.61^{b}	3.32^{abc}	4.71^{abc}	34.4^{e}	39.66^{def}	9.59^{bcde}
20	17.47^{abcd}	82.55^{b}	4.36^{abc}	3.83^{bc}	43.93^{abc}	28.89^{f}	9.99^{abcde}

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with a similar letter in each column are not significantly different using Duncan's test.

مقادیر بالای شاخص‌های TOL و SSI حساسیت بیشتر به تنش رطوبتی را نشان می‌دهد و با توجه به همبستگی منفی این دو شاخص با عملکرد تحت شرایط تنش، با افزایش عملکرد میزان این دو شاخص کاهش می‌یابد. به طور کلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد بودند، به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. همبستگی مثبت بین TOL و عملکرد در شرایط بدون تنش (۰/۱۸) و همبستگی منفی بین TOL و عملکرد در شرایط تنش (**۰/۷۵-) نشان می‌دهد که انتخاب بر اساس TOL کاهش عملکرد تحت شرایط تنش را در پی دارد (Sio-semarde *et al.*, 2006). ریزا و همکاران (Rizza *et al.*, 2004) ثابت کردند که انتخاب بر اساس حداقل کاهش عملکرد تحت شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش (TOL) منجر به شکست در شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها می‌شود. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین MP با عملکرد در شرایط تنش (**۰/۸۶) و بدون تنش (**۰/۸۶) نشان داد که انتخاب بر اساس MP منجر به افزایش عملکرد تحت هر دو شرایط خواهد شد (Houls, 2001). شاخص STI نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد تحت شرایط تنش (**۰/۹۳) و بدون تنش (**۰/۷۴) داشت. مقادیر بالاتر STI برای یک ژنوتیپ بیانگر تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد بالاتر آن می‌باشد (Farshadfar and Shutka, 2003). YSI همان‌طور که توسط بوسلاما و شاپاگ (Bouslama and Schapaugh, 1984) عنوان شد، عملکرد یک رقم را تحت شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش ارزیابی می‌کند و می‌تواند یک شاخص تحمل به خشکی در مواد ژنتیکی باشد. بنابراین ارقامی با YSI بالاتر انتظار می‌رود که تحت هر دو شرایط عملکرد بالاتری داشته باشند.

در این مطالعه همبستگی شدیدی بین YSI و عملکرد تحت شرایط تنش مشاهده شد، اما همبستگی این شاخص با عملکرد تحت شرایط بدون تنش منفی بود، یعنی ارقامی با YSI بالاتر حداقل عملکرد را تحت شرایط بدون تنش و بالاترین عملکرد را تحت شرایط تنش نشان دادند. این نتیجه مطابق با نتایج سی و سه مرده و همکاران (Siosemardeh *et al.*, 2006) بود. همبستگی بین شاخص YI با عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش نیز مثبت و معنی‌دار بود. این نتیجه مخالف نتایج گاوزی و همکاران (Gavuzzi *et al.*, 1997) بود که بیان کردند YI ارقام را فقط بر اساس عملکرد تنش رتبه‌بندی می‌کند و بنابراین ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط تنش و غیر تنش را تشخیص نمی‌دهد.

با توجه به نتایج ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها مشاهده می‌شود که شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI به دلیل همبستگی معنی‌دار و بالایی که با عملکرد تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارا بودند، شاخص‌های مناسبی هستند که می‌توانند برای تخمین پایداری عملکرد و همچنین دستیابی به عملکرد بالا در هر دو شرایط به کار روند. سی و سه مرده و همکاران (Siosemardeh *et al.*, 2006) نیز شاخص‌های MP، GMP و STI را شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ارقام پرمحصول در هر دو شرایط معرفی کردند. فرشادفر و شوتکا (Farshadfar and Shutka, 2003) شاخص‌های MP، GMP و STI را شاخص‌های مطلوبی برای ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های ذرت معرفی کردند.

گزینش بهترین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی

برای گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش و نیز متحمل به خشکی از نمودار سه بعدی استفاده شد (شکل‌های ۲ و ۳). در بررسی نمودار سه بعدی Ys، Yp و STI مشاهده می‌شود که ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴، ۱۹ و ۲۰ در گروه A قرار گرفتند (شکل۲). این ژنوتیپ‌ها دارای مقادیر متوسط تا بالای STI بودند و با قرار گرفتن در شرایط واجد تنش، با وجود کاهش عملکرد ناشی از اثر تنش، همچنان تظاهر بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند که این موضوع نشان دهنده پتانسیل بالای عملکرد در آنها بود. این مسئله خود بیانگر سودمندی این شاخص در جدا کردن ارقام گروه A از سایر گروه‌ها می‌باشد. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۵، ۱۲، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ (گروه B) دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های آبی بودند و فقط برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی خاص مناطق بدون تنش قابل توصیه هستند. ژنوتیپ‌های شماره ۱ و ۱۱ در گروه C قرار گرفتند و برای محیط تنش مناسب هستند. ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۷ و ۱۳ (گروه D) چه در شرایط تنش و چه در شرایط بدون تنش، عملکرد مطلوبی نداشتند و برای برنامه‌های اصلاحی که برای این منظور صورت می‌گیرد، قابل توصیه نیستند. تلاقی بین

ژنوتیپ‌های گروه اول با ژنوتیپ‌های گروه چهارم به عنوان بهترین تلاقی‌ها در ایجاد جمعیت در حال تفرق جهت بهبود ژنتیکی تحمل به تنش خشکی هستند. در نمودار سه بعدی مربوط به شاخص‌های Ys، Yp و GMP (شکل ۳) ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴، ۱۹ و ۲۰ در گروه A قرار گرفتند. در نمودارهای سه بعدی مربوط به شاخص-های Ys، Yp و HMP و نیز عدی Ys، Yp و MP نیز نتایج مشابه با نمودار سه بعدی Yp, Ys و GMP مشاهده شد و به این دلیل این شکل‌ها ارایه نشدند.

تجزیه به مولفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات

با استفاده از نمودار سه بعدی فقط می‌توان ژنوتیپ‌ها را بر اساس سه متغیر متمایز کرد، اما برای تعیین خصوصیات ژنوتیپ‌ها و تفکیک آن‌ها بر اساس تمام شاخص‌های تحمل به خشکی، تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام شد (جدول ۵). با انجام این تجزیه، دو مولفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، ۹۹/۵۸ درصد از کل تغییرات مربوط به این شاخص‌ها را توجیه کردند.

مولفه اصلی اول ۷۴/۱۲٪ از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و این مؤلفه همبستگی مثبت بالایی با شاخص های MP، HMP ، STI و GMP داشت. از آن جا که مقادیر بزرگ‌تر این شاخص‌ها مطلوب است و همچنین نظر به مثبت و قابل توجه بودن ضرایب مربوط به عملکرد در شرایط بدون تنش (Ys) و تنش (Yp) در این مولفه (جدول ۵)، می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های دارای مقادیر عددی بزرگ‌تر برای این مولفه، عملکرد دانه بیشتری دارند و بنابراین این مولفه قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر بود. مولفه دوم ۲۴/۴۵ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و در آن ضرایب مربوط به شاخص‌های TOL و SSI نسبت به مولفه اول بزرگ‌تر بود. در نتیجه ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار عددی بزرگ‌تری برای این مولفه هستند، عملکرد کم‌تری دارند و به عبارت دیگر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها حساس‌تر هستند. بنابراین اولین مولفه را می‌توان به عنوان مولفه تحمل و دومین مولفه را مولفه حساسیت نام‌گذاری کرد. بر این اساس، بای‌پلات مولفه‌های اول و دوم رسم (شکل ۴) و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها انجام شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ژنوتیپ‌ها در گروه‌هایی قرار گرفتند که با میانگین عملکرد و تحمل به تنش آنها مرتبط بود. به‌طور کلی نحوه توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات را می‌توان حاکی از وجود تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تحمل به تنش خشکی نسبت داد، به طوری که ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۴ و ۲۰ در ناحیه با پتانسیل عملکرد بالا و حساسیت پایین به خشکی (قسمت پایین و سمت راست شکل ۴) و ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ در ناحیه با عملکرد پایین و حساسیت بالا به خشکی (قسمت بالا و سمت راست شکل ۴) قرار گرفتند. ژنوتیپ شماره ۱۷ رقم مرودشت است که یک رقم آبی و حساس به خشکی بوده و به عنوان شاهد در این تحقیق استفاده شده است. با توجه به این که ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴ و ۲۰ جزء ژنوتیپ‌های انتخابی از طریق بهترین شاخص‌ها یعنی MP، GMP، HMP و STI نیز بودند و از طرفی در ناحیه مطلوب بای‌پلات نیز قرار گرفته‌اند، به عنوان ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی معرفی می‌شوند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ شماره ۸ (T189) جزء ژنوتیپ‌های دارای بیشترین مقادیر از نظر عملکرد در شرایط بدون تنش، آب نگهداری شده در برگ‌های بریده، طول سنبله، میزان پرولین، میزان آب نسبی برگ و کلروفیل a و b و کل، ژنوتیپ شماره ۹ (T179) جزء ژنوتیپ‌های دارای بیشترین میزان پرولین، کلروفیل a و b و کل، عملکرد در شرایط بدون تنش، آب نگهداری شده در برگ‌های بریده و طول گردن سنبله، بود و ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ (914GB) و ۲۰ (رقم سرداری) نیز از لحاظ صفات مورد بررسی مقادیر بالایی را به خود اختصاص دادند. به این ترتیب، با توجه به تنوع ژنتیکی مشاهده شده در بین ارقام متحمل از لحاظ صفات مورد ارزیابی (جدول‌های ۱ و ۲) می‌توان با انجام تلاقی‌های مرکب ژنوتیپ‌هایی با میزان تحمل خشکی بیشتری تولید کرد. همچنین با توجه به نتایج تجزیه به مولفه های اصلی و بر اساس مدل فرناندز می‌توان از ژنوتیپ‌های حساس (گروه D) و ژنوتیپ‌های متحمل (گروه A) شناسایی شده به عنوان والدین تلاقی‌ها در برنامه‌های اصلاحی جهت تولید جمعیت‌های در حال تفرق استفاده کرد.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات ارزیابی شده تحت شرایط تنش خشکی

Table 3. Correlation coefficient among measured traits in drought stress conditions

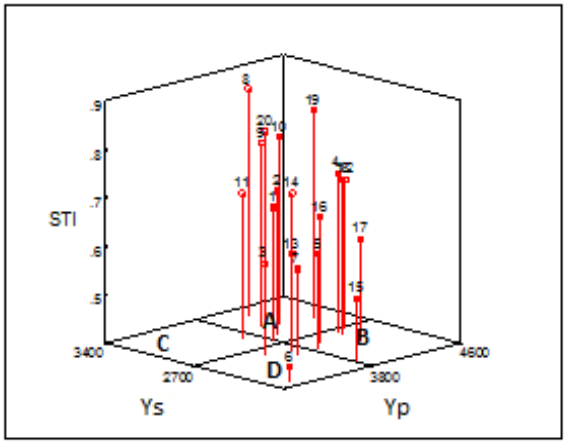
Trait	Ch-a	Ch-b	SL	PH	PL	PC	LWP	NGPS	Ys	STI	RWC	DH	DPM	CMS	WRCL	Ch-T	GW
Ch-b	-0.13	1															
SL	0.25	-0.57**	1														
PH	-0.26	0.10	0.12	1													
PL	-0.07	0.15	0.00	0.69**	1												
PC	-0.29	0.02	0.21	0.48*	0.49*	1											
LWP	0.02	0.17	-0.25	-0.48*	-0.44*	-0.32	1										
NGPS	0.32	-0.24	0.22	-0.75**	-0.49*	-0.10	0.18	1									
Ys	-0.47	-0. 35	0.40	0.22	0.23	0.58**	-0.28	-0.21	1								
STI	-0.01	-0.45*	0.47*	0.25	0.22	0.62**	-0.37	-0.37	0.93**	1							
RWC	-0.30	-0.08	-0.15	-0.36	-0.23	-0.28	0.25	0.18	0.01	-0.02	1						
DH	-0.54*	-0.05	-0.09	0.23	0.04	0.13	0.06	0.43	0.03	-0.10	0.12	1					
DPM	-0.06	-0.12	-.02	-0.27	-0.42	-0.40	0.09	-0.11	-0.36	-0.34	0.12	0.47*	1				
CMS	0.09	-.01	0.11	0.04	0.40	0.58**	0.27	0.36	0.39	0.45*	0.03	-0.32	-0.63**	1			
WRCL	-0.52*	0.25	0.15	0.38	-0.05	0.47*	-0.01	-0.27	0.12	0.16	-0.07	0.44	0.08	0.11	1		
Ch-T	0.26	0.92**	-0.46*	-0.03	0.12	-0.08	0.16	0.03	-0.36	-0.44	-0.22	-0.27	-0.14	0.03	-0.03	1	
GW	0.10	0.24	0.23	0.56**	0.32	0.17	-0.40	0.09	0.01	-0.37	-0.37	-0.01	-0.09	-0.16	-0.25	0.26	1
FLA	0.38	-0.22	0.22	-0.10	-0.08	-0.16	0.04	-0.13	0.24	0.19	-0.23	-0.29	0.09	-0.27	-0.45*	-0.06	0.20

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

†: صفات اندازه‌گیری شده عبارت‌اند از: Ch-a کلروفیل a، Ch-b کلروفیل b، SL طول سنبله، PH ارتفاع بوته، PL طول گردن سنبله، PC محتوای پرولین، LWP پتانسیل آب برگ، NGPS تعداد دانه در سنبله، Ys عملکرد دانه تحت شرایط تنش، STI شاخص تحمل به تنش، RWC میزان آب نسبی برگ، DH تعداد روز تا گلدهی، DPM تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، CMS پایداری غشاء سلولی، WRCL میزان آب نگهداری شده در برگ‌های بریده، Ch-T میزان کلروفیل کل، GW وزن هزار دانه، FLA مساحت برگ پرچم.

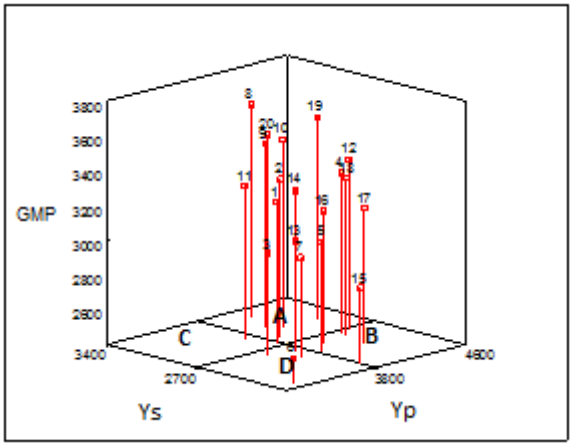
* and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

†: Ch-a, chlorophyll-a; Ch-b, chlorophyll-b; SL, spike length; PH, plant height; PL, paeduncle length; PC, proline content; LWP, leaf water potential; NGS, number of grain per spike; Ys, grain yield under drought stress; STI, syress tolerance index; RWC, relative water content; DH, days to heading; DPM, days to physiological maturity; CMS, cell membrane stability; WRCL, water retained in cut leaves; Ch-T, total chlorophyll; GW, 1000-grain yield; FLA, flag leaf area.



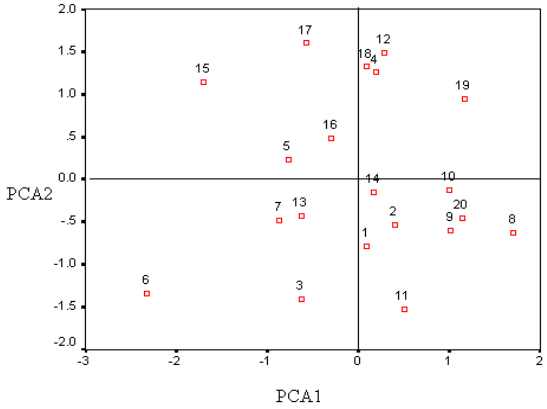
شکل ۲- گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص STI

Figure 2. Grouping the genotypes using STI



شکل ۳-گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص GMP

Figure 3. Grouping the genotypes using GMP



شکل ۴- گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس اولین و دومین مولفه اصلی. اسامی ژنوتیپ‌ها در جدول ۲ ارایه شده است.

Figure 4. Grouping the genotypes based on first and second principal components. The name of genotypes are shown in Table 2.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 4. Correlation coafficientamong drought tolerance indices

شاخص Index	Ys	STI	HAM	MP	SSI	TOL	GMP	Yp	YSI
STI	0.93**	1							
HMP	0.95**	0.99**	1						
MP	0.86**	0.97**	0.97**	1					
SSI	-0.74**	-0.47*	-0.57*	-0.31	1				
TOL	-0.75**	-0.49*	-0.53*	-0.33	0.98**	1			
GMP	0.91**	0.98**	0.99**	0.99**	-0.41	-0.44	1		
Yp	0.48*	0.74**	0.72**	0.86**	0.21	0.18	0.79**	1	
YSI	0.74**	0.46*	0.50*	0.30	-1.00**	-0.98**	0.41	-0.21	1
YI	1.00**	0.93**	0.95**	0.86**	-0.74**	-0.75**	0.91**	0.48*	0.75**

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

†: شاخص‌ها عبارت‌اند از: Ys عملکرد تحت شرایط تنش، HMP میانگین هارمونیک، MP میانگین عملکرد، SSI شاخص حساسیت به تنش، TOL شاخص تحمل، GMP میانگین هندسی، Yp عملکرد تحت شرایط بدون تنش، YSI شاخص پایداری عملکرد، YI شاخص عملکرد.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

†: Ys, yield under stress condition; HMP,harmonic mean productivity ; MP, mean productivity; SSI, stress susceptibility index; TOL, tolerance index; GMP, geometric mean productivity; Yp, yield under non-stress condition; YSI, yield stability index; YI, yield index.

جدول ۵- مولفه‌های اصلی اول و دوم مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 5. First and second principal components for drought tolerance stices

شاخص‌های تحمل به خشکی* Drought tolerance indices*	مولفه‌های اصلی Principal components	
	1	2
Yp	0.669	0.742
Ys	0.974	-0.222
MP	0.954	0.299
GMP	0.982	0.185
HMP	0.996	0.083
STI	0.986	0.119
SSI	-0.578	0.813
TOL	-0.600	0.749

*: شاخص‌ها عبارت‌اند از: Yp عملکرد تحت شرایط بدون تنش، Ys عملکرد تحت شرایط تنش، MP میانگین عملکرد، GMP میانگین هندسی، HMP میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمل به تنش، SSI شاخص حساسیت به تنش، TOL شاخص تحمل.

*: Yp, yield under non-stress condition; Ys, yield under stress condition; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; HMP, harmonic mean productivity; STI, stress tolerance index; SSI, stress susceptibility index; TOL, tolerance index; YSI, yield stability index; YI, yield index.

References

Alimohammadi, M. and Mirmohammady Maibody, S. A. M. 2011. Factor analysis of agronomic and physiological traits of ten bread wheat cultivars under two irrigation conditions. **Journal of Plant Production** 18 (2): 61-76 (In Persian with English Abstract).

Arnon, D. I. 1949. Some aspects of research of field crops in Israel. National and University Institute of Agriculture, Division Press. Rohovot, Israel.

Arzani, A. 2004. Breeding of crop plants (3rd ed.). Isfahan University of Technology Press. Iran. (In Persian).

Barrs, H. D. and Weatherly, P. E. 1962. A re-examination of relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Science** 15: 413-428.

Bates, I. S., Waldern, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress. **Plant and Soil** 39: 205-207.

Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press. USA.

Blum, A., Zhang, J. and Neguyen, H. T. 1999. Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. **Field Crops Research** 64: 287-291.

Bouslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science** 24: 933-937.

Dai, L. J. and Li, Z. Q. 2004. Comparative and functional genomics of wheat. **Acta Botanica Boreal-Occident Sinica** 24 (5): 949-953.

Farshadfar, E. and Shutka, J. 2003. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. **Cereal Research Communications** 31: 1-2.

Fernandez, G. C. J. 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. August 13-18, Taina, Taiwan. pp: 257-270.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. **Australian Jouranl of Agricultural Research** 29: 897-912.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L. and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of droght and heat tolerance in winter ceraeals. **Canadian Journal of Plant Science** 77: 523-531.

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. **Journal of Agronomy and Crop Science** 186: 55-56.

Haghparast, R. 1997. Selection for drought tolerance. M. Sc. Dissertation. Tabriz University, Iran. (In Persian).

HongBo, S., ZongSuo, L. and MingAn, S. 2006. Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at soil water deficits. **Colloides and Surfaces B: Biointerfaces** 47: 132-139.

Houls, T. 2001. Conditions under which selection for mean productivity, tolerance to environmental stress, or stability should be used to improve yield across a range of contrasting environments. **Euphytica** 120: 235-245.

Keim, D. L. and Kronsated, W. E. 1981. Drought response of winter wheat cultivars grown under field stress conditions. **Crop Science** 21: 11-25.

Clarke, G. 1982. Excised leaf water retention capacity as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. **Canadian Journal of Plant Science** 62: 571-576.

Kochaki. A. 2002. Farming in arid ereas: Graminea, legumes, industrial plant and forage crops. Jehaad-e-daneshgahi of Mashhad Press, Iran. (In Persian).

Kocheva, K. and Gorgiev, G. 2003. Evaluation of the reaction of two contrasting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG 6000. **Bulgarian Journal of Plant Physiology** Special Issue: 290-294.

Mohsenzadeh, S., Maloobi, M. A., Razavi, K. and Farrahi-Aschtiani, S. 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit. **Environmental and Experimental Botany** 56: 314-322.

Morgan, J. M. 1984. Osmo-regulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology** 35: 299-319.

Quarrie, S. A., Stojanovic, J. and Pekic, S. 1999. Improving drought resistance in small-grained cereals: A case study, progress and prospects. **Plant Growth Regulation** 29: 1-21.

Rahimian, H. and Banaian, M. 1997. Physiological bases of plant breeding. Jehad-e-Daneshgahi of Mashhad Press, Iran. (In Persian).

Ranjbarfordoei, A., Samson, R., Van Damme, P. and Lemeur, R. 2000. Effects of drought stress induced by polyethylene glycol on pigment content and photosynthetic gas exchange of Pistacia khinjuk and P. mutica. **Photosynthetica** 38: 443-447.

Rascio, A., Platani, C., Scalfati, G., Tonti, A. and Fonzo, N. D. 1994. The accumulation of solutes and water binding strength in durum wheat. **Physiological Plant** 90: 715-721.

Richards, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. **Plant Growth Regulation** 20: 157-166.

Rizza, F., Badeckb, F. W., Cattivelli, L., Lidestric, O., De Fonzok, N. and Stanca. A. 2004. Use of a water stress index to identify barely genotypes adapted to reinfed and irrigated conditions. **Crop Science** 42: 1441-1446.

Rossielli, A. and Hamblin, A. J. 1981. Theorical aspects of selection for stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 1441-1446.

Royo, C., Miloudi, M. M., Di Fonze, N., Arraus, J. L., Pfeiffer, W. H. and Slafer, G. A. 2005. Durum wheat breeding current approaches and future strategies. Vol 1. Food Product Press.

Schafleitner, R., Gaudin, A., Rosales, R. O. G., Aliaga, C. A. A. and Bonierbale, M. 2007. Proline accumulation and real time PCR expression analysis of genes encoding enzymes of proline metabolism in relation to drought tolerance in Andean potato. **Acta Physiology Plant** 29: 19-26.

Singh, B. D. 2000. Plant breeding: Priciples and methods. Kalyani Publisher.

Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Ebrahimzadeh, H. 2004. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. **Iranian Jornal of Agricultural Science** 35 (1): 93-106. (In Persian with English Abstract).

Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research** 98: 222-229.

Sivamani, E., Bahieldin, A., Wraith, J. M., Al-Niemi, T. E., Dyer, W., Ho, T. H. D. and Qu, R. 2000. Improved biomass productivity and water use efficiency under water deficit conditions in transgenic wheat constitutively expressing the barley *hva1* gene. **Plant Science** 155: 1-9.

Van Ginkle, M., Calhoun, D. S., Gebeyehu, G., Miranda, A., Tian You, C., Pagras Lara, R., Trethowan, R. M., Sayre, K., Crossa, L. and Rajaram, S. 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late or continous drought conditions. **Euphytica** 100: 109-121.

Vasquez-Tello, A., Zuily-Fodil, Y., Pham-Thi, A. T. and Vieira da Silva, J. 1990. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. **Journal of Experimental Botany** 228: 827-832.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 5, No. 4, Winter 2015 (327-340)

Evaluation of physiological, phonological and morphological traits related to drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)

Leila Zarei[1*], Ezatollah Farshadfar[2], Reza Haghparast[3], Rahman Rajabi[3] and Maryam Mohammadi Sarab Badieh[4]

Received: September 22, 2014 Accepted: August 17, 2015

Abstract

This research was carried out to identify drought tolerant genotypes on the basis of physiological, phonological and morphological traits and drought tolerance indices in bread wheat. Twenty wheat genotypes were assessed in two field experiments based on randomized complete block design with three replications under non-stress and drought stress conditions in Dryland Agricultural Research Sub-Institute, Sararood, Kermanshah. The studied traits were number of grains per spike, peduncle length, spike length, plant height, 1000-grain weight, days to heading, days to physiological maturity, grain yield, flag leaf area, relative water content, a, b and total chlorophyll, proline content, water retained in cut leaves, cell membrane stability and leaf water potential. Futhermore, drought tolerance indices based on grain yield under stress and non-stress conditions were also evaluated. The results showed that there is significant genetic variation among the studied genotypes for improving drought tolerance. Results of the yield index (YI), yield tolerance index (YTI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), tolerance index (TOL), stability tolerance index (STI) and stress susceptibility index (SSI) identified relatively similar genotypes as the drought tolerant genotypes, but according to the high and significant correlation coefficients among MP, GMP, HMP and STI indices with grain yield under both stress and non-stress conditions, these indices were suitable to identify the high yielding genotypes under both conditions. According to these indices, the genotypes 72YRRGP, T179, T189, 914GB, MARAGHEH(1379-80) and Sardari were detected as the drought tolerant genotypes. Correlation coefficient analysis also revealed that among the evaluated traits, proline content of flag leaf, cell membrane stability and spike length had the stronger relationship with stress tolerance index (STI) and are introduced as the most important traits for selecting drought tolerant genotypes in this research.

Keywords: Cell membrane stability, Drought tolerance indices, Proline content, Relative water content

1. Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Researcher, Dryland Agricultural Research Sub-Institute, Sararood, Kermanshah, Iran
4. M. Sc. Graduate, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
[*] Corresponding author: lzarei1360@yahoo.com