

## شناسایی ژنوتیپ‌های بومی متحمل به خشکی در منابع ژنتیکی گندم انتخابی از بانک ژن گیاهی ملی ایران Identification of drought tolerant genotypes in selected wheat genetic resources in the National Plant Gene-Bank of Iran

یوسف ارشد<sup>۱</sup> و مهدی زهراوی<sup>۲</sup>

### چکیده

ارشد، ی. و م. زهراوی. ۱۳۹۰. شناسایی ژنوتیپ‌های بومی متحمل به خشکی در منابع ژنتیکی گندم انتخابی از بانک ژن گیاهی ملی ایران. مجله علوم زراعی ایران. ۱۳ (۱) ۱۷۲-۱۵۷.

ترجیح دادن مواد اصلاحی پیشرفته از سوی به‌نژادگران در جهت تسریع در تولید ارقام جدید اصلاحی باعث برانگیخته شدن نگرانی جهانی از محدود شدن پایه ژنتیکی ارقام گیاهی گردیده است و این موضوع در تقابل با تنوع ژنتیکی گسترده‌ای است که در بانک‌های ژن موجود می‌باشد، بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های بومی واجد خصوصیات مفید از ارزش زیادی برخوردار است. در این آزمایش ۱۷ ژنوتیپ بومی از کلکسیون گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران به همراه سه رقم کویر، ماهوتی و روشن، به عنوان شاهد، در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در قالب چهار آزمایش جداگانه در شرایط آبیاری معمول، قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی (E1)، سنبله‌دهی (E2) و پرشدن دانه (E3) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ‌های ۳، ۲ و ۱۵، در شرایط E1 مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۱ و ماهوتی، در شرایط E2 مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۱ و ۱ و در شرایط E3 مربوط به ژنوتیپ‌های ۲، ۱ و ۵ بود. ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۵ بطور مشترک در هر سه شرایط تنش در گروه A از تقسیم‌بندی فرناندز قرار گرفتند و از لحاظ شاخص‌های تحمل تنش وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۱ به ترتیب دارای کمترین کاهش عملکرد ناشی از تنش از مرحله پرشدن دانه نسبت به شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) و نسبت به تنش از مرحله سنبله‌دهی بودند. شاخص‌های MP، GMP و STI به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش در سه شرایط E1، E2 و E3 شناسایی شدند. در تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های تحمل به تنش، ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در شرایط E1 به پنج گروه، در شرایط E2 به سه گروه و در شرایط E3 به چهار گروه تفکیک شدند. نتایج اکثر تجزیه‌ها بر لزوم شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل اختصاصی متناسب با مرحله رشدی وقوع تنش خشکی در منطقه کشت مربوطه تأکید داشت.

واژه‌های کلیدی: تحمل به خشکی، شاخص تحمل، شاخص حساسیت و گندم.

## مقدمه

در دسترس بودن آب یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده پراکنش جغرافیایی و تولید محصول در گیاهان است (Bartels, 2001). تنش خشکی بصورت کمبود آب با شدت‌های مختلف ظاهر شده (Ramanjulu and Bartels, 2002) و استمرار کمبود ملایم آب منجر به خشکی و از دست رفتن مقدار زیادی از آب آزاد پروتوپلاسم می‌شود. پاسخ و سازگاری گیاهان به چنین شرایطی بسیار پیچیده و متنوع است (Kotchoni and Bartels, 2003). بنا به طبیعت غیرقابل پیش‌بینی بارش در طی فصل رشد، غربالگری ژنوتیپ‌های گیاهی در مزرعه برای تحمل به خشکی دشوار بوده و باعث کاهش کارایی گزینش می‌شود. میزان و نحوه توزیع بارش در طی فصل رشد متغیر است که منجر به تنش در مراحل مختلف رشد گیاه می‌شود. خشکی یا کم‌آبی در طول فصل کشت ممکن است الف- پیوسته بوده و شدت آن دائماً زیادت‌ر شود ب- فقط در اوایل فصل باشد ج- فقط در اواخر فصل مصادف با دوره دانه‌بندی گندم باشد (Ehdaei, 1993). با توجه به ناشناخته بودن خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهی متفاوتی که در تحمل به تنش تأثیر دارند، عملکرد دانه و اجزای آن به عنوان مهم‌ترین معیار گزینش ژنوتیپ‌های متحمل گندم در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ehdaei et al., 1988). گزینش توسط معیارهای مبتنی بر عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، نتایج بهتری نسبت به انتخاب صرف بر اساس تظاهر در محیط واجد تنش حاصل می‌نماید (Zavala-Garcia et al., 1991). فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل تنش (STI)، فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI)، رزیل و هامبلین (Rosielle and J. Hamblin, 1981) شاخص تحمل (TOL) و شاخص بهره‌وری متوسط (MP) و فرناندز (Fernandez, 1992) و کریستین و همکاران

(Kristin et al., 1997) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد نمودند. عملکرد گندم، بیشترین حساسیت را به تنش خشکی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه دارد، در صورتیکه عمده تأثیر تنش خشکی در مراحل قبل از گرده افشانی گندم، کاهش رشد و نمو و تولید زیست توده است (Rajaram et al., 1995). ماچادو و همکاران (Machado et al., 1993) اظهار داشتند که اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی سبب کاهش تشکیل دانه و در نتیجه سبب چروکیدگی دانه‌ها و کاهش وزن هزار دانه می‌شود. کارامانوس و پاپاتوهاری (Karamanos and Papatheohari, 1999) با معرفی شاخص پتانسیل آب (WPI) میزان تحمل به خشکی را در ژنوتیپ‌های گندم مورد ارزیابی قرار دادند. براساس مشاهدات آنها ارقام پاکوتاه Yecora و Siette Cerros پتانسیل عملکرد بالاتر و سازگاری پائین‌تری در مقایسه با رقم پابلند Generoso داشتند. لویز و همکاران (Lopez et al., 2003) هفت رقم گندم، دو رقم جو و یک رقم تریتیکاله را در گلخانه تحت دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش مورد مقایسه قرار دادند. آنها با استفاده از شاخص حساسیت به خشکی (Fischer and Maurer, 1978) و اندازه‌گیری پروتئینی به نام دهیدرین نتیجه گرفتند که حضور این پروتئین در اکتساب تحمل به خشکی مؤثر می‌باشد. گارسیا دمورال و همکاران (García del Moral et al., 2003) شش لاین گندم دوروم مربوط به سیمیت-ایکاردا و چهار رقم تجاری اسپانیایی گندم دوروم را در دو ناحیه آب و هوایی گرم و خنک و در دو شرایط دیم و آبیاری مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که عملکرد دانه تحت شرایط خنک بیشتر متأثر از وزن دانه بود، در صورتیکه در شرایط گرم تعداد سنبله در متر

۱۹ (Aghaee-Sarbarzeh *et al.*, 2008) در ارزیابی ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی و بدون تنش در شرایط مزرعه و آزمایشگاه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرارود کرمانشاه، رابطه عملکرد دانه با شاخص تحمل به خشکی، صفات گیاهی مربوط به مرحله ساقه‌دهی و شاخص تنش ساقه‌دهی، مثبت و معنی‌دار و با میزان خسارت غشاء سلولی، منفی و معنی‌دار گزارش کردند و در مجموع چهار ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ‌های برتر معرفی نمودند.

ارجحیت دادن به مواد اصلاحی پیشرفته از سوی به‌نژادگران در جهت تولید ارقام جدید اصلاحی سبب برانگیخته شدن نگرانی جهانی از محدود شدن پایه ژنتیکی ارقام گیاهی گردیده است و این در تقابل با تنوع ژنتیکی گسترده‌ای است که در بانک‌های ژن موجود می‌باشد (Valkoun, 2001). حدود ۸۰۰۰۰۰ نمونه ژنتیکی گندم در دنیا موجود است (FAO, 1996) که خزانه ژنتیکی بسیار با ارزشی را برای صفات مختلف در اختیار محققان قرار می‌دهد (Skovmand *et al.*, 2001). بانک ژن گیاهی ملی ایران با دارا بودن بیش از ۱۸۰۰۰ نمونه ژنتیکی گندم یکی از غنی‌ترین بانک‌های ژن در دنیا از این لحاظ می‌باشد. این تحقیق به منظور شناسایی منابع ژنتیکی بومی گندم متحمل به تنش خشکی انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

منابع ژنتیکی مورد استفاده در این تحقیق شامل ۱۷ ژنوتیپ گندم بومی ایران منتخب از آزمایشات قبلی بود. در آزمایشات مذکور ۲۶۰ مورفوتیپ (تک بوته انتخابی) که فقط با اعمال یک آبیاری پس از کاشت در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد از میان ۴۰۹۶ توده بصورت مشاهده‌ای انتخاب شده بودند، طی دو سال در مزارع پژوهشی در ورامین و کرج تحت تنش خشکی بصورت تکراردار ارزیابی شدند و از بین آنها ۱۷ لاین

مربع اثر زیادی بر عملکرد دانه داشت. فیشر و همکاران (Fischer *et al.*, 2005) با انجام شش آزمایش گلخانه‌ای و سه آزمایش مزرعه‌ای به مطالعه نقش تنظیم اسمزی در حفظ عملکرد گندم و پایداری آن در شرایط کمبود آب پرداختند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که تنظیم اسمزی، پتانسیل اسمزی در آماس کامل و پتانسیل آماس می‌تواند به عنوان ابزاری برای غربال ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد. عبدالمیشانی و جعفری شیبستری (Abd-Mishani and Jafari\_Shabestari, 1988) رقم گندم اصلاح شده ایرانی و خارجی را در شرایط آبیاری متداول و آبیاری محدود مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که پتانسیل عملکرد در شرایط آبیاری متداول می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت ارقام در تحت شرایط آبیاری محدود باشد. آنها نتیجه گرفتند که از شاخص مقاومت به خشکی می‌توان جهت شناسایی ارقامی که دارای مقاومت نسبی به خشکی هستند استفاده نمود. سنجری (Sanjari, 1998) شاخص STI را برای گزینش ژنوتیپ‌های گندم با عملکرد بالا و متحمل به خشکی مناسب گزارش کرد. نورمند مؤید و همکاران (Nourmand Moayyed *et al.*, 2001) با ارزیابی ۲۰ لاین گندم در شرایط تنش خشکی و بدون تنش در شرایط مزرعه شاخص‌های STI و GMP را به عنوان بهترین شاخص‌ها گزارش نمودند. قنبری‌پور و سیادت (Ghanbaripour and Siadat, 2002) نیز STI و GMP را به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل گندم نسبت به خشکی اعلام کردند. قدسی و همکاران (Ghodsi *et al.*, 2005) حساسیت مراحل نمو گندم به تنش خشکی را در چهار رقم گندم مطالعه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که مراحل مختلف نمو گندم به تنش خشکی حساسیت متفاوتی دارند و اثر سوء تنش در مراحل پرشدن دانه‌ها و طویل شدن ساقه بر عملکرد از شدت بیشتری برخوردار می‌باشد. آقائی سرریزه و همکاران

شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2} \quad (1)$$

شاخص بهره‌وری متوسط (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$MP = Y_s + Y_p / 2 \quad (2)$$

شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_p - Y_s \quad (3)$$

میانگین هندسی بهره‌وری (Kristin et al., 1997):

$$GMP = \sqrt{(Y_s)(Y_p)} \quad (4)$$

میانگین هارمونیک:

$$HM = 2(Y_p \cdot Y_s) / Y_p + Y_s \quad (5)$$

شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = [1 - (Y_s / Y_p)] / SI \quad (6)$$

در روابط فوق  $\bar{Y}_p$  و  $\bar{Y}_s$  به ترتیب میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در محیط واجد تنش و بدون تنش و  $SI = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$  (شدت تنش)، می‌باشند. شاخص‌های مذکور با قرار دادن آزمایش آبیاری معمول در مقابل سه آزمایش قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه بطور جداگانه محاسبه شدند.

انتخاب شدند (جدول ۱). در این تحقیق ۱۷ نمونه ژنتیکی مذکور به همراه ارقام ماهوتی، کویر و روشن به عنوان شاهد در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور بذر ژنوتیپ‌ها در کرت‌های چهار خطی به طول ۲/۵ متر و به فاصله ۶۰ سانتیمتر از یکدیگر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار آزمایش جداگانه کشت شدند. آزمایش‌ها شامل آبیاری معمول، قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی (E1)، سنبله‌دهی (E2) و پرشدن دانه (مرحله خمیری) (E3) بود. پس از رسیدن کامل بوته‌ها، عملکرد دانه با حذف ۲۵ سانتیمتر از هر طرف از خطوط کشت اندازه‌گیری شد. شاخص‌های تحمل تنش با در نظر گرفتن  $Y_p$  به عنوان عملکرد تحت شرایط بدون تنش و  $Y_s$  به عنوان عملکرد در شرایط تنش خشکی با استفاده از روابط مربوطه به شرح زیر محاسبه شدند:

#### جدول ۱- اسامی و منشاء ژنوتیپ‌های گندم ارزیابی شده

Table 1. Accession number and origin of the evaluated genotypes

شماره No.	کد نمونه ژنتیکی Accession number	منشاء Origin	شماره No.	کد نمونه ژنتیکی Accession number	منشاء Origin	شماره No.	کد نمونه ژنتیکی Accession number	منشاء Origin
1	1354	Iran*	8	3373	Mashhad	15	4228	Mashhad
2	1392	Iran	9	3506	Mashhad	16	4337	Isfahan
3	1399	Iran	10	3684	Iran	17	4402	Isfahan
4	1423	Isfahan	11	3729	Iran	18	Kavir	Commercial
5	1998	Iran	12	3737	Iran	19	Mahooti	Commercial
6	2023	Iran	13	4056	Rafsanjan	20	Roshan	Commercial
7	2853	Iran	14	4127	Khoozestan			

\*: Location where the sample was collected is unknown.

°: محل جمع‌آوری نامشخص است

تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها با استفاده نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام گرفت.

#### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر چهار آزمایش (بدون تنش، قطع

روابط بین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های تحمل با استفاده از تجزیه همبستگی بررسی شد. به منظور تعیین روابط ژنوتیپ‌ها بر اساس تمام شاخص‌های تحمل، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش WARD انجام پذیرفت.

(۲۱/۶ درصد)، ژنوتیپ ۴ دارای کمترین میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش از مرحله پرشدن دانه نسبت به شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) (۱/۴ درصد)، ژنوتیپ ۱۹ دارای کمترین میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش از مرحله ساقه‌دهی نسبت به تنش از مرحله سنبله‌دهی (۶/۸ درصد) و ژنوتیپ ۱۱ دارای کمترین میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش از مرحله سنبله‌دهی نسبت به تنش از مرحله پرشدن دانه (۹/۷ درصد) بود. از این رو مشاهده می‌شود که واکنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط مختلف تنش، متفاوت بود و این نتیجه می‌تواند تأکیدی بر لزوم شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل متناسب با نوع تنش در هر منطقه باشد. از طرف دیگر شناسایی ژنوتیپ‌هایی مانند ۴ و ۱۷ با کاهش ناچیز عملکرد ناشی از قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه نسبت به شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) و نسبت به تنش از مرحله سنبله‌دهی می‌تواند در سیستم زراعت چند کشتی که ذخیره آب آبیاری برای زراعت‌های بعدی الزامی است، بسیار حائز اهمیت باشد. عیوضی و همکاران (Eivazi *et al.*, 2006) در ارزیابی اثر تنش شوری و خشکی بر صفات کیفی ۱۰ رقم گندم نان مشاهده نمودند که ارقام کویر و خزر به ترتیب در شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) و تنش خشکی دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. در مقابل رقم فلات دارای بیشترین درصد کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) بود.

طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992) مناسب‌ترین شاخص تحمل آن است که داری همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌های تحمل تنش با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش در سه آزمایش در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، در آزمایش تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی (E1) شاخص‌های MP، GMP و STI و در آزمایش‌های

آبیاری از مرحله ساقه‌دهی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه بود (نتایج ارائه نشده است). مقدار شدت تنش براساس رابطه فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) در سه شرایط E1، E2 و E3 به ترتیب ۰/۵۳، ۰/۳۵ و ۰/۱۶ برآورد گردید. ژنوتیپ‌های ۳، ۲، ۱۵ و ۱۱ دارای بیشترین عملکرد در شرایط آبیاری معمول (بدون تنش)، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۱، ۱۹ (ماهوتی) و ۹ دارای بیشترین عملکرد در شرایط E1، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۱، ۱ و ۱۸ (کویر) دارای بیشترین عملکرد در شرایط E2 و ژنوتیپ‌های ۲، ۱، ۵ و ۷ دارای بیشترین عملکرد در شرایط E3 بودند. از لحاظ شاخص‌های تحمل تنش، ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۴ دارای کمترین مقدار شاخص TOL (مطلوب) و ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۹ (ماهوتی) دارای کمترین مقدار شاخص SSI (مطلوب) در آزمایش E1، ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۲۰ (روشن) دارای کمترین مقدار شاخص TOL و SSI در آزمایش E2 و ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۷ دارای کمترین مقدار شاخص TOL و SSI در آزمایش E3 بودند. شاخص‌های MP، GMP و STI و ژنوتیپ ۱۱ دارای بیشترین مقدار شاخص HM در آزمایش E1 بودند. ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۲ دارای بیشترین مقدار شاخص‌های MP، GMP، STI و HM به ترتیب در آزمایش‌های E2 و E3 بودند. با مقایسه شاخص‌های تحمل به تنش در سه آزمایش مذکور مشاهده می‌شود که ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۵ بطور متوسط وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۲، ۳ و ۴).

میزان افت عملکرد در شرایط متفاوت تنش خشکی در جدول ۵ ارائه شده است. ژنوتیپ ۹ دارای کمترین میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش از مرحله ساقه‌دهی نسبت به شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) (۴۱/۵ درصد) و تنش از مرحله ساقه‌دهی نسبت به تنش از مرحله پرشدن دانه (۲۸/۳ درصد)، ژنوتیپ ۱۷ دارای کمترین میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش از مرحله سنبله‌دهی نسبت به شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی)

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی در ژنوتیپ‌های گندم

Table 2. Values of stress tolerance indices for drought stress at stem elongation stage in wheat genotypes

شماره No.	کد نمونه ژنتیکی Accession number	عملکرد (بدون تنش) Y <sub>P</sub> (g)	عملکرد (تنش) Y <sub>S</sub> (g)	شاخص تحمل TOL (g)	بهره‌وری متوسط MP (g)	بهره‌وری هندسی GMP (g)	شاخص حساسیت SSI	شاخص تحمل STI	میانگین هارمونیک HM (g)
1	1354	1830.0	771.7	1058.3	1300.8	1188.3	1.1	0.4	1085.6
2	1392	2220.0	840.0	1380.0	1530.0	1365.6	1.2	0.6	1218.8
3	1399	2263.3	1010.0	1253.3	1636.7	1511.9	1.0	0.7	1396.7
4	1423	1658.3	866.7	791.7	1262.5	1198.8	0.9	0.4	1138.4
5	1998	1930.0	848.3	1081.7	1389.2	1279.6	1.1	0.5	1178.6
6	2023	1661.7	803.3	858.3	1232.5	1155.4	1.0	0.4	1083.1
7	2853	1931.7	481.6	1450.0	1206.7	964.6	1.4	0.3	771.1
8	3373	1706.7	736.7	970.0	1221.7	1121.3	1.1	0.4	1029.1
9	3506	1781.7	1041.7	740.0	1411.7	1362.3	0.8	0.6	1314.7
10	3684	1701.7	863.3	838.3	1282.5	1212.1	0.9	0.4	1145.5
11	3729	2031.7	1070.0	961.7	1550.8	1474.4	0.9	0.7	1401.8
12	3737	1870.0	951.7	918.3	1410.8	1334.0	0.9	0.5	1261.4
13	4056	1983.3	1075.0	908.3	1529.2	1460.2	0.9	0.6	1394.3
14	4127	1371.7	615.0	756.7	993.3	918.5	1.0	0.3	849.2
15	4228	2130.0	1023.3	1106.7	1576.7	1476.4	1.0	0.7	1382.5
16	4337	1710.0	703.3	1006.7	1206.7	1096.7	1.1	0.4	996.7
17	4402	1340.0	543.3	796.7	941.7	853.3	1.1	0.2	773.2
18	Kavir	1803.3	931.7	871.7	1367.5	1296.2	0.9	0.5	1228.6
19	Mahooti	1821.7	1045.0	776.7	1433.3	1379.7	0.8	0.6	1328.1
20	Roshan	1683.3	856.7	826.7	1270.0	1200.9	0.9	0.4	1135.5

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله سنبله‌دهی در ژنوتیپ‌های گندم

Table 3. Values of stress tolerance indices for drought stress at heading stage in wheat genotypes

شماره No.	کد نمونه ژنتیکی Accession number	عملکرد (بدون تنش) Y <sub>P</sub> (g)	عملکرد (تنش) Y <sub>S</sub> (g)	شاخص تحمل TOL (g)	بهره‌وری متوسط MP (g)	بهره‌وری هندسی GMP (g)	شاخص حساسیت SSI	شاخص تحمل STI	میانگین هارمونیک HM (g)
1	1354	1830.0	1356.7	473.3	1593.3	1575.7	0.8	0.8	1558.2
2	1392	2220.0	1270.0	950.0	1745.0	1679.1	1.2	0.9	1615.7
3	1399	2263.3	1251.7	1011.7	1757.5	1683.1	1.3	0.9	1611.9
4	1423	1658.3	1110.0	548.3	1384.2	1356.8	1.0	0.6	1329.9
5	1998	1930.0	1256.7	673.3	1593.3	1557.4	1.0	0.7	1522.2
6	2023	1661.7	1141.7	520.0	1401.7	1377.3	0.9	0.6	1353.4
7	2853	1931.7	1243.3	688.3	1587.5	1549.7	1.0	0.7	1512.9
8	3373	1706.7	1106.7	600.0	1406.7	1374.3	1.0	0.6	1342.7
9	3506	1781.7	1218.3	563.3	1500.0	1473.3	0.9	0.7	1447.1
10	3684	1701.7	1020.0	681.7	1360.8	1317.5	1.2	0.5	1275.5
11	3729	2031.7	1380.0	651.7	1705.8	1674.4	1.0	0.9	1643.6
12	3737	1870.0	1050.0	820.0	1460.0	1401.3	1.3	0.6	1344.9
13	4056	1983.3	1186.7	796.7	1585.0	1534.1	1.2	0.7	1484.9
14	4127	1371.7	805.0	566.7	1088.3	1050.8	1.2	0.3	1014.6
15	4228	2130.0	1458.3	671.7	1794.2	1762.5	0.9	1.0	1731.3
16	4337	1710.0	1173.3	536.7	1441.7	1416.5	0.9	0.6	1391.7
17	4402	1340.0	1050.0	290.0	1195.0	1186.2	0.6	0.4	1177.4
18	Kavir	1803.3	1333.3	470.0	1568.3	1550.6	0.8	0.7	1533.1
19	Mahooti	1821.7	1123.3	698.3	1472.5	1430.5	1.1	0.6	1389.7
20	Roshan	1683.3	1276.7	406.7	1480.0	1466.0	0.7	0.7	1452.1

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله پر شدن دانه در ژنوتیپ‌های گندم

Table 4. Values of stress tolerance indices for drought stress at grain filling stage in wheat genotypes

شماره No.	کد نمونه ژنتیکی Accession number	عملکرد (بدون تنش) Y <sub>P</sub> (g)	عملکرد (تنش) Y <sub>S</sub> (g)	شاخص تحمل TOL (g)	بهره‌وری متوسط MP (g)	بهره‌وری هندسی GMP (g)	شاخص حساسیت SSI	شاخص تحمل STI	میانگین هارمونیک HM (g)
1	1354	1830.0	1763.3	66.7	1796.7	1796.4	0.2	1.0	1796.1
2	1392	2220.0	1790.0	430.0	2005.0	1993.4	1.3	1.2	1982.0
3	1399	2263.3	1566.7	696.7	1915.0	1883.1	2.0	1.1	1851.6
4	1423	1658.3	1628.3	30.0	1643.3	1643.3	0.1	0.8	1643.2
5	1998	1930.0	1748.3	181.7	1839.2	1836.9	0.6	1.0	1834.7
6	2023	1661.7	1526.7	135.0	1594.2	1592.7	0.5	0.8	1591.3
7	2853	1931.7	1685.0	246.7	1808.3	1804.1	0.8	1.0	1799.9
8	3373	1706.7	1376.7	330.0	1541.7	1532.8	1.2	0.7	1524.0
9	3506	1781.7	1453.3	328.3	1617.5	1609.2	1.2	0.8	1600.8
10	3684	1701.7	1436.7	265.0	1569.2	1563.6	1.0	0.7	1558.0
11	3729	2031.7	1528.3	503.3	1780.0	1762.1	1.6	1.0	1744.4
12	3737	1870.0	1501.7	368.3	1685.8	1675.7	1.3	0.9	1665.7
13	4056	1983.3	1583.3	400.0	1783.3	1772.1	1.3	1.0	1760.9
14	4127	1371.7	1256.7	115.0	1314.2	1312.9	0.5	0.5	1311.7
15	4228	2130.0	1655.0	475.0	1892.5	1877.5	1.4	1.1	1862.7
16	4337	1710.0	1363.3	346.7	1536.7	1526.9	1.3	0.7	1517.1
17	4402	1340.0	1311.7	28.3	1325.8	1325.8	0.1	0.5	1325.7
18	Kavir	1803.3	1530.0	273.3	1666.7	1661.1	1.0	0.8	1655.5
19	Mahooti	1821.7	1526.7	295.0	1674.2	1667.7	1.0	0.8	1661.2
20	Roshan	1683.3	1536.7	146.7	1610.0	1608.3	0.6	0.8	1606.7



جدول ۵- میزان کاهش عملکرد (درصد) ناشی از تنش خشکی در مراحل مختلف رشد در ژنوتیپ‌های گندم

Table 5. Yield reduction rate due to drought stress at different growth stages in wheat genotypes

شماره No.	کد نمونه ژنتیکی Accession number	E1/Y <sub>p</sub>	E2/Y <sub>p</sub>	E3/Y <sub>p</sub>	E1/E2	E1/E3	E2/E3
1	1354	57.8	25.9	3.6	43.1	56.2	23.1
2	1392	62.2	42.8	19.4	33.9	53.1	29.1
3	1399	55.4	44.7	30.8	19.3	35.5	20.1
4	1423	47.7	33.1	1.8	21.9	46.8	31.8
5	1998	56.0	34.9	9.4	32.5	51.5	28.1
6	2023	51.7	31.3	8.1	29.6	47.4	25.2
7	2853	75.1	35.6	12.8	61.3	71.4	26.2
8	3373	56.8	35.2	19.3	33.4	46.5	19.6
9	3506	41.5	31.6	18.4	14.5	28.3	16.2
10	3684	49.3	40.1	15.6	15.4	39.9	29.0
11	3729	47.3	32.1	24.8	22.5	30.0	9.7
12	3737	49.1	43.9	19.7	9.4	36.6	30.1
13	4056	45.8	40.2	20.2	9.4	32.1	25.1
14	4127	55.2	41.3	8.4	23.6	51.1	35.9
15	4228	52.0	31.5	22.3	29.8	38.2	11.9
16	4337	58.9	31.4	20.3	40.1	48.4	13.9
17	4402	59.5	21.6	2.1	48.3	58.6	19.9
18	Kavir	48.3	26.1	15.2	30.1	39.1	12.9
19	Mahooti	42.6	38.3	16.2	7.0	31.6	26.4
20	Roshan	49.1	24.2	8.7	32.9	44.3	16.9

E1, E2 و E3: به ترتیب عملکرد دانه در شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) و در شرایط تنش خشکی از مراحل ساقه‌دهی، سنبله‌دهی و پر شدن دانه می‌باشند  
Y<sub>p</sub>, E1, E2 and E3: Grain yield at normal conditions and drought stress at stem elongation, heading and grain filling stages, respectively

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل در شرایط تنش خشکی در مراحل مختلف رشد در ژنوتیپ‌های گندم

Table 6. Correlation coefficients between grain yield and tolerance indices under drought stress condition at different growth stages in wheat genotypes

	شاخص تحمل TOL	بهره‌وری متوسط MP	بهره‌وری هندسی GMP	شاخص حساسیت SSI	شاخص تحمل STI	میانگین هارمونیک HM
E1	عملکرد (بدون تنش) Y <sub>p</sub>	0.704**	0.199*	0.803**	0.059	0.690**
	عملکرد (تنش) Y <sub>s</sub>	-0.197	0.840*	0.941**	-0.793**	0.984**
E2	عملکرد (بدون تنش) Y <sub>p</sub>	0.788**	0.954**	0.923**	0.428	0.884**
	عملکرد (تنش) Y <sub>s</sub>	0.096	0.875**	0.915**	-0.349	0.948**
E3	عملکرد (بدون تنش) Y <sub>p</sub>	0.794**	0.956**	0.945**	0.706**	0.933**
	عملکرد (تنش) Y <sub>s</sub>	0.123	0.879**	0.895**	.	0.911**

E1, E2 و E3: به ترتیب اعمال تنش خشکی از مراحل ساقه‌دهی، سنبله‌دهی و پر شدن دانه می‌باشند  
E1, E2 and E3: Drought stress at stem elongation, heading and grain filling stages, respectively

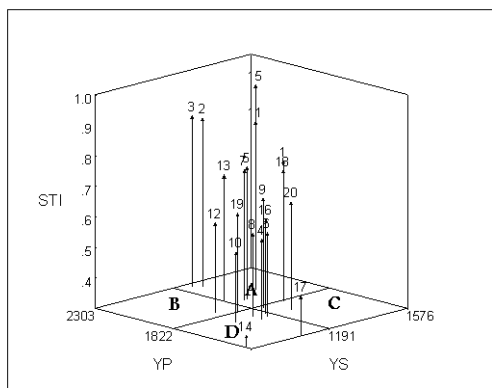
\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

تنش و تنش بودند. بر اساس مجموع نتایج سه آزمایش می‌توان MP، GMP و STI را به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش در نظر گرفت. نورمند مؤید

تنش خشکی از مرحله سنبله‌دهی (E2) و پر شدن دانه (E3) شاخص‌های MP، GMP، STI و HM دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه در دو شرایط بدون

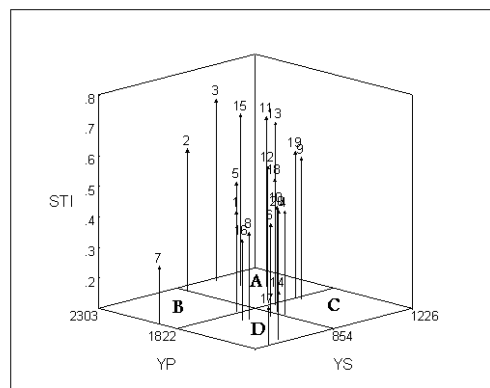
ژنوتیپ‌های واقع در منطقه C فقط در شرایط تنش، عملکرد خوبی دارند. ژنوتیپ ۴ بطور مشترک در آزمایش‌های E1 و E3 و ژنوتیپ‌های ۹، ۱۸ و ۲۰ بطور مشترک در آزمایش‌های E1 و E2 و ژنوتیپ ۱۰ اختصاصاً در آزمایش E1 در این منطقه قرار داشتند. ژنوتیپ‌های واجد عملکرد ضعیف در هر دو شرایط تنش و بدون تنش در منطقه D قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌های ۶، ۸، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ بطور مشترک در هر سه آزمایش در منطقه D واقع شدند. نادری و همکاران (Naderi *et al.*, 2000) با مطالعه ۱۶ ژنوتیپ گندم بهاره در شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) و تنش خشکی بعد از مرحله گرده افشانی مشاهده نمودند که ارقام چمران و فلات دارای بیشترین عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند. متقی و همکاران (Mottaghi *et al.*, 2009) با بررسی ۱۸۰ ژنوتیپ گندم در دو شرایط تنش آبی انتهایی (قطع آبیاری از مرحله گرده افشانی به بعد) ژنوتیپ‌های متحمل دارای پتانسیل عملکرد مطلوب، ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد مطلوب و حساس به خشکی و ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل را شناسایی نمودند.

و همکاران (Nourmand Moayyed *et al.*, 2001) STI و GMP را به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش لاین‌های گندم متحمل به خشکی گزارش نمودند. به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل از نمودار سه بعدی با سه عامل عملکرد در شرایط تنش، بدون تنش و STI استفاده شد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). طبق تعریف فرناندز ژنوتیپ‌های واجد عملکرد بالاتر در هر دو شرایط تنش و بدون تنش در منطقه A قرار می‌گیرند. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۵ بطور مشترک در هر سه آزمایش در منطقه A واقع شدند. ژنوتیپ ۱۱ بطور مشترک در آزمایش‌های E1 و E2 و ژنوتیپ ۱۳ بطور مشترک در آزمایش‌های E1 و E3 در این منطقه قرار داشتند. ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۹ اختصاصاً در آزمایش E1 در منطقه A واقع شدند. ژنوتیپ‌هایی که در منطقه B قرار می‌گیرند فقط در شرایط بدون تنش عملکرد خوبی دارند. ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۵ و ۷ اختصاصاً در آزمایش E1 در منطقه B واقع شدند. ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۹ بطور مشترک در آزمایش‌های E2 و E3 در این منطقه قرار داشتند. ژنوتیپ ۱۳ اختصاصاً در آزمایش E2 و ژنوتیپ ۱۱ اختصاصاً در آزمایش E3 در منطقه B قرار گرفتند.



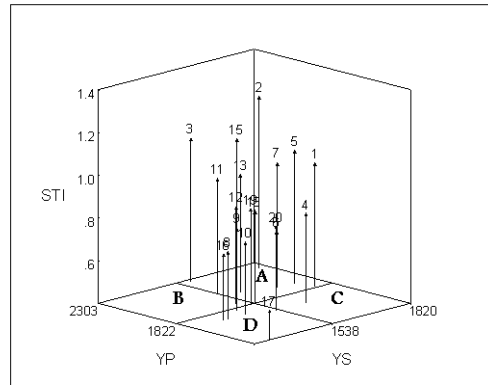
شکل ۲- تفکیک ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی)، عملکرد در شرایط تنش خشکی از مرحله سنبله‌دهی و شاخص STI

Fig. 2. Discrimination of drought tolerant wheat genotypes based on grain yield in non-stress and drought stress conditions at heading stage and STI



شکل ۱- تفکیک ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی)، عملکرد در شرایط تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی و شاخص STI

Fig. 1. Discrimination of drought tolerant wheat genotypes based on grain yield in non-stress and drought stress conditions at stem elongation stage and STI



شکل ۳- تفکیک ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط مطلوب (بدون

تنش خشکی)، عملکرد در شرایط تنش خشکی از مرحله پرشدن دانه و شاخص STI

Fig. 3. Discrimination of drought tolerant wheat genotypes based on grain yield in non-stress and drought stress conditions at grain filling stage and STI

(شکل‌های ۴، ۵ و ۶). ژنوتیپ‌های واقع در ربع چهارم (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). ژنوتیپ‌های واقع در ربع چهارم بای پلات مؤلفه‌های اصلی، متحمل محسوب می‌شوند، زیرا دارای مقادیر بزرگتر مؤلفه اول و مقادیر کوچکتر مؤلفه دوم می‌باشند. این ژنوتیپ‌ها در آزمایش E1 عبارت از ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ بودند که از بین آنها ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۹ در گروه A فرناندز نیز قرار داشتند. اما دو ژنوتیپ ۳ و ۱۵ مربوط به گروه A فرناندز که قبلاً به دلیل وضعیت مناسب شاخص‌های تحمل به تنش در هر سه آزمایش مورد اشاره قرار گرفتند، در ربع اول بای پلات مؤلفه‌های اصلی واقع شده‌اند. این ناحیه مربوط به مقادیر بزرگتر مؤلفه اول و دوم می‌باشد. برای پی بردن به اساس این تفکیک و علت اختصاص یافتن ژنوتیپ‌های مربوط به گروه A فرناندز به دو ناحیه مختلف در بای پلات مؤلفه‌های اصلی، با مراجعه به مقادیر شاخص‌های تحمل برای ژنوتیپ‌های مورد آزمایش (جدول ۲) مشاهده شد که از بین ژنوتیپ‌های مربوط به گروه A فرناندز، دو ژنوتیپ ۳ و ۱۵ دارای بیشترین مقدار شاخص‌های TOL و SSI بودند، در صورتیکه برای تحمل به تنش مقادیر کوچکتری از این شاخص‌ها مطلوب می‌باشد، بنابراین بای پلات مؤلفه‌های اصلی بخوبی توانسته است

تفکیک ژنوتیپ‌ها با استفاده از نمودار سه بعدی فقط بر اساس سه متغیر است، ولی به منظور لحاظ نمودن تمام شاخص‌های مقاومت به تنش، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد (جدول ۷). بر اساس این تجزیه، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، ۹۹/۸۲ درصد، ۹۹/۷۵ درصد و ۹۹/۸۱ درصد از کل تغییرات مربوط به شاخص‌ها را به ترتیب در آزمایش‌های E1، E2 و E3 در بر گرفتند. با توجه به مؤلفه‌های اول هر سه آزمایش مشاهده می‌شود که ضرایب شاخص‌های STI، MP، GMP و HM، که مقادیر بیشتر آنها نشان‌دهنده تحمل بیشتر است، بزرگتر از ضرایب TOL و SSI است که مقادیر کوچکتر آنها نشان‌دهنده تحمل بیشتر است. بنابراین مؤلفه اول در هر سه آزمایش بر تحمل به تنش تأکید دارد و ژنوتیپ‌های واجد مقادیر بزرگتر از لحاظ این مؤلفه تحمل بیشتری خواهند داشت. عکس این حالت در مورد مؤلفه دوم صادق است، مضافاً اینکه ضریب YS (عملکرد در شرایط تنش) نیز در تمامی حالات منفی است، بنابراین بر اساس مؤلفه دوم ژنوتیپ‌های واجد مقادیر کوچکتر تحمل بیشتری خواهند داشت. از این رو می‌توان از مؤلفه‌های اصلی مذکور در تمایز ژنوتیپ‌های متحمل استفاده نمود

عنوان بهترین لاین با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی گزارش نمودند.

به منظور گروه بندی ژنوتیپ ها براساس شاخص های تحمل از تجزیه خوشه ای استفاده شد. برش دندروگرام در کلیه آزمایش ها در فاصله ۵ انجام گرفت. در آزمایش E1 ژنوتیپ ها به پنج گروه تفکیک شدند (شکل ۷).

گروه اول فقط شامل ژنوتیپ هفت بود. این ژنوتیپ به گروه B فرناندز تعلق داشته و دارای بیشترین مقدار شاخص های TOL و SSI و کمترین عملکرد در شرایط تنش در بین کل نمونه ها بود، از این رو می توان آنرا به عنوان حساس ترین ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی از مرحله ساقه دهی نام برد. گروه دوم ژنوتیپ های ۱۴ و ۱۷ را شامل شد. این ژنوتیپ ها در گروه D فرناندز قرار داشتند و دارای کمترین مقدار شاخص های STI، MP، GMP و HM و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش بودند. گروه سوم شامل ژنوتیپ های ۲، ۳ و ۱۵ بود که ژنوتیپ های ۳ و ۱۵ متعلق به گروه A فرناندز و ژنوتیپ ۲ مربوط به گروه B فرناندز بود. گروه چهارم ژنوتیپ های ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ را شامل شد که ژنوتیپ های ۹ و ۱۸ در گروه C فرناندز و ژنوتیپ های ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۹ در گروه A فرناندز قرار داشتند. گروه پنجم ژنوتیپ های ۱، ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۶ و ۲۰ را در بر می گرفت که ژنوتیپ های ۱ و ۵ متعلق به گروه B فرناندز، ژنوتیپ های ۵، ۱۰ و ۲۰ مربوط به گروه C فرناندز و ژنوتیپ های ۶، ۸ و ۱۶ متعلق به گروه D فرناندز بودند. در آزمایش E2 ژنوتیپ ها به سه گروه تفکیک گردیدند (شکل ۸). گروه اول شامل ژنوتیپ های ۱۴ و ۱۷ بود که این ژنوتیپ ها به گروه D فرناندز تعلق داشتند. گروه دوم ژنوتیپ های ۲، ۳، ۱۱ و ۱۵ را شامل می شد که این ژنوتیپ ها در گروه A فرناندز قرار دارند. گروه سوم شامل سایر ژنوتیپ ها گردید که متعلق به مناطق چهارگانه فرناندز بودند.

ژنوتیپ های مربوط به گروه A فرناندز را از یکدیگر تفکیک نماید و این موضوع خود می تواند تأکیدی بر ضرورت انجام این تجزیه علاوه بر انجام تقسیم بندی فرناندز باشد. در آزمایش E2 ژنوتیپ های ۱، ۵، ۱۱، ۱۵ و ۱۸ در ربع چهارم بای پلات مؤلفه های اصلی قرار گرفته اند که همگی آنها (بجز ژنوتیپ ۱۸) به گروه A فرناندز مربوط می شوند. اما ژنوتیپ های ۲، ۳ و ۷ نیز در گروه A فرناندز قرار دارند که در ربع اول بای پلات مؤلفه های اصلی واقع شده اند. در این حالت نیز با مراجعه به مقادیر شاخص های تحمل برای ژنوتیپ های مورد آزمایش (جدول ۲) مشاهده می شود که این ژنوتیپ ها دارای بیشترین مقدار شاخص های TOL و SSI از بین ژنوتیپ های مربوط به گروه A فرناندز می باشند. ژنوتیپ های واقع در ربع چهارم بای پلات مؤلفه های اصلی در آزمایش E3 عبارت از ۱، ۲، ۵ و ۷ بودند که همگی مربوط به گروه A فرناندز می شوند. اما ژنوتیپ های ۳، ۱۳ و ۱۵ نیز که به گروه A فرناندز مربوط می شوند، در ربع اول بای پلات مؤلفه های اصلی واقع شده اند که در این حالت نیز این ژنوتیپ ها دارای بیشترین مقدار شاخص های TOL و SSI از بین ژنوتیپ های مربوط به گروه A فرناندز می باشند. بر اساس این نتایج، شناسایی ژنوتیپی که بطور مشترک در هر سه آزمایش در ربع چهارم بای پلات مؤلفه های اصلی واقع باشد، میسر نشد. این موضوع نشان دهنده اهمیت شناسایی ژنوتیپ های اختصاصی برای تنش در هر مرحله رشدی از گیاه است. بعبارت دیگر نمی توان یک رقم متحمل را برای تنش در تمام مراحل رشدی گیاه توصیه نمود، بلکه بایستی زمان وقوع تنش در ناحیه کشت را مدنظر قرار داد و ژنوتیپ های متحمل را متناسب با آن مرحله رشدی که گیاه با تنش مواجه می شود معرفی نمود. در عین حال نورمند مؤید و همکاران (Nourmand Moayyed et al., 2001) با ارزیابی ژنوتیپ های گندم براساس بای پلات مؤلفه های اصلی و شاخص های تحمل تنش، لاین ۵۷۸۴ را به

"شناسایی ژنوتیپ‌های بومی متحمل به خشکی..."

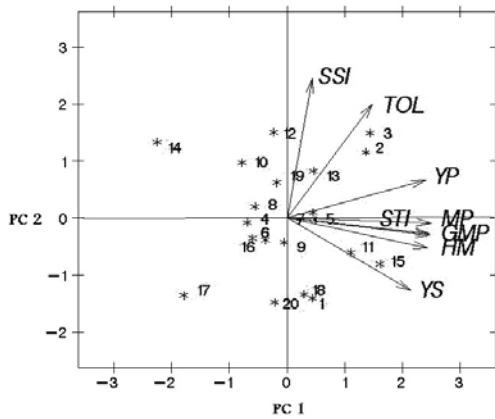
جدول ۷- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل در شرایط تنش در مراحل مختلف رشد ژنوتیپ‌های گندم

Table 7. Eigen values and eigen vectors of drought tolerance at different growth stages of wheat

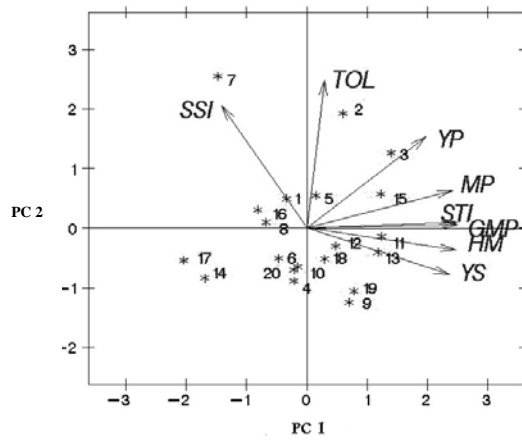
مرحله تنش Stage of Stress	مؤلفه Component	مقدار ویژه Eigen value	سهم Proportion (%)	شاخص‌های تحمل به تنش Stress Tolerance Indices							
				عملکرد (بدون تنش) $Y_p$	عملکرد (تنش) $Y_s$	بهره‌وری متوسط MP	بهره‌وری هندسی GMP	شاخص حساسیت SSI	شاخص تحمل STI	میانگین هارمونیک HM	شاخص تحمل TOL
E1	1	5.761	72.009	0.79	0.949	0.967	0.999	-0.563	0.997	0.988	0.12
	2	2.225	27.814	0.13	-0.314	0.252	0.023	0.824	0.037	-0.147	0.992
E2	1	5.969	74.608	0.963	0.859	0.999	0.992	0.174	0.992	0.977	0.592
	2	2.012	25.144	0.268	-0.511	-0.032	-0.121	0.981	-0.108	-0.21	0.803
E3	1	6.318	78.969	0.986	0.809	0.991	0.986	0.584	0.985	0.979	0.683
	2	1.667	20.836	0.163	-0.587	-0.132	-0.166	0.808	-0.166	-0.201	0.728

E1، E2 و E3: به ترتیب شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) و شرایط تنش خشکی از مراحل ساقه‌دهی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه می‌باشند

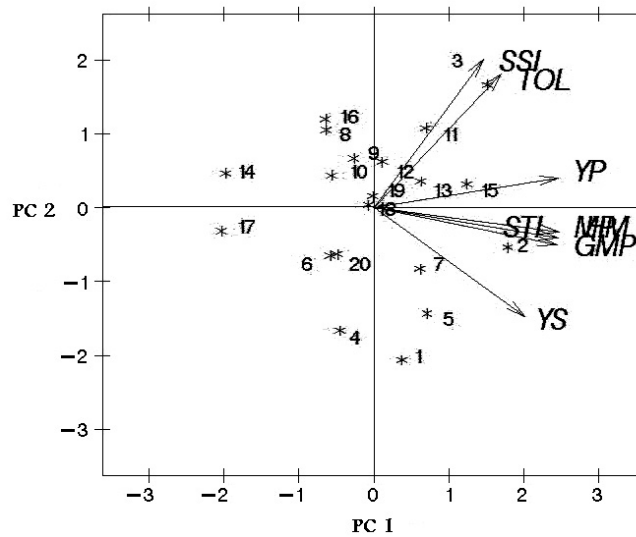
E1, E2 and E3: Normal condition and drought stress at stem elongation, heading and grain filling stages, respectively



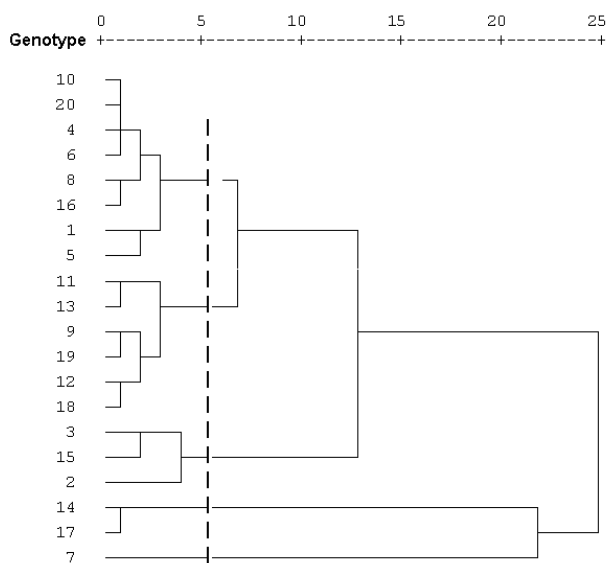
شکل ۵- تفکیک ژنوتیپ‌های گندم بومی ایران براساس دو مؤلفه اصلی و بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله سنبله‌دهی  
 Fig. 5. Discrimination of Iranian wheat landraces based on two principal components and vectors of stress tolerance indices for drought stress at heading stage



شکل ۴- تفکیک ژنوتیپ‌های گندم بومی ایران براساس دو مؤلفه اصلی و بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی  
 Fig. 4. Discrimination of Iranian wheat landraces based on two principal components and vectors of stress tolerance indices for drought stress at stem elongation stage

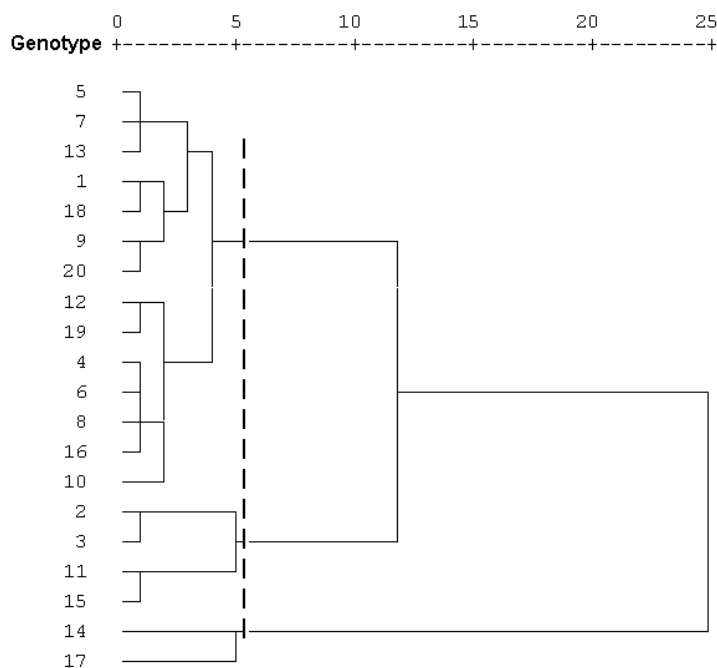


شکل ۶- تفکیک ژنوتیپ‌های گندم بومی ایران براساس دو مؤلفه اصلی و بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله پرشدن دانه  
 Fig. 6. Discrimination of Iranian wheat landraces based on two principal components and vectors of stress tolerance indices for drought stress at grain filling stage



شکل ۷- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم بر اساس شاخص‌های تحمل تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی

Fig. 7. Dendrogram obtained by cluster analysis of wheat genotypes based on stress tolerance indices for drought stress at stem elongation stage



شکل ۸- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم بر اساس شاخص‌های تحمل تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله سنبله‌دهی

Fig. 8. Dendrogram obtained by cluster analysis of wheat genotypes based on stress tolerance indices for drought stress at heading stage

ژنوتیپ‌های ۶، ۸ و ۱۶ در هر سه آزمایش E1، E2 و E3 جزء ژنوتیپ‌های واقع در گروه D فرناندز (عملکرد ضعیف در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) بودند و برتری آنها در اینجا از لحاظ تعداد دانه در سنبله نسبت به سایر نمونه‌ها سؤال برانگیز است. در پاسخ به این ابهام با مراجعه به جدول ۸ مراجعه مشاهده شد که ژنوتیپ ۸ در هر چهار شرایط مطلوب (N)، تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی (E1)، تنش خشکی از مرحله سنبله‌دهی (E2) و تنش خشکی از مرحله پر شدن دانه (E3) دارای کمترین وزن صد دانه بود. همچنین ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۶ جزء نمونه‌های واجد کمترین وزن صد دانه در هر چهار شرایط مطلوب، E1، E2 و E3 بودند، بنابراین افزایش تعداد دانه در سنبله در این ژنوتیپ‌ها با کاهش وزن دانه همراه بوده و به نظر می‌رسد که چروکیدگی و ریز بودن دانه ناشی از تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد در نمونه‌های مذکور شده است. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که وزن دانه (درشتی دانه و عدم چروکیدگی) معیار مناسب‌تری نسبت به تعداد دانه در سنبله، به منظور گزینش برای تحمل به خشکی می‌باشد.

ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۷ (متعلق به گروه D فرناندز در سه آزمایش E1، E2 و E3) دارای کوتاه‌ترین ارتفاع بوته در هر چهار شرایط مطلوب، E1، E2 و E3 بودند. از طرف دیگر ژنوتیپ‌های ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۵ دارای بیشترین ارتفاع بوته در هر چهار شرایط مطلوب، E1، E2 و E3 بودند. از بین این ژنوتیپ‌ها، نمونه‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۵ به تناوب در آزمایش‌های E1، E2 و E3 به گروه فرناندز A و ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۰ به گروه فرناندز C (عملکرد مطلوب در شرایط تنش خشکی) تعلق داشتند، بنابراین به نظر می‌رسد که بلندتر بودن ارتفاع بوته در برخی از ژنوتیپ‌ها برای تحمل به خشکی، به عنوان یک مزیت محسوب می‌شود.

مجموع نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که ذخایر ژنتیکی بومی، منابع مفیدی در

در آزمایش E3 ژنوتیپ‌ها به چهار گروه تفکیک شدند (شکل ۹). گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۷ بود که این ژنوتیپ‌ها به گروه D فرناندز تعلق داشتند. گروه دوم ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۱۵، ۱۳ و ۱۱ را شامل شد که همگی، بجز ژنوتیپ ۱۱ (متعلق به گروه B فرناندز)، در گروه A فرناندز قرار داشتند. گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۷ و ۵ بود که همگی متعلق به گروه A فرناندز بودند. گروه چهارم سایر ژنوتیپ‌ها را شامل گردید که به مناطق B، C و D فرناندز مربوط بودند.

مقادیر برخی از صفات زراعی مهم مرتبط با تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۸ ارائه شده است. بر اساس این مشاهدات ژنوتیپ‌های ۴، ۱۰ و ۱۱ واجد بیشترین وزن صد دانه در شرایط مطلوب (N)، تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی (E1)، تنش خشکی از مرحله سنبله‌دهی (E2) و تنش خشکی از مرحله پر شدن دانه (E3) بودند. همچنین ژنوتیپ ۱۲ در شرایط مطلوب، E1 و E2، ژنوتیپ ۱۴ در شرایط مطلوب، E2 و E3، ژنوتیپ ۵ در شرایط E1 و E2، ژنوتیپ ۱۵ در شرایط E1 و E3 و ژنوتیپ ۱۳ در شرایط E2 و E3 از وزن صد دانه بالاتری نسبت به ارقام شاهد برخوردار بودند. همانطور که اشاره شد ژنوتیپ‌های ۳، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ جزء نمونه‌هایی بودند که در آزمایش‌های E1، E2 و E3 به تناوب در گروه A فرناندز قرار گرفته بودند، بنابراین این نمونه‌ها واجد صفات عملکرد بالا، تحمل به خشکی و بذور درشت محسوب می‌شوند.

ژنوتیپ ۸ و رقم کویر دارای بیشترین تعداد دانه در سنبله در شرایط مطلوب (N)، تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی (E1)، تنش خشکی از مرحله سنبله‌دهی (E2) و تنش خشکی از مرحله پر شدن دانه (E3) بودند (جدول ۸). همچنین ژنوتیپ ۱۶ در شرایط مطلوب، E2 و E3، ژنوتیپ ۶ در شرایط مطلوب، E1 و E3 و رقم روشن در شرایط مطلوب، E1 و E2 از تعداد دانه در سنبله بالاتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند، اما



"شناسایی ژنوتیپ‌های بومی متحمل به خشکی..."

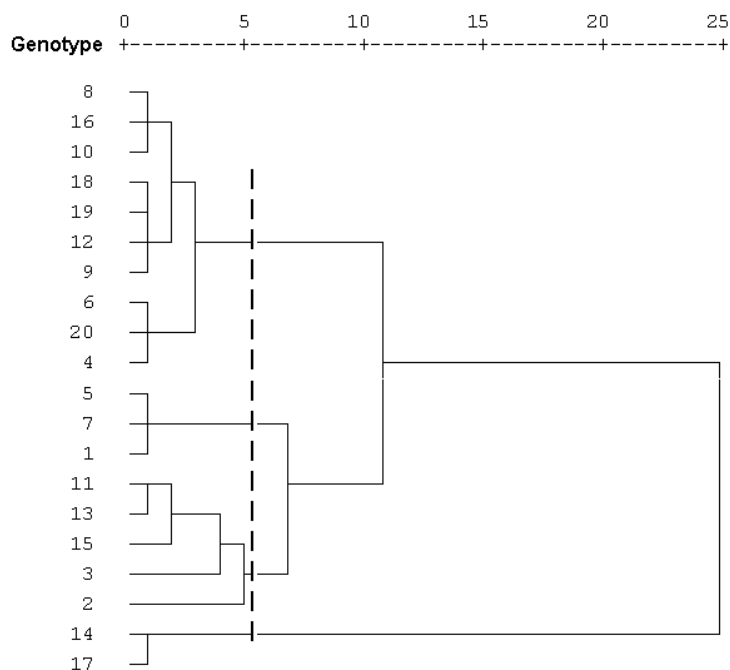
جدول ۸- مقایسه میانگین برخی از صفات گیاهی برای ارزیابی منابع ژنتیکی بومی گندم برای تحمل به تنش خشکی

Table 8. Mean comparison of plant characteristics for drought tolerance evaluation of local wheat genetic resources

شماره No.	کد نمونه ژنتیکی Accession number	وزن صد دانه 100 kernels weight (g)				تعداد دانه در خوشه No. grain.spike <sup>-1</sup>				ارتفاع بوته Plant height (cm)			
		N	E1	E2	E3	N	E1	E2	E3	N	E1	E2	E3
1	1354	5.7efg	4.1c	4.3bc	4.7c	55.3cd	38.3bc	45.9b	51.7gh	121.0ef	96.0ef	97.7b	117.0d
2	1392	5.5cdef	4.4def	4.7def	5.4hijk	54.7cd	36.7ab	43.3b	48.7def	135.0j	98.7fg	105.0d	121.0e
3	1399	5.5cdef	4.6fg	4.6de	5.3ghij	56.4cd	41.7de	51.2c	53.4h	124.3fg	99.7fg	118.3efg	121.3e
4	1423	5.8fg	4.7fg	5.3j	5.4ghijk	49.5ab	39.9cd	43.8b	47.6cde	133.0j	94.0de	120.3g	123.3ef
5	1998	5.6cdef	4.7fg	5.1hi	5.2fghi	54.2cd	41.8de	45.1b	47.8cde	124.3fg	97.0efg	115.3e	122.3ef
6	2023	4.6b	4.2cd	4.4cd	4.4b	63.0f	45.0f	47.0b	53.9h	120.0de	82.7c	96.3b	102.0c
7	2853	5.4cde	4.2cde	4.6de	4.9cd	55.6cd	38.5bc	45.8b	46.9cd	134.3j	84.37c	119.3fg	124.0ef
8	3373	4.2a	3.3a	3.6a	3.8a	85.7f	66.1h	69.4e	78.2j	96.0a	65.0a	81.3a	82.3a
9	3506	5.3cd	4.3cdef	4.5cd	5.1efgh	62.7f	43.3ef	45.9b	51.4fgh	123.0ef	100.7g	115.7e	123.7ef
10	3684	6.2hi	5.3h	5.5j	5.9l	46.7a	35.2a	36.9a	39.1a	133.67j	93.0de	118.0efg	125.3fg
11	3729	6.3j	5.3h	5.6j	5.6jk	46.7a	38.2bc	42.8b	43.7b	128.7hi	91.3d	116.7ef	124.3ef
12	3737	5.8fg	4.8g	5.4j	5.1defg	48.1a	34.6a	45.8b	45.1bc	133.0j	91.3d	124.7i	128.0gh
13	4056	5.4cde	4.6fg	4.8efg	5.7ghij	57.7de	36.0ab	50.7c	53.3h	131.7ij	93.0de	105.0d	116.7d
14	4127	5.9gh	3.6b	5.3ij	5.5ijk	52.7bc	42.5def	45.0b	50.2efg	131.3hij	98.3fg	121.3gh	123.7ef
15	4228	5.6cdef	4.7fg	4.8efg	5.6kl	64.2f	43.5ef	45.2b	45.3bc	133.3j	93.3de	124.0hi	129.0h
16	4337	4.7b	3.4ab	4.1b	4.0a	63.7f	43.1ef	52.9cd	57.3i	122.0ef	85.0c	104.0cd	117.0d
17	4402	5.2c	4.4def	5.0gh	4.9cdef	61.1ef	37.3abc	56.0d	58.3i	92.3a	72.7b	94.7b	85.0a
18	Kavir	4.6b	3.5ab	4.4cd	4.7bc	82.8f	71.1i	74.5f	80.8j	102.0c	74.0b	101.0c	95.7b
19	Mahooti	5.2c	4.5efg	4.6de	4.9cde	53.9cd	45.3f	46.0b	47.4cde	117.0d	85.0c	102.7cd	105.0c
20	Roshan	5.6def	4.7fg	4.8efg	5.3ghi	62.4f	48.4g	52.2cd	52.7gh	127.7gh	85.7c	116.0ef	122.7ef

N, E1, E2 و E3: به ترتیب شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی)، تنش خشکی از مراحل ساقه‌دهی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه

N, E1, E2 and E3: Normal and drought stress conditions at stem elongation, heading and grain filling stages, respectively



شکل ۹- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم بر اساس شاخص‌های تحمل تنش در شرایط تنش خشکی از مرحله پرشدن دانه

Fig. 9. Dendrogram obtained by cluster analysis of wheat genotypes based on stress tolerance indices for drought stress at grain filling stage

(E3). علاوه بر آن ژنوتیپ‌هایی نیز مشخص شدند که توأمأ دارای پتانسیل عملکرد بالا و تحمل در شرایط تنش در هر سه مرحله رشد بودند (ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۵). مضافاً اینکه برای هر مرحله از تنش خشکی، ژنوتیپ‌های متحمل مربوطه نیز مشخص شدند. این تنوع در منابع تحمل می‌تواند ابزار ارزشمندی را در اختیار به‌نژادگران قرار داده و آنها را قادر به انتخاب راهبردهای اصلاحی گوناگون نماید، بطوریکه در صورت اتخاذ هر راهبرد اصلاحی، ژرم‌پلاسم مورد لزوم در دسترس باشد.

به‌نژادی گندم چه به منظور بهبود پتانسیل عملکرد و چه در جهت افزایش تحمل در برابر تنش‌های محیطی به شمار می‌روند، زیرا در این تحقیق ژنوتیپ‌هایی شناسایی شدند (ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵) که پتانسیل عملکرد آنها در شرایط مطلوب (بدون تنش خشکی) از ارقام شاهد بیشتر بود. همچنین ژنوتیپ‌هایی شناسایی شدند که تحمل آنها در شرایط تنش خشکی بیش از ارقام شاهد بود (ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۱۳ در شرایط E1، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱ و ۱۵ در شرایط E2 و ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۱۳ و ۱۵ در شرایط

## References

- Abd-Mishani, C. and J. Jafari\_Shabestari. 1988. Evaluation of wheat cultivars for drought resistance. Iran. J. Agric. 19: 37-43. (In Persian with English abstract).
- Aghaee-Sarbarzeh, M., R. Rajabi, R. Haghparast and R. Mohammadi. 2008. Evaluation and selection of

## منابع مورد استفاده

- bread wheat genotypes using physiologic traits and drought tolerance indices. *Seed and Plant*, 24: 579-600. (In Persian with English abstract).
- Bartels, D. 2001.** Molecular mechanisms of desiccation tolerance in plants. K.B. Storey (Eds.). *Molecular mechanisms of metabolic Arrest: life in limbo*. BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford.
- Ehdaei, B. 1993.** Selection for drought tolerance in wheat. Key note papers of 1<sup>st</sup> Iranian Crop Science Congress. Sep. 6-9, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (In Persian).
- Ehdaei, B., J. G. Waines, and A. E. Hall. 1988.** Differential responses of landrace and improved spring wheat genotypes to stress environments. *Crop Sci.* 28: 838-842.
- Eivazi, A. S., G. H. Abdollahi, I. Salekdeh, A. Majidi and B. Pirayeshfar. 2006.** Effect of drought and salinity stresses on quality traits in wheat (*Triticum aestivum*) varieties. *Iran. J. Crop Sci.* 29: 14-28. (In Persian with English abstract).
- FAO. 1996.** The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, FAO, Rome, Italy.
- Fernandez, G. C. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of a Symp. Taiwan, 13-18 Aug. (1999. by C. G. Kuo. Publisher: AVRDC).
- Fischer, M. R. A., K. D. Sayre and M. P. Reynolds. 2005.** Osmotic adjustment in wheat in relation to grain yield under water deficit environments. *Agron. J.* 97: 1062–1071.
- Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- García del Moral, L. F., Y. Rharrabti, D. Villegas and C. Royo. 2003.** Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agron. J.* 5: 266–274.
- Ghanbaripour, M. A. and H. Siadat. 2002.** Evaluation of water relations of wheat cultivars for resistance to drought. Proceeding of 7<sup>th</sup> Iranian Crop Science Congress. Aug. 24-26, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian).
- Ghodsí, M., M. R. Chaichi, M.R. Jalal-Kamali and D. Mazaheri. 2005.** Determination of susceptibility of developmental stages in bread wheat to water stress and its effect on yield and yield components. *Seed and Plant*, 20: 489-510. (In Persian with English abstract).
- Karamanos, A. J. and A. Y. Papatheohari. 1999.** Assessment of drought resistance of crop genotypes by means of the water potential index. *Crop Sci.* 39: 1792–1797.
- Kotchoni, S. O. and D. Bartels. 2003.** Water stress induces the up-regulation of a specific set of genes in plants: Aldehyde dehydrogenases as an example. *Bulg. J. Plant Physiol. Special Issue:* 37–51.
- Kristin, A. S., R. A. Serna, F. I. Perez, B. C. Enriquez, J. A. A. Gallegos, P. R. Vallejo., N. Wassimi and J. D. Kelley. 1997.** Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci.*, 27: 43-50.
- Lopez, C. G., G. M. Banowitz, C. J. Peterson and W. E. Kronstad. 2003.** Dehydrin expression and drought tolerance in seven wheat cultivars. *Crop Sci.* 43: 577–582.

- Machado, E. C., A. M. A. Lagoa and M. Ticelli. 1993.** Source-sink relationships in wheat subjected to water stress during three productive stages. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 5: 145-150.
- Mottaghi, M., G. Najafian and M. R. Bihamta. 2009.** Effect of terminal drought stress on grain yield and baking quality of hexaploid wheat genotypes. *Iran. J. Crop Sci.* 11: 290-305. (In Persian with English abstract).
- Naderi, A., E. Majidi-Dezfuli, G. Nourmoahammadi and A. Rezaei. 2000.** Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation in grain of spring wheat genotypes under optimum and drought stress conditions. I. Grain yield and its related traits. *Iran. J. Crop Sci.* 2: 58-66. (In Persian with English abstract).
- Nourmand Moayyed, F., M. A. Rostami and M. R. Ghannadha. 2001.** Evaluation of drought resistance indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iran. J. Agric. Sci.* 32: 795-805. (In Persian with English abstract).
- Rajaram, S., H. J. Braun, M. Van Ginkel and P. M. A. Tigersedt. 1995.** CIMMYT's approach to breed for drought tolerance. *Euphytica*, 92: 147-153.
- Ramanjulu, S. and D. Bartels. 2002.** Drought\_ and desiccation\_induced modulation of gene expression in plants. *Plant Cell Environ.*, 25: 141-151.
- Rosielle, A. A. and J. Hamblin, 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non - stress environments. *Crop Sci.* 21: 943 - 946.
- Sanjari, A. G. 1998.** Evaluation of stress tolerant sources and yield stability of wheat cultivars and lines in semi-arid areas of Iran. *Proceeding of 5<sup>th</sup> Iranian Crop Science Congress.* Aug. 31-Sep. 4, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract).
- Skovmand, B., M. P. Reynolds and H. DeLacy. 2001.** Mining wheat germplasm collections for yield enhancing traits. *Euphytica*, 119: 25-32.
- Valkoun, J. J. 2001.** Wheat pre-breeding using wild progenitors. *Euphytica*, 119: 17-23.
- Zavala-Garcia, F., P. J. Bramel-Cox, J. D. Eastin, M. D. Witt and D. J. Andrew. 1991.** Increasing the efficiency of crop selection for unreplicable environments. *Crop Sci.* 32:51-57.

## Identification of drought tolerant genotypes in selected wheat genetic resources in the National Plant Gene-Bank of Iran

Arshad, Y.<sup>1</sup> and M. Zahravi<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Arshad, Y. and M. Zahravi. 2011. Identification of drought tolerant genotypes in selected wheat genetic resources in the National Plant Gene-Bank of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 13 (1) 157-177. (In Persian)

Exploiting advanced breeding materials to accelerate the development of new cultivars by breeders has created global concern about the narrow genetic basis of modern wheat cultivars. This is in contrary with the extensive genetic diversity stored in plant gene banks. Therefore, identifying landraces with useful characteristics would be of great value. Seventeen accessions of wheat collection of the National Plant Gene-Bank of Iran together with three check varieties, Kavir, Mahooti and Roshan, were evaluated in four different conditions; normal irrigation and irrigation ceased at different growth stages of; stem elongation (E1), heading (E2) and grain filling (E3) in 2007-2008 grown season. The highest grain yield belonged to genotypes 3, 2 and 15 in non-stress condition, 13, 11 and Mahooti in E1, 15, 11 and 1 in E2 and 2, 1 and 5 in E3. Genotypes 3 and 15 located at A region of Fernandez diagram in all three stress conditions and were superior to other genotypes, based on stress tolerance indices. Genotypes 4 and 11 had the lowest yield loss due to stress at grain filling as compared to non-stress condition and stress at heading, respectively. MP, GMP and STI were identified as the most favorable indices for all three stress conditions; E1, E2 and E3. Cluster analysis grouped the genotypes in 5, 3 and 4 groups at E1, E2 and E3 conditions, respectively. Results indicated that tolerant genotypes should be identified according to the growth stage at which the drought occurred.

**Key words:** Drought tolerance, Stress tolerance index, Stress susceptibility index and Wheat.

---

Received: November, 2009 Accepted: September, 2010

1- Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran

2- Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran (Corresponding author) (Email: mzahravi@yahoo.com)