تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد یازدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۷
۵۰۲-۴۹۱
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.763.1147

مقایسه تطبیقی شاخص‌های تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌های محلی و اصلاح‌شده برنج ایرانی تحت تنش خشکی و غرقابی

سعید بخشی‌پور[۱]، جعفر کامبوزیا[۲*]، کوروس خوشبخت[۲]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[۲]، مریم حسینی چالشتری[۳]
۱. دانشجوی دکتری کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران
۲. دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران
۳. استادیار پژوهش موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۱

چکیده

معرفی ارقام مقاوم به خشکی در محصولات زراعی یکی از راهکارهای مؤثری است که در تلفیق با سایر روش‌های مدیریت کم‌آبی می‌تواند تأثیر این پدیده را به حداقل برساند. در نتیجه این تحقیق جهت بررسی ۲۰ ژنوتیپ محلی و اصلاح‌شده برنج از نظر تنش خشکی و همچنین شناسایی شاخص‌های مناسب برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی، در آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل با استفاده از طرح پایه بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) در سال‌های زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ اجرا گردید. در این بررسی شاخص تحمل، شاخص پایداری عملکرد، شاخص تحمل به تنش، شاخص حساسیت به تنش، شاخص میانگین هارمونیک، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص میانگین تولید بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و غیر تنش محاسبه گردید. شاخصی که انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس آن نشان‌دهنده ثبات بهتر عملکرد در دو حالت تنش و بدون تنش گردید، به‌عنوان بهترین شاخص در نظر گرفته شد. بر این اساس شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل به تنش، شاخص میانگین هندسی و شاخص میانگین هارمونیک به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند و مناسب‌ترین ارقام بر اساس این شاخص‌ها در هر دو حالت تنش و غیر تنش، شامل ارقام هاشمی، علی کاظمی، شیرودی و سپیدرود بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که برای گزینش بهترین ارقام برنج محلی و اصلاح‌شده ایرانی بر اساس عملکرد از شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل به تنش، شاخص میانگین هندسی و شاخص میانگین هارمونیک استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: **برنج، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل و حساسیت، عملکرد.**

مقدمه

برنج به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی در دنیا بوده و نقش چشمگیری در تغذیه مردم ایران و جهان دارد (Sedaghat et al., 2013). این محصول در بیش از ۱۰۰ کشور جهان تولیدشده و ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین موردنیاز مردم دنیا را تأمین می‌کند (Depar et al., 2011). از طرفی تنش خشکی یک مسئله جهانی است و به‌طور جدی بر تولید و کیفیت دانه غلات اثر می‌گذارد و افزایش جمعیت و تغییر آب‌و هوای جهان این موقعیت را حادتر می‌سازد (Vasil, 2003). تنش خشکی و کم‌آبی، به‌ویژه در سال‌های اخیر، نقش به سزایی در کاهش سطح زیر کشت برنج و میزان عملکرد آن داشته است و پیش‌بینی می‌شود که این مسئله در آینده به‌صورت بسیار جدی بروز نماید. از این‌رو شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی یکی از محورهای اصلی در برنامه‌های اصلاحی برنج در مناطقی ازجمله ایران است که تحت تنش خشکی و یا در معرض خشکی هستند. ارزیابی و درک خصوصیات مورفولوژی و اساس فیزیولوژیکی تغییرات تحمل تنش خشکی می‌تواند برای ایجاد ژنوتیپ‌های جدید زراعی

* نگارنده پاسخگو: جعفر کامبوزیا. پست الکترونیک: J_Kambouzia@sbu.ac.ir

به‌منظور دسترسی به تولید بهتر، تحت شرایط آبی مورد استفاده قرار گیرد (Nam et al., 2001). با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر، کمبود منابع آب در سطح کشور، ناکافی بودن آب در مراحل مختلف رشدی گیاه برنج و درنهایت کاهش عملکرد برنج، ضروری است با برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت صحیح آبیاری از منابع موجود حداکثر استفاده را نموده و ضمن حفظ عملکرد مطلوب، آب مصرفی اراضی شالیزاری را کاهش داده و باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد.

تاکنون روش‌های متعددی جهت ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گیاهی در دامنه وسیعی از شرایط آب‌و هوایی مختلف و تعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه شده است. متخصصین گیاهی معتقدند که برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام متحمل به خشکی، باید شاخص‌هایی را که در شناسایی پایداری عملکرد ارقام در شرایط تنش مؤثرند را شناسایی نمود و آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه به‌عنوان معیارهای انتخاب مورداستفاده قرار داد (Nourmand Moayed, 1997). مقایسه عملکرد در شرایط محیطی متضاد (تنش و بدون تنش) و گزینش ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط سازگار باشند، هدف اصلی این‌گونه پژوهش‌ها بوده است (Rajaram and Van Ginkle, 2001). خصوصیات مهم یک شاخص جهت اینکه معیار خوبی برای بررسی و تظاهر تحمل به خشکی باشد عبارت است از: (الف) بین شاخص مورد نظر و عملکرد در هر دو شرایط همبستگی بالایی وجود داشته باشد، (ب) تنوع ژنتیکی زیادی برای شاخص مورد نظر در جمعیت مورد مطالعه وجود داشته باشد، (ج) وراثت‌پذیری بالایی داشته باشد، (د) شاخص مورد نظر مشخص، تعریف‌شده و اندازه‌گیری آن راحت، دقیق و سریع باشد، به‌طوری‌که گزینش و غربال‌گری تعداد زیادی ژنوتیپ بر اساس آن با سرعت و به‌راحتی صورت پذیرد (Fernandes, 1992).

ارقام یا ژنوتیپ‌ها را بر اساس واکنش آن‌ها به شرایط محیطی تنش و بدون تنش به چهار گروه تقسیم می‌کنند: گروه A (ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در دو محیط تنش و بدون تنش دارند)، گروه B (ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط بدون تنش دارند)، گروه C (ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط تنش دارند)، گروه D (ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پایینی در هر دو محیط دارند) (Fischer and Maurer, 1978). به عقیده فرناندز (Fernandes, 1992) مناسب‌ترین معیار انتخاب برای تنش، معیاری است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش گیاهان در شرایط محیطی مختلف و تعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه شده است. به‌طوری‌که فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1978) تنها شاخص حساسیت به تنش را پیشنهاد نمودند. آن‌ها اعلام نمودند که حساسیت کمتر به تنش نشان‌دهنده تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش (نرمال) و در نتیجه پایداری آن ژنوتیپ است. به‌طورکلی هر چه میزان این شاخص کمتر باشد، بیانگر حساسیت کمتر ژنوتیپ به تنش و تحمل بیشتر آن خواهد بود. انتخاب بر اساس شاخص SSI باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط طبیعی، ولی عملکرد بالا در شرایط محیط تنش می‌گردد. با استفاده از شاخص SSI ژنوتیپ‌های گروه B و C از سایر گروه‌ها بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز قابل‌تمایزند. عیب عمده‌ای که این شاخص دارد این است که قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A از ژنوتیپ‌های گروه C نیست. رزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص تحمل (TOL) را به‌صورت اختلاف بین عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش و شاخص میانگین حسابی را متوسط دو مقدار تعریف نمودند. مقادیر پایین‌تر شاخص TOL نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها به تنش است. برخلاف شاخص TOL، مقادیر پایین‌تر میانگین تولید (MP) دلالت بر حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش دارد. با استفاده از شاخص‌های MP و TOL امکان تفکیک ژنوتیپ‌های گروه B و C از یکدیگر بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز وجود دارد. هنگامی‌که اختلاف نسبی زیادی بین YS و YP وجود داشته باشد، شاخص MP دارای یک اریب به‌طرف پتانسیل عملکرد YP خواهد بود؛ بنابراین جهت رفع این مشکل، شاخص GMP که بر اساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود ارائه گردید (Fischer and Maurer, 1978). همچنین شاخص تحمل به تنش (STI) را به‌عنوان بهترین شاخص گزینش برای تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A معرفی نمود و ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس این شاخص دارای مقادیر بالاتر STI هستند (Fernandez, 1992). هدف از این تحقیق، ارزیابی ارقام مختلف برنج ازنظر تحمل به خشکی، انتخاب بهترین شاخص تحمل به خشکی و مقایسه آن‌ها در

ارقام و شناسایی ارقام متحمل و حساس بر اساس شاخص‌های مناسب تحمل است.

مواد و روش‌ها

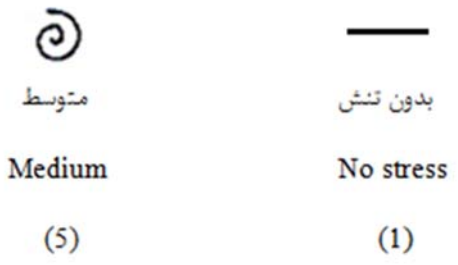
این تحقیق به‌منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های برنج به تنش خشکی بر روی ۲۰ رقم محلی و اصلاح‌شده برنج شامل بینام، حسنی، حسن سرایی، خزر، درفک، دمسیاه، سپیدرود، سنگ جو، شیرودی، صالح، طارم محلی، علی کاظمی، عنبربو، غریب، کادوس، گوهر، گیلانه، ندا، نعمت و هاشمی (جدول ۱) تحت شرایط نرمال و تنش و انتخاب ارقام مناسب‌تر برای شرایط تنش با استفاده از شاخص‌های تحمل در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) در قالب آزمایش فاکتوریل با استفاده از طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. بذر این ارقام، پس از ضدعفونی در خزانه بذرپاشی شد. مشابه با آزمایش ووپیرز و همکاران (Wopereis et al., 1996) از گلدان‌هایی به ارتفاع ۲۵ و قطر ۲۰ سانتی‌متر استفاده گردید. سپس گلدان‌ها از خاک شخم‌خورده گل خراب مزرعه زراعی پر گردیدند و تعداد ۳ نشاء بعد از ۲۵ روز در مرکز هر گلدان در محیط تورخانه کشت گردید.

جدول ۱. ژنوتیپ‌های برنج مورد ارزیابی

Table 1. Evaluated rice genotypes

ردیف No	Cultivar	رقم	Origin	منشأ	Location	موقعیت	Plant height	ارتفاع گیاه	Maturity	رسیدگی
1	Binam	بینام	Guilan	گیلان	Native	محلی	Long	بلند	Medium	میان‌رس
2	Hasani	حسنی	Guilan	گیلان	Native	محلی	Medium	متوسط	Early	زودرس
3	Hasansarayie	حسن سرایی	Guilan	گیلان	Native	محلی	Long	بلند	Medium	میان‌رس
4	Khaza	خزر	Guilan	گیلان	Improved	اصلاح‌شده	Medium	متوسط	Last	دیررس
5	Dorfak	درفک	Guilan	گیلان	Improved	اصلاح‌شده	Medium	متوسط	Early	زودرس
6	Domsiah	دمسیاه	Guilan	گیلان	Native	محلی	Long	بلند	Last	دیررس
7	Sepidrood	سپیدرود	Guilan	گیلان	Improved	اصلاح‌شده	Short	کوتاه	Medium	میان‌رس
8	Sangjo	سنگ جو	Guilan	گیلان	Native	محلی	Medium	متوسط	Early	زودرس
9	Shiroodi	شیرودی	Mazandaran	مازندران	Improved	اصلاح‌شده	Short	کوتاه	Medium	میان‌رس
10	Saleh	صالح	Guilan	گیلان	Improved	اصلاح‌شده	Short	کوتاه	Early	زودرس
11	Tarom	طارم	Mazandaran	مازندران	Native	محلی	Long	بلند	Early	زودرس
12	Alikazemi	علی کاظمی	Guilan	گیلان	Native	محلی	Long	بلند	Early	زودرس
13	Anbarbo	عنبربو	Lorestan	لرستان	Native	محلی	Long	بلند	Last	دیررس
14	Gharib	غریب	Guilan	گیلان	Native	محلی	Long	بلند	Last	دیررس
15	Kadoos	کادوس	Guilan	گیلان	Improved	اصلاح‌شده	Medium	متوسط	Medium	میان‌رس
16	Gohar	گوهر	Guilan	گیلان	Improved	اصلاح‌شده	Short	کوتاه	Last	دیررس
17	Gilaneh	گیلانه	Guilan	گیلان	Improved	اصلاح‌شده	Short	کوتاه	Early	زودرس
18	Neda	ندا	Mazandaran	مازندران	Improved	اصلاح‌شده	Medium	متوسط	Last	دیررس
19	Nemat	نعمت	Mazandaran	مازندران	Improved	اصلاح‌شده	Medium	متوسط	Last	دیررس
20	Hashemi	هاشمی	Guilan	گیلان	Native	محلی	Long	بلند	Early	زودرس

نیتروژن، پتاسیم و فسفر به میزان ۴۵، ۲۰ و ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک یک روز پیش از نشاکاری به هر گلدان افزوده شد. همچنین در هر گلدان ۱۵ میلی‌گرم نیتروژن و ۸ میلی‌گرم پتاسیم در اواسط مرحله پنجه‌زنی و تشکیل خوشه مورداستفاده قرار گرفت. فاصله سطح خاک از لبه گلدان پنج سانتی‌متر بود. سم‌پاشی برای مبارزه با آفت کرم ساقه خوار و بیماری بلاست انجام شد. تعداد گلدان‌ها ۳۶۰ عدد و در هر تکرار از ۱۲۰ گلدان استفاده شد. اطراف تورخانه مورداستفاده کاملاً باز بوده و اجازه تهویه هوا و جریان باد را فراهم می‌کرد تا دما و رطوبت نسبی درون آن از محیط بیرون تفاوت معنی‌داری نداشته باشد. عامل‌ها شامل رقم (۲۰ رقم محلی و اصلاح‌شده) و آبیاری بر مبنای شکل لوله‌شدن برگ صورت گرفت (Cabulsay et al., 2002). آبیاری در دو محیط نرمال و تنش تا مرحله پنجه دهی ژنوتیپ‌ها به‌طور یکسان به‌طور غرقاب انجام شد و بعد از مرحله پنجه‌زنی زمانی که پیچش برگ به‌صورت شکل شماره ۱ درآمد برای هر رقم به‌صورت جداگانه آبیاری صورت گرفت.(Cabulsay et al., 2002)



شکل ۱. وضعیت امتیازدهی به لوله شدن برگ

Fig. 1. Leaf rolling score description

شاخص‌های موردمحاسبه به‌منظور ارزیابی ارقام و لاین‌ها تحت تنش به‌قرار زیر می‌باشند:

SSI: شاخص حساسیت به تنش فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI=1-(YS/YP)/SI \quad [۱]$$

STI: شاخص تحمل به تنش فرناندز (Fernandes, 1992):

$$STI=YP.YS/(YP^{-2}) \quad [۲]$$

TOL: شاخص تحمل رزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL=YP-YS \quad [۳]$$

GMP: میانگین هندسی (Fischer and Maurer, 1978):

$$GMP=\sqrt{YP.YS} \quad [۴]$$

MH: میانگین هارمونیک فرناندز (Fernandes, 1992):

$$HM=\frac{2(YP.YS)}{YP+YS} \quad [۵]$$

MP: میانگین تولید رزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$MP=(YP+YS)/2 \quad [۶]$$

YSI: شاخص پایداری عملکرد بوسلاما و شاپاگ (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI=YS/\overline{Y}P \quad [۷]$$

$$SI=1-\frac{\overline{Ys}}{\overline{Yp}}$$

Yp: عملکرد ارقام در شرایط بدن تنش؛ Ys: عملکرد ارقام در شرایط تنش؛ $\overline{Yp}$: میانگین عملکرد همه ارقام در شرایط بدون تنش؛ $\overline{Ys}$: میانگین عملکرد همه ارقام در شرایط تنش.

برای تعیین عملکرد، در زمان رسیدگی فیزیولوژیک با سخت شدن دانه‌ها بوته‌ها از سطح گلدان کف بر شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه و جداسازی دانه‌ها در آون در دمای ۷۲ درجه و به مدت ۲۴ ساعت خشکانیده و سپس توزین شدند. پس از اندازه‌گیری و ارزیابی شاخص‌های مختلف، ضرایب همبستگی ساده پیرسون بین شاخص‌ها و مقایسه میانگین‌ها با LSD برای عملکرد دانه و شاخص‌ها تحت هر دو شرایط و با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver 9.1) انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص تحمل (TOL)

از لحاظ این شاخص، به ترتیب ژنوتیپ‌های حسنی، حسن سرایی، بینام و علی کاظمی طی دو سال کمترین مقدار شاخص تحمل را به خود اختصاص دادند. با بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مشخص شد که شاخص تحمل در گزینش ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد مناسب باشند، موفق نبود. درواقع شاخص تحمل به‌نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می‌کند؛ یعنی ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص تحمل پایینی هستند تغییرات کمتری نشان

می‌دهند و برعکس پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور تحمل به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیک دارد تا زراعی، بنابراین انتخاب بر اساس شاخص تحمل باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد نسبتاً پایین در دو محیط نرمال و تنش می‌گردد که چنین ژنوتیپ‌هایی ازنظر اشنایدر و همکاران (Schnider et al., 1997) به علت پایین بودن عملکرد ازنظر زراعی مناسب نیستند. پایین بودن شاخص تحمل الزاماً به معنی بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکن است عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد که این باعث کوچک ماندن شاخص تحمل به تنش شود و درنتیجه ژنوتیپ مذکور به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی گردد (Moghaddam and Hadizade, 2002). به‌عنوان‌مثال ژنوتیپ‌های بینام (۱۸/۰۴-۲۷/۹۷) و حسن سرایی (۱۸/۸۶-۲۸/۰۳) که طی دو سال در هر دو شرایط دارای عملکرد نسبتاً کمی نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بودند اما به دلیل افت اندک عملکرد در شرایط تنش بر اساس این شاخص به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی شدند. این شاخص در گزینش ارقامی موفق بوده که عملکرد آن‌ها در شرایط تنش مناسب است، ولی در گزینش ارقامی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد خوب بودند مناسب نبود. هرچند این شاخص به تغییرات کمتر و یا ثبات بیشتر در تغییر شرایط اشاره دارد، ولی کم بودن شاخصTOL لزوماً دلیلی بر بالا بودن عملکرد در شرایط عادی یا تحت تنش نیست بلکه ممکن است یک رقم در شرایط عادی عملکرد پایینی داشته باشد و در شرایط تنش با افت اندک عملکرد روبرو شود که موجب کوچک‌تر شدن شاخص TOL خواهد شد. گزینش بر اساس این شاخص سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه پایین تحت شرایط بدون تنش و عملکرد بالا تحت شرایط تنش می‌گردد. بالاترین مقدار این شاخص به ارقام گوهر، شیرودی، ندا و نعمت تعلق داشت (جدول ۲). پس این شاخص هم قادر به جداسازی گروه A از گروه C نیست؛ بنابراین زمانی معتبر است که همراه با عملکرد بالا در نظر گرفته شود(Khorshidi benam et al., 2008). روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) بیان نمودند هر چه شاخص تحمل کوچک‌تر باشد، حساسیت به خشکی ژنوتیپ کمتر بوده و مطلوب‌تر است.

شاخص حساسیت به تنش (SSI)

از لحاظ شاخص حساسیت به تنش مقادیر عددی پایین نشان‌دهنده تحمل بالای ژنوتیپ‌ها و مقادیر بالا نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی است. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص حساسیت محیطی، مواد آزمایشی را صرفاً بر اساس تحمل و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند، به‌عبارت‌دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد و به‌منظور یافتن ژنوتیپ‌های متحمل این شاخص کارایی بالایی دارد (Fischer and Maurer, 1978). در واقع در شاخص حساسیت تغییر یا آسیب وارده به ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش مدنظر قرار می‌گیرد. به این معنی که اگر ژنوتیپی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالاتری باشد اما درصد تغییرات زیادی را نشان دهد به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی نمی‌شود. ژنوتیپ‌های علی کاظمی، هاشمی، طارم و سنگ جو کمترین مقدار شاخص حساسیت به تنش را به خود اختصاص دادند و بنابراین در بین ژنوتیپ‌ها، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ‌های گوهر، دمسیاه، ندا و خزر به ترتیب بیشترین مقدار SSI را به خود اختصاص دادند و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۲). برتری ارقام محلی نسبت به ارقام اصلاح‌شده برای این شاخص مشهودتر بود. ارزیابی شاخص تحمل برای ژنوتیپ‌های موردمطالعه نیز نشان داد که معمولاً ژنوتیپ‌هایی که تحمل مطلوبی به تنش رطوبتی نشان دادند، پتانسیل عملکرد بالایی نداشتند. به‌طورکلی مقادیر کمتر SSI و TOL نشان‌دهنده تحمل بالای ژنوتیپ‌ها نسبت به خشکی است .(Sori et al., 2005) باید توجه کرد صرفاً پایین بودن مقادیر شاخص‌های SSI و TOL برای یک ژنوتیپ به‌منزله مناسب بودن آن جهت کشت در شرایط تنش یعنی بالا بودن میزان عملکرد آن در شرایط تنش نیست، زیرا ژنوتیپ‌هایی یافت می‌شوند که دارای حساسیت بسیار پایینی نسبت به خشکی می‌باشند، اما پتانسیل عملکرد پایینی نیز دارند (Golabadi et al., 2006).

شاخص تحمل به تنش (STI)

فرناندز (Fernandes, 1992) شاخص تحمل به تنش را ارائه کرد که قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش است. مقادیر بالاتر

شاخص STI برای یک ژنوتیپ، نمایان گر تحمل به خشکی بالاتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ است. بنابراین شاخص STI قادر به تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B و C است. ژنوتیپی که مقدار شاخص STI آن بالاتر است، تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد بالایی دارد؛ که بالاترین مقدار آن به ارقام شیرودی، سپیدرود، نعمت و گوهر اختصاص یافت. کمترین مقدار این شاخص نیز به ارقام حسن‌سرایی، دمسیاه، بینام و حسنی تعلق داشت (جدول ۲). در این شاخص برتری با ارقام اصلاح‌شده بود.

میانگین تولید (MP)

شاخص میانگین تولید (MP) نیز باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در شرایط مطلوب دارند ولی از عملکرد کمی در شرایط نامطلوب برخوردارند (Rosielle and Hamblin, 1981). ژنوتیپ‌های گوهر و ندا از لحاظ شاخص MP به‌عنوان ارقام مناسب شناخته شدند در حالی‌که ازلحاظ شاخص SSI به‌عنوان ژنوتیپ حساس شناخته شدند که نشان‌دهنده این است که این ژنوتیپ‌ها دارای میانگین عملکرد بالا بودند ولی درصد تغییرات زیادی را نشان داده‌اند. بیشترین مقدار این شاخص به ارقام شیرودی، گوهر، نعمت و سپیدرود و کمترین آن به ارقام حسن سرایی، بینام، دمسیاه و حسنی تعلق داشت (جدول ۲).

میانگین هندسی (GMP)

فرناندز (Fernandes, 1992) شاخص مفید دیگری به نام میانگین هندسی را نیز معرفی کرد. این شاخص در مقایسه با شاخص MP در تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها قدرت بیشتری دارد. شاخص GMP حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت YP و YS دارد، درصورتی‌که شاخص MP، زمانی که اختلاف نسبی زیادی بین YP و YS وجود داشته باشد، میل زیادی به‌طرف YP نشان خواهد داد (Fernandes,1992). هر چه میزان عددی این شاخص بیشتر باشد تحمل نسبی به تنش بیشتر است؛ اما این شاخص مثل شاخص MP در گزینش ارقامی که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش هستند مناسب نیست (Fernandez, 1992)؛ بنابراین شاخص GMP در مقایسه با شاخص MP قدرت بالاتری در تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها دارد و بر همین اساس بود که فرناندز (Fernandes, 1992) شاخص STI را بر اساس شاخص GMP بنا گذاشت. بالاترین مقدار این شاخص به ترتیب به ارقام اصلاح‌شده شیرودی، سپیدرود، نعمت و گوهر و کمترین مقدار این شاخص به ارقام محلی حسن سرایی، دمسیاه، بینام و حسنی تعلق داشت (جدول ۲).

پایداری عملکرد (YSI)

بوسلاما و اسچاپائوگ (Bouslama and Schapaugh, 1984) شاخص پایداری عملکرد (YSI) را معرفی کردند که نشان‌دهنده میزان تحمل ژنتیکی رقم به تنش است. نتایج تغییرات عملکرد (نسبی) به‌وضوح نشان‌دهنده تأثیرات شدید کم‌آبی بر عملکرد ارقام اصلاح‌شده است. به همین دلیل ارقام محلی تقریباً از میزان شاخص پایداری عملکرد بهتری نسبت به ارقام اصلاح‌شده برخوردار می‌باشند. با توجه به جدول ۲ که بیانگر مقدار افت نسبی عملکرد ارقام اصلاح‌شده نسبت به ارقام محلی است می‌توان گفت میزان افت نسبی عملکرد ارقام اصلاح‌شده تقریباً بیشتر از ارقام محلی است. بالاترین مقدار این شاخص به ارقام هاشمی، علی کاظمی، طارم و سنگ جو و کمترین مقدار آن به ارقام گوهر، دمسیاه، ندا و خزر تعلق داشت (جدول ۲).

میانگین هارمونیک (HM)

بر اساس شاخص میانگین هارمونیک از بین ۲۰ رقم مورد بررسی به ترتیب ارقام شیرودی، سپیدرود، نعمت و گوهر به‌-عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند، میزان بالای عددی این شاخص نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش است. از مقایسه میانگین تولید، میانگین هندسی و شاخص تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها مشخص گردید که انتخاب بر اساس این معیارها منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط می‌گردد. سایر محققین نیز این نتیجه را برای شاخص‌های مذکور گزارش کرده‌اند (Nourmand Moayed, 1997). ریچاردز (Richards, 1996) بیان نمود که انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش باعث انتخاب ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط تنش می‌گردد، چراکه آلل‌های مطلوب در شرایط تنش خشکی انتخاب می‌شوند و در همین زمان پاسخ به انتخاب در شرایط بدون تنش به دلیل وراثت‌پذیری بالاتر عملکرد در این شرایط نسبت به شرایط تنش، حداکثر است. در همین رابطه با

جدول ۲. برآورد شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های موردمطالعه بر اساس عملکرد دانه در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۳

Table 2. Estimation of drought tolerance indices of genotypes based on grain yield during 2014-15

Cultivar	رقم	تحمل TOL		پایداری عملکرد YSI		تحمل به تنش STI		حساسیت SSI		میانگین هارمونیک HM	
		2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Binam	بینام	9.41 h	10.45 efg	0.64 abc	0.65 cdefg	0.31 k	0.36 k	0.97 fgh	1.00 def	20.07 gh	23.80 i
Hasani	حسنی	9.01 h	9.32 g	0.66 ab	0.68 abcd	0.34 jk	0.35 k	0.92 hi	0.91 ghi	21.20 fgh	23.89 i
Hasansarayie	حسن‌سرایی	9 h	9.9 fg	0.64 abc	0.66 bcdef	0.30 k	0.34 k	0.97 fgh	0.97 efg	19.66 h	23.32 i
Khazar	خزر	14 def	14.75 cd	0.59 cde	0.62 fgh	0.49 hi	0.55 fg	1.11 bc	1.09 c	25.08 efgh	29.42 efgh
Dorfak	درفک	15.32 cde	14.99 cd	0.65 abc	0.68 abcd	0.90 e	0.91 c	0.95 ghi	0.91 ghi	34.18 bcd	38.23 bc
Domsiah	دم سیاه	11.42 fgh	12.38 def	0.57 de	0.61 ghi	0.30 k	0.36 k	1.16 ab	1.11 bc	19.54 h	23.80 i
Sepidrood	سپیدرود	16.88 bcd	16.52 c	0.64 abc	0.68 abcd	1.05 bc	1.06 b	0.97 fgh	0.91 ghi	36.89 b	41.32 b
Sangjo	سنگ جو	10.64 gh	10.55 efg	0.66 ab	0.69 abc	0.47 i	0.49 hi	0.92 hi	0.89 hij	24.85 efgh	28.00 fghi
Shiroodi	شیرودی	19.86 ab	20.12 b	0.65 abc	0.66 bcdef	1.52 a	1.42 a	0.95 ghi	0.97 efg	44.56 a	47.75 a
Saleh	صالح	15.14 cde	14.52 cd	0.57 de	0.64 defg	0.51 hi	0.60 ef	1.16 ab	1.02 de	25.39 efg	30.92 efgh
Tarom	طارم محلی	12.85 efg	12.35 def	0.66 ab	0.70 ab	0.68 f	0.69 d	0.92 hi	0.86 ij	29.76 cde	33.33 cde
Alikazemi	علی‌کاظمی	10.32 gh	9.84 fg	0.67 a	0.71 a	0.47 i	0.48 i	0.89 i	0.83 j	24.78 efgh	27.84 ghi
Anbarbo	عنربو	10.36 gh	10.7 efg	0.63 abcd	0.67 abcde	0.37 j	0.42 j	1.00 efg	0.94 fgh	21.75 fgh	25.93 hi
Gharib	غریب	12.66 efg	12.94 de	0.64 abc	0.67 abcde	0.60 g	0.63 e	0.97 fgh	0.94 fgh	27.90 e	31.74 efg
Kadoos	کادوس	15 cde	16.02 c	0.61 abcde	0.63 efgh	0.66 f	0.69 d	1.05 cde	1.06 cd	29.17 de	33.10 def
Gohar	گوهر	22.18 a	23.42 a	0.56 e	0.57 i	1.02 c	1.03 b	1.19 a	1.22 a	35.67 b	39.89 b
Gilaneh	گیلانه	14.4 def	15.1 cd	0.62 abcde	0.65 cdefg	0.67 f	0.71 d	1.03 def	1.00 def	29.53 de	33.64 cde
Neda	ندا	18.66 b	21.1 ab	0.60 bcde	0.59 hi	0.96 d	0.93 c	1.08 cd	1.17 ab	35.14 bc	38.09 bcd
Nemat	نعمت	17.41 bc	19.86 b	0.64 abc	0.62 fgh	1.08 b	1.02 b	0.97 fgh	1.09 c	37.37 b	40.02 b
Hashemi	هاشمی	11 gh	10.64 efg	0.67 a	0.70 ab	0.54 h	0.54 gh	0.89 i	0.86 ij	26.68 ef	29.47 efgh

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD

ادامه جدول ۲. برآورد شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های موردمطالعه بر اساس عملکرد دانه در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۳

Continue Table 2. Estimation of drought tolerance indices of genotypes based on grain yield during 2014-15

Cultivar	رقم	میانگین هندسی GMP		میانگین تولید MP		عملکرد تنش (gr) YS		عملکرد پتانسیل (gr) YP	
		2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Binam	بینام	20.58 gh	24.34 h	21.12 h	24.90 h	16.41 h	19.67 i	25.82 kl	30.12 l
Hasani	حسنی	21.65 gh	24.33 h	22.12 gh	24.77 h	17.61 gh	20.11 i	26.62 kl	29.43 l
Hasansarayie	حسن‌سرایی	20.14 h	23.82 h	20.64 h	24.33 h	16.14 h	19.38 i	25.14 l	29.28 l
Khazar	خزر	25.97 fgh	30.28 fgh	26.90 defg	31.17 defg	19.9 fg	23.79 gh	33.9 hi	38.54 g
Dorfak	درفک	34.99 bcde	38.93 bcde	35.82 bc	39.65 bc	28.16 b	32.15 bc	43.48 d	47.14 d
Domsiah	دم سیاه	20.30 h	24.54 h	21.09 h	25.31 h	15.38 h	19.12 i	26.8 kl	31.5 k
Sepidrood	سپیدرود	37.80 abc	42.11 ab	38.73 b	42.91 b	30.29 b	34.65 b	47.17 bc	51.17 c
Sangjo	سنگ جو	25.39 fgh	28.48f gh	25.94 defgh	28.97 fgh	20.62 efg	23.69 gh	31.26 ij	34.24 i
Shiroodi	شیرودی	45.60 a	48.75 a	46.67 a	49.78 a	36.74 a	39.72 a	56.6 a	59.84 a
Saleh	صالح	26.42 fgh	31.72 fg	27.48 def	32.54 def	19.91 fg	25.28 fg	35.05 gh	39.8 fg
Tarom	طارم محلی	30.41 bcdef	33.88 def	31.09 cde	34.44 de	24.66 cd	28.26 def	37.51 efg	40.61 f
Alikazemi	علی‌کاظمی	25.29 fgh	28.25 fgh	25.81 efgh	28.68 fgh	20.65 efg	23.76 gh	30.97 j	33.6 ij
Anbarbo	عنربو	22.33 fgh	26.45 gh	22.92 fgh	26.99 gh	17.74 gh	21.64 hi	28.1 k	32.34 jk
Gharib	غریب	28.58 defg	32.37 efg	29.27 de	33.01 def	22.94 def	26.54 fg	35.6 fgh	39.48 fg
Kadoos	کادوس	30.07 cdef	34.01 def	30.99 cde	34.94 cde	23.49 de	26.93 efg	38.49 e	42.95 e
Gohar	گوهر	37.22 bc	41.45 b	38.84 b	43.07 b	27.75 bc	31.36 bcd	49.93 b	54.78 b
Gilaneh	گیلانه	30.35 bcdef	34.44 cdef	31.19 cd	35.26 cd	23.99 d	27.71 ef	38.39 ef	42.81 e
Neda	ندا	36.28 bcd	39.43 bcd	37.46 b	40.82 b	28.13 b	30.27 cde	46.79 c	51.37 c
Nemat	نعمت	38.32 ab	41.17 bc	39.30 b	42.35 b	30.59 b	32.42 bc	48 bc	52.28 c
Hashemi	هاشمی	27.22 efgh	29.93 fgh	27.77 def	30.40 efg	22.27 def	25.08 fg	33.27 hij	35.72 h

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

توجه به نتایج ضریب همبستگی بین شاخص‌های مختلف و عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش، ملاحظه شد که شاخص‌های MP، GMP، HM و STI دارای ویژگی ذکرشده می‌باشند. این شاخص‌ها با عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که میزان بالایی از این شاخص‌ها را دارا بودند به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در این مطالعه شناخته شدند. فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2001) شاخص‌های MP، GMP و STI را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در دو محیط تنش و بدون تنش در گندم شناسایی نمودند. فرناندز (Fernandes, 1992) با استفاده از نتایج همبستگی بین شاخص‌های TOL، MP، SSI و STI با YS و YP نتیجه گرفت که STI، شاخص عملکرد بالقوه و تحمل به تنش در بسیاری از گیاهان زراعی است و قادر است که ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها جدا نماید. سمیع زاده و همکاران (Samizadeh et al., 1998) در نخود نیز گزارش نمودند که شاخص‌های MP و STI به‌عنوان بهترین شاخص‌ها می‌توانند جهت دستیابی به ارقام پر محصول در هر دو شرایط محیطی بکار روند. همچنین انتخاب شاخص‌های MP، GMP و STI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در این تحقیق با نتایج امام‌جمعه (Emamjomeh, 2000)، سوری و همکاران (Sori et al., 2005) و فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2001) در مطالعه بر روی نخود و همچنین با نتایج عزیزی نیا و قنادها (Azizinia and Ghanadha, 2004)، عزیزی نیا و همکاران (Azizinia et al., 2005) و معروفی و فرشادفر (Maroofi and Farshadfar, 2002) بر روی گندم مطابقت دارد.

همبستگی ساده بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی

همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها به کار رود. نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل نشان داد که همبستگی عملکرد دانه در شرایط آبیاری و تنش طی دو سال با شاخص‌های MP، GMP، HM، TOL و STI در سطح احتمال یک درصد مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طورکلی شاخص‌هایی که در هر دو محیط بدون تنش و دارای تنش همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشته باشند، می‌توانند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط می‌باشند (Fernandes, 1992). در همین رابطه با توجه به نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های مختلف و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان شاخص‌های MP، GMP، HM، TOL و STI را به‌عنوان شاخص‌هایی برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی که قادرند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را نشان دهند انتخاب نمود. اما مشکل تعدادی از این شاخص‌ها این است که قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها نیستند. به‌طورکلی فرناندز (Fernandes, 1992) با استفاده از نتایج همبستگی بین شاخص‌های MP، SSI، TOL و STI نتیجه گرفت که STI شاخص عملکرد بالقوه و تحمل به تنش در بسیاری از گیاهان زراعی است و قادر است ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها جدا نماید. فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1978) دریافتند که حساسیت به خشکی (SSI) به‌طور مثبت و معنی‌دار با عملکرد تحت شرایط بدون تنش همبستگی دارد که بیانگر این است که تعدادی از صفات که در پتانسیل عملکرد سهم دارند، ممکن است برای افزایش حساسیت به تنش عمل کنند و لذا گزینش هم برای عملکرد تحت شرایط بدون تنش و هم برای شاخص حساسیت به خشکی، ممکن است یکدیگر را خنثی کنند. این اختلاف بین روابط عملکرد تحت شرایط بدون تنش و شاخص حساسیت، احتمالاً ممکن است ناشی از تحمل ژنوتیپ‌های مورداستفاده و اختلاف در زمان و شدت تنش اعمال‌شده بر روی گیاهان باشد. به‌طورکلی ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالاتر شاخصه‌های STI، HM، GMP و MP و مقادیر پایین‌تر TOL و SSI نشان‌دهنده تحمل بالای ژنوتیپ‌ها نسبت به خشکی است. باید توجه نمود که صرفاً پایین بودن مقادیر شاخصه‌های TOL و SSI برای یک ژنوتیپ به‌منزله مناسب بودن آن جهت کشت در شرایط تنش یعنی بالا بودن میزان عملکرد آن در شرایط تنش نیست، زیرا ژنوتیپ‌هایی یافت می‌شوند که دارای حساسیت بسیار پایینی نسبت به خشکی می‌باشند، اما پتانسیل عملکرد پایینی نیز دارند (Sori et al., 2005). می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که برای گزینش بهترین ارقام در شرایط خشکی می‌توان از عملکرد ارقام برنج ایرانی

در حالت غرقاب و خشکی استفاده نمود. فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1978) دریافتند که حساسیت به خشکی به‌طور مثبت و معنی‌دار با عملکرد تحت شرایط بدون تنش همبستگی دارد که بیانگر این است که تعدادی از صفات که در پتانسیل عملکرد سهم دارند ممکن است برای افزایش حساسیت به تنش عمل کنند و لذا گزینش هم برای عملکرد تحت شرایط بدون تنش و هم برای شاخص حساسیت به خشکی ممکن است یکدیگر را خنثی کنند. این اختلاف بین روابط عملکرد تحت شرایط بدون تنش و شاخص حساسیت، احتمالاً ممکن است ناشی از تحمل ژنوتیپ‌های مورداستفاده و اختلاف در زمان و شدت تنش اعمال‌شده بر روی گیاهان باشد. ازنظر شاخص‌های تحمل به خشکی، بیشترین مقدار شاخص میانگین حسابی، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک، شاخص تحمل و کمترین مقدار شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل متعلق به ارقام محلی و اصلاح‌شده هاشمی، علی کاظمی، شیرودی و سپیدرود بود (جدول ۲). با توجه به این‌که ارقام محلی و اصلاح‌شده هاشمی، علی کاظمی، شیرودی و سپیدرود از نظر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در وضعیت مطلوبی قرار داشتند و در ضمن از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی نیز بهتر از سایر ارقام موردمطالعه بودند. بدین لحاظ می‌توان آن‌ها را مناسب‌ترین ارقام برای کاشت در شرایط تنش و بدون تنش توصیه نمود. لازم به ذکر است که به دلیل وراثت‌پذیری پایین عملکرد، آن را نمی‌توان تنها معیار تحمل به خشکی دانست و علاوه بر آن باید به شاخص‌های تحمل به خشکی که در بالا ذکر شدند و سایر صفات زراعی نیز توجه نمود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ارقام پاکوتاه تحمل نسبی تقریباً خوبی به تنش خشکی نشان دادند که از انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به خوشه ناشی می‌شود، همچنین تحمل به تنش بیشتر در ارقام پاکوتاه ناشی از اندازه کوچک‌تر نسبی آن‌ها و نسبت رشد آهسته‌تر یا کمتر آن‌ها است، لیکن به علت اینکه ارقام اصلاح‌شده در کنار پاکوتاهی عملکرد بالاتری نسبت به ارقام پابلند داشتند، این ارقام تحت شرایط تنش کمبود آب می‌توانند بر ارقام پابلند مزیت داشته باشند.

جدول ۳. ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی برای ارقام برنج در شرایط نرمال و تنش

Table 3. Simple correlation coefficients for drought tolerance indices and grain yield of rice cultivars under normal and drought conditions

		TOL شاخص تحمل	YSI شاخص پایداری عملکرد	STI شاخص تحمل به تنش	SSI شاخص حساسیت به تنش	HM میانگین هارمونیک	GMP میانگین هندسی	MP میانگین تولید
YP	عملکرد در شرایط بدون تنش	0.93**	-0.26ns	0.98**	0.26 ns	0.98**	0.99**	0.99**
YS	عملکرد در شرایط تنش	0.81**	-0.02 ns	0.98**	0.02 ns	0.99**	0.99**	0.98**

n.s و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

n.s and **: Non – significant and significant at 1and 5% level of probability, respectively

نتیجه‌گیری کلی

بررسی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی با استفاده از عملکرد ارقام مختلف تحت تنش و همچنین بررسی همبستگی بین این شاخص‌ها درمجموع می‌توان گفت علاوه بر اینکه ارقام اصلاح‌شده در مقایسه با ارقام محلی عملکرد نسبی کمتری در تنش خشکی دارند، این ارقام نیازمند به وجود حالت غرقاب و ایستابی آب نیز می‌باشند، این در حالی است که دور آبیاری برای ارقام محلی می‌تواند تا دورهای طولانی‌تر نیز افزایش یابد. ارقام محلی سازگاری مناسب‌تری در مقایسه با ارقام اصلاح‌شده به شرایط تنش داشتند و میزان افت عملکرد کمتری را نشان دادند. بررسی تحمل ارقام به تنش خشکی نیازمند داشتن اطلاعات در مورد میزان آب مصرفی است. در این صورت تهیه نمودار تغییرات افت عملکرد در مقابل تغییرات آب مصرفی نسبی مخصوصاً در شرایطی که ناچار به مقایسه ارقام مختلف باشیم اطلاعات بهتر و درست‌تری را در مقایسه با روش استفاده صرف از شاخص‌های تحمل به خشکی به دست می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این بررسی

می‌توان توصیه نمود در شرایط کمبود آب ارقام محلی کاشته شوند. در کل نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که شاخص‌های حساسیت به تنش، تحمل به تنش، میانگین هندسی و میانگین هارمونیک به‌عنوان بهترین شاخص‌ها در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در ارقام برنج معرفی می‌شوند. در نتیجه با توجه به شاخص‌های مذکور، می‌توان از میان ارقام محلی هاشمی و علی کاظمی و ارقام اصلاح‌شده شیرودی و سپیدرود را به‌عنوان ارقام مناسب‌تر محتمل به تنش خشکی معرفی نمود.

منابع

Azizinia, Sh., Ghanadha, M.R., 2004. Determination of the suitable drought resistance indices in wheat native wheat. In: Proceedings of the 8th Iranian Crop Science Congress, Rasht, Iran. 76 p. [In Persian with English Summary].

Azizinia, Sh., Ghanadha, M.R., Zali, A.A., Yazdi Samadi, B., Ahmadi, A., 2005. Evaluation and assess of quantitative traits related to drought tolerance in wheat. Agricultural Sciences. 36, 281-292. [In Persian with English Summary].

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

Cabulsay, G.S., Ito, O., Alejar, A.A., 2002. Physiological evaluation of response of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Sciences. 163, 815-827.

Depar, N., Rajpar, I., Memon, M. Y., Imtiaz, M., Zia-Ulhassan, M., 2011. Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes. Pakistan Journal of Agricultural Engineering and Veterinary Sciences. 27: 134-142.

Emamjomeh, A., 2000. Evaluation of genetic distance drought resistance and analysis of adaptation, using RAPD-PCR in Iranian chickpea. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Razi University of Kermanshah, Iran. [In Persian with English Summary].

Fernandes, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.), Proceedings of the International on Adaptation of Vegetables and other Food Crop to Temperature Water Stress, Taiwan, 13-18 August. pp. 257-270.

Farshadfar. A., Zamani, M., Matlabi, M., Imam Jome, A., 2001. Selection for drought tolerance in pea lines. Iranian Agriculture Science Journal. 32, 65-77. [In Persian with English Summary].

Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. Australian Journal Agricultural Research. 29, 897-912.

Golabadi, M., Arzani, A., Maibody, S.A.M., 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research. 5, 162-171.

Khorshidi benam, M., Abdi, B., Iranipour, Sh., Akbari, R., 2008. Effects of terminal season drought stress on tolerance indices in 9 rice improvement cultivars and lines. Agroecology Journal. 4(11), 17-29. [In Persian with English Summary].

Klapetek V., Havrland B., Mazancova, J., 2010. Comparison of lowland rice irrigation systems in the Red River Basin (Vietnam). Agricultural Tropica et Subtropica. 43(2), 113-118.

Maroofi, A., Farshadfar, A., 2002. Evaluation of drought resistance in Wheat substitution lines lines in normal and drought stress conditions. In: Proceedings of the 7th Iranian Crop Science Congress, Karaj, Iran, pp. 610. [In Persian with English Summary].

Moghaddam, A., Hadizade, M.H., 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Plant seed journal. 18, 255-272. [In Persian with English Summary].

Nam, N.H., Chauhan, Y.S., Johansen, C., 2001. Effect of timing of drought stress on growth and grain yield of extra-short-duration

pigeonpea lines. Journal Agriculture Science. 136, 179–189.

Nourmand Moayed, F., 1997. Study on quantitative trait and their relationship with yield in bread wheat under irrigated and dry land conditions and determination of the most appropriate drought resistance index. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Iran. [In Persian with English Summary].

Rajaram, S. and Van Ginkle, M., 2001. Mexico, 50 years of international wheat breeding. In: Bonjean, A.P., Angus, W.J. (Eds.), the World Wheat Book: A History of Wheat Breeding. Lavoisier publish, Paris, France. 579-604 pp.

Richards, R.A., 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant growth regulation. 20, 157-166.

Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 21, 943-945.

Samizadeh, H., Talei, A., Gerami, A., Pourdavai, H., 1998. Study on drought susceptibility indices in pea. P. 248. In: Proceedings of 5th Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding. Aug 30- Sept 3. Seed and Plant Improvement Institute, Karadj, Iran. [In Persian with English Summary].

SAS system for Windows. Release, Version 6. 12. SAS Inst., Cary, Nc. USA.

Schnider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-Allejo, P., Wassimi, N., Kelly, J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science. 37, 43-50.

Sedaghat, N., Pirdashti, H., Asadi, R., Mosavi Taghani, Y., 2013. Response of yield and yield components of two rice cultivars (Improved and traditional) to different irrigation management. Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Technology). 27(2), 415-421. [In Persian with English Summary].

Sori, J., Dehghani, H., Sabaghpor, S.H., 2005. Study of genotypes of chickpea in water stress condition. Iranian Journal of Agriculture Science. 6, 1517-1527. ([In Persian with English Summary].

Vasil, I.K., 2003. The science and politics of plant biotechnology a personal perspective, Nat. Biotechnol. 21(8), 849–851.

Wopereis, M.C.S., Kropff, M.J., Maligaya, A.R., Toung, T.P. 1996. Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. Field Crops Research. 46, 21-39.