نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد چهاردهم، شماره ۳(۵۵)، پاییز ۱۳۹۹، صفحه ۳۲۴-۳۱۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2020.679064

تعیین شاخص‌های تحمل به خشکی تعدادی از ژنوتیپ‌های منتخب برنج تحت تنش خشکی در مرحله گلدهی

زینب هروی‌زاده[۱]، مرتضی سام دلیری[۲]*، مرتضی مبلغی[۲]، امیرعباس موسوی[۳] و مجتبی نشائی مقدم[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۸

چکیده

تنش خشکی به‌عنوان یک چالش مهم در کاهش تولید در گیاهان شناخته شده است، معهذا شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی یکی از راه‌کارهای غلبه بر شرایط نامساعد محیطی است. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس برنج به تنش خشکی در مرحله گلدهی در شرایط مزرعه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت، آزمایشی با ۱۵ ژنوتیپ برنج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط بدون تنش (غرقاب) و تنش خشکی در سال زراعی ۱۳۹۷ در دو منطقه عباس آباد و کتالم اجرا گردید. برای ارزیابی میزان حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش ($\bar{Y}p$) و تنش ($\bar{Y}s$)، شاخص‌های تحمل تنش، میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، تحمل (TOL)، تحمل به تنش (STI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI) و حساسیت به تنش (SSI) مورد ارزیابی قرار گرفتند. از میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ‌های شصتک (۵۴/۶۲) و علی کاظمی (۴۶/۹۲) به‌ترتیب بیشترین مقدار را برای شاخص HM نشان دادند. بر مبنای شاخص MP و GMP، ژنوتیپ‌های شصتک (۶۱/۰۴) و سنگ طارم (۳/۱۵) و بر مبنای شاخص STI به‌ترتیب ژنوتیپ‌های شصتک (۱/۵۴) و علی کاظمی (۱/۰۸) برتر بودند. کمترین مقدار شاخص حساسیت به تنش (SSI) و بیشترین مقدار شاخص پایداری عملکرد (YSI) با روند رتبه مشابه به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های شیرودی (۰/۳۲) و خزر (۰/۷۶) محاسبه شد. عملکرد در شرایط تنش (Ys) ارتباط مثبت و معنی‌داری با همه شاخص‌های تنش به جز شاخص‌های تحمل (TOL) و میانگین هندسی (GMP) نشان داد. تجزیه کلاستر بر اساس ۱۰ شاخص مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی باعث تشکیل ۲ گروه گردید. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفه اول بیش از ۹۲/۶ درصد از اطلاعات کل را شامل شدند. مؤلفه اول ۵۸/۷۶ درصد تغییرات کل را توجیه کرد. با توجه به شاخص تحمل خشکی ژنوتیپ‌های شصتک، علی‌کاظمی و سنگ‌طارم نظر به دارا بودن بیشترین میزان عملکرد در هر دو شرایط محیطی و داشتن شاخص تحمل به تنش بالا به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل پیشنهاد می‌شوند.

واژگان کلیدی: تحمل خشکی، ژنوتیپ، شاخص تحمل، عملکرد دانه.

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

۴- مربی پژوهشی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

نگارنده‌ی مسئول drmorteza.sam98@gmail.com

مقدمه

برنج احتمالاً قدیمی‌ترین دانه اهلی شده است که بیش از ۹ درصد از زمین‌های قابل کشت در زمین را پوشش می‌دهد و برای بیش از نیمی از جمعیت جهان غذای اصلی به شمار می‌رود و ۲۰ درصد از کالری جهان را تأمین می‌کند (Venuprasad *et al*., 2007; Ghiasi Oskoei *et al*., 2014; Toorchi, 2015). رشد جمعیت در دنیا خصوصاً در کشورهای در حال توسعه روز به روز در حال افزایش است و این در حالی است که امکان گسترش و توسعه اراضی زراعی به دلیل کمبود زمین‌های حاصل‌خیز و رقابت محصولات از نظر اقتصادی در سیستم زراعی با یکدیگر بسیار اندک است. ضمن این که عواملی نظیر خشکی، بیماری‌ها، آفات،افزایش مصرف کودهای شیمیایی، کاهش حاصل‌خیزی و فرسایش خاک‌های موجود، آلودگی محیط زیست و غیره باعث کاهش محصول می‌شوند (Karami *et al*., 2018; Farooq *et al*., 2009; Malakouti, 2011). بنابراین، افزایش عملکرد گیاهان زراعی از اهداف مهم برای هماهنگی با افزایش جمعیت جهان است (Maleki *et al*., 2011). برنج اغلب به‌عنوان یکی از حساس‌ترین گیاهان زراعی نسبت به تنش‌های خشکی محسوب می‌شود. پیشرفت‌های به‌نژادی از نظر افزایش تحمل به تنش خشکی بدون این که با کاهش تولید یا کیفیت روبرو شود بسیار کند بوده است. تنش کمبود آب همواره با تنش دمای بالا همراه است که منجر به محدود شدن تولیدات گیاهان زراعی می‌شود (Xu *et al*., 2011). کاهش آب در دسترس گیاه در رژیم‌های آبیاری چند روزه بیش از تحمل گیاه به‌ویژه در مرحله گیاهچه‌ای بر صفات رشدی گیاه اثر منفی گذاشته و سبب کاهش رشد رویشی می‌شود (Salehifar *et al*., 2014). گیاهان از سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی یا غیرآنزیمی برای مقاومت در برابر تنش اکسیداتیو (ایجاد شده توسط خشکی) استفاده می‌نمایند (Kabiri *et al*., 2014). آبیاری تکمیلی در مرحله زایشی می‌تواند گزینه مدیریتی برای کاهش جنبه‌های منفی خشکی انتهای فصل باشد (Maleki *et al*., 2011). برنج در مرحله گلدهی بسیار حساس به تنش خشکی است و این بدان معنی است که پس از خارج نمودن آب مزرعه، ژنوتیپ با دوره گلدهی کوتاه‌تر نسبت به ژنوتیپی که گلدهی آن به تاخیر افتاده، کمتر تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرد (Lafitte, 2003). مطالعات مختلفی به‌منظور ارزیابی عملکرد ارقام مختلف برنج نسبت به تنش خشکی انجام گرفته است از جمله، در مطالعه پیردشتی و همکاران (Pirdashti *et al*., 2004) تنش خشکی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد پنجه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد شلتوک گردید. عرفانی و همکاران (Erfani *et al*., 2010) به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های متحمل تنش خشکی برنج آزمایشی در شرایط مزرعه انجام دادند. ارقام از نظر کلیه شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی و نیز عملکردهای بدون تنش و تنش اختلاف بسیار معنی‌دار آماری نشان دادند. نتایج حاصل از تجزیه کلاستر شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که بین گروه‌های مختلف ژنوتیپ‌های برنج بر مبنای این شاخص‌ها تنوع وجود دارد. لذا می توان از این تنوع برای اهداف مختلف اصلاحی در شرایط تنش خشکی بهره جست. در هر دو سطح تنش، شفق، فجر، ساحل، نعمت و لاین ۸ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب شدند. فلاح شمسی و همکاران (Falah

shamsi *et al.*, 2013) نشان دادند که بیشترین کاهش عملکرد دانه و راندمان تبدیل کل به‌ترتیب در رقم هاشمی و درفک و کمترین کاهش این صفات در لاین ۸۳۱ به‌دست آمد. به‌طورکلی، تنش کمبود آب باعث کاهش عملکرد دانه و خواص کیفی دانه برنج می‌شود. غیاثی و همکاران (Ghiasi Oskoei *et al.*, 2013) نشان دادند که در شرایط غرقاب، بیشترین میانگین عملکرد متعلق به ژنوتیپ دم‌سیاه بود و در شرایط تنش خشکی گرده بیشترین عملکرد را داشت. بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی، مربوط به تعداد دانه پوک و عملکرد بود. بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش، ژنوتیپ گرده از پایداری عملکرد بالاتری برخوردار بود. لیموچی و همکاران (Limouchi *et al.*, 2017) نشان دادند که تحت شرایط تنش و مطلوب، میزان شاخص تحمل به تنش خشکی دانه پر، شاخص حساسیت به خشکی وزن دانه، شاخص تحمل به تنش و عملکرد دانه، شاخص خسارت خشکی، شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل و کاهش عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت بسیار معنی‌داری با یکدیگر داشتند. بیشترین درصد افزایش عملکرد با افزایش خشکی مربوط به ژنوتیپ بسیار متحمل به خشکی وندانا بود ولی در سایر ژنوتیپ‌ها تنش خشکی تأثیر منفی بر عملکرد دانه داشت. در مطالعه امین‌پناه و همکاران (Aminpanah *et al.*, 2018) شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین هارمونیک (HM) به‌عنوان شاخص‌های برتر بودند و از آنها برای معرفی ژنوتیپ‌های مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی و با عملکرد بالا در شرایط دارای تنش خشکی و بدون تنش استفاده شد. گویل پارول (Goel *et al.*, 2019) بیان کردند انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط تنش و بدون تنش باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود، زیرا آلل‌های مطلوب تحت شرایط تنش خشکی انتخاب شده و همزمان پاسخ به انتخاب در شرایط بدون تنش به دلیل وراثت‌پذیری بالاتر عملکرد، حداکثر است. این آزمایش نیز با هدف بررسی ارقام مختلف برنج نسبت به تنش خشکی و همچنین بررسی همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در جهت انتخاب ارقام مقاوم و حساس انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های برنج به تنش خشکی انتهای فصل در شرایط مزرعه، ۱۵ ژنوتیپ برنج شامل پویا، شیرودی، دیلمانی، شصتک، سنگ‌طارم، طارم‌محلی، حاج‌حیدری، هاشمی، فجر، نعمت، ندا، بی‌نام، ساحل، خزر و علی‌کاظمی مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی انجام گرفت. آزمایش در دو منطقه عباس‌آباد و کتالم رامسر انجام شد. بذر کافی از ۱۵ ژنوتیپ مورد مطالعه پس از ضدعفونی با وایتکس تجاری ۱۰ درصد در خزانه کشت شده و پس از اینکه ارتفاع نشاءها به حدود ۳۰ سانتی‌متر رسید، بسته به رقم حدود ۲۵ تا ۳۵ روز پس از کاشت بذر در خزانه نشاءها به مزرعه منتقل شد. اندازه واحدهای آزمایشی ۲ متر مربع (ابعاد کرت ۱×۲) و با تراکم ۲۵ بوته در هر مترمربع در نظر گرفته شد. بعد از انتساب تصادفی تیمارها به واحدهای آزمایشی، نشاءکاری به‌صورت تک بوته انجام شد. در هر کرت ۵ ردیف به

فاصله ۲۰ سانتی‌متر و در هر ردیف ۱۰ بوته به فاصله ۲۰ سانتی‌متر کاشته شد. جهت تامین نیاز کودی ارقام، کود نیتروژن به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (نصف در زمان کاشت و نصف در مرحله پنجه‌دهی) و کود فسفره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در ابتدای کاشت داده شد. وجین علف‌های هرز در دو مرحله به‌طور دستی انجام گرفت. به منظور کنترل کرم ساقه‌خوار برنج از حشره‌کش دیازینون ۱۰٪ به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار در هنگام وجین و در زمان خوشه‌دهی و چند مرحله قبل از رسیدگی استفاده شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی، پس از حذف اثر حاشیه تعداد ۱۰ بوته از وسط هر کرت به صورت تصادفی انتخاب پس از جدا کردن دانه‌ها از خوشه با ترازو دیجیتال وزن شدند. برای ارزیابی حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش ($\bar{Y}p$) و تنش ($\bar{Y}s$)، شاخص‌های تحمل تنش، میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل (TOL)، تحمل به تنش (STI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI) و حساسیت به تنش (SSI) مورد ارزیابی قرار گرفتند. فرمول‌ها و روابط محاسبه‌ی شاخص‌های موثر به ترتیب زیر می‌باشد.

رابطه ۱ $SSI=\frac{1-(\frac{ys}{yp})}{SI}$ (Fischer *et al.*, 2003)

رابطه ۲ $HM=\frac{2(ys*yp)}{yp+ys}$ (Fageria *et al.*, 2006)

رابطه ۳ $STI=\frac{ys*yp}{\bar{Y}p^2}$ (Fageria *et al.*, 2006)

رابطه ۴ $TOL= yp-ys$ (Blum, 2005)

رابطه ۵ $YSI=\frac{ys}{yp}$ (Mohammadi *et al.*, 2012)

رابطه ۶ $MP=\frac{ys+yp}{2}$ (Blum, 2005)

رابطه ۷ $GMP=\sqrt{yp*ys}$ (Fageria *et al.*, 2006)

رابطه ۸ $YI=\frac{ys}{\bar{Y}s}$ (Blum, 2005)

داده‌های حاصل از پژوهش ابتدا وارد صفحه اکسل شدند و پس از تست یکنواختی واریانس خطا با آزمون بارتلت و نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها، همبستگی بین شاخص‌ها، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ضریب تشابه ژنتیکی و رسم نمودار خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری Minitab (نسخه ۱۶) انجام شد.

نتایج و بحث

ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

شاخص‌های مرتبط با تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. ژنوتیپ‌های شصتک و علی کاظمی به‌ترتیب بیشترین مقدار را برای شاخص HM نشان دادند. بر مبنای شاخص MP و GMP به ژنوتیپ‌های سنگ طارم، پویا و فجر و شاخص STI با روند مشابه به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های علی کاظمی و شصتک اختصاص یافت. در مطالعات زیادی برتری شاخص‌های STI، MP و GMP برای غربال ارقام با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و با کمترین نوسان عملکرد در محیط‌های تنش گزارش شده است (Jalilvandy and Rozrokh, 2013). با توجه به‌شاخص‌های مورد بررسی در این مطالعه، ارقامی که بیشترین مقدار را برای شاخص‌های STI، YSI، MP، HM، YI و GMP و کمترین مقدار را برای شاخص‌های

TOL و SSI نشان دهند و در عین حال عملکرد بالایی نیز داشته باشند، تحمل بالاتری نسبت به شرایط تنش خشکی نشان خواهند داد (Amini *et al.*, 2012).

مقدار بالا برای شاخص STI دلالت بر تحمل بالاتر به شرایط تنش دارد. ژنوتیپ‌های پایدارتر براساس این شاخص دارای مقادیر بالاتر STI هستند. هنگامی‌که‌اختلاف نسبی زیادی بین Ys و YP وجود داشته باشد، شاخص MP دارای یک اریب به طرف پتانسیل عملکرد خواهد بود. شاخص GMP که براساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش است برای رفع این اشکال معرفی شده است. این شاخص زمانی مفید است که مواد اصلاحی مستقیماً تحت شرایط تنش و بدون تنش و با در نظر گرفتن تغییر در شدت خشکی در محیط‌ها و سال‌های مختلف آزمایش می شوند (Raman *et al.*, 2012). از آن‌جایی که تنش خشکی در محیط زراعی در طی سال‌های مختلف متفاوت است، این شاخص اغلب توسط اصلاح‌گرانی که به عملکرد نسبی علاقمند هستند استفاده می شوند.

کمترین مقدار شاخص SSI و بیشترین مقدار شاخص YSI با روند رتبه مشابه به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های شیرودی و خزر محاسبه شد. با توجه به فرمول شاخص YSI این‌طور استنباط می‌شود که هرچه عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش بزرگ‌تر و در شرایط بدون تنش کوچک‌تر باشد، مقدار YSI بزرگ‌تری خواهد داشت. مقادیر عددی پایین‌تر شاخص حساسیت به تنش (SSI)، نشان‌دهنده تحمل بالای ژنوتیپ است. به‌این ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری کرد این ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های YSI و SSI عملکرد بالایی تحت شرایط تنش خشکی نشان دادند و لزوماً پتانسیل عملکرد بالاتری ندارند. کمترین مقادیر برای شاخص TOL به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های شیرودی، خزر و دیلمانی محاسبه شد. مقادیر بالاتر شاخص TOL حاکی از حساسیت یک ژنوتیپ است و ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین برای این شاخص در هر دو شرایط تنش و بدون تنش پایدارتر هستند (Raman *et al.*, 2012).

بیشترین مقادیر شاخص YI به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های شیرودی و بی‌نام مشاهده شد. با توجه به رابطه شاخص YI اطلاعات حاصل از پتانسیل عملکرد در این شاخص وارد نمی‌شود و اگر همبستگی بالایی بین پتانسیل عملکرد و عملکرد در شرایط تنش وجود نداشته باشد، ژنوتیپ‌های انتخابی با این شاخص تنها براساس برتری عملکرد در شرایط تنش انتخاب خواهند شد. صفائی چائی‌کار و همکاران (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008) از نظر شاخص STI ارقام نعمت و سپیدرود را متحمل و ارقام دم‌سفید، حسن‌سرایی و دم‌سرخ را حساس به تنش خشکی معرفی کرد. جدای از توسعه ارقام با عملکرد دانه بالاتر تحت شرایط تنش خشکی مهم این است که این ارقام پتانسیل عملکرد برابر یا بیشتر از واریته‌های شناخته شده با عملکرد بالا داشته باشند (Dixit *et al.*, 2014). طبخ‌کار و همکاران (Tabkhkar *et al.*, 2018) در بررسی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان دادند که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص میانگین عملکرد نسبی و کارایی نسبی با داشتن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش خشکی و

بـــدون تـــنش، مناســـب‌ترین شـــاخص‌ها بـــرای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی هستند.

نتایج مربوط به مقدار شاخص تحمل به خشکی مشخص نمود ژنوتیپ‌های متحمل از مقادیر بسیار بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار می‌باشند. با توجه به این‌که در این شاخص ارقام و ژنوتیپ‌ها بر اساس نسبت میزان باروری (تعداد دانه‌های نیمه پر) در دو شرایط تنش و بدون آن مقایسه می‌شوند، لذا مقادیر بیشتر آن بیانگر نوعی تحمل بیشتر به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مزبور است. دلیل مکانیزم مقاومت به خشکی که هزینه‌بر می‌باشد سبب کاهش عملکرد و مصرف بیشتر احتمالی نهاده‌ها به جهت هزینه‌بر بودن این مکانیزم می‌باشد. شاخص‌های تحمل و حساسیت در تنش‌های زنده و غیره زنده از عوامل بسیار مهم کاهش تولید در گیاهان زراعی محسوب می‌شوند. در حال حاضر میزان آب قابل دسترس و درجه حرارت از مهم‌ترین عوامل موثر در عملکرد به‌شمار می‌آیند. با توجه به واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها و ارقام برنج به تنش خشکی، پایداری عملکرد یک ژنوتیپ از طریق عدم تغییرات قابل ملاحظه و اثر متقابل آن با خشکی وقتی که شرایط آبیاری ثابت نباشد ارزیابی می‌شود. نتیجه‌گیری یافته‌های این آزمایش نشان داد ژنوتیپ‌هایی که کمترین مقاومت به خشکی را داشتند، بیشترین شاخص حساسیت به خشکی و کمترین شاخص تحمل به خشکی را نیز داشتند که در نهایت منجر به کاهش عملکرد بیشتر در این ژنوتیپ‌ها شد ولی ژنوتیپ‌هایی که از بیشترین مقاومت به خشکی برخوردار بودند از بیشترین شاخص تحمل به تنش خشکی نیز برخوردار بودند و با سازگاریی که توانستند با شرایط تنش‌زا ایجاد کنند عملکرد دانه خود را افزایش یا حفظ نمایند.

همبستگی میان شاخص‌ها

ضرایب همبستگی ساده بین شـــاخص‌های تـــنش و عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی و بدون تـــنش در جدول ۲ ارایه شده است. ارتباط بین عملکرد در هر دو شـــرایط تـــنش خشـــکی و بـــدون تـــنش همبســـتگی مثبـــت و معنـــی‌داری (۰/۶) در سطح احتمال یک درصـــد نشـــان داد. فرشـــادفر و همکاران (Farshadfar *et al.*, 2012) اثرات متقابل ژنوتیپ در سال را بـــرای عملکـــرد دانـــه گزارش کردند، به‌طوری‌که در آزمایش آنها ارتباط بین عملکـــرد در شرایط تـــنش خشـــکی و بـــدون تـــنش در دو ســـال اول غیـــر معنی‌دار بود و در سال ســـوم ارتبـــاط مثبـــت خیلـــی معنـــی‌داری مشاهده شد. عملکرد در شـــرایط تـــنش (Ys) ارتبـــاط مثبـــت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصـــد بـــا همـــه شـــاخص‌های تنش به جز شاخص‌های TOL و GMP نشان داد. نتـــایج بررســـی همبســـتگی شـــاخص‌های TOL، STI، SSI و MP با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، نشان داده است که شاخص STI به‌خوبی قادر به انتخاب ژنوتیپ‌هـــای بـــا پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی هستند (Fageria *et al.*, 2006). در ارزیابی تحمل به خشکی در گندم مشخص شد که به‌دلیل همبستگی مثبت و معنـــی‌دار شـــاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش انتخـــاب می‌توانـــد بر اساس مقادیر بالا برای این شاخص‌ها در هر دو شرایط تـــنش و بدون تنش انجام شود. در بررسی سطح تحمل هفت ژنوتیپ گندم در شرایط تنش کمبـــود آب و بـــدون تـــنش،

شاخص‌های MP، GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط و شاخص‌های TOL و SSI شاخص‌های مناسب جهت تعیین سطوح تحمل ژنوتیپ‌ها معرفی شدند (Ilker *et al*., 2011). همبستگی مثبت معنی‌دار عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های MP، HM، GMP و STI نیز گزارش شده بود و این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای انتخاب ارقام متحمل معرفی شده بودند (Farshadfar *et al*., 2012). همبستگی شاخص TOL با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۰۷- بود. همبستگی شاخص Yi با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۹۹ بود. به‌طورکلی، شاخص‌هایی که دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند، به عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شوند. زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی می‌باشند.

عملکرد دانه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات، بالاترین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی به ژنوتیپ‌های سنگ طارم در منطقه کتالم (۱۰۲۱۹ کیلوگرم در هکتار) و شصتک در منطقه کتالم (۹۷۱۹/۵ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت. کمترین مقدار عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط نرمال مربوط به ژنوتیپ خزر در منطقه کتالم (۴۵۹۱/۵ کیلوگرم در هکتار) و عباس‌آباد (۴۲۰۷/۵ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۱- الف). در شرایط تنش خشکی بالاترین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مربوط به ژنوتیپ شصتک در منطقه عباس‌آباد و کتالم (به‌ترتیب برابر با ۴۶۷۵/۵ و ۴۵۱۵ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۱- ب). کمترین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط تنش به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های هاشمی در منطقه عباس‌آباد (۱۵۱۲ کیلوگرم در هکتار) فجر در منطقه کتالم (۱۵۶۴/۵ کیلوگرم در هکتار) و هاشمی در منطقه کتالم (۱۶۸۰ کیلوگرم در هکتار) بود. اعمال تنش خشکی بر عملکرد دانه تاثیر معنی‌داری دارد. برنج (رقم هاشمی) به تنش خشکی در مراحل نیمه پنجه‌زنی و آغاز تشکیل خوشه نسبت به مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی حساس‌تر بوده و تنش شدید در مرحله پنجه‌زنی بیشترین کاهش عملکرد را در مقایسه با تیمار غرقاب از خود نشان داد. به‌طورکلی، عملکرد همه ارقام مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. برای دست‌یابی به عملکرد دانه بالا بایستی بین میزان رشد قبل و بعد از گرده افشانی توازن وجود داشته باشد. رشد کمتر قبل از گرده‌افشانی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک شده ولی باعث به حداکثر رساندن شاخص برداشت می‌شود، درحالی‌که رشد بیشتر قبل از وقوع گرده افشانی، بیوماس را به حداکثر رسانده ولی باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود.

تجزیه کلاستر

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس اطلاعات حاصل از شاخص‌های تنش از روش Ward استفاده شد. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و دندروگرام مربوط در شکل ۲ نشان داده است. تجزیه کلاستر بر اساس ۱۰ شاخص مورد مطالعه در شرایط تنش

خشکی (شکل ۲) باعث تشکیل ۲ گروه شده است. بر این اساس ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶ و ۸ که به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های سنگ‌طارم، علی کاظمی و شصتک هستند در گروه اول و سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در گروه دوم قرار گرفتند. به عبارت دیگر این ژنوتیپ‌ها در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و با در نظر داشتن شاخص‌های مقاومت به تنش معیار و عملکرد بالایی که داشتند، مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی معرفی می‌شوند. سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق در گروه دوم قرار گرفتند. با توجه به حداکثر فاصله ژنتیکی بین این دو گروه می‌توان از طریق ایجاد جمعیت در حال تفرق، از دورگ‌گیری بین ژنوتیپ‌های این دو گروه استفاده نمود.

بهرامی و همکاران (Bahrami *et al.*, 2014) با استفاده از تجزیه کلاستر بر مبنای شاخص‌های تحمل به خشکی توانستند ۶۴ ژنوتیپ گلرنگ را به گروه‌های متحمل و حساس تفکیک کنند. در مطالعه طبخ‌کار و همکاران (Tabkhkar *et al.*, 2018) تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های با بالاترین تحمل به تنش خشکی را در گروه دوم دسته‌بندی کرد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

به‌منظور درک بیشتر ارتباط بین شاخص‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در جدول ۳ نشان داده شده است. به‌طورکلی، دو مؤلفه اول که سهم بیشتری در تغییرات را داشتند، انتخاب شدند. این دو مؤلفه بیش از ۹۲/۶ درصد از اطلاعات کل را شامل می‌شوند. مؤلفه اول ۵۸/۷۶ درصد تغییرات کل را توجیه کرد. این مؤلفه دارای ضریب مثبت و معنی‌دار برای شاخص‌های Yp، Ys، SSI، MP، STI، HM و YSI بود و ضرایب غیرمعنی‌دار برای سایر شاخص‌های مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد. مؤلفه دوم نیز با توجیه ۳۳/۴ درصد از تغییرات کل در ماتریس داده‌ها، بیشترین همبستگی منفی را با شاخص Ys و همبستگی مثبت با شاخص‌های TOL، YI، GMP و HM داشت. مؤلفه اول به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش معرفی گردید. به‌عبارت دیگر این مؤلفه قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌باشد و لذا، مقادیر بیشتر مؤلفه اول مطلوب‌تر است. با توجه به این‌که هر یک از این مولفه‌ها ترکیب خطی از هفت متغیر اولیه بوده و در برگیرنده واریانس آنها نیز می‌باشند، تنوع موجود در بین ژنوتیپ‌ها به‌راحتی با دو مولفه اولیه که با همدیگر همبستگی ندارند، قابل توجیه است.

نتیجه‌گیری کلی

شاخص‌های تحمل به تنش شاخص میانگین تولید، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک، شاخص‌های برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی قادر هستند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را شناسایی کنند. با توجه به شاخص تحمل خشکی ژنوتیپ‌های شصتک، علی‌کاظمی و سنگ‌طارم نظر به دارا بودن بیشترین میزان عملکرد در هر دو شرایط محیطی و داشتن شاخص تحمل به تنش بالا به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل پیشنهاد می‌شوند. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های فجر و هاشمی نیز به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ معرفی شدند.

جدول ۱- برآورد شاخص‌های مقاومتی خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس عملکرد دانه

Table 1- Estimation of drought resistance indices of studied genotypes based on grain yield

شماره	ژنوتیپ	HM	YSI	GMP	YI	STI	MP	SSI	TOL	Ys	Yp
1	Fajr فجر	8.6	0.14	2.68	0.21	0.08	20.01	1.58	30.22	1775	6780
2	Neda ندا	23.05	0.34	1.7	0.68	0.32	30.32	1.22	29.68	2870	9290
3	Hashemi هاشمی	17.3	0.33	1.72	0.51	0.18	23.33	1.23	23.26	1925	6745
4	Shirodi شیرودی	34.53	0.82	1.09	1.39	0.55	34.35	0.32	6.62	5885	7540
5	Khazar خزر	25.81	0.76	1.14	1.1	0.32	26.29	0.44	7.08	3642.5	5457.5
6	Alikazemi علی کاظمی	46.92	0.6	1.3	1.6	1.08	50.04	0.74	24.98	7387.5	9632.5
7	Nemat نعمت	31.25	0.5	1.42	1.03	0.58	35.34	0.94	24.04	3830	9832.5
8	Shastak شسطک	54.62	0.51	1.4	1.8	1.54	61.03	0.91	39.54	8315	10075
9	Binam بینام	34.2	0.56	1.33	1.18	0.58	37.12	0.81	20.9	4667.5	9892.5
10	Sahel ساحل	28.6	0.35	1.68	0.86	0.5	37.07	1.21	35.42	2835	11690
11	Tarom طارم	28.62	0.4	1.57	0.89	0.48	34.94	1.1	29.7	3022.5	10447.5
12	Deylamani دیلمانی	29.27	0.56	1.34	1.01	0.43	31.84	0.82	18.1	3697.5	8222.5
13	Hajheydari حاج حیدری	22.5	0.4	1.6	0.7	0.28	27.46	1.11	23.35	1945	7782.5
14	Sangtarom سنگ طارم	29.27	0.28	3.15	0.95	0.66	47.55	1.34	53.84	3157.5	12617.5
15	Poya پویا	22.5	0.33	2.8	0.63	0.25	27.27	1.24	27.31	1402.5	8230

جدول ۲- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد و شاخص‌های مرتبط با تحمل

Table 2- Simple correlation coefficients between yield and related indices to stress tolerance

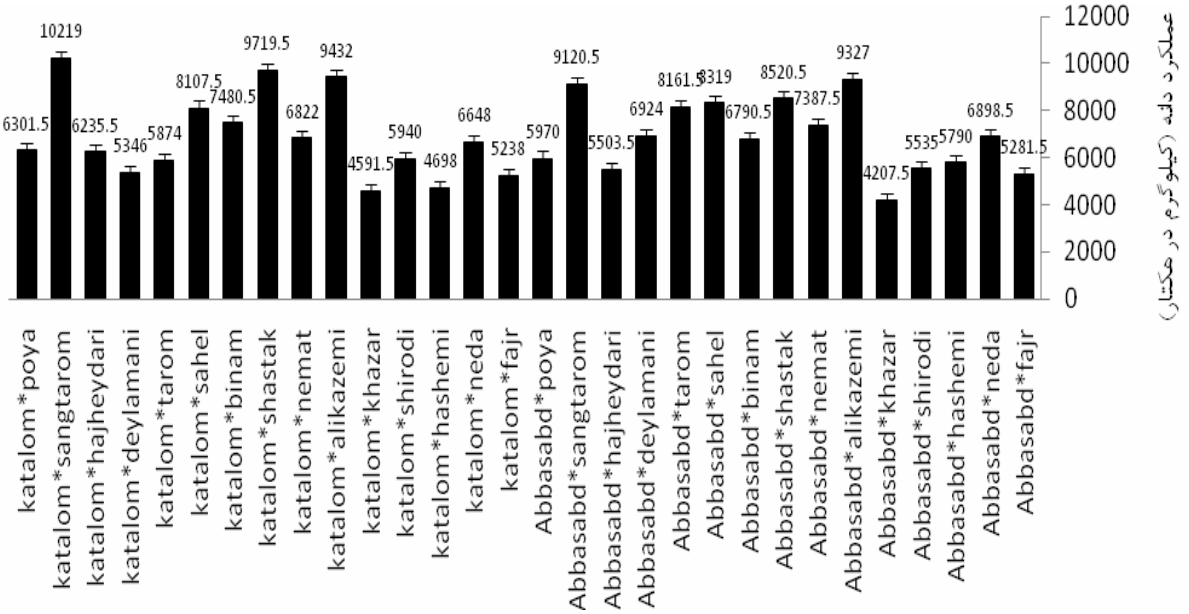
	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	STI	YI	GMP	YSI	HM
Yp	1									
Ys	0.6**	1								
TOL	0.76**	-0.07	1							
SSI	0.12	-0.69**	0.72**	1						
MP	0.94**	0.84**	0.48*	-0.22	1					
STI	0.84**	0.9**	0.31	-0.33	0.97**	1				
YI	0.58*	0.99**	-0.09	-0.72**	0.83**	0.89**	1			
GMP	0.37	-0.18	0.6*	0.38	0.17	-0.03	-0.16	1		
YSI	-0.11	0.7**	-0.71**	-0.99**	0.23	0.34	0.72**	-0.37	1	
HM	0.72**	0.98**	0.99**	-0.54*	0.91**	0.96**	0.97**	-0.11	0.55*	1

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

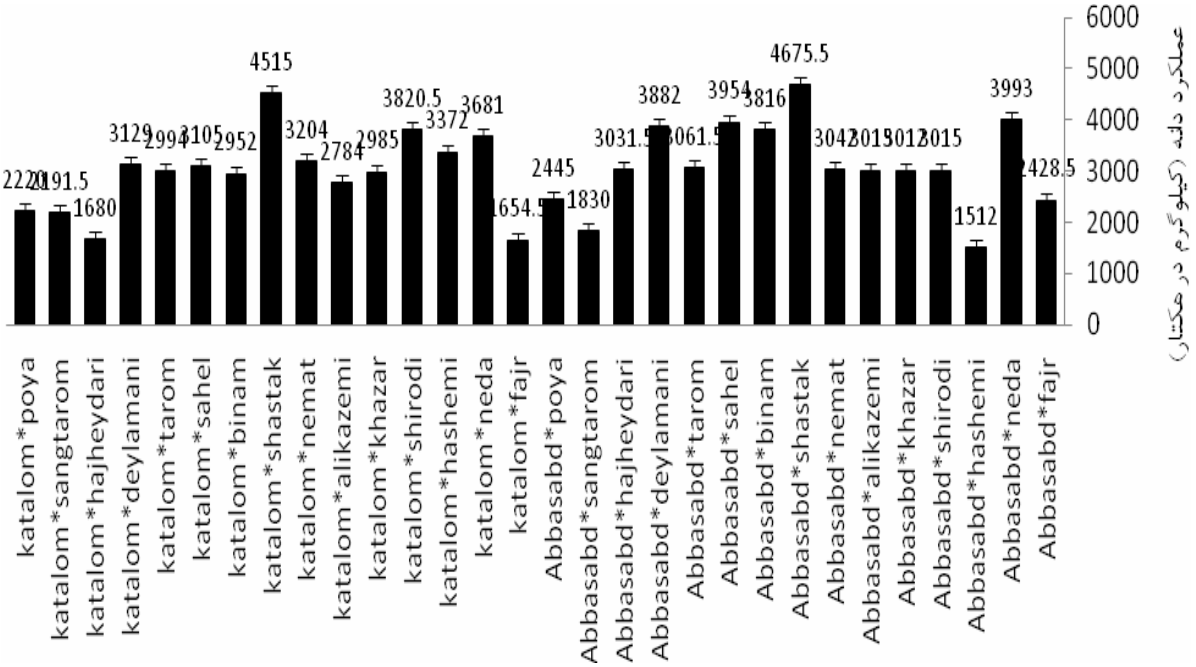
جدول ۳- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای کلیه صفات

Table 3- Principles Component analysis for all traits studied

صفات	1 مولفه ۱	2 مولفه ۲
Yp	0.99	0.05
Ys	0.61	-0.74
TOL	-0.09	0.65
SSI	0.98	-0.14
MP	0.94	0.27
STI	0.9	0.43
YI	-0.16	0.75
GMP	0.05	0.99
YSI	0.99	-0.12
HM	0.69	0.72
واریانس نسبی	58.76	33.4
درصد تجمعی واریانس	58.76	92.6
ریشه مشخصه	5.87	3.34



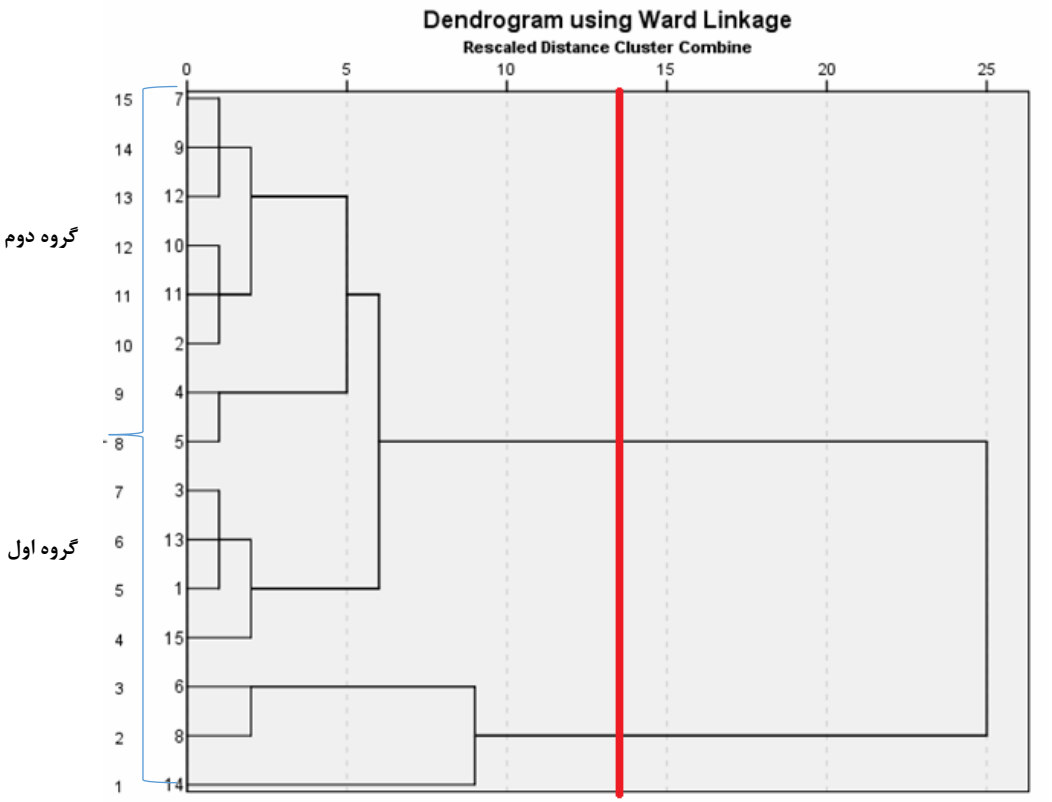
الف



ب

شکل ۱- (الف) اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط بر صفت عملکرد دانه در شرایط نرمال، (ب) اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط بر صفت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی.

Figure 1- (a) Interaction effects of environment genotype on grain yield under normal conditions, (b) Interaction effects of environment genotype on grain yield under drought stress



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ۱۵ ژنوتیپ برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش براساس روش Ward. شماره های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به ترتیب ژنوتیپ‌های پویا، شیرودی، دیلمانی، سنگ‌طارم، طارم‌محلی، علی‌کاظمی، حاج‌حیدری، شصتک، هاشمی، فجر، نعمت، ندا، بی‌نام، ساحل، و خزر

Figure 2- Dendrogram of 15 rice genotypes based on Ward and Ward based on Ward method Numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 and 15 are Shiroudi, Deylmani, Sangtarom, Taromohali, Ali Kazemi, Haji Haidari, Shastak, Hashemi, Fajr, Nemat, Neda, Binam, Sahel and Khazar genotypes respectively

References منابع مورد استفاده

- Amini, A.R., A. Soleymani, and M.H. Shahrajabian. 2012. Assess the usefulness of various indices and yield potential in identifying cultivars of barley adapted to water stress. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 4(7): 364-367.
- Aminpanah, H., P. Sharifi and A.A. Ebadi. 2018. Evaluation of drought response in some rice mutant lines using stress tolerance indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 16(1):191-202. (In Persian).
- Bahrami, F., A. Arzani, and V. Karimi. 2014. Evaluation of yield-based drought tolerance indices for screening safflower genotypes. *Agronomy Journal*. 106(4): 1219-1224.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*. 56(11): 1159-1168.

- Dixit, S., A. Singh, and A. Kumar. 2014. Rice breeding for high grain yield under drought: a strategic solution to a complex problem. *International Journal of Agronomy*. https://doi.org/10.1155/2014/863683.
- Erfani, F., and E. Shekarpour, A. Momeni, and R. Erfani. 2010. Selection of drought tolerant rice genotypes under different irrigation conditions. First National Conference on Sustainable Agriculture and Healthy Product Production. (In Persian).
- Fageria, N.K., V.C. Baligar, and R. Clark. 2006. Physiology of crop production. CRC Press.
- Falah shamsi, S., M. Esfehani, M. Ghodsi, and H. Samizadeh. 2013. Effect of water deficit stress on grain quantity and quality of native and modified rice genotypes. First National Conference on Non-Biological Plant Stresses. Isfahan University of Isfahan.（In Persian）.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D.B.S.M.A. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In sustainable agriculture (pp. 153-188). Springer, Dordrecht.
- Farshadfar, E., M.M. Poursiahbidi, and A.R. Pour Abooghadareh. 2012. Repeatability of drought tolerance indices in bread wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences.* 4 (13): 891-903.
- Fischer, K.S., R. Lafitte, S. Fukai, G. Atlin, and B. Hardy. 2003. Breeding rice for drought-prone environments. Los Baños, IRRI, 98.
- Ghiasi Oskoei, M., H. Sabouri, V. Farahbakhsh, and Gh. Mohammad nejad. 2013. Evaluation of rice genotypes under drought stress. First National Conference on Non-Biological Plant Stresses, Isfahan University of Isfahan. (In Persian).
- Ghiasi Oskoei, M., H.S. Farahbakhsh, and G. Mohamadinejad. 2014. Evaluation of rice cultivars in drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices. *Journal of Crop Production.* 6(4): 55-75.
- Goel, P., M. Bhuria, R. Sinha, T.R. Sharma, and A.K. Singh. 2019. Promising transcription factors for salt and drought tolerance in plants. In molecular approaches in plant biology and environmental challenges (pp. 7-50). Springer, Singapore. Blum, Abraham. Plant breeding for stress environments. CRC press, 2018.
- Jalilvandy, A.M., and M. Rozrokh. 2013. Assessment of drought tolerance indices in wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6(7): 370-374.
- Kabiri, R., F. Nasibi, and R. Farahbakhsh. 2014. Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of water stress in *Nigella sativa* plant under hydroponic culture. *Plant Protection Sciences.* 50: 43-51.
- Karami, H., A. Maleki, and A. Fathi. 2018. Determination effect of mycorrhiza and vermicompost on accumulation of seed nutrient elements in maize (*Zea mays* L.) affected by chemical fertilizer. *Journal of Crop Nutrition Science.* 4(3): 15-29.
- Lafitte, R. 2003. Managing water for controlled drought in breeding plots. In: Fischer, R.A., R. Lafitte, S. Fukai, G. Altin and B. Hardy. (eds.). Breeding rice for drought-prone environment. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

- Limouchi, K., M. Yarnia, A. Siyadat, V. Rashidi, and A. Guilani. 2017. The effect of different irrigation regimes on floret and root anatomy of aerobic rice genotypes in Khuzestan, Iran. *Applied Ecology and Environmental Research*. 15(4): 1947-1970.
- Ilker, E., Ö. Tatar, F. Aykut Tonk, and S. Tosun. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. *Turkish Journal of Field Crops*. 16(1): 59-63.
- Malakouti, M. 2011. Relationship between balanced fertilization and healthy agricultural products (A Review). *Journal of Crop Ecophysiology*. 4(16): 133-150. (In Persian).
- Maleki, A., A. Heidari, A. Siadat, A. Tahmasebi, and A. Fathi. 2011. Effect of supplementary irrigation on yield, yield components and protein percentages of chickpea cultivars in Ilam, Iran. *Journal of Crop Ecophysiology*. 5(3): 65-75. (In Persian).
- Mohammadi, R., M. Armion, D. Kahrizi, and A. Amri. 2012. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production*. 4(1): 11-24.
- Pirdashti, H., Z.T. Sarvestani, G. Nematzadeh, and A. Ismail. 2004. Study of water stress effects in different growth stage on yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. New directions for a diverse planet: Proceeding of 4th International Crop Science Congress Brisbane, Australia, 26 Sep. – 1 Oct.
- Raman, A., S. Verulkar, N. Mandal, M. Variar, V. Shukla, J. Dwivedi, B. Singh, O. Singh, P. Swain, A. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, H.P. Piepho, and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice.* 5: 31. 28.
- Safaei Chaeikar, S., B. Rabiei, H. Samizadeh, and M. Esfahani .2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Science*. 9: 315–331. (In Persian).
- Salehifar, M., B. Rabiei, M. Afshar Mohammadian, and J. Asghari. 2014. Effect of IAA and Kinetin application on plant characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in rice seedlings under drought stress condition. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 16(4): 293-307. (In Persian).
- Tabkhkar, N., B. Rabiei, H. Samizadeh, and M. Hosseini chaleshtori. 2018. Assessment of rice genotypes response to drought stress at the early reproductive stage using stress tolerance indices. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*. 7(4): 83-106. (In Persian).
- Toorchi, M. 2015. The response of rice root to time course water deficit stress-two dimensional electrophoresis approach. *Journal of Crop Ecophysiology*. 9(35): 371-386. (In Persian).
- Venuprasad. R., H.R. Lafitte, and G.N. Atlin. 2007. Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice. *Crop Scisence.* 47: 285-293.
- Xu, L., L. Han, and B. Huang. 2011. Antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves of Kentucky bluegrass in response to drought and post-drought recovery. *Journal of American Society Horticulture Scisence*. 136: 247–255.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2020.679064

Determination of Drought Tolerance Indices of some Selected Rice Genotypes under Drought Stress at Flowering Stage

Zeinab Heravi Zadeh[1], Morteza Samdaliri[2]*, Morteza Mobaleghi[2], Amir Abbas Mosavi[3], and Mojtaba Neshaei Moghadam[4]

Received: October 2019 , Revised: 1 May 2020, Accepted: 18 August 2020

Abstract

Drought stress, as an important constraint to reduce crop yields in Iran. To identify rice genotypes tolerant and sensitive to drought stress during flowering 15 genotypes were studied under two environments (stressed and non–stressed conditions) in a randomized complete block design with three replications at Abbas Abad and Katalom regions during 2018 growing season. To evaluate the susceptibility or tolerance of genotypes to drought stress, traits like yield under non-stress (Yp) and drought stress (Ys) and average yield of all genotypes under stress and nonstress ($\bar{Y}s$), stress tolerance indicators, arithmetic mean (MP), geometric mean (GMP), harmonic mean (HM), tolerance (TOL), stress tolerance (STI), yield index (YSI), yield index (YI) and sensitivity to stress (SSI) were evaluated. Among the genotypes under study, sixty (54.62) and Ali Kazemi (46.92) showed the highest values for HM index. Shastack based on MP and GMP, shastack (61.04) and Tarom genotype (3.15) and STI index with similar trend to shastack (1.54) and Ali Kazemi (1.08) genotypes, respectively. Stress sensitivity (SSI) and yield stability index (YSI) values were similar for both genotypes of Shirudi (0.32) and Caspian (0.76). Cluster analysis based on 10 indices under drought stress resulted in two groups. Based on the results of principal component analysis, the first two components accounted for more than 92.6% of total information. The first component explained 58.76% of the total variation. According to the drought tolerance index of Shastak, Ali Kazemi and Sang Tarom genotypes are recommended as tolerant genotypes having the highest yield in both environmental conditions and having high stress tolerance index.

Key words: Drought tolerance, Genotype, Tolerance index, Grain yield.

1- Ph.D. Student of Agronomy, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran.
4- Staff Member, Department of Agronomy and Plant Breeding, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran.
**Corresponding Author: drmorteza.sam98@gmail.com*