نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد ششم، شماره چهارم، زمستان ۹۲
۵۵-۷۵
http://ejcp.gau.ac.ir

ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج در شرایط خشکی و عدم تنش خشکی براساس شاخص‌های تحمل و حساسیت

مهدی غیاثی اسکوئی[۱]، حسن فرحبخش[۲]، حسین صبوری[۳] و قاسم محمدی‌نژاد[۴]*

[۱]دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد دانشگاه باهنرکرمان، [۲]استادیار گروه زراعت دانشگاه شهید باهنر کرمان، [۳]استادیار دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، [۴]استادیار گروه اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۱۶

چکیده

تنش خشکی به عنوان یک عامل موثر کاهش تولید در گیاهان شناخته شده است که در این‌باره شناسایی و گسترش ژنوتیپ‌های سازگار به تنش یکی از راه‌کارهای غلبه بر شرایط نامساعد محیطی است. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس برنج به تنش خشکی 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 ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس، اجرا گردید. نتایج تجزیه واریانس تفاوت بسیار معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه‌ی صفات مورد مطالعه در دو شرایط محیطی نشان داد. مقایسه میانگین نشان داد که در شرایط غرقاب، بیشترین میانگین عملکرد به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های دم‌سیاه، سرخو و گرده بود و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های گرده، سنگ‌جو و IR83752-B-B123 بیشترین عملکرد را داشتند. با توجه به تجزیه بای پلات و همبستگی بین شاخص‌ها مشخص شد که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی، شاخص میانگین تولید و میانگین هارمونیک بهترین شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول در هر دو محیط تنش و بدون تنش در این تحقیق معرفی شدند و براساس شاخص‌های یاد شده و ترسیم بای پلات، ژنوتیپ‌های گرده، سرخو، سنگ جو، IR83752-B-B123، طارم امیری و طارم محلی دارای عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های شاه پسند، BRSBONANC و GRALDO دارای عملکرد پایین و حساس به خشکی بودند.

واژه‌های کلیدی: برنج، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل به تنش، عملکرد.

*مسئول مکاتبه: saboriho@yahoo.com

مقدمه

برنج احتمالاً قدیمی‌ترین دانه اهلی شده است که بیش از ۹ درصد از زمین‌های قابل کشت در زمین را پوشش می‌دهد. برنج غذای اصلی ۱۷ کشور جهان در آسیا و اقیانوسیه، ۹ کشور در جنوب و شمال آمریکا و هشت کشور در آفریقا است. برنج ۲۰ درصد انرژی جهان را تأمین می‌کند در حالی که سهم گندم ۱۹ درصد و ذرت ۵ درصد می‌باشد (فائو، ٢٠٠٤).

سطح زیر کشت ارقام مختلف برنج در ایران حدود ٦٠٠ هزار هکتار و تولید شلتوک ۳-۲/۹ ملیون تن می‌باشدکه حدود ٤ درصد سطح زیر کشت برنج جهان را داراست. متوسط عملکرد برنج در کشور معادل ٤ تن در هکتار می‌باشد. ایران جزء بزگترین وارد کنندگان این محصول در جهان محسوب می‌شود. به‌طوری‌که واردکننده‌ترین کشورهای جهان در سال ۲۰۰۹، فیلیپین با حدود ٢/٤ میلیون تن، دومین و سومین کشور وارد کننده نیجریه و ایران به‌ترتیب با ۸/۱ و ۲/۱ میلیون تن بودند. همچنین قاره آسیا با تولید ٣٠٦/١، آمریکا با ٤/٣٧ و آفریقا با ٤/٢٥ میلیون تن در ردیف بزرگ‌ترین تولیدکنندگان برنج قرار گرفتند (فائو، ۲۰۰۹).

خشکی مهمترین عامل محدود کننده تولید برنج در ٤٠ ملیون هکتار از اراضی زیر کشت برنج در آسیا می‌باشد (ونوپراساد و همکاران، ۲۰۰۷) تنش آب می‌تواند آناتومی، مرفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و تقریباً بر کلیه جنبه‌های رشد و نمو آن‌ها اثر بگذارد (کوچکی و سلطانی، ۱۹۹۷). افزایش تحمل به خشکی مخصوصاً در برنج که از مهم‌ترین گیاهان زراعی در آسیا محسوب می‌شود ضروری به‌نظر می‌رسد (ویدوسکی و اتول، ۱۹۹۰؛ سینک، ۲۰۰۳) تنش خشکی ناشی از آبیاری غیر غرقابی ضمن تأثیر بر میزان آب مصرفی با جلوگیری از انتقال املاح و مواد غذایی به گیاه و کاهش فتوسنتز باعث کاهش تعداد پنجه، سطح برگ، تجمع ماده خشک، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد می‌شود (رضایی و نحوی، ۲۰۰۷). تنش خشکی و کم آبی، به‌ویژه در سال‌های اخیر، نقش به‌سزایی در میزان محصول تولیدی برنج از لحاظ سطح و میزان عملکرد 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 که تحت تنش خشکی و یا در معرض خشکی هستند، از جمله ایران می‌باشد. درک بهتر ریخت-تشریحی (مورفو-آناتومی) و اساس فیزیولوژیکی تغییرات تحمل تنش خشکی می‌تواند برای ایجاد ژنوتیپ‌های جدید زراعی به‌منظور دسترسی به تولید بهتر، تحت شرایط

آبی مورد استفاده قرار گیرد (نام و همکاران، ۲۰۰۱). به‌عنوان مثال اگر ژنوتیپ معینی بتواند تحت شرایط تنش، فعالیت فتوسنتزی خود را فعال نگاه دارد، می‌توان گفت که آن ژنوتیپ دارای نوعی از تحمل به تنش خشکی است. یک راه حل اساسی برای برطرف کردن اثرات سوء تنش پیدا کردن ژنوتیپ‌هایی است که مجموعه‌ای از صفات مطلوب با توارث بالا را داشته باشند. تاکنون روش‌های متعددی جهت ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌هایی گیاهی در دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی ارائه شده است. مقایسه عملکرد در شرایط محیطی متضاد (تنش و بدون تنش) و گزینش ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط سازگار باشند، هدف اصلی این گونه پژوهش‌ها بوده است (کلارک و همکاران، ۱۹۹۲؛ راجارام و وان گینکل، ۲۰۰۱). ریچاردز (۱۹۹٦) بیان کرد که انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر 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 به‌دلیل وراثت‌پذیری بالا اجزاء عملکرد، حداکثر است.

شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش گیاهان در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آنها ارائه شده است. روزیل وهامبلین (۱۹۸۱) شاخص تحمل ($TOL^{۲}$) و میانگین بهره‌وری ($MP^{۳}$) را ارائه کردند. فیشر و مورر (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش ($SSI^{٤}$) را پیشنهاد کردند. فرناندز (۱۹۹۲) شاخص تحمل به تنش ($STI^{٥}$) و میانگین هندسی ($GMP^{٦}$) را معرفی کرد. پانتوان و همکاران (۲۰۰۲) واکنش ژنوتیپ‌های برنج را به تنش خشکی در مرحله رویشی با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی بررسی نمودند آن‌ها نشان دادند که کارایی استفاده از شاخص تحمل به خشکی برای بهبود عملکرد در شرایط تنش کمتر از استفاده عملکرد می‌باشد در حالی که استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی را برای ارزیابی تعداد زیاد ژنوتیپ‌ها توصیه نمودند.

کاتوزی و همکاران (۲۰۰٦) در آزمایشی به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌هایی برنج به تیمارهای مختلف با استفاده از شاخص‌ها نشان دادند که برای گزینش بهترین ژنوتیپ‌های برنج ایرانی در رژیم‌های مختلف آبیاری بر اساس عملکرد می‌توان از این شاخص‌ها استفاده کرد.

1- Tolerance
2- Mean Productivity
3- Sensitive Stress Index
4- Stress Tolerance Index
5- Geometric Mean Productivity

با توجه به اینکه در سال‌های اخیر کشاورزان منطقه گنبد کاووس و حومه تمایل بیشتر به کشت برنج یافته‌اند و از طرف دیگر به‌دلیل نیروی کار ارزان‌تر از سایر مناطق برنج‌خیز و مکانیزه بودن کاشت، داشت و برداشت بهتر و همچنین اراضی با قطعات بزرگتر، صرفه اقتصادی کشت این محصول را در این منطقه نسبت به سایر محصولات بالا برده است. از این رو این تحقیق با هدف شناسایی ژنوتیپ‌هایی متحمل برنج، در منطقه گنبد کاووس انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد مطالعه در این پژوهش شامل ١٥ ژنوتیپ برنج شامل (٧ ژنوتیپ خارجی و ٨ ژنوتیپ ایرانی) متحمل، نیمه متحمل و حساس به خشکی (جدول ١) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط جداگانه، بدون تنش (غرقاب) و تنش خشکی در سال زراعی ١٣٨٩ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس، با طول جغرافیایی ٥٣ درجه و ٤٥ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ٩٦ درجه و ٣٦ دقیقه شمالی با ارتفاع ٥٢ متراز سطح دریا، در سال زراعی ١٣٨٩ انجام شد. این منطقه از نظر آب و هوایی جزء اقلیم مدیترانه‌ای محسوب می‌شود. به‌طوری‌که قسمت اعظم نزولات آسمانی درفصل سرد به‌وقوع می‌پیوندد. فصل تابستان نسبتاً گرم و خشک می‌باشد به‌طوری‌که با توجه به آمار منحنی تغییرات درجه حرارت و بارندگی با داشتن ٢٠٠-١٥٠ روز خشک جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن فصل سرد و مرطوب و فصل گرم و خشک جزء رژیم نیم خشک و خشک محسوب می‌شود. بر اساس گزارشات هواشناسی شهرستان گنبد کاووس میزان بارندگی در این فصل زراعی به مقدار ٣٠٠ میلی‌لیتر بود که به‌عنوان شرایط طبیعی منطقه در نظر گرفته می‌شود. اگر چه مطالعات زیادی در زمینه تحمل به خشکی در برنج انجام شده است اما با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه به نظر می‌رسد مطالعات خشکی بر روی برنج دراین منطقه از اعتبار مطلوبی برخوردار است. قبل از کاشت در خزانه، محل خزانه با دقت توسط تیلر شخم زده شد. مقدار بذر مصرفی به میزان ٢٠٠ گرم در مترمربع خزانه استفاده شد. بذور ژنوتیپ‌ها با توجه دوره رویش آنها در فواصل زمانی ٢٠ روز به‌مدت ٢٤ ساعت در آب معمولی خیسانده و بعد به مدت ١٢ ساعت در محلول ٢ در هزار مانکوزب قرار داده و بدون آبکشی بذرها را در گونی‌های کنفی جوانه دار نموده و در این مدت بذور به آرامی چند بار به هم زده تا جوانه زنی یکنواخت حاصل شود و برای خشک نشدن بذور آب پاشی انجام گرفت. با توجه به تحقیقات انجام

شده توسط نگارندگان، نشاء ژنوتیپ‌ها به گونه‌ای انجام شد که همه آنها تقریباً در مرحله حداکثر پنجه‌زنی با تنش مواجه شوند.

آبیاری مزرعه آزمایشی در هر دو محیط غرقاب و تنش، تا مرحله پنجه‌دهی ژنوتیپ‌ها به‌طور یکسان به‌طور غرقاب انجام شد. سپس برای ایجاد تنش، آبیاری از ٤٠ روز پس از نشاء (مرحله حداکثر پنجه‌زنی) براساس ظهور علایم تنش خشکی در گیاهان (لوله شدن برگ) (کاباسلی و همکاران، ۲۰۰۲) تا پایان فصل زراعی به فاصله ۲۵ روز انجام شد که برای شرایط اقلیمی منطقه تنها یکبار آبیاری انجام شد. اندازه واحدهای آزمایشی ۲ مترمربع (ابعاد کرت ۱×۲ متر) و با فاصله ۱ متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. بعد انتصاب تصادفی تیمارها به واحد آزمایشی، نشاءکاری به‌صورت ٤ بوته در هر کپه انجام شد. برای اینکه کلیه ژنوتیپ‌ها در زمان واحدی به مرحله حداکثر پنجه‌زنی برسند و در زمان اعمال تنش در شرایط رویشی یکسانی باشند بذرپاشی و نشاء در فاصله زمانی ۲۰ روز و بر اساس نتایجی که در سال‌های گذشته از ژنوتیپ‌ها وجود داشت، انتقال نشاها انجام شد. هر ژنوتیپ در ٦ ردیف با فاصله ۲۵ سانتی‌متری بین بوته‌ها و ۲۵ سانتی‌متری بین ردیف‌ها و به طول ۲ متر کشت شد. از ٦ ردیف کاشته شده در هر کرت یک ردیف از طرفین جهت اثرات حاشیه حذف و ردیف‌های دوم و چهارم جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند. در مرحله رسیدگی جهت تعیین عملکرد دانه، از سطح ۱/۵ مترمربع برداشت انجام و عملکرد دانه با رطوبت ١٤ درصد در هکتار محاسبه گردید. سایر صفات مورد مطالعه شامل: وزن صددانه (وزن صد دانه تصادفی در هر کرت بر حسب گرم)، تعداد خوشه (تعداد خوشه‌های ۱۰ بوته تصادفی از هرکرت)، تعداد دانه پر (تعداد دانه‌های پر در خوشه‌های اصلی ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت بعد از رسیدن کامل دانه‌ها)، تعداد دانه پوک (تعداد دانه‌های پوک و معیوب در خوشه‌های اصلی ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت)، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (تعداد روزهای از کاشت بذر در خزانه تا مرحله تا ۵۰ درصد گل‌دهی بوته‌های هر کرت)، تعداد پنجه (میانگین پنجه ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت)، ارتفاع بوته (ارتفاع بلندترین پنجه از ناحیه طوقه در سطح خاک تا نوک خوشه بدون احتساب ریشک بر حسب سانتی‌متر)، طول خوشه (طول ۱۰خوشه اصلی از ۱۰ بوته در هر کرت، از گره زیر خوشه تا انتهای خوشه بدون در نظر گرفتن ریشک، برحسب سانتی‌متر)، طول خروج خوشه از غلاف (خروج خوشه‌ها از بالای غلاف برگ پرچم تا گره زیر خوشه در زمان رسیدگی)، طول برگ پرچم (از زیر برگ پرچم تا نوک آن بر حسب سانتی‌متر)، عرض برگ پرچم (عرض برگ پرچم از پهن‌ترین قسمت برگ پرچم بر حسب سانتی‌متر)، مساحت برگ پرچم (طول و عرض برگ پرچم در ضریب ۰/۷۵) و باروری (از تقسیم تعداد دانه پر بر تعداد

کل دانه‌ها) بودند. برای اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و میانگین آنها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. اندازه‌گیری شاخص‌های حساسیت به تنش با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط غرقاب و تنش براساس روابط پیشنهادی فیشر و مورر (۱۹۷۸)، روزیل وهامبلین (۱۹۸۱) و فرناندز (۱۹۹۲) با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شدند:

۱- شاخص حساسیت به تنش (SSI):

$$SSI = \frac{1-\left[\frac{YS}{SI}\right]}{SI}$$

که در آن SI شدت تنش و $\overline{YP}, \overline{YS}, YP, YS$ به‌ترتیب عملکرد و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و غرقاب هستند.شدت تنش با رابطه زیر محاسبه شد:

$$SI = 1 - \frac{\overline{YS}}{\overline{YP}}$$

۲- شاخص تحمل (TOL):

$$Tol = YP - YS$$

در این فرمول YS و YP به‌ترتیب عملکرد ارقام در شرایط عادی و تنش خشکی می‌باشد.

۳- شاخص تحمل به تنش (STI):

$$STI = \frac{(YP)(YS)}{(\overline{YP})^2}$$

٤- شاخص میانگین تولید (MP):

$$Mp = \frac{YP + YS}{2}$$

۵- میانگین هندسی(GMP):

$$GMP = \sqrt{(YS)(YP)}$$

٦- میانگین‌هارمونیک (HM):

$$HM = \frac{2 \times YP \times .YS}{YP + YS}$$

پس از اندازه‌گیری و ارزیابی شاخص‌های مختلف، تجزیه واریانس صفات در هر دو محیط، و تجزیه واریانس مرکب آن‌ها در قالب تجزیه مرکب برای داده‌های دو محیط با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد و همچنین ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد تحت هر دو شرایط، تجزیه به مولفه‌های اصلی، گروه بندی ژنوتیپ‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Statgraph انجام شد.

جدول ۱- اسامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط غرقاب و تنش خشکی

شماره	ژنوتیپ	شجره	واکنش به خشکی
۱	طارم محلی	بومی ایران (گیلان و مازندران)	نسبتاً متحمل
۲	CT13382-8-3-M	آئروبیک مشتق شده از تلاقی BALA×AZUCENA	حساس
۳	سپیدرود	اصلاح شده ایرانSadri/IR8/IR28	حساس
٤	IR83752-B-B-12-3	آئروبیک مشتق شده از تلاقی BALA×AZUCENA	متحمل
٥	PANDA	هند	حساس
٦	سنگ جو	بومی ایران (گیلان)	متحمل
۷	سرخو	بومی ایران (اصفهان)	متحمل
۸	USEN	فیلیپین	حساس
۹	طارم امیری	بومی ایران (گیلان و مازندران)	نسبتاً متحمل
۱۰	Graldo	ایتالیا	حساس
۱۱	گرده	بومی ایران (زنجان)	متحمل
۱۲	دم‌سیاه	بومی ایران (گلستان)	متحمل
۱۳	BRSBONANC	فیلیپین	متحمل
١٤	شاه‌پسند	بومی ایران (گیلان و مازندران)	حساس
١٥	IR66424-1-2-15	آئروبیک مشتق شده از تلاقی BALA×AZUCENA	نسبتاً متحمل

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات مورد مطالعه وجود داشت (جدول ۲). معنی‌دار بودن صفات مورد مطالعه بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات مورد مطالعه است که برخی از این صفات می‌توانند در ایجاد تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. البته چون ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش دارای مبدأ متفاوت و شامل ژنوتیپ‌های محلی، اصلاح شده داخلی و خارجی هستند، به‌طورطبیعی وجود تفاوت بین ۱۵ ژنوتیپ نیز دور از انتظار نبود. تجزیه واریانس اثر متقابل ژنوتیپ در شرایط آبیاری برای صفات، وزن صد دانه، تعداد خوشه اولیه، تعداد دانه پر، تعداد دانه پوک، عملکرد، تعداد روز تا گل‌دهی، طول خوشه، طول خروج خوشه از غلاف، مساحت برگ پرچم و باروری در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت بسیار معنی‌دار بود (جدول ۲) که نشان‌دهنده این

است که در نتیجه اثر دو محیط تغییرات قابل ملاحظه و بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها ایجاد شده است.

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که در شرایط غرقاب به‌ترتیب ژنوتیپ‌های سرخو با عملکرد ٦/٩١، دم‌سیاه با عملکرد ٦/٠٣، گرده با عملکرد ٥/٩١، IR83752-B-B123 با عملکرد ٥/٣٧ و طارم امیری با عملکرد ٥/٣٤ تن درهکتار بالاترین میزان عملکرد و در شرایط تنش ژنوتیپ‌های گرده با عملکرد ٥/١٢، سنگ‌جو با عملکرد ٤/٢٤ و IR83752-B-B123 با عملکرد ٤/١٧، طارم امیری با عملکرد ٣/٩٥ و طارم‌محلی با عملکرد ٣/٩٢ تن درهکتار بالاترین مقدار را خود اختصاص دادند (جدول‌های ٤ و ٣). بالا بودن عملکرد در این ژنوتیپ‌ها را می‌توان با متغیر بودن اجزای عملکرد در آن‌ها و همچنین واکنش متفاوت به شرایط محیطی مرتبط دانست. ژنوتیپ‌هایی مانند سرخو و دم‌سیاه که در شرایط غرقاب بالاترین مقدار عملکرد را داشتند، از نظر صفات وزن صددانه، تعداد دانه پر و تعداد پنجه بیشترین مقدار را نشان دادند، به‌طوری‌که کاهش و عدم پایداری در این اجزاء باعث کاهش عملکرد این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش شد. این ژنوتیپ‌ها از لحاظ دیگر صفات مانند ارتفاع، طول خوشه و طول خروج خوشه از غلاف و مساحت برگ پرچم و باروری نیز مقادیر بالایی را در شرایط غرقاب از خود نشان دادند. ژنوتیپ‌هایی مانند گرده که در شرایط تنش بالاترین مقدار عملکرد را داشتند از لحاظ صفات وزن صد دانه و تعداد دانه پر بیشترین مقدار را در شرایط تنش به خود اختصاص دادند و از لحاظ دیگر صفات مورد بررسی مانند طول خوشه، طول خروج خوشه از غلاف، عرض و مساحت برگ پرچم نیز در رده بالایی بودند. همچنین در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ سنگ جو با تعداد تاروز گل‌دهی و ارتفاع کمتر، عملکرد نسبتاً بالایی در شرایط تنش نشان داد (جدول٤). در واقع فرار از تنش خشکی و اندازه گیاه دلیل برتری این ژنوتیپ در شرایط تنش بود. اندازه گیاه می‌تواند در تحمل به تنش خشکی موثر باشد. گیاهان کوچک با سطح برگ کمتر و شاخص سطح برگ کوچکتر به‌طور نسبی آب کمتری در نواحی با کمبود آب مصرف می‌کنند و ژنوتیپ‌هایی با خصوصیت فرار از خشکی انتهای فصل و قابلیت رشد در این شرایط، دارای قابلیت تولید یک محصول مطمئن تحت شرایط تنش می‌باشند. البته این فرایند موجب کاهش عملکرد ژنوتیپ‌ها نیز می‌شود به‌طوری که ژنوتیپ BRSBONANC زودرس‌ترین ژنوتیپ در شرایط خشکی بود ولی به‌علت پایین بودن عملکرد به‌عنوان یک ژنوتیپ متحمل شناسایی نشد.

جدول ۲ – تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجات آزادی	میانگین مربعات										
		وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	ارتفاع بوته	تعداد روز تا رسیدن	تعداد روز تا سبز شدن	وزن سنبله	وزن دانه در سنبله
شرایط آبیاری	۱	۱/٤۲**	۱٤/۰۸**	۱۶۳٤۸۵/٤٤**	۱۲۰۸٤/٤٤**	۳۵/۰٤**	۱۰۳۲۸۷/۲۶**	۲۸/۹۰**	۲٤٤/۲۲**	۱۰/۸٤**	۵۸/٤۰**	۳۵/۲۱**
تکرار داخل شرایط آبیاری	٤	۰/۰۰	۱/۰۶	۳۷۹/٤۷	۱۷۶/۸۷	۲/۱۳	۶۹۹/۵۳**	۰/۷۲	۲۵/٤۶	۳/۸۳۱	۱/۸۶	۷/۳۲۸
ژنوتیپ	۱٤	۰/۰۷**	۲۶/۱۰**	۱۲٤۱۷/۵۹**	۲۷۰٤۶۸/۱۵**	۵٤/۵۰**	۶۵۰۰۳/۷۶**	۱۱/۸۳**	۱۲۲۱/۶۳**	٤۸/۸۸**	۸۷/۱۳**	٤۸/۵۳**
ژنوتیپ × شرایط آبیاری	۱٤	۰/۰۶**	۱٤/۱۱**	۱۶۱۰/۱۸**	۲۲۶۳۷۹/۸۲**	۵/۵۶۸**	۲۲۵۹۱/۳۲**	۶/۸۳ns	۱۲۰/۸۷ns	٤۰/۵۲**	۱٤/۸۱**	۳۲/٤۱**
خطا	۵۶	۰/۰۰	۰/۰۵	۱۶۸/۵۲	۲۹/۸۳	۲۳۶/۳۸	۰/۰۵۶	۶/۱۱	۳۳/۱۹	۲/۱۵	۲/۵۰	۵/۸۱
ضریب تغییرات (درصد)		٤/۱۳	۸/٤۶	۱/۷۶	۱/۳۷	۳/۸۷	۱/۳۳	۱۶/۱۵	۵/۶۸	۶/۷۷	۲۵/۰۷	۱۰/۷٤
		۴۶/۳۳**	۱۰/۸٤**	۱۰/۵۳**	۰/۶۱ns	۴۶/۲۰**	۶۵٤/٤۷**	۱۳۷۰/۲۷**	۷٤/۷٤**	۰/۱۸**	۰/۱۶	۱۰/۱۸
		۰/۵۷	۱٤/۶۱	۱۲/٤۷	۰/۱۹	۷/۳۸	۰/۰۱	۰/۶۸	۱۰/۱۸	۰/۶۸	۱۰/۷٤	۱۲/٤۷

ns ، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ٣- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در شرایط غرقاب

صفات / ژنوتیپ	وزن هزاردانه (گرم)	تعداد خوشه‌چه	تعداد دانه پر در خوشه	دانه پوک (درصد)	عملکردشلتوک (تن درهکتار)	تعداد روز تا ٥٠٪ گلدهی (روز)	تعداد پنجه (بوته)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول خوشه (سانتی‌متر)	طول خروج خوشه (سانتی‌متر)	طول برگ پرچم (سانتی‌متر)	عرض برگ پرچم (سانتی‌متر)	مساحت برگ پرچم (سانتی‌متر)	باروری (درصد)
طارم محلی	١٠/٨ d	٦/٦٦ g	٩١٥/.٠٠e	٠/١٥k	٤/٨٨ef	٨٠/٣٣ g	١٤/٦٦ de	١٣٤/٦٦ a	٢١/٦٦efg	١٦/٣٣ a	٢١/٦٦cdef	١/٠٦bc	١٧/٣٢ cd	٨٦/٧٨ c
CT13382-8-3-N	١٠/١cd	١٠/٠cd	١٠٦٣/٦٧c	٠/٢٨e	٥/٣٤ cd	٨٥/٣٣ d	٢٠/٠٠ bc	١٠١/٣٣ e	٢٥/٦٦ bc	٢/٩٦ gh	٢٥/٦٦ b	١/٠٦ bc	٢٠/٥٥ bc	٨٧/٠٥ i
سپید رود	٩/١ e	٨/٣٣ef	٥٧٧/٠٠ j	٠/٥٦ d	٤/٣٤ g	٨٤/٠ de	٢٣/٦٦ ab	٧٧/٠٠ h	٢٠/٣٣ gh	٢/٤ gh	١٧/٣٣ g	٠/٩٠ c	١١/٧٥ e	٦٣/٨٤ m
IR83752-B-B123	١٠/١٢cd	٨/٠efg	٨١٢/٦٧ g	٠/٩٧ a	٥/٣٧ c	٩١/٣٣ c	٢٨/٠٠ a	١٠٤/٣٣de	٢٢/٠٠efg	٧/٠٦ d	٢٣/٢٠bcde	١/٢٣ ab	٢١/٤٨٦ b	٥٠/٧٢ n
PANDA	١٠/١٧ c	٧/٠٠fg	٨٦٨/٠ f	٠/١٩ i	٥/٠٣ de	٩٦/٣٣ b	١٢/٦٦de	٩٧/٣٣efg	١٨/٦٦ hi	٨/٠٣ cd	٢٤/٠٣ bcd	١/٠٠ bc	١٨/٠٢ bcd	٨٤/٠٨ e
سنگ جو	١٠/٢٩ b	٧/٣٣efg	١١٤٤/٠٠ b	٠/٣٤ c	٥/٧٢ b	٨٠/٠٠ g	٢٠/٦٦b	٩١/٠٠ fg	٢٠/٦٦fgh	٦/٠٦ ed	٢١/٨٦cdef	١/٠٠ bc	١٦/٤١٠٠d	٧٤/٥٢j
سرخو	١٠/٦٤ a	٧/٣٣efg	١١٦٩/٣٣ b	٠/٠٨ l	٦/٩١ a	٧٩/٦٦ g	٢٠/٣٣ b	١١٧/ ٣bc	٢١/٠٠ fg	٨/١٦ cd	٢٠/٦٦efcd	١/١٦b	١٨/١٠bcd	٩١/٩٥ a
USEN	١٠/١٧ c	٨/٣٣ef	٦٠٢/٦٧ ij	٠/٣٩ g	٤/٥٤ g	٨٢/٦٧ ef	١٢/٣del	١٠٥/٣٣ed	٢٢/٦٦efg	٩/٦٠ c	٢٠/٣٣ efg	١/٠٣ bc	١٥/٧٥ d	٧١/٥٧ l
طارم امیری	١٠/١٦cd	٨/٣٣ef	١٠١٧/٣٣ d	٠/١٠	٥/٣٤ c	٨٠/٣٣ g	١٤/٣٣ de	١١١/٠٠cd	٢٤/٥٠bcd	١٣/١٦ b	٢٤/٨٣ bc	١/٠٣ bc	١٩/٢٦ bcd	٩٠/٧٨ b
GRALDO	٩/٥٠ e	١/٦٦Vb	٧٣٩/٣٣ h	٠/٣٧ f	٣/٥ h	١٠٣/٣٣ a	١٣/٣٣ de	٩٠/٣٣ g	١٧/٠٠i	٤/٨٣efg	١٨/٣٣ fg	١/٤٣ a	١٩/٦٠ bcd	k g
گرده	١٠/١٥cd	١١/٣٣bc	٨٨٦/٦ ef	٠/٢٣ h	٥/٨٧ b	٨٠/٦ fg	١٥/٦٦ cd	٩٩/٠٠ ef	٢٠/٣٣ gh	٤/٢٣fgh	٢٣/٣٣bcde	١/٠٦ bc	١٨/٨٠bcd	٨١/١٩ g
دم سیاه	١٠/٣٩ a	٧/٣٣efg	١٢٣٦/٠a	٠/١٧vh	٦/٠٣ a	٨٠/٣٣ g	٢١/٣٣ b	١٢٤/٠٠ b	٢٦/٥٠ b	١٢/٠٠ b	٢٢/٠٠ cde	١/٠٦ bc	١٧/٥٠ bcd	٨٥/٣٠ d
BRSBONANC	١٠/١٠cd	١٩/٣٣a	٦٢٥/٦٧ i	٠/٩٢ b	٣/٥٣ h	١٠٤/٦٦ a	١١/٠٠ e	١٠٤/٠ de	٢٣/٨ cde	٣/٢٢gho	٢٩/٣٣ a	١/٤٣ a	٤٩/٤٣ a	٤٩/٠٤ o
شاه پسند	١٠/١١de	٨/٦٦de	٦١١/٦٧ i	٠/٢٤ j	٤/٥٢ g	٧٩/٣٣ g	١٣/٣٣ de	١٢١/٣٣ b	٣٠/٦٦ a	٢/٣٣ h	٢٩/٣٣ a	١/٤٣ a	٣١/٢٧ a	٨٠/١٣h
IR664-1-2-1-1-5-5	١٠/٠٩cd	٨/٥٣cde	٨٠٢/٠٠ g	٠/٢٠ i	٤/٦١ fg	١٠٤/٣٣ a	١٤/٦٦ DE	١٢٠/٨٣ b	٢٥/٥٣ bc	٦/٤٠ de	٢٤/١٠ bcd	١/٠٠ bc	١٨/٠٨ bcd	٨٣/١٣ f
حداقل اختلاف معنی‌دار (٥ درصد)	٠/٠٠٩	١/٥٦	٢٩/٩٥	٧/٧٣	٣٠/٩٧	٢/٢٨	٤/٣٨	٨/٠٦	٢/٣٦	٢/١٣	٣/٦٣	٠/٢٣	٣/٩٧	٠/٧٧

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در شرایط خشکی

ژنوتیپ / صفات	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه در بوته (گرم)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در بوته	تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی (روز)	دمای کانوپی (درجه)	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع)	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	وزن هزار دانه (گرم)
طارم محلی	۱۰/۸۰ab	۹۰۲/۳۳ c	۷/۳۳de	۱۲/۳۳a	۷۵/۶۷ i	۰/۲۵m	۳/۹۲ d	۱۳/۰۰ de	۱۲۶/۶۷ a	۱۸/۵۰ bcd
CT13382-8-3-N	۹/۰۲d	۵۱۹/۶۶h	۷/۳۳de	۱۲/۳۳a	۸۱/۶۶ F	۰/۳۰ f	۲/۸۶ f	۹۴/۰۰defg	۹۴/۳۳ a	۱۹/۰۲۵ bc
سپیدرود	۹/۰٤d	٦٤۳/۰۰ f	۷/۳۳de	۱۲/۳۳a	۸۱/۶ f	۰/۸۰a	۲/۹۹ f	٦۷/۰۰ h	۳۳/۶۷ a	۱۷/۶۰cde
IR83752-B-B123	۱۰/۰۰ b	۱۰۲۹/٦ b	۸/۳۳ c	۱۲/۳۳a	۸۵/۷۷e۰	۰/53i	٤/۱۱bc	۹۱/۰۰efg	۱۹/۳۳ d	۲۱/۰۰ b
PANDA	۹/۹۰ c	۳۸٤/۳۳ i	۱۲/۳۳a	۱۲/۳۳a	۹۳/۰۰ d	۰/90a	۲/۱۱ h	۱۰۰/۳۳de	۱۱/۶۷ ef	۲۵/۷۰ a
سنگ جو	۱۰/۰۰ b	۸۵۷/٦٦ d	۷/۳۳de	۱۲/۳۳a	۷۳/۶۷ j	۰/۳۹b	٤/۲٤ b	۲۲/۰۰ ab	۷٤/۶۷ h	۲۲/۱۹c
سرخو	۸/۵ e	٦٦۰/۰۰ e	۷/۳۳de	۱۲/۳۳a	۷٦/۰ i	۰/٤٦K	۳/٦۱ e	۱٤/۳۳cd	۱۰۷/۳۳ bc	۲۵/۱٤d
USEN	۷/۸ f	۳۵٤/۰۰ j	٦/۳۳ f	۱۲/۳۳a	۷۹/۳ g	۰/۵٦N	۲/٤۳ g	۱۰۵/۳۳ ef	۱۱/۳۳ ef	۲۳/۸۲f
طارم امیری	۹/۹۰ c	۸۵۳/٦٦ d	۸/۰۰cd	۱۲/۳۳a	۷٦/٦ hi	۳/۹۵cd	۰/۲۷ m	۱۲/۰۰ e	۱۰۲/۳۳bcd	۲۸/۸۷b
GRALDO	٦/۳۰ h	۱۰/۳۳b	۱۲/۳۳a	۱۲/۳۳a	۸۹/٦۷b	۱/۲۹ i	۰/۳۵ i	۸/۰۰ fg	۸۵/٦۷ g	۳۹/۹۱ j
گرده	۱۱/۱۱ a	۱۲۸۱/۳ a	۸/٦۷ c	۱۲/۳۳a	۹۷/۳ g	۵/۱۲ a	۰/۵٦c	۹۸/۳۳ cde	۲۱/۰۰ bcd	۲٤/۰۹f
دم سیاه	۷/۹۰ fg	۳۸۹/۳۳ i	۷/۰ ef	۱۲/۳۳a	۷۷/٦۷ h	۲/۳۷g	۰/٦٤ l	۱۲٦/۳۳bcd	۱۱۲/۳۳ b	۲۲/۷۲g
BRSBONANC	۷/٦۰ g	۲۲۷/٦٦ l	۱۰/۳۳b	۱۲/۳۳a	۱۰۲/۶ a	۱/۲۵ i	۰/۸۰d	۸۹/۳۳fg	۳۳/۸۳ a	۲۱/۷۵ab
شاه پسند	٦/۲۰ h	۱۱۱/۰ m	۸/۳۳ c	۱۲/۳۳a	۷٦/۳ ai	۰/۷۲ j	۰/٤۲ e	۱۰۰/۳۳cde	۱۲/۰۰ e	۱٤/۸۰m
IR664-1-2-1-1-5-5	۹/۵۰ d	۵۷۱/٦٦ g	۱۱/۰۰۰b	۱۲/۳۳a	۹۵/۳۳ c	۲/۳۹ g	۰/۸۷B	۸۷/٦۷ fg	۱۲/۳۷ ed	۲۸/۵۲k
حداقل اختلاف معنی دار (۵ درصد)	۰/۰۳	۰/۸٦	٦/٧٦	۱۰/۳٦	۲/۰۵	۱/٤۲	۳/۸٦	۱۰/۸۹	۲/۵۸	۵/۰٤

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری ندارند.

به‌منظور سنجش حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این آزمایش به تنش رطـوبتی از شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، شاخص میانگین هارمونیک (HARM)، شاخص میانگین هندسی (GMP)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص تحمل (TOL) و شـاخص حساسـیت بـه تـنش (SSI) استفاده شد.

شاخص‌های میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل به تنش (STI)، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های گرده، سرخو، سنگ‌جو، IR83752-B-B123، طارم‌امیری و طارم‌محلی را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش نشان دادند، میزان بالای عددی این شاخص‌ها نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش است (جدول ٥). براساس شاخص میانگین‌هارمونیک (HARM) از بین ١٥ ژنوتیپ مورد بررسی به‌ترتیب ژنوتیپ‌های گرده، سنگ‌جو، سرخو IR83752-B-B123، طارم‌امیری و طارم‌محلی را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند، میزان بالای عددی این شاخص نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش است. شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های گرده، سرخو، سنگ‌جو، IR83752-B-B123 و دم‌سیاه را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش نشان دادند، میزان بالای عددی این شاخص نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش است. ژنوتیپ‌های طارم‌امیری و سرخو در شرایط تنش دارای عملکرد نسبتاً یکسانی بودند ولی به‌دلیل بالا بودن عملکرد سرخو در شرایط غرقاب، شاخص بهره‌وری متوسط (MP) آن بالاتر شد. می‌توان چنین نتیجه گرفت که این شاخص زمانی قابل اعتماد است که با عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر گرفته شود. به‌طورکلی عکس‌العمل گیاهان زراعی و ارزیابی آن‌ها برای حداکثر عملکرد در شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آن‌ها در استفاده از شرایط محیطی است. این امر از طریق تنظیم اجزای عملکرد و اثرات متقابل ژنوتیپ‌ها به هنگام بروز شرایط نامطلوب و مطلوب امکان‌پذیر است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بر اساس شاخص‌های مذکور ژنوتیپ‌های گرده، سنگ‌جو، سرخو، IR83752-B-B123، طارم‌امیری و طارم‌محلی از تحمل به تنش بالاتری نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند و ژنوتیپ‌های شاه‌پسند، GRALDO و BRSBONANC کمترین مقدار را به خود اختصاص داده و از لحاظ شاخص‌های ذکر شده به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس معرفی شدند. از لحاظ شاخص حساسیت به تنش (SSI) 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 (SSI)، مواد آزمایشی را صرفاً براساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند به‌عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان

ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (فیشر و مورر، ۱۹۷۸) و به‌منظور یافتن ژنوتیپ‌های متحمل این شاخص کارایی بالایی دارد. در واقع در شاخص حساسیت (SSI) 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. ژنوتیپ گرده کمترین مقدار شاخص حساسیت به تنش را به خود اختصاص داد و بنابراین در بین ژنوتیپ‌ها متحمل‌ترین ژنوتیپ بود و ژنوتیپ‌های سپیدرود، دم‌سیاه و شاه‌پسند به‌ترتیب بیشترین مقدار SSI را به خود اختصاص دادند (جدول ۵) و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. ژنوتیپ دم سیاه از لحاظ شاخص MP به‌عنوان شاخص مناسب شناخته شد در حالی که از لحاظ شاخص SSI به‌عنوان ژنوتیپ حساس شناخته شد که نشان‌دهنده این است که این ژنوتیپ دارای میانگین عملکرد بالا بود ولی درصد تغییرات زیادی را نشان داده است. از لحاظ شاخص تحمل (TOL) ژنوتیپ‌هایی که کمترین مقدار را نشان بدهند به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. به‌ترتیب ژنوتیپ‌های سپیدرود و گرده 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 (TOL) در گزینش ژنوتیپ‌های که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد مناسب باشند، موفق نبود. در واقع شاخص تحمل (TOL)، به نوعی 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 به عنوان یک فاکتور تحمل به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیک دارد تا زراعی، انتخاب بر اساس شاخص تحمل (TOL) باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد به نسبت پایین در محیط عادی و عملکرد پایین در شرایط تنش می‌گردد، که چنین ژنوتیپ‌هایی از نظر اشنایدر و همکاران (۱۹۹۷) به‌علت پایین بودن عملکرد از نظر زراعی مناسب نیستند. در نتیجه 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 در نتیجه این ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی گردد (مقدم وهادی زاده، ۲۰۰۲). به‌عنوان مثال ژنوتیپ سپیدرود که در هر دو شرایط دارای عملکرد نسبتاً کمی نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بود اما به‌دلیل افت اندک عملکرد در شرایط تنش بر اساس، این شاخص به‌عنوان ژنوتیپ

متحمل شناسایی شد در حالی که شاخص حساسیت به تنش این ژنوتیپ را ژنوتیپی حساس معرفی کرد.

همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها به‌کار رود. نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های مقاومت نشان داد که همبستگی عملکرد در شرایط غرقاب به‌ترتیب با شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین تولید (MP) و میانگین هارمونیک (HARM)، قوی و معنی‌دار بود که بیشترین آن مربوط به همبستگی با شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین هندسی بهره‌وری (r=٠/٧٥) بود و در شرایط تنش نیز شاخص‌های میانگین‌هارمونیک (HARM)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین تولید (MP) همبستگی بالایی با عملکرد نشان دادند که بیشترین آن مربوط به شاخص میانگین هارمونیک (r=٠/٩٦) بود (جدول ٦). به‌طورکلی شاخص‌های که در هر دو محیط دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند می‌تواند به‌عنوان شاخص‌های مناسب معرفی شوند، چرا که این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط می‌باشند (فرناندز، ١٩٩٢). در همین رابطه با توجه به نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های مختلف و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان شاخص‌های STI HARM، GMP و MP را به‌عنوان شاخص‌هایی برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی که قادرند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را نشان دهند انتخاب نمود. ژنوتیپ‌های گرده، سرخو، سنگ جو IR83752-B-B123، طارم‌امیری و طارم‌محلی براساس شاخص‌های مذکور در رده بالای قرار داشتند و با توجه به این که این شاخص‌ها به‌عنوان برترین شاخص‌ها در این تحقیق شناخته شدند، می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های شاه‌پسند، GRALDO و BRSBONANC که کمترین مقدار این شاخص‌ها را داشتند به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها در این تحقیق معرفی کرد. همبستگی شاخص‌های تحمل خشکی (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) با عملکرد دانه در شرایط تنش منفی بود. کلارک و همکاران (١٩٩٢) و فرناندز (١٩٩٢) به محدودیت شاخص SSI در گندم و لوبیا اشاره کرده‌اند.

جدول ۵- برآورد شاخص‌های مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس عملکرد دانه

شاخص / ژنوتیپ	GMP	MP	SSI	STI	HARM	TOL	YS	YP
طارم محلی	٤/٢٨	٤/٤٠	٠/٤٦	٠/٧٥	٤/٣٥	٠/٩٦	٣/٩٢	٤/٨٨
CT13382-8-3-N	٣/٩٠	٤/١٠	١/٠٩	٠/٦١	٣/٧٢	٢/٤٨	٢/٨٦	٥/٣٤
سپید رود	٣/١٠	٣/٤٩	١/٦٨	٠/٣٩	٣/١٠	١/٠١	٢/٩٩	٣/٣٤
IR83752-B-B123	٤/٧٣	٤/٨٠	٠/٥٤	٠/٨٨	٤/٦٩	١/٢	٤/١٧	٥/٣٧
PANDA	٣/٢٥	٣/٥٧	١/٣٦	٠/٤١	٢/٩٧	٢/٩٢	٢/١١	٥/٠٣
سنگ‌جو	٤/٩٢	٤/٩٨	٠/٦١	٠/٩٥	٤/٨٧	١/٤٢	٤/٢٤	٥/٧٢
سرخو	٤/٩٩	٥/٢٦	١/١٢	٠/٩٨	٤/٧٤	٣/٣٣	٣/٦١	٦/٩١
USEN	٣/٢٢	٣/٤٨	١/٠٩	٠/٤٣	٣/١٧	٢/١١	٢/٤٣	٤/٥٤
طارم‌امیری	٤/٥٩	٤/٦٤	٠/٦١	٠/٨٣	٤/٥٤	١/٤٥	٣/٩٥	٥/٣٤
GRALDO	٢/١٢	٢/٣٩	١/٤٨	٠/٠٤	١/٨٨	٢/٢١	١/٢٩	٣/٥٥
گرده	٥/٤٨	٥/٥٠	٠/٣٠	١/١٨	٥/٤٧	٠/٧٥	٥/١٢	٥/٨٧
دم‌سیاه	٤/١٤	٤/٢٠	١/٥٨	٠/٦٧	٣/٥٦	٣/٦٦	٢/٣٧	٧/٢١
BRSBONANC	٢/٠٩	٢/٣٩	١/٥٢	٠/١٧	١/٨٤	٢/٢٨	١/٢٥	٣/٥٣
شاه‌پسند	١/٨٠	٢/٦٢	١/٥٧	٠/١٢	٠/٢٤	٣/٨	٠/٧٢	٤/٥٢
IR664-1-2-1-1-5-5	٣/٣٢	٣/٥٠	١/١٣	٠/٤٣	٣/٢٩	٢/٢٢	٢/٣٩	٤/٦١

YP: عملکرد در شرایط آبی، YS: عملکرد در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: شاخص میانگین هندسی، HARM : شاخص میانگین هارمونیک، MP: شاخص بهره‌وری متوسط

جدول ٦ - ماتریس ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و غرقاب و شاخص‌های تحمل

	YP	YS	TOL	HARM	STI	SSI	MP	GMP
YP	١							
YS	٠/٥٠	١						
TOL	٠/٤٧	-٠/٣٨	١					
HARM	٠/٦١*	٠/٩٦**	-٠/٢٥	١				
STI	٠/٧٥**	٠/٩٤**	-٠/١١	٠/٩٤**	١			
SSI	-٠/٣٤	-٠/٨٦**	٠/٣٧	٠/٧٩**	-٠/٧٩**	١		
MP	٠/٧٤**	٠/٨٤**	-٠/٥٩	٠/٨٥**	٠/٩٠**	-٠/٧٢**	١	
GMP	٠/٧٥**	٠/٩٤**	-٠/١١	٠/٩٧**	٠/٩٩**	-٠/٧٨**	٠/٩١**	١

*و**: به‌ترتیب همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد و ١ درصد.

YP: (عملکرد در شرایط آبی)، YS: (عملکرد در شرایط تنش)، TOL: (شاخص تحمل)، HARM: (شاخص میانگین هارمونیک)، STI: (شاخص تحمل به تنش)، SSI: (شاخص حساسیت به تنش)، MP: (شاخص بهره‌وری متوسط) GMP: (شاخص میانگین هندسی).

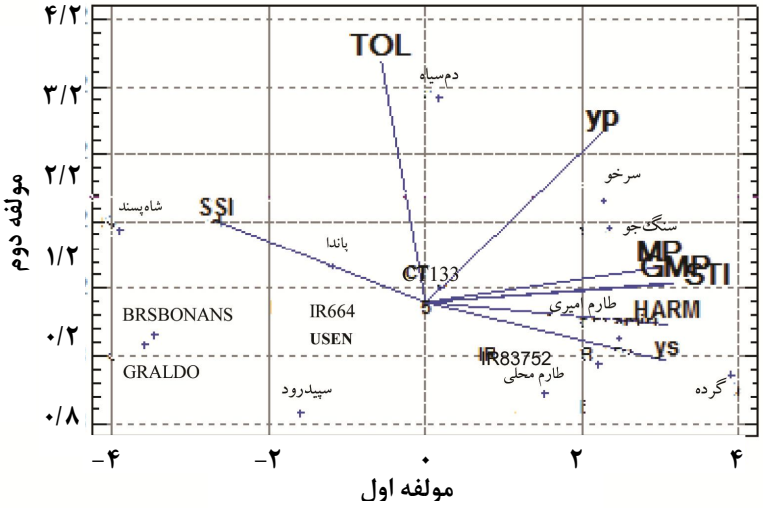
نتایج تجزیه به عامل‌ها در جدول (٧) نشان داده شده است. با توجه به این‌که ٩٣/١٨ درصد از تغییرات توسط دو مؤلفه اول قابل تفسیر بود و حذف سایر مؤلفه‌ها تأثیر بسیار ناچیزی در میان تغییرات داشت، ترسیم بای‌پلات براساس این دو مؤلفه انجام شد (شکل ١). مؤلفه اول ٧٣/٨ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد و ارتباط بالایی با عملکرد در شرایط غرقاب (YP) و تنش (YS) و شاخص‌های STI، HARM، GMP و MP داشت، در نتیجه می‌توان مؤلفه اول را پتانسیل عملکرد یا نماینده شاخص‌های مقاومت به خشکی که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش بود نام‌گذاری کرد. دومین مؤلفه ١٩/٤ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد و ارتباط مثبتی با شاخص‌های TOL و SSI داشت این مؤلفه یک ارتباط منفی با عملکرد دانه در شرایط تنش نشان داد. بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش و عملکرد دانه در شرایط تنش معرفی کرد که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های حساس به تنش رطوبتی است. توجه به بار عامل‌ها در مؤلفه دوم نشان داد که عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش دارای بار عاملی مثبت و منفی است که تأییدی بر رابطه منفی TOL و SSI با YS است. هرچه مقدار این مؤلفه کمتر باشد ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای مقادیر کمتر TOL و SSI و عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش رطوبتی

باشند. به‌طورکلی ژنوتیپ‌هایی که بیشترین مقدار مؤلفه اول و کمترین مقدار مؤلفه دوم را داشته باشند، برای هر دو شرایط محیطی بدون تنش و تنش مطلوب خواهند بود. لذا با توجه به شکل (۱) می‌توان مشاهده کرد که ژنوتیپ‌هایی مانند سنگ‌جو و سرخو، گرده، IR83752، طارم‌محلی و طارم‌امیری ژنوتیپ‌هایی متحمل با میانگین عملکرد بالا در هر دو محل بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های GRALDO، BRSBONANC و شاه‌پسند به‌عنوان ژنوتیپ‌های کم محصول و حساس شناخته شدند. همچنین نمایش بای پلات نشان داد که بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل برنج در این آزمایش، شاخص‌های تحمل به تنش (STI) میانگین هارمونیک (HARM)، میانگین هندسی (GMP) و میانگین بهره‌وری (MP) بود. یاهوئیان و همکارن (۲۰۰۵) شاخص‌های میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل به خشکی (STI) را که در نمودار بای‌پلات در زاویه بین عملکرد در شرایط نرمال و تنش قرار داشتند به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی کردند.

جدول ۷- بردارهای ویژه مؤلفه‌های اول تا چهارم برای شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی

شاخص‌ها	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم
YP	۰/۷	۰/۵٦	۰/۰۲	۰/۳٤
YS	۰/۸۷	-۰/۲۳	۰/٤۰	۰/۱۳
TOL	-۰/۱۲	۰/۹۸	-۰/۱۲	-۰/۲۰
MP	۰/۷٦	-۰/۱۱	۰/۳۱	۰/۵۷
GMP	۰/۹۲	۰/۰۵	۰/۳۱	۰/۲۱
Harm	۰/۹۲	-۰/۱۱	۰/۳۰	۰/۱۱
STI	۰/۹۰	۰/۱٤	۰/۳۵	۰/۲۱
SSI	-۰/۵۵	۰/۱۹	-۰/۷۹	-۰/۱۳
%Variance	۷۳/۸۱	۱۹/۳۷	۳/۲۷۹	۱/۹۳
%Cumulative	۷۳/۸۱	۹۳/۱۸	۹٦/٤٦۰	۹۸/۳۹

YP: عملکرد در شرایط آبی، YS: عملکرد در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، SSI:شاخص حساسیت به تنش، STI:شاخص تحمل به تنش، GMP: شاخص میانگین هندسی، HARM : شاخص میانگین‌هارمونیک، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، Cumulative variance: سهم تجمعی

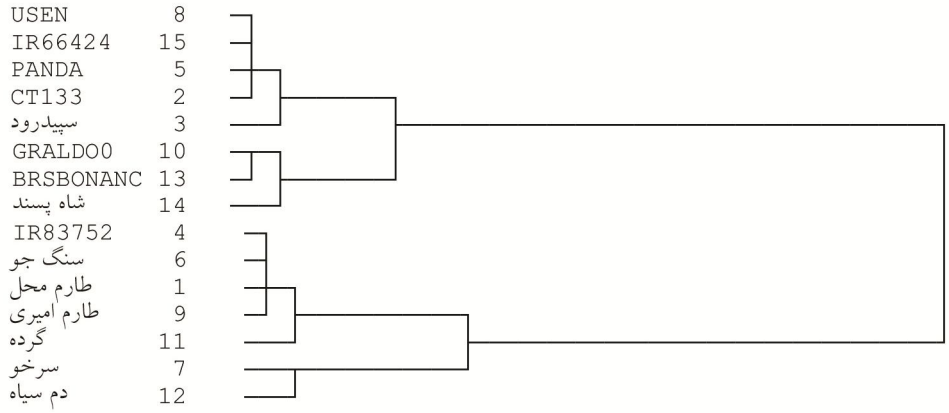


شکل ۱- نمایش بای پلات ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها در شرایط غرقاب و خشکی.

YP: عملکرد در شرایط آبی، YS: عملکرد در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، SSI:شاخص حساسیت به تنش، STI:شاخص تحمل به تنش، GMP: شاخص میانگین هندسی، HARM : شاخص میانگین‌هارمونیک، MP: شاخص بهره‌وری متوسط

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها به کمک شاخص‌های تحمل به خشکی انجام شد (شکل ۲). بر اساس این نمودار ژنوتیپ‌ها به ٤ گروه تقسیم شدند. ژنوتیپ‌های دم سیاه و سرخو گروه اول قرار گرفتند این ژنوتیپ‌ها عملکرد خوبی به خصوص در شرایط غرقاب از خود نشان داده بودند. در واقع در این گروه ژنوتیپ‌هایی که دارای بیشترین عملکرد در شرایط غرقاب بودند قرار گرفتند. در این گروه شاخص SSI بیشترین مقدار را برای ژنوتیپ دم سیاه داشت، اگرچه رابطه این صفت با عملکرد دانه در شرایط تنش منفی است، اما بالا بودن عملکرد دانه در شرایط غیر تنش و در نتیجه بالا بودن اختلاف عملکرد در دو محیط، منجر به افزایش میزان SSI شد. ژنوتیپ‌های گرده، طارم محلی، طارم امیری، سنگ جو و IR83752-B-B-12-3 در گروه دوم قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها دارای میانگین عملکرد نسبی بالا و تحمل خوبی در شرایط تنش بودند. ژنوتیپ‌های شاه پسند، BRSBONANC و GRALDO در گروه سوم قرار گرفتند و جزء ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند. ژنوتیپ‌های CT13382-8-3-N، PANDA، IR664-1-2-1-1-5-5 و سپیدرود در گروه چهارم قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها در هر دو

شرایط غرقاب و تنش، عملکرد و تحمل نسبی پایینی داشتند. به‌طورکلی تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش را در گروه‌های مجزا دسته‌بندی کرد. به‌طوری‌که در گروه‌های اول ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط غرقاب و تحمل نسبی به تنش، در گروه دوم ژنوتیپ‌هایی با میانگین عملکرد بالا و متحمل و در گروه سوم ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین و حساس به خشکی و در گروه چهارم ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد و تحمل پایین قرار گرفتند.



شکل ۲-گروه بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی.

منابع

1.Cabulsay, G.S., Ito, O., and Alejar, A.A. 2002. Physiological evaluation of response of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Sci. 163: 815-827.
2.Clark, J.M.R., Depauw, M., and Ownley-Smith, T.F. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Res. 32: 723-728.
3.Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetable and other Food Crops to Temperature and Water Stress. Taiwan, 13-18 August. 257-270 pp.
4.Fischer, R.A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Aust. J. Agric. Res. 29: 897-912.
5.Fao, 2009. Fao statistical data base (available at www.fao.org).
6.Food and Agriculture Organization (FAO). 2004. Rice is Life. Italy: FAO. http://www.fao.org/newsroom/en/focus/200436887/index.html. International Year of Rice. 2004. "Rice and human nutrition.

7.Katouzi, M., Rahimzadeh khoei, F. and Sabouri, H. 2006. Evaluation of rice cultivars irrigation treatment based on sensitive and tolerance indices. EJCP. 1: 33-47.
8.Khodabande, N. 1990. Gramine. Tehran University. Press. 538 pp.
9.Kocheki, E., and Soltani, A. 1997. Principle of Agricultural Practice in Arid Environment. Education of Agriculture Press. 942 pp.
10.Moghaddam, A. and Hadizade, M.H. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Plant Seed J. 18: 3. 255-272.
11.Nam, N.H., Chauhan, Y.S. and Johansen, C. 2001. Effect of timing of drought stress on growth and grain yield of extra-short-duration pigeonpea lines. J Agri Sci. 136: 179–189.
12.Pantuwan, G., Fukai, S. Cooper, M., Rajatasereekul, S. and O Toole, J.C. 2002. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowland- part 2. Selection of drought resistance genotypes. Crop Res. 73: 169-180.
13.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.
14.Rezaei, M., and Nahvi, M. 2007. Effect of different irrigation management methods on water use efficiency and rice yield. Agric. Sci. 1:15-25.
15.Richards, R.A. 1996. Definding selection criteria to improve yield under drought. Plant Growth Reg. 20: 157-166.
16.Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environments. Crop Sci. 21: 943-946.
17.Schnider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-Allejo, P., Wassimi, N. and Kelly, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Sci. 37: 43-50.
18.Singh, .A. 2003. Enhancing Rice Productivity in Water Stressed Environments. IRRI Publications DOI No: 10.1142/9789814280013_0013.
19.Venuprasad. R., Lafitte, H.R., and Atlin, G.N. 2007. Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice. Crop Sci. 47: 285-293.
20.Widawsky, D.A. and O'Toole, J.C. 1990. Prioritizing the Rice Biotechnology Research Agenda for Eastern India. The Rockefeller Foundation, NewYork 86 pp.
21.Yahoueian, S.H., Ghannadha, M.R., Babaie, H.R. and Habibi, D. 2006. Evaluation of soybean genotypes in drought stress conditions. Iran. J. Agron. Plant Breeding. 2: 57-72.

EJCP., Vol. 6 (4): 55-75
http://ejcp.gau.ac.ir

Evaluation of rice cultivars in drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices

***M. Ghiasy[1], H. Farahbakhsh[2], H. Sabouri[3] and GH. Mohamadi nejad[4]**
[1]Former Graduate Student, University of Shahid Bahonar Kerman, [2]Assistant Prof., Dept. of Plant Breeding, Kerman University, [3]Assistant Prof., Dept. of Plant Production, Gonbad Kavous University, [4]Assistant Prof., Dept. of Plant Breeding, Kerman University
Recived: 12-22-2012; Accepted: 8-10-2013

Abstract

Drought stress has been well documented as an effective parameter in decreasing crop production, developing and releasing new varieties which are adapted to water deficit conditions can be a constructive program to overcome unsuitable environmental conditions. In order to evaluate the adaptation of rice genotypes to drought stress and to identify the tolerant and sensitive genotypes, 15 genotypes were studied in two environments (stressed and non–stressed conditions) using randomized complete block design with three replications in the research farm of Gonbad Kavous University in 2008 growing season. Analysis of variance showed that there was highly significant effect (P>0.01) among genotypes in all traits and in both environments. Mean comparison showed that the highest yield belonged to Domsiah, Sarkho and Sangjo in non-stressed and Gerde, Sangjo and IR83752-B-B123 in stressed conditions. Based on biplot and correlation analysis mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP) stress tolerance index (STI) and mean harmonic were the most suitable indices for selection of genotypes under stress and non stress condition. Based on MP, GMP and STI and also biplot technique, Garde, Sarkho, Sangjo, IR83752-B-B123, Tarom mahali and Tarom Amiri) were determined as the most tolerant cultivars while BRSBONANC GRALDO being the low yield and most sensitive to drought stress.

***Keywords*:** Rice; Drought stress; Drought Stress; Tolerance indices; Yield.

*Corresponding author; saboriho@yahoo.com