University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 13, No. 4, Winter 2024 (301-314)
doi: 10.22124/CR.2024.26168.1800
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Evaluation of some rice genotypes under drought stress conditions based on stress tolerance indices

Jafar Gilaky[1], Saeid Navabpour[2*] and Abolfazl Mazandarani[3]

1. Graduate M. Sc., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Agriculture and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Agriculture and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran ([*] Corresponding author: s.navabpour@gau.ac.ir)
3. Graduate Ph. D., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Agriculture and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

The water deficit is one of the most important problems in rice cultivation, particularly when the decrease in rainfall and dry season affects its vegetative growth and grain yield. Drought stress is known as one of the most effective factors of yield reduction in crops. Identifying and introducing tolerant genotypes is a good way to cope incompatible environmental conditions. For easier evaluation of genotypes under drought conditions and identification of drought tolerant genotypes, various indices have been suggested as criteria for selection of genotypes based on their yield under stress and non-stress conditions. The present study was conducted to evaluate some rice genotypes under drought stress conditions as well as to introduce drought tolerant genotypes using important tolerance and sensitivity stress indices.

Materials and methods

This experiment was conducted in split plots based on randomized complete block design with three replications in Azadshahr, Golestan province, Iran. The main factor included two irrigation levels (drought stress and flooding as control) and the sub-factor included eight rice varieties. The experimental plots were three m^2 with a distance of one m from each other. After randomly assigning the treatments to the experimental units, transplanting was done as four plants per pile. Each genotype was cultivated in six two-meter rows with a distance of 25 × 25 cm. Irrigation of the experimental field under both stress and non-stress conditions until the tillering stage of the genotypes was conducted as flooding. Then, under stressful conditions, irrigation was carried out from 40 days after transplanting (maximum tillering stage) until the end of the cropping season at an interval of 25 days, which according to the climatic conditions of the studied region, irrigation was done only once in stressful conditions. From the six rows planted in each plot, one row from around each plot was removed as border and the second to fourth rows were selected for sampling. After measuring traits and calculating different indices, the data were analyzed by SAS software. Two-dimensional biplot diagram was also drawn by STATGRAPHIC software.

Research findings

The results of analysis of variance showed a significant difference between the genotypes for all studied traits under both drought stress and flooded (control) conditions. Comparison of means showed that the highest average grain yield under both control and stress conditions belonged to Fajr, IRAT216, Sang-Jo, and Sang-Tarom Gerdeh genotypes, and the lowest grain yield belonged to the

Sepidrood variety. The results of the correlation coefficients showed that grain yield in control conditions had a positive and significant correlation with mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HARM), and drought tolerance (TOL) indices, respectively, and the highest correlation was observed between grain yield and MP index (r = 0.918). Also, under drought stress conditions, grain yield showed a high correlation with the harmonic mean (HARM), geometric mean productivity (GMP) and mean productivity (MP) indices, the highest of which was related to harmonic mean index (r = 0.933). The results of principal component analysis showed that 94.31% of the total variation between data was justified by the first and second principal components. Cluster analysis based on drought stress indices separated rice genotypes into three groups, and the genotypes in the first cluster had the highest drought tolerance.

Conclusion

The results of biplot analysis and correlation between stress indices indicated that GMP, MP, and HM indices were the best indices for selecting high-yielding genotypes under both stress and non-stress conditions in this experiment. Based on these indices and biplot diagram, Fajr, Sang-Tarom Gerdeh, Sang-Jo, and IRAT216 genotypes were identified as high-yielding and drought-tolerant genotypes, and Sepidrood and Gharib Siah Reyhani varieties as low yielding and drought sensitive genotypes.

Keywords: Cluster analysis, Drought tolerance, Tolerance indices, Biplot, Grain yield

Received: September 9, 2023 Accepted: December 10, 2023

Cite this article:

Gilaky, J., Navabpour, S., & Mazandarani, A. (2024). Evaluation of some rice genotypes under drought stress conditions based on stress tolerance indices. *Cereal Research*, *13*(4), 301-314. doi: 10.22124/CR.2024.26168.1800.

تحقیقات غلات
دوره سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲ (۳۱۴-۳۰۱)
doi: 10.22124/CR.2024.26168.1800

مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های برنج تحت شرایط تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

جعفر گیلکی[۱]، سعید نواب‌پور[۲*] و ابوالفضل مازندرانی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(* نویسنده مسئول: s.navabpour@gau.ac.ir)
۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده جامع

مقدمه: یکی از مشکلات عمده زراعت برنج کمبود منابع آب است، به‌ویژه در دوره‌هایی که کاهش ریزش باران بر رشد رویشی و عملکرد آن تاثیر می‌گذارد. تنش خشکی به‌عنوان یکی از موثرترین عامل‌های کاهش تولید در گیاهان شناخته شده است. شناسایی و گسترش ژنوتیپ‌های سازگار به تنش یکی از راه‌کارهای غلبه بر شرایط نامساعد محیطی است. برای ارزیابی آسان‌تر ژنوتیپ‌ها در مواجهه با تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، شاخص های مختلفی به‌عنوان معیار انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد آن‌ها در شرایط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است. بر همین اساس، مطالعه حاضر به‌منظور ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های برنج تحت شرایط تنش خشکی و معرفی ارقام متحمل به خشکی با استفاده از شاخص های مهم حساسیت و تحمل به تنش انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در شهرستان آزادشهر استان گلستان به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی شامل دو سطح آبیاری (تنش خشکی و آبیاری غرقابی به‌عنوان شاهد) و فاکتور فرعی شامل هشت رقم زراعی برنج بود. اندازه واحدهای آزمایشی سه مترمربع با فاصله یک متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. بعد از انتصاب تصادفی تیمارها به واحدهای آزمایشی، نشاکاری به‌صورت چهار بوته در هر کپه انجام شد. هر ژنوتیپ در شش ردیف دو متری با فاصله ۲۵ × ۲۵ سانتی‌متر کشت شد. آبیاری مزرعه آزمایشی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش تا مرحله پنجه‌دهی ژنوتیپ‌ها به‌طور یکسان به‌صورت غرقاب انجام شد. سپس در شرایط تنش، آبیاری از ۴۰ روز پس از نشاکاری (مرحله حداکثر پنجه‌زنی) تا پایان فصل زراعی به فاصله ۲۵ روز انجام شد که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، تا پایان فصل زراعی تنها یکبار آبیاری در شرایط تنش انجام شد. از شش ردیف کاشته شده در هر کرت، یک ردیف از طرفین به‌عنوان حاشیه حذف و ردیف‌های دوم تا چهارم جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند. پس از اندازه‌گیری صفات و محاسبه شاخص‌های مختلف، داده ها با نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند. نمودار دو بعدی بای‌پلات نیز با نرم‌افزار STATGRAPHIC رسم شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج تجزیه واریانس تفاوت بسیار معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها از نظر کل یه صفات مورد مطال عه در هر دو شرایط تنش خشکی و غرقاب نشان داد. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که در هر دو شرایط غر قاب و تنش، بیش ترین میانگین عملکرد متعلق به ژنوتیپ‌های فجر، IRAT216، سنگ جو و سنگ طارم گرده و کم‌ترین م یانگین عمل کرد متع لق به رقم سپیدرود بود. نتایج ضرایب همبستگی ن شان داد که عمل کرد دا نه در شرایط غر قاب به‌ترتیب با شاخص‌های ب هره‌وری متوسط (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HARM) و تحمل خ شکی (TOL) دارای همب ستگی مثبت و معنی‌دار بود و بالاترین همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص ب هره‌وری متو سط (r=۰/۹۱۸) م شاهده شد. در شرایط تنش نیز شاخص‌های میانگین هارمونیک (HM)، م یانگین هند سی ب هره‌وری (GMP) و ب هره‌وری متو سط (MP) همب ستگی بالایی با عملکرد دانه نشان دادند و بالاترین آن مربوط به شاخص میانگین هارمونیک (r=۰/۹۳۳) بود. نتایج تجزیه به مول فه‌های اصلی نشان داد که ۹۴/۳۱ درصد از تنوع کل بین داده‌ها توسط دو مولفه اصلی اول و دوم توجیه شد. تجزیه خوشه‌ای بر ا ساس شاخص‌های تنش نیز ژنوتیپ‌های برنج را به سه گروه تفکیک کرد و ژنوتیپ‌های مو جود در خو شه اول دارای بیش ترین تح مل به تنش خشکی بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده از تجزیه بای‌پلات و همبستگی بین شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های GMP، MP و HM بهترین شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول در هردو شرایط تنش و بدون تنش در این آزمایش بودند. بر ا ساس ا ین شاخص‌ها و رسم نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌های فجر، سنگ طارم گرده، سنگ جو و IRAT216 به‌عنوان ژنوتیپ های با عمل کرد بالا و متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های سپیدرود و غریب سیاه ریحانی به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و ح ساس به خشکی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای، تحمل به خشکی، شاخص‌های تحمل، عملکرد دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

نحوه استناد به این مقاله:

گیلکی، جعفر، نواب‌پور سعید، و مازندرانی، ابوالفضل. (۱۴۰۲). ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های برنج تحت شرایط تنش خشکی بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش. *تحقیقات غلات*، ۱۳(۴)، ۳۱۴-۳۰۱. doi: 10.22124/CR.2024.26168.1800

مقدمه

برنج با نام علمی (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی دنیا، در بخش‌های وسیعی از سراسر جهان کشت می‌شود و غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان است (Park & Kim, 2014). خشکی از عمده خطرات جدی در جهان برای تولید موفق محصولات زراعی به‌ویژه برنج است که می‌تواند در هر زمان طی فصل رشد رخ دهد. از این‌رو، یکی از چالش‌های اصلی در کشاورزی، تولید غذای بیش‌تر با آب کم‌تر است (Tuyen & Prasad, 2008). برنج در بین گیاهان زراعی بالاترین نیاز آبی را دارد و زراعت آن، دو تا سه برابر بیش‌تر از سایر غلات مانند گندم و ذرت به آب نیاز دارد (Tilman *et al*., 2011). از ۲۵ درصد آب شیرین موجود در دنیا ۷۰ درصد آن در بخش کشاورزی مصرف می شود که از این مقدار ۲۵ الی ۳۰ در صد آن به زراعت برنج اختصاص دارد (Sedaghat *et al*., 2015). تنش آب می‌تواند آناتومی، مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و تقریباً بر کلیه جنبه‌های رشد و نمو آن‌ها اثر بگذارد (Kocheki & Soltani, 1997). به نظر می‌رسد افزایش تحمل به خشکی به‌ویژه در برنج که از مهم‌ترین گیاهان زراعی در آسیا محسوب می شود، ضروری است (Singh & Chinnusamy, 2009).

شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش گیاهان در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آن‌ها ارائه شده است. فیشر و مورر (Fischer & Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index) را پیشنهاد کردند. روزیل و هامبلین (Rosielle & Hamblin, 1981) شاخص تحمل (Tolerance Index) و میانگین بهره‌وری (Mean Productivity) را ارائه کردند. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index) و میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity) را معرفی کرد. مطالعات متعددی در کشور برای ارزیابی عملکرد برنج در شرایط تنش خشکی صورت گرفته است. از جمله در مطالعه‌ای شاخص‌های تحمل به خشکی در ۱۵۰ لاین F_5 برنج در دو شرایط نرمال و تنش خشکی، ارزیابی و بر اساس نتایج حاصل از تجزیه بای‌پلات، شاخص های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری و میانگین هندسی بهره‌وری به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول در برنامه‌های کاربردی اصلاح برنج معرفی شدند (Rahimi *et al*., 2012). امین‌پناه و همکاران (Aminpanah *et al*., 2018) نیز به‌منظور تعیین بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در ۱۴ لاین موتانت M5 و چهار رقم والدینی به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های میانگین هندسی، میانگین بهره‌وری و تحمل به تنش همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند و به‌عنوان بهترین شاخص‌ها شناسایی شدند. در تحقیقی دیگر نشان داده شد که شاخص‌های میانگین هندسی و تحمل به خشکی بهترین شاخص ها جهت گزینش ژنوتیپ های پرمحصول برنج در هر دو محیط تنش خشکی و بدون تنش بود ند (Tabkhkar *et al*., 2018). نتایج مطالعه دیگری نشان داد که شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی و تحمل به تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در هر دو شرایط تنش و غرقاب داشتند و در نتیجه این شاخص‌ها مفیدتر از سایر شاخص‌ها جهت گزینش ارقام پرمحصول در هر دو شرایط تنش و غرقاب معرفی شدند (Safaei Chaeikar *et al*., 2018). با توجه به اینکه خشکی عامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی است و کشت برنج در بیش‌تر نقاط کشور در معرض تنش خشکی قرار دارد، این تحقیق انجام شد که هدف از آن، بررسی واکنش هشت ژنوتیپ برنج در برابر تنش خشکی و شناخت ژنوتیپ های برتر و متحمل به خشکی در شرایط آب و هوایی آزاد شهر در استان گلستان بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات شهرستان آزادشهر در استان گلستان با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۶ دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. هدف از مطالعه ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ارقام برنج و انتخاب ارقام متحمل به خشکی بود. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی آبیاری در دو سطح شامل تنش خشکی و بدون تنش (غرقاب به‌عنوان شاهد) و فاکتور فرعی شامل هشت رقم زراعی برنج بود. ارقام مورد استفاده در این آزمایش هشت ژنوتیپ برنج ایرانی و خارجی شامل: طارم امیری، فجر، طارم محلی، سپیدرود، IRAT216، غریب سیاه ریحانی، سنگ طارم گرده و سنگ جو بود.

مقدار بذر مصرفی به‌میزان ۲۰۰ گرم در متر مربع خزانه استفاده شد. بذرها با توجه دوره رشد ژنوتیپ‌ها در فاصله زمانی ۲۰ روز به‌مدت ۲۴ ساعت در آب معمولی خیسانده و بعد با وایتکس تجاری ۱۰ درصد ضد عفونی شدند. با توجه به نتایج آزمایش‌های قبلی، نشاکاری طوری انجام شد که همه ژنوتیپ‌ها تقریباً در مرحله حداکثر پنجه‌زنی با تنش مواجه شوند. پس از آب‌گیری مزرعه و شخم و انجام سایر مراحل آماده‌سازی، نشاهای سالم از زمین خزانه به زمین اصلی انتقال یافت و در کرت‌های آزمایشی نشا شدند. آبیاری مزرعه آزمایشی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (غرقاب)، تا مرحله پنجه‌دهی ژنوتیپ‌ها به‌طور یکسان و به‌صورت غرقاب انجام شد. سپس برای ایجاد تنش، آبیاری از ۴۰ روز پس از نشاکاری (مرحله حداکثر پنجه‌زنی) بر اساس ظهور علایم تنش خشکی در گیاهان (لوله شدن برگ‌ها) (Cabuslay et al., 2002) تا پایان فصل زراعی به‌فاصله ۲۵ روز انجام شد که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، تنها یک‌بار آبیاری انجام شد. اندازه واحدهای آزمایشی سه متر مربع (ابعاد کرت‌ها ۱/۵×۲ متر) با فاصله یک متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. بعد از انتصاب تصادفی تیمارها به واحدهای آزمایشی، نشاکاری به‌صورت چهار 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 نشاکاری ژنوتیپ‌ها در فاصله زمانی ۲۰ روز و بر اساس نتایج سال‌های گذشته، انجام شد. هر ژنوتیپ در شش ردیف دو متری با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر بین بوته‌ها و بین ردیف‌ها کشت شد.

برای اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، از شش ردیف کاشته شده در هر کرت، یک ردیف از طرفین به‌عنوان اثرات حاشیه‌ای حذف و از ردیف‌های دوم تا چهارم جهت نمونه‌برداری استفاده شد. جهت تعیین عملکرد، بوته‌های دو متر مربع از هر کرت در مرحله رسیدگی برداشت و عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. سایر صفات مورد مطالعه شامل وزن صد دانه (وزن صد دانه تصادفی از هر کرت بر حسب گرم)، ارتفاع بوته (فاصله ناحیه طوقه در سطح خاک تا نوک خوشه بر حسب سانتی‌متر)، طول خوشه (از گره زیر خوشه تا انتهای خوشه بر حسب سانتی‌متر)، درصد باروری (از تقسیم تعداد دانه پر بر تعداد کل دانه‌ها)، تعداد پنجه در بوته، عمق نفوذ ریشه (از ابتدای محل رویش ریشه تا نوک بلندترین ریشه بر حسب سانتی‌متر)، تعداد روز تا گلدهی (تعداد روز از کاشت بذر در خزانه تا گلدهی ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت) بودند که برای اندازه‌گیری آن‌ها از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و میانگین آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نیز با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش و بدون تنش یا غرقاب با استفاده از روابط پیشنهادی توسط فیشر و مورر (Fischer & Maurer, 1978)، روزیل و هامبلین (Rosielle & Hamblin, 1981) و فرناندز (Fernandez, 1992) بر اساس روابط زیر محاسبه شدند:

(۱) شاخص حساسیت به تنش $SSI = \frac{1-\left[\frac{Y_S}{SI}\right]}{SI}$

که در آن SI شاخص تنش (Stress Index) بوده و از طریق رابطه (۲) محاسبه شد:

(۲) شاخص تنش $SI = 1 - \frac{\overline{Y}_S}{\overline{Y}_P}$

(۳) شاخص تحمل $TOL = Y_P - Y_S$

(۴) میانگین بهره‌وری $MP = \frac{Y_P+Y_S}{2}$

(۵) میانگین هندسی بهره‌وری $GMP = \sqrt{(Y_P)(Y_S)}$

(۶) شاخص تحمل به تنش $STI = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(\overline{Y}_P)^2}$

(۷) میانگین هارمونیک $HM = \frac{2\times Y_P\times Y_S}{Y_P+Y_S}$

در این روابط، Y_P و Y_S به‌ترتیب عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش و تنش، و $\overline{Y}_P$ و $\overline{Y}_S$ به‌ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش و تنش است.

پس از اندازه‌گیری صفات و محاسبه شاخص‌های مختلف تنش، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD، ضریب همبستگی پیرسون بین عملکرد دانه و شاخص‌های تنش و نیز گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس Ward به‌کمک نرم‌افزار SAS ver 9.2 انجام شد. نمودار دو بعدی بای‌پلات نیز با استفاده از نرم‌افزار STATGRAPHIC رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۱) تاثیر معنی‌دار شرایط محیطی (تنش خشکی و آبیاری غرقابی) را در سطح احتمال یک درصد روی صفات طول ریشه، طول خوشه، تعداد روز تا گلدهی، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد باروری و تعداد پنجه و در سطح احتمال پنج درصد روی ارتفاع بوته نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات

مورد ارزیابی اختلاف بسیار مع نی‌داری در سطح احت مال یک درصد داشتند که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها ا ست. برهمکنش رقم تنش نیز برای صفات طول خوشه، ت عداد روز تا گلدهی، وزن صد دا نه، عمل کرد دا نه و ت عداد پن جه در سطح احتمال یک درصد و بر صفات طول ری شه، ارت فاع بو ته، ت عداد پن جه در سطح احت مال پنج در صد مع نی‌دار شد. ا ین ا مر نشان‌دهنده تغییرات قابل ملاحظه و بسیار معنی‌دار ژنوتیپ ها در دو شرایط تنش خشکی و غرقاب ، بود، به‌عبارت دی گر وا کنش ژنوتیپ های مخت لف در دو شرایط ر طوبتی یک سان ن بوده و ژنوتیپ ها پا سخ‌های مت فاوتی در دو شرایط تنش خ شکی و غرقاب از نظر صفات مورد مطالعه داشتند.

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در شرایط غر قاب ن شان داد که بیش‌ترین عمل کرد دا نه متع لق به ژنوتیپ های ف جر، IRAT216، سنگ جو، سنگ طارم و طارم ام یری به‌ترتیب با ۷/۲۶، ۶/۶۵، ۵/۹۶، ۵/۵۳ و ۵/۴۳ تن در هک تار بود (جدول ۲). در شرایط تنش خ شکی ن یز ژنوتیپ های فجر، سنگ طارم، سنگ جو و IRAT216 به‌ترتیب با ۵/۸، ۵/۵، ۵/۳ و ۵/۱ تن در هک تار دارای بیش ترین عمل کرد بودند (جدول ۳). در مقابل، رقم سپیدرود در هر دو شرایط غرقاب و تنش به‌ترتیب با ۳/۵ و ۳/۱ تن در هکتار کم ترین عملکرد دانه را تولید کرد. بالا یا پایین بودن عمل کرد در این ژنوتیپ‌ها را می‌توان به متغیر بودن ا جزای عمل کرد و واکنش متفاوت هر یک از آن ها به تنش خ شکی ن سبت داد. در شرایط تنش عملکرد ژنوتیپ‌ها نمی‌تواند به تن هایی شاخص انتخاب باشد، ز یرا عمل کرد صفتی ک می ا ست و تو سط ژن های ز یادی کن ترل می شود و همچ نین وراثت پذیری آن به‌دلیل برهمکنش ژنوت یپ × م حیط معنی‌دار پایین است. بنابراین انتخاب بر ا ساس ا ین صفت به‌تنهایی موثر نیست و باید سایر صفات مرتبط با عمل کرد و اجزای عملکرد را نیز مدنظر قرارداد. صفات مورفولوژ یک به سادگی و د قت بالا قا بل ا ندازه‌گ یری ه ستند و وراثت‌پذیری بالایی دارند و انتخاب بر ا ساس ا ین صفات روش مطمئن و سریع‌تری برای انت خاب ژنوت یپ های بر تر است (Richards, 1996).

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها برای طول ریشه نشان داد که در شرایط غرقاب ارقام IRAT216، فجر، طارم محلی، غریب سیاه ری حانی و طارم ام یری و در شرایط تنش خ شکی ار قام IRAT216، فجر، طارم محلی، سنگ طارم ، گرده، غر یب سیاه ریحانی و طارم امیری بیش‌ترین طول ری شه را دا شتند. در ا ین زمینه بلام (Blum, 1998) نیز بیان کرد که ت عدادی از صفات ریشه در برنج که طول ریشه نیز جز آن‌ها می‌باشد، با اجت ناب از خشکی مرتبط می‌با شند. برای صفت طول خو شه، ار قام IRAT216، فجر، سپیدرود، غریب سیاه ریحانی و طارم ام یری در شرایط غرقاب و ارقام IRAT216، ف جر، سپیدرود و غر یب سیاه ریحانی در شرایط تنش خ شکی دارای بیش ترین طول خوشه بودند (جدول‌های ۲ و ۳). اهمیت بیش تر خو شه با ندتر آن است که پتانسیل بیش‌تری برای تولید تعداد دانه بیش‌تر دارد و همچنین قابلیت بیش‌تری در انجام فتوسنتز به‌ویژه در مرا حل پرشدن دانه و نیز توانایی انجام و توزیع مجدد آسیمیلات‌ها را به دانه دارد. برای ارتفاع بو ته، بیش ترین ارت فاع بو ته در شرایط غرقاب متعلق به ارقام طارم محلی و طارم امیری (جدول ۲) و در شرایط تنش خشکی متعلق به ارقام غریب سیاه ری حانی، طارم محلی و طارم امیری بود (جدول ۳). بیش تر بودن ارت فاع بو ته به‌ویژه در شرایط تنش خشکی می‌توا ند در م یزان انت قال ماده خشک و میزان مشارکت آن در دانه موثر باشد. از نظر ت عداد روز تا گلدهی در شرایط غر قاب ار قام طارم ام یری و سنگ جو (جدول ۲) و در شرایط تنش خشکی ارقام طارم ام یری، ف جر و طارم محلی دارای کم‌ترین تعداد روز تا گلدهی بودند (جدول ۴). تنش خشکی طی دوره رشد رویشی و پایان رشد گ یاه، مو جب سرعت بخشیدن در ظهور خوشه‌ها و رسیدگی آن ها می شود و در نتی جه ت عداد روز تا گ لدهی را کاهش می‌د هد. لافی ته و همکاران (Lafitte *et al*., 2003) زودرسی را یکی از صفات مهم برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خ شکی ع نوان کرد ند. به عقیده آن‌ها فرار از تنش خ شکی با کو تاه کردن ت عداد روز تا گلدهی یکی ازمکانیسم‌های گیاه برنج برای افزایش عملکرد است.

کاهش وزن صد دانه در نتیجه کاهش فتو سنتز و عدم توز یع منا سب مواد ذخ یره‌ای می‌توا ند از عوا مل کاهش‌دهنده وزن صد دانه باشد. با توجه به ن تایج مقای سه میانگین ار قام در شرایط تنش و غر قاب، بیش ترین وزن صد دانه در ارقام فجر، غریب سیاه ری حانی و طارم مح لی حاصل شد و برای صفت در صد باروری، ار قام IRAT216، سنگ طارم گرده و غریب سیاه ریحانی در شرایط غرقاب و ار قام IRAT216 و فجر در شرایط تنش خ شکی دارای بیش ترین م قدار بود ند (جدول‌های ۲ و ۳). در مرح له زای شی، گ یاه حساسیت خاصی نسبت به تنش خ شکی دارد. دلا یل ز یادی وجود دارد که تنش خشکی از میزان ظ هور سلول‌های بن یادی گل جلوگیری می‌کند. همچنین ثابت شده است که با رفع تنش، سلول‌های بنیادی در مقایسه با گیاهان آب یاری شده با سرعت بیش‌تری تشکیل می‌شوند. تنش در مرحله گرده‌اف شانی و ل قاح، تعداد دانه‌ها را به‌علت پسابیدگی دانه‌های گرده کاهش می‌د هد.

علاوه بر این، تنش خشکی رشد دانه‌های گرده و رشد لوله گرده در خامه و بافت تخمدان و تخمک را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین پژمردگی کلاله مانع رشد لوله گرده می‌شود. اثر تنش در مرحله پر شدن دانه‌ها بسیار بارز است، چون عملکرد بالقوه بستگی به وزن و تعداد دانه دارد که این امر مستلزم گرده‌افشانی کامل و تجمع مواد فتوسنتزی در دانه است. مواد جمع شونده در دانه‌ها از طریق فتوسنتز در خود دانه و انتقال مواد غذایی از سایر قسمت‌های گیاه به دانه تامین می‌شوند (Sarmadnia, 1993). مقایسه میانگین ارقام برای صفت تعداد پنجه نشان داد که در شرایط غرقاب ارقام فجر، IRAT216، سنگ جو و غریب سیاه ریحانی و در شرایط تنش خشکی ارقام فجر، IRAT216، غریب سیاه ریحانی، سنگ جو و طارم امیری دارای بیش ترین تعداد پنجه بودند (جدول‌های ۲ و ۳). نکته قابل توجه این بود که رقم سنگ جو با افزایش تعداد پنجه در شرایط تنش خشکی کاهش عملکرد خود را جبران کرد و نسبت به سایر ارقام عملکرد بیش‌تری داشت. از قدرت پنجه‌زنی به‌عنوان صفتی موثر در افزایش توانایی رقابتی یاد می‌شود. در این راستا اظهار شده است که رشد زیادتر می‌تواند با افزایش سطح برگ و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تر، پتانسیل تولید پنجه را افزایش دهد. از طرفی در اثر پنجه‌زنی زیادتر ممکن است سطح برگ افزایش یابد و منجر به رشد بیش‌تر شود (Caton *et al*., 2003). همچنین تعداد پنجه زیاد نشان دهنده میزان تولید گره بیش‌تر است که یکی از صفات فنوتیپی اولیه توصیه شده در ارقام پرمحصول در شرایط تنش خشکی است (Samonte *et al*., 2011).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در هشت ژنوتیپ برنج تحت دو شرایط بدون تنش (آبیاری غرقابی) و تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of the studied traits in eight rice genotypes under non-stress (flood irrigation) and drought stress conditions

Source of variance	df	Root length (cm)	Plant height (cm)	Panicle length (cm)	Fertility (%)	Days to flowering	No. of tiller	100-grain weight (g)	Grain yield (ton/ha)
Block	2	1.07^{ns}	225.4^{ns}	0.87^{ns}	0.17^{ns}	2.52^{*}	0.24^{ns}	0.05^{ns}	0.42^{ns}
Stress (S)	1	109.5^{**}	1955.8*	239.41^{**}	6966.58^{**}	299.95^{**}	132.7^{**}	2.05^{**}	25.17^{**}
Error a	2	0.63	209.7	0.43	2.54	1.04	0.44	0.09	0.33
Cultivar (C)	7	3.32^{**}	2673.9^{**}	18.77^{**}	373.56^{**}	57.07^{**}	27.76^{**}	0.85^{**}	5.15^{**}
S × C	7	0.67^{*}	434.9^{*}	24.04^{**}	299.19^{**}	30.62^{**}	2.86^{*}	0.28^{**}	1.78^{**}
Error b	28	0.28	201.9	0.29	0.68	0.49	0.23	0.03	0.20
CV (%)	-	9.99^{ns}	15.3^{ns}	4.43^{ns}	1.14^{ns}	0.87^{ns}	5.7^{ns}	11.08^{ns}	9.7^{ns}

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

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در ارقام برنج تحت شرایط بدون تنش (غرقاب)

Table 2. Comparison of means of the studied traits in rice cultivars under non-stress (flood) conditions

Cultivar	Root lengh (cm)	Plant height (cm)	Panicle length (cm)	Days to flowering	Fertility (%)	No. of tiller	100-grain weight (g)	Grain yeild (ton/ha)
IRAT216	8.63^{a}	77.1^{g}	27.3^{a}	81.2^{cd}	87.33^{a}	20.16^{b}	1.53^{b}	6.65^{a}
Fajr	6.96^{bc}	76.46^{g}	26.66^{a}	80^{de}	84.1^{cd}	21.94^{a}	2.22^{a}	7.26^{a}
Tarom Mahali	7.06^{bc}	132^{a}	21.06^{cd}	79.03^{e}	83.13^{de}	14.66^{d}	2.43^{a}	4.5^{c}
Sang-Tarom Gerdeh	6.53^{ade}	84.66^{e}	20.13^{de}	82.53^{bc}	85.13^{bc}	17.3^{c}	2.12^{a}	5.53^{b}
Sepidrood	5.6^{de}	81.5^{f}	22.53^{bc}	87.36^{a}	84.23^{cd}	17.3^{c}	1.01^{c}	3.5^{d}
Gharib Siyah Reyhani	7.66^{ab}	122.46^{c}	27.2^{a}	83.5^{b}	86.53^{b}	21.96^{a}	2.34^{a}	4.23^{c}
Sang-Jo	5.46^{e}	96^{b}	19.33^{e}	75.96^{f}	82.3^{cd}	18.53^{bc}	1.2^{b}	5.96^{b}
Tarom Amiri	6.66^{bcd}	128.9^{b}	23.76^{b}	75.03^{f}	84.3^{cd}	17.3^{c}	2.2^{a}	5.43^{b}

Means followed by at least one letter in each column are not significantly different by LSD test.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در ارقام برنج تحت شرایط تنش خشکی

Table 3. Comparison of means of the studied traits in rice cultivars under drought stress conditions

Cultivar	Root lengh (cm)	Plant height (cm)	Panicle length (cm))	Days to flowering	Fertility (%)	No. of tiller	100-grain weight (g)	Grain yeild (ton/ha)
IRAT216	6.6^{a}	80.35^{c}	23.8^{a}	77.5^{d}	83.7^{a}	18.8^{a}	1.5^{c}	5.1^{b}
Fajr	5.26^{bc}	71.17^{c}	22.8^{ab}	75.9^{e}	78.2^{b}	19.5^{a}	2.07^{a}	5.8^{a}
Tarom Mahali	5.35^{b}	127^{a}	20.4^{c}	76.4^{e}	76^{c}	13.8^{c}	2.02^{a}	4.2^{cd}
Sang-Tarom Gerdeh	5.11^{bc}	84^{c}	18.71^{d}	79.5^{c}	74.1^{d}	14.8^{c}	1.6^{bc}	5.1^{ab}
Sepidrood	4.65^{cd}	76.1^{c}	22.57^{ab}	81.6^{b}	72.6^{e}	16.3^{c}	1.1^{d}	3.1^{e}
Gharib Siyah Reyhani	6.11^{a}	120.6^{ab}	22.03^{b}	82.9^{a}	66.8^{f}	19.6^{a}	2.03^{a}	3.9^{d}
Sang-Jo	4.28^{d}	84.7^{c}	19.7^{cd}	77.26^{d}	57.3^{g}	17.1^{b}	1.2^{d}	5.3^{ab}
Tarom Amiri	5.13^{bc}	104.27^{b}	20.6^{c}	73.6^{f}	73.2^{de}	16.1^{b}	1.9^{b}	4.5^{c}

Means followed by at least one letter in each column are not significantly different by LSD test.

به‌منظور ارزیابی حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این آزمایش به تنش رطوبتی از شاخص‌های مختلف شامل شاخص تحمل به تنش، شاخص بهره‌وری متوسط، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص میانگین هارمونیک، شاخص تحمل و شاخص حساسیت به تنش استفاده شد (جدول ۴). بر اساس دو شاخص بهره‌وری متوسط و میانگین هندسی بهره‌وری، به‌ترتیب ارقام فجر، سنگ طارم گرده، سنگ جو و IRAT216 دارای بیش‌ترین مقدار بودند و بر اساس شاخص میانگین هارمونیک به‌ترتیب ارقام سنگ طارم گرده، فجر، سنگ جو و IRAT216 مقادیر بالاتری را به‌خود اختصاص دادند. شاخص تحمل به تنش به‌ترتیب در ارقام سنگ طارم گرده، طارم محلی، سنگ جو و غریب سیاه ریحانی مقدار بیش‌تری داشت (جدول ۴). میزان بالای عددی این شاخص‌ها نشان دهنده تحمل نسبی ژنوتیپ نسبت به تنش است. ژنوتیپ طارم محلی در شرایط تنش عملکرد بیش‌تری نسبت به ژنوتیپ IRAT216 داشت، ولی به‌دلیل بالا بودن عملکرد IRAT216 در شرایط غرقاب، شاخص بهره‌وری متوسط آن بالاتر شد. به‌طور کلی واکنش گیاهان زراعی و ارزیابی آن‌ها برای حداکثر عملکرد و شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آن‌ها در استفاده از شرایط محیطی است. این امر از طریق تنظیم اجزای عملکرد و برهمکنش ژنوتیپ‌ها با محیط به‌هنگام بروز شرایط نامطلوب و مطلوب امکان پذیر است. بر اساس شاخص‌های مذکور، ژنوتیپ‌های فجر، سنگ طارم، سنگ جو و IRAT216 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تحمل بالاتری نسبت به تنش خشکی از خود نشان دادند. در مقابل، رقم اصلاح شده سپیدرود کم‌ترین مقدار این شاخص‌ها را به‌خود اختصاص داد و تحمل کم‌تری نسبت به تنش خشکش در این مطالعه داشت.

از لحاظ شاخص حساسیت به تنش مقادیر عددی پایین نشان دهنده تحمل بالای ژنوتیپ‌ها و مقادیر بالا نشان دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی است. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص حساسیت، مواد آزمایشی را صرفاً بر اساس 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 (Fernandez, 1992) و بنابراین این شاخص کارایی بالایی در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل دارد. 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 غرقاب دارای عملکرد بالاتری باشد، اما در صد تغییرات زیادی را نشان دهد، به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی نمی‌شود. ژنوتیپ سنگ طارم گرده کم‌ترین مقدار شاخص حساسیت به تنش را به‌خود اختصاص داد و بنابراین متحمل‌ترین ژنوتیپ در بین همه ژنوتیپ‌های مطالعه شده در این آزمایش بود. ژنوتیپ‌های فجر، IRAT216 و طارم امیری نیز به‌ترتیب بیش‌ترین مقدار این شاخص را به‌خود اختصاص دادند و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. ژنوتیپ‌های فجر و IRAT216 از نظر شاخص‌های بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی و میانگین هارمونیک به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند، در حالی‌که از لحاظ شاخص حساسیت به تنش به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند. این موضوع نشان می‌دهد که این ژنوتیپ‌ها دارای میانگین عملکرد بالا بودند، اما درصد تغییرات زیادی را در بین دو شرایط نشان دادند. از لحاظ شاخص تحمل، ژنوتیپ‌هایی که کم‌ترین مقدار را نشان دهند، به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های سنگ طارم، طارم محلی و غریب سیاه ریحانی به‌ترتیب کم‌ترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند. با بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش و غرقاب مشخص شد که شاخص تحمل در گزینش ژنوتیپ هایی که در هر دو شرایط تنش و غرقاب دارای عملکرد مناسبی باشند، موفق نبوده است. در واقع شاخص تحمل، به‌نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می‌کند، یعنی ژنوتیپ هایی که شاخص تحمل پایینی دارند، تغییرات کم‌تری را نشان می‌دهند، و برعکس. پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور تحمل به تنش، بیش‌تر ارزش فیزیولوژیک دارد تا زراعی، به‌طوری که انتخاب بر اساس شاخص تحمل باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد نسبتاً پایین در محیط طبیعی و عملکرد پایین درشرایط تنش می‌شود. از نظر اشنایدر و همکاران (Schneider *et al.*, 1997) چنین ژنوتیپ‌هایی به‌علت تولید عملکرد پایین، 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 نتیجه در شرایط تنش نیز با افت کم‌تری همراه باشد و بنابراین باعث کوچک شدن شاخص تحمل به تنش شده و به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی شود (Moghaddam & Hadizadeh, 2002). در این آزمایش نیز ژنوتیپ طارم محلی در هر دو شرایط دارای عملکرد نسبتاً کمی نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بود، اما به‌دلیل افت اندک عملکرد در شرایط تنش، براساس این شاخص به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی شد، در حالی که شاخص حساسیت به تنش این ژنوتیپ را به‌عنوان یک ژنوتیپ حساس معرفی کرد.

جدول ۴- شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه بر اساس عملکرد دانه

Table 4. Drought tolerance and sensitivity indices of the studied rice genotypes based on grain yield

Cultivar	TOL	SSI	MP	HARM	STI	GMP	Y_S	Y_P
IRAT216	3.1	1.5	5.2	4.6	0.5	4.9	5.1	6.65
Fajr	2.9	1.7	5.8	5.4	0.6	5.6	5.8	7.26
Tarom Mahali	0.6	0.5	4.2	4.1	0.9	4.1	4.2	4.5
Sang-Tarom Gerdeh	0.1	0.07	5.5	6	1	5.4	5.1	5.53
Sepidrood	0.9	0.9	3.1	3	0.7	3.03	3.1	3.5
Gharib Siyah Reyhani	0.7	0.6	3.9	3.6	0.8	3.8	3.9	4.23
Sang-Jo	1.3	0.7	5.4	5.2	0.8	5.3	5.3	5.96
Tarom Amiri	1.9	1.1	4.5	4.3	0.8	4.4	4.5	5.43

نتایج ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تنش (جدول ۵)، نشان داد که عملکرد در شرایط غرقاب به‌ترتیب با شاخص‌های بهره‌وری متوسط و میانگین هندسی بهره‌وری در سطح احتمال یک درصد و با میانگین هارمونیک و تحمل خشکی در سطح احتمال پنج درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت و بیش‌ترین همبستگی را با شاخص بهره‌وری متوسط (r=۰/۹۱۸) دارا بود. در شرایط تنش نیز شاخص‌های میانگین هارمونیک، میانگین هندسی بهره‌وری و بهره‌وری متوسط همبستگی بالایی با عملکرد نشان دادند که بیش‌ترین آن مربوط به شاخص میانگین هارمونیک (r=۰/۹۳۳) بود. همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی و حساسیت به تنش با عملکرد دانه در شرایط تنش نیز منفی بود. به‌طورکلی شاخص‌هایی که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو محیط داشته باشند، می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب معرفی شوند، چرا که این شاخص‌ها قادر به تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط می‌باشند (Fernandez, 1992). بنابراین با توجه به نتایج ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مختلف و عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان شاخص‌های بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی و میانگین هارمونیک را به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی کرد. این شاخص‌ها قادرند ژنوتیپ‌های متحمل و با عملکرد بالا را در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی شناسایی کنند. بر اساس شاخص‌های مذکور، ژنوتیپ‌های فجر، سنگ طارم گرده، سنگ جو و IRAT216 بیش‌ترین مقدار این شاخص‌ها را داشتند، به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های سپیدرود و غریب سیاه ریحانی که کم‌ترین مقدار این شاخص‌ها را داشتند، به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

در این مطالعه، از تجزیه به مولفه‌های اصلی برای بررسی بیش‌تر روابط بین ژنوتیپ‌ها از نظر اطلاعات مربوط به شاخص‌های مقاومت به خشکی استفاده شد (جدول ۶). نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مولفه اصلی توجیه شد و این دو مولفه ۹۴/۳۱ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. مولفه اصلی اول ۵۸ درصد از تغییرات را توجیه کرد و دارای ضریب منفی برای شاخص تحمل به تنش و ضرایب مثبت برای عملکرد در شرایط تنش و غرقاب، شاخص‌های تحمل، بهره‌وری متوسط، میانگین هارمونیک، تحمل به تنش و میانگین هندسی بود. بنابراین این مولفه را می‌توان به‌عنوان پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش نام‌گذاری کرد. انتخاب بر اساس این مولفه سبب گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در دو شرایط غرقاب و تنش می‌شود. مولفه اصلی دوم ۳۶/۳۱ درصد از تغییرات را توجیه کرد و دارای ضرایب منفی برای عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های میانگین هندسی، بهره‌وری متوسط، میانگین هارمونیک و تحمل به تنش و ضرایب مثبت برای عملکرد در شرایط غرقاب و شاخص تحمل بود (جدول۶). از آنجا که بیش‌تر بودن مقادیر این شاخص‌ها نشان دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش است، می‌توان این مولفه را به‌عنوان مولفه حساسیت به خشکی نام‌گذاری کرد. انتخاب بر اساس این مولفه سبب گزینش ژنوتیپ‌های حساس به خشکی می‌شود. به‌طور کلی ژنوتیپ‌هایی که بیش‌ترین مقدار مولفه اول و کم‌ترین مقدار مولفه دوم را داشته باشند، برای هر دو شرایط محیطی غرقاب و تنش مطلوب خواهند بود.

به‌منظور تفکیک بهتر ژنوتیپ‌ها، نمودار بای پلات بر اساس دو مولفه اصلی اول و دوم رسم شد (شکل ۱). نمودار بای‌پلات نشان داد که بهترین شاخص ها جهت گزینش بر اساس عملکرد میانگین هارمونیک، بهره‌وری متوسط و میانگین هندسی هستند. با توجه به این نمودار، ژنوتیپ‌های IRAT216، سنگ جو، فجر و سنگ طارم گرده، ژنوتیپ‌های متحمل و پرمحصول در هر دو شرایط و ژنوتیپ‌های سپیدرود، غریب سیاه ریحانی و طارم محلی به‌عنوان ژنوتیپ‌های کم محصول و حساس شناخته شدند.

جدول ۵-ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و غرقاب با شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

Table 5. Correlation coefficients among yield under stress and flood conditions with stress tolerance and sensitivity indices

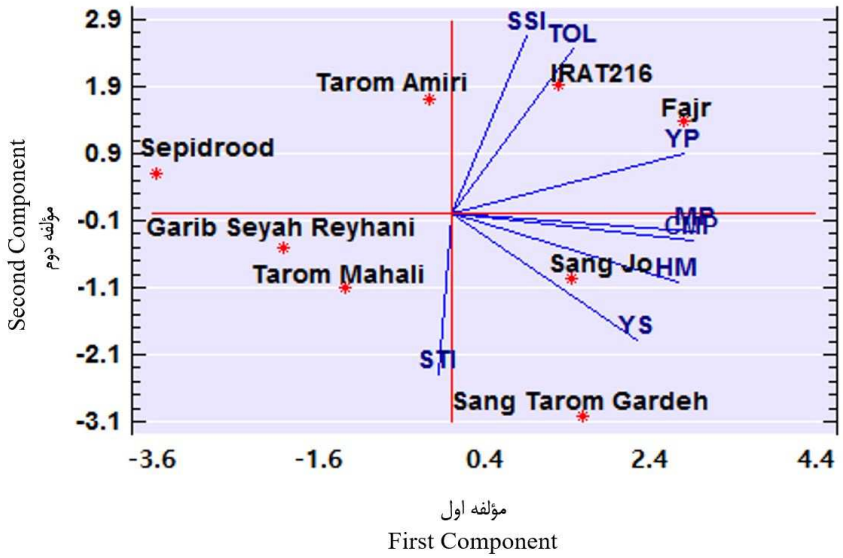
Index	TOL	SSI	MP	HM	STI	GMP	Y_S
Y_P	0.747*	0.583 ns	0.918**	0.756*	-0.454 ns	0.893**	0.513ns
Y_S	0.842**	0.514 ns	0.933**	0.810*	-0.376 ns	-0.185 ns	
GMP	-0.16 ns	0.961**	0.997**	0.170ns	0.371 ns		
STI	0.207 ns	-0.076ns	-0.950**	-0.919**			
HM	0.946**	-0.057 ns	0.143 ns				
MP	0.221 ns	0.425 ns					
SSI	0.957**						

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

جدول ۶-نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای عملکرد دانه بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

Table 6. Results of principal component analysis for grain yield based on stress tolerance and sensitivity indices

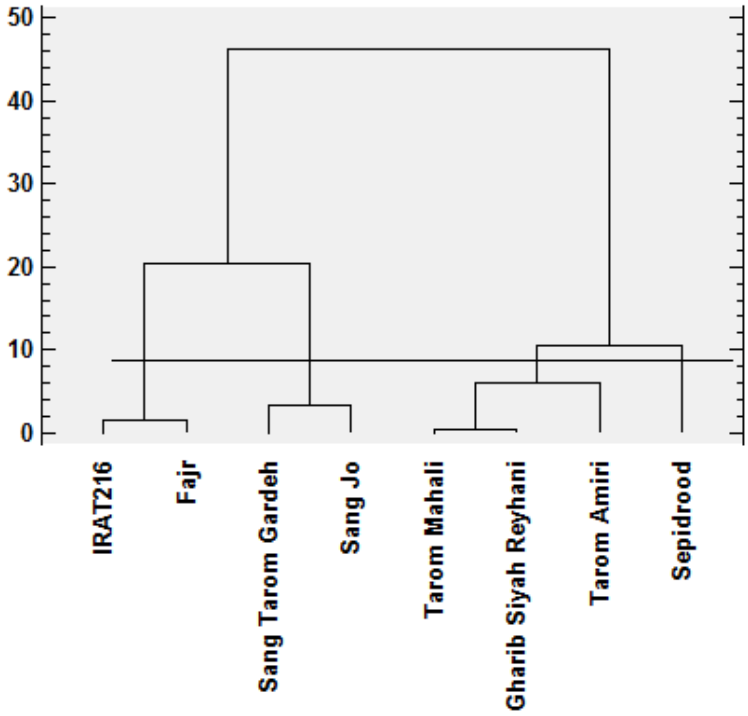
Index	First component	Second component
Y_P	0.433	0.179
Y_S	0.351	-0.377
GMP	0.459	-0.08
STI	-0.022	-0.485
HM	0.428	-0.205
MP	0.464	-0.05
SSI	0.141	0.538
TOL	0.231	0.497
Eigen value	4.63	2.90
Variance percentage	58.00	36.31



شکل۱-نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه برای شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها در شرایط غرقاب و خشکی

Figure 1. Biplot diagram of the studied rice genotypes to identify the best genotypes and indices under drought stress and flood conditions

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی از روش تجزیه خوشه‌ای به‌روش حداقل واریانس وارد استفاده شد (شکل ۲). تعیین خط برش به‌روش CCC پلات یا معیار خوشه‌بندی مکعبی صورت گرفت. CCC پلات بر این فرض استوار است که خوشه‌های به‌دست‌آمده از توزیع یکنواخت روی یک هایپرباکس، ابرمکعب‌هایی با همان اندازه هستند. در این روش، تعداد کلاستر در مقابل CCC رسم و خط برش از مکانی که کاهش مشاهده می‌شود، انتخاب می‌شود. بر اساس این نمودار، ژنوتیپ‌ها به سه گروه تقسیم شدند. ژنوتیپ‌های فجر و IRAT216 در گروه اول قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها عملکرد خوبی به‌ویژه در شرایط غرقاب از خود نشان دادند. در واقع در این گروه ژنوتیپ‌هایی قرار گرفتند که بیش‌ترین عملکرد دانه را در شرایط غرقاب یا بدون تنش تولید کردند. ارقام سنگ طارم گرده و سنگ جو در گروه دوم قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها دارای میانگین عملکرد نسبی بالا و تحمل خوبی به شرایط تنش بودند. ارقام سپیدرود، طارم محلی، طارم امیری و غریب سیاه ریحانی نیز در گروه سوم قرار گرفتند که جزء ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند.



شکل ۲- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی

Figure 2. Grouping of the studied rice genotypes based on drought tolerance and sensitivity indices

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر تنش خشکی بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. همچنین تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات وجود داشت. با بررسی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد دانه، شاخص‌های بهره‌وری متوسط، میانگین هارمونیک و میانگین هندسی، به‌عنوان شاخص‌های برتر انتخاب شدند و بنابراین به‌منظور شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی توصیه می‌شوند. در تجزیه به مولفه‌های اصلی، دو مولفه اصلی اول و دوم ۹۴/۳۱ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. نمودار بای‌پلات رسم شده بر اساس این دو مولفه، شاخص‌های بهره‌وری متوسط، میانگین هارمونیک و میانگین هندسی که در زاویه بین Ys و Yp قرار گرفتند را به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ارقام در شرایط تنش و غرقاب شناسایی کرد. بررسی ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های فجر، IRAT216، سنگ جو و سنگ طارم گرده را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی کرد. تجزیه خوشه‌ای بر

اساس شاخص‌های تنش، ژنوتیپ‌های فجر و IRAT216 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی در گروه یک و ارقام سنگ طارم گرده و سنگ جو را که عملکرد نسبی بالا و تحمل نسبتاً خوبی به خشکی داشتند، در گروه دوم قرار داد. از این‌رو با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان داشت که ارقامی همچون فجر و IRAT216 که دارای عملکرد و تحمل به خشکی بالا بودند، ضمن قابلیت توسعه کشت در مناطق نیمه‌خشک، امکان استفاده در پروژه‌های اصلاحی معرفی ارقام مقاوم یا متحمل به خشکی را نیز دارا هستند.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Aminpanah, H., Sharifi, P., & Ebadi, A. A. (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]. doi: 10.22067/gsc.v16i1.61793.

Blum, A. (1998). Plant Breeding for Stress Environments. CRC press.

Cabuslay, G. S., Ito, O., & Alejar, A. A. (2002). Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. *Plant Science*, *163*(4), 815-827. doi: 10.1016/S0168-9452(02)00217-0.

Caton, B. P., Cope, A. E., & Mortimer, M. (2003). Growth traits of diverse rice cultivars under severe competition: implications for screening for competitiveness. *Field Crops Research*, *83*(2), 157-172. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00072-8.

Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. August 13-18, 1992, Taiwan. pp. 257-270. doi: 10.22001/wvc.72511.

Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*(5), 897-912. doi: 10.1071/AR9780897.

Kocheki, E., & Soltani, A. (1997). Principle of Agricultural Practice in Arid Environments. Education of Agriculture Press. 942 p. [In Persian].

Lafitte, R., Blum, A., & Atlin, G. (2003). Using secondary traits to help identify drought-tolerant genotypes. In: Fischer, K. S., Lafitte, R., Fukai, S., Atlin, G., & Hardy, B. (Eds.). Breeding Rice for Drought-Prone Environments. International Rice Research Institute (IRRI), Los Banos, Philippines. pp. 37-48.

Moghaddam, A., & Hadizadeh, M. H. (2002). Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Seed & Plant Journal*, *18*(3), 255-272. [In Persian]. doi: 10.22092/SPIJ.2017.110741.

Park, G. H., & Kim, K. M. (2014). QTL analysis of yield components in rice using a Cheongcheong/Nagdong doubled haploid genetic map. *American Journal of Plant Sciences*, *5*, 11774-1180. doi: 10.4236/ajps.2014.59130.

Rahimi, M., Dehghani, H., Rabiei, B., & Tarang, A. (2012). Multi-trait mapping of QTLs for drought tolerance indices in rice. *Cereal Research*, *2*(2), 107-121. [In Persian].

Richards, R. A. (1996). Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*, *20*(2), 157-166. doi: 10.1007/BF00024012.

Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science, 21*(6), 943-946. doi: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x.

Sedaghat, N., Pirdashti, H., Asadi, R., & Mosavi-Taghani, Y. (2015). Effect of different irringaton methods on rice water productivity. *Journal of Water Research in Agriculture*, *28*(1), 1-9. [In Persian]. doi: 10.22092/jwra.2015.101057.

Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., & Rahimi, M. (2018). Evaluation of drought tolerance indices in rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *Journal of Crop Breeding*, *10*(25), 7-18. [In Persian]. doi: 10.29252/jcb.10.25.7.

Samonte, S. O. P. B., Wilson, L. T., Tabien, R. E., & Medley, J. C. (2011). Evaluation of a rice plant type designed for high grain yield. ASA, CSSA and SSSA International Annual Meetings. October 16-19, 2011, San Antonio, Texas, USA.

Sarmadnia, Gh. (1993). The importance of environmental stress in agriculture. The key paper of the First Iranian Agronomy and Plant Breeding Congress. September 6-9, 1993, University of Tehran, Iran. pp, 157-172. [In Persian].

Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., & Kelly, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, *37*(1), 43-50. doi: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700010007x.

Singh, A. K., & Chinnusamy, V. (2009). Enhancing rice productivity in water-stressed environments: Perspectives for genetic improvement and management. In: Serraj, R., Bennett, J., & Hardy, B. (Eds.). Drought Frontiers in Rice: Crop Improvement for Increased Rainfed Production. International Rice Research Institute (IRRI), Los Banos, Philippines. pp. 233-257. doi: 10.1142/9789814280013_0013.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(50), 20260-20264. doi: 10.1073/pnas.1116437108.

Tabkhkar, N., Rabiei, B., Samizadeh Lahiji., H., & Hosseini Chaleshtari., M. (2018). Study of drought stress response of rice genotypes at the beginning of reproductive stage using stess tolerance indeces. *Journal of Crop Production & Processing*, *7*(4), 83-106. [In Persian]. doi: 10.29252/jcpp.7.4.83.

Tuyen, D. D., & Prasad, D. T. (2008). Evaluating difference of yield trait among rice genotypes (*Oryza sativa* L.) under low moisture condition using candidate gene markers. *OmonRice*, *16*, 24-33.