

ارزیابی تحمل به خشکی نژادگان‌های برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل و تجزیه نمودار دووجهی

رضا افشاری^۱، عاطفه صبوری^{۲*}، مسعود اصفهانی^۳ و علی کافی قاسمی^۴
۱، ۲، ۳ و ۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، استاد و مربی، دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۳)

چکیده

در این آزمایش به منظور شناسایی نژادگان (ژنوتیپ)های برنج متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل، شمار ۳۱ نژادگان برنج هوازی و ۲۲ رقم برنج غرقابی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با قطع آبیاری سی روز پس از نشاکاری در مرحله پیشینه پنجه‌زنی تا پایان دوره رویش نژادگان‌ها در بهار سال ۱۳۹۳ در بخش سنگر- رشت ارزیابی شدند. نتایج نشان داد، چهار شاخص میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، تحمل به تنش (STI) و عملکرد (YI) بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (YP) و تنش خشکی (YS) داشتند. گروه‌بندی نژادگان‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای همه نژادگان‌ها را به سه گروه متحمل، نیمه متحمل و حساس تقسیم کرد. شمار هفت نژادگان شامل IR81024-B-254-1-B، IR82590-B-B-32-2، IR82635-B-B-82-2، IR82639-B-B-140-1 و Panda و رقم‌های غرقابی درفک و صدری در گروه متحمل قرار گرفتند، در بین این هفت نژادگان، کمترین افت عملکرد به نژادگان‌های IR82590-B-B-32-2، IR82635-B-B-82-2 و Panda و IR81024-B-254-1-B به ترتیب با ۱/۲۸، ۴/۲۸ و ۴/۸۶ درصد کاهش اختصاص یافت. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی شاخص‌ها نشان داد، دو مؤلفه اول به ترتیب ۵۸ و ۴۰ درصد (در مجموع ۹۸ درصد) از تغییرات کل شاخص‌ها را توجیه کردند. نمودار دووجهی (بای‌پلات) به دست آمده از تجزیه گرافیکی ضمن تأیید نتایج تجزیه خوشه‌ای، نشان دادند که برترین شاخص‌ها در شناسایی نژادگان‌های متحمل، شاخص‌های GMP، MP، YI و STI هستند. همچنین برترین نژادگان‌ها در شرایط بدون تنش درفک، IR82639-B-B-140-1، IR82635-B-B-82-2 و IR82590-B-B-32-2 بودند و در شرایط تنش خشکی نژادگان‌های IR82590-B-B-32-2، IR81024-B-254-1-B، Panda و درفک برترین نژادگان‌ها بودند.

واژه‌های کلیدی: برنج، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، کمبود آب.

Evaluation of tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes using tolerance indices and biplot analysis

Reza Afshari¹, Atefeh Sabouri^{2*}, Masoud Esfahani³ and Ali Kafi Ghasemi⁴

1, 2, 3, 4. M.Sc. Student, Assistant Professor, Professor and Instructor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Iran

(Received: Sep. 18, 2016 - Accepted: Jan. 22, 2017)

ABSTRACT

In the present experiment in order to identify tolerant rice genotypes to drought stress using tolerance indices, 53 rice genotypes including 31 aerobic rice and 22 lowland rice evaluated under normal and drought stress conditions by withholding water since 30 days after transplanting of the maximum tillering stage of rice until the end of growth period on cropping seasons of 2014 in the Sangar section of Rasht. The results revealed four indices; mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), stress tolerance index (STI) and yield index (YI) have the highest correlation with grain yield under normal (YP) and drought (YS) stress conditions. Grouping of genotypes using cluster analysis divided all of genotypes to three groups including tolerant, semi tolerant and sensitive. The seven genotypes contain genotypes IR81024-B-254-1-B, IR82590-B-B-32-2, IR82635-B-B-82-2, IR82639-B-B-140-1 and Panda and two lowland varieties Dorfak and Sadri assigned to tolerant group. Out of these seven genotypes, the minimum of yield loss were for IR82590-B-B-32-2, Panda and IR81024-B-254-1-B with 1.28, 4.28 and 4.86 percent yield loss. The principle component analysis on the indices showed two first components explained 58 and 40 percent (totally 98 percent) of all variation. The biplot derived from graphical analysis in addition to confirmation of cluster analysis results showed the GMP, MP, YI and STI are the best indices in detecting of tolerant genotypes. Also the best genotypes under normal condition were included Dorfak, IR82639-B-B-140-1, IR82635-B-B-82-2 and IR82590-B-B-32-2 and under drought stress genotypes of IR82590-B-B-32-2, Panda, IR81024-B-254-1-B and Dorfak identified as the best genotypes.

Keywords: Cluster analysis, rice, principle component analysis, water deficient.

* Corresponding author E-mail: a.sabouri@guilan.ac.ir

مقدمه

به‌طور کلی کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است. تنش خشکی یک چالش جهانی است و به‌طور جدی بر تولید و کیفیت دانه غلات اثر می‌گذارد و افزایش جمعیت و تغییر آب‌وهوای جهان، این موقعیت را حادتر می‌سازد (Witcombe *et al.*, 2008). خشکی بر حسب زمان، طول و شدت دوره تنش سبب کاهش عملکرد دانه از راه تأثیر بر هر یک از اجزای آن می‌شود.

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان به شمار می‌آید که سالیانه نزدیک به ۳۵ تا ۷۰ درصد از کالری مورد نیاز ۳ میلیارد نفر از جمعیت جهان را تأمین می‌کند. Yang & Zhang (2010) گزارش کردند که برای تأمین نیاز غذایی جمعیت جهانی تا سال ۲۰۲۵ نیاز به افزایش ۶۰ درصد در تولید برنج است. برنج در بین گیاهان زراعی بالاترین نیاز آبی (معادل ۸۰ درصد منابع آبی در آسیا) را داشته و خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محدودکننده رشد آن به شمار آمده و می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه عملکرد و کاهش میزان کل تولید برنج شود (Karaba *et al.*, 2007; Sikuku *et al.*, 2010). با توجه به محدودیت آب آبیاری برای اغلب گیاهان زراعی از جمله برنج، استفاده هرچه مؤثرتر و کارآمدتر از آب آبیاری، یکی از مهم‌ترین راهکارهای رویارویی با بحران کمبود آب است. مقایسه میزان تحمل نژادگان (ژنوتیپ‌های برنج نسبت به کمبود آب، از نخستین اقدام‌های لازم برای رویارویی با اثر سوء کمبود آب در زراعت این گیاه به شمار می‌آید. استفاده از رقم‌های برنج هوازی (Aerobic rice) یک روش تاحدودی جدید برای تولید برنج است که نیاز به آب کمتری نسبت به برنج غرقابی دارد. دلیل اصلی حمایت از کاشت برنج هوازی افزایش کمبود آب است که تداوم تولید برنج غرقابی را تهدید می‌کند (Bouman, 2001). شالیزارها در نظام‌های کشت برنج هوازی، در سراسر فصل، اشباع‌نشده باقی می‌ماند. بررسی‌هایی که توسط مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) صورت گرفته است گویای آن

است که کارایی مصرف آب (WUE^۲) در برنج‌های هوازی به‌طور قابل توجهی بیشتر از برنج‌های غرقاب بوده است (Bouman *et al.*, 2002). یکی از برترین رقم‌های معرفی‌شده در نظام کشت برنج هوازی، رقم Han Dao 502 است که در جلگه هوانگ- هوای‌های در شمال چین کشت می‌شود و عملکرد نسبی آن در هر دو شرایط غرقابی و هوازی و همچنین بازارپسندی آن بسیار بالاست (Bouman *et al.*, 2002).

با توجه به وجود اثر متقابل بین نژادگان و محیط محققان به دنبال رقم‌هایی هستند که در شرایط مختلف بتوانند با استفاده بیشتر از امکانات محیط، عملکرد و تظاهر شایان پذیرش تری داشته باشند. معیارهای مختلفی برای گزینش نژادگان‌ها بر پایه عملکرد آن‌ها در شرایط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است. Fischer & Maurer (1978) استفاده از شاخص حساسیت به تنش خشکی (SSI)^۳ را برای ارزیابی رقم‌های متحمل به تنش خشکی ابداع کردند. (Rosielle & Hamblin 1981) برای ارزیابی توانایی تحمل رقم‌ها در برابر تنش شاخص‌های تحمل (TOL)^۴ و میانگین حسابی (MP)^۵ را معرفی کردند. همچنین فرناندز در نتایج بررسی عملکرد رقم‌ها در دو محیط (تنش و عادی)، استفاده از شاخص تحمل به تنش (STI)^۶ و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)^۷ را برای غربال کردن رقم‌ها پیشنهاد کرد (Fernandez, 1992). تاکنون با استفاده از این شاخص‌ها محققان چندی از بین رقم‌های مقاوم به تنش خشکی، رقم‌های با عملکرد بیشتر را شناسایی و انتخاب کرده‌اند.

Ghiasy Oskoe *et al.* (2012) شمار ۱۵ نژادگان برنج را در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی بررسی کردند، آنان تنش خشکی را با قطع آبیاری پس از ۴۰ روز از زمان نشاء (در مرحله بیشینه پنجه‌زنی) اعمال کردند این محققان اظهار داشتند با توجه به تجزیه نمودار دوجبهی (بای‌پلات) و همبستگی بین

2. Water Use Efficiency
3. Stress Susceptibility Index
4. Tolerance Index
5. Mean Productivity
6. Stress Tolerance Index
7. Geometric Mean Productivity

استفاده در این آزمایش ارائه شده است، همه نژادگانها به خلوص رسیده‌اند. طرح آزمایشی مورد استفاده بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. هر کرت شامل سه ردیف کاشت و به طول ۲ متر بود و نشاکاری به صورت تک بوته و با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر انجام شد. لازم به یادآوری است که رقم شاه‌پسند با شماره ۳۶ به دلیل نامرغوب بودن بذرها و نداشتن دوره رویشی و زایشی مطلوب از ادامه بررسی و تجزیه‌های آماری حذف شد.

به‌منظور اعمال تنش خشکی، آبیاری سی روز پس از نشاکاری (مرحله پیشینه پنجه‌زنی) تا پایان دوره رویش نژادگانها قطع شد. پس از ناپدید شدن آب در سطح شالیزار، درعمل تنش خشکی در مرحله آغاز تشکیل آغازه‌های خوشه (Panicle initiation) در ساقه اصلی که مناسب‌ترین زمان برای تأثیرگذاری تنش است (Singh *et al.*, 1996)، اعمال شد. در جدول ۲ آمار هواشناسی ایستگاه هواشناسی رشت در فصل‌های زراعی سال ۱۳۹۳ و همچنین میانگین شاخص‌ها برای دوره قطع آبیاری یعنی از سی روز پس از نشاءکاری (۲۷ خرداد ۱۳۹۳) تا زمان برداشت ۱۶ مرداد ۱۳۹۳ ارائه شده است. برای هدایت و خارج کردن آب زهکش‌هایی به عمق ۵۰ سانتی‌متر در اطراف قسمت آزمایش در شرایط تنش حفر شد و در زمین تحت تنش و بدون تنش لوله‌های پیزومتر نصب شد تا عمق آب زیرزمینی کنترل شود. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه از هر کرت بوته‌های ۰/۵ مترمربع برداشت شد و در نهایت از میانگین آن‌ها برای تجزیه‌های آماری استفاده شد. برای ارزیابی تحمل یا حساسیت نژادگان‌های برنج، به تنش کمبود آب از شاخص‌های میانگین حساسی (MP) (Rosielle & Hamblin, 1981)، میانگین هندسی (GMP) (Fernandez, 1992)، تحمل (TOL) (Rosielle & Hamblin, 1981)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) (Fischer & Maurer, 1978)، شاخص تحمل به تنش (STI) (Fernandez, 1992)، شاخص عملکرد (YI) (Gavuzzi *et al.*, 1997) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) (Bousslama & Schapaugh, 1984) استفاده شد که با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۷ محاسبه شدند.

شاخص‌ها، شاخص‌های تحمل، میانگین هندسی، شاخص میانگین و میانگین هارمونیک بهترین شاخص‌ها برای گزینش نژادگان‌های پرمحصول در هر دو محیط هستند و بنابراین نژادگان‌های گرده، سرخو، سنگ جو، IR83752-B-B123، طارم امیری و طارم محلی را به‌عنوان نژادگان‌های دارای عملکرد بالا و متحمل به خشکی معرفی کردند. Karim Koshteh & Sabouri (2015) با بررسی نژادگان‌های برنج و گروه‌بندی آن‌ها با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت، رقم‌های سپیدرود و طارم محلی و نژادگان هوازی IR83752-B-B123 را با توجه به داشتن بیشترین میزان عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی و داشتن شاخص تحمل به تنش بالا به‌عنوان نژادگان‌های متحمل پیشنهاد کردند.

با توجه به اینکه کشور ایران در منطقه کم بارش قرار گرفته است بایستی درصدد شناسایی و انتخاب رقم‌های متحمل به خشکی در برنج بود که در شرایط محدودیت آب بتوانند ضمن سازگاری با شرایط منطقه، نیاز آبی کمی داشته باشند، نژادگان‌های برنج هوازی در این زمینه می‌توانند قابلیت‌هایی ارزشمندی باشند. این آزمایش با هدف شناسایی نژادگان‌های برنج متحمل به تنش خشکی از بین نژادگان‌های هوازی و غرقابی، با استفاده از شاخص‌های تحمل طرح‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال ۱۳۹۳ به‌منظور بررسی و مقایسه واکنش نژادگان‌های برنج هوازی و ایرانی به تنش خشکی بر پایه عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، در دو محیط در شرایط تنش آبی و بدون تنش انجام گرفت. مواد گیاهی آزمایش شامل ۳۱ نژادگان برنج هوازی و ۲۲ رقم برنج غرقابی (بومی ایران) در بخش سنگر شهرستان رشت با مختصات جغرافیایی طول شرقی ۴۹ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵۷ ثانیه و عرض شمالی ۳۷ درجه و ۹ دقیقه و ۵۰ ثانیه کشت شدند. بذرها نژادگان‌های برنج هوازی و خارجی از مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) درفیلیپین و بذرها رقم‌های برنج غرقابی از مؤسسه تحقیقات برنج رشت تهیه شد. در جدول ۱ نام و نشانه‌های اختصاری نژادگان‌های مورد

جدول ۱. ویژگی‌های نژادگان‌های برنج در این آزمایش

Table 1. Information of rice genotypes in present experiment

Number	Designation	Parentage	Number	Designation	Parentage
1	Palawan	-	28	IR 83752-B-B-12-3	IR 71524-44-1-1/2*UPL RI 7
2	IR66417-18-1-1-1	-	29	Panda	-
3	IR71525-19-1-1	-	30	Vandana	-
4	IR60080-46A	-	31	Nona Bokra	-
5	IR65907-116-1-B	-	32	Ghasroldashti	-
6	IRAT170	-	33	Sangetarom	-
7	Caiapo	-	34	Sangejo	-
8	Pegaso	-	35	Rashtisard	-
9	IRAT216	-	36	Shahpasand	-
10	IR 81024-B-254-1-B	IRRI 143/IR 71525-19-1-1	37	Anbarbou	-
11	IR 81422-B-B-200-4	IR 74371-3-1-1/IR 64	38	Salari	-
12	IR 82310-B-B-67-2	IR 74371-46-1-1/2*IR 64	39	Neda	-
13	IR 82590-B-B-32-2	CAUDH 1/IR 74371-54-1-1	40	Ahlamitarom	-
14	IR 82616-B-B-64-3	IR 71524-44-1-1/IR 76569-259-1-2-1	41	Alikazemi	-
15	IR 82635-B-B-82-2	IR 78875-176-B-2/IR 78875-207-B-3	42	Khazar	-
16	IR 82639-B-B-103-4	IR 78875-176-B-2/IR 78908-143-B-4	43	Hashemi	-
17	IR 82639-B-B-118-3	IR 78875-176-B-2/IR 78908-143-B-4	44	Champaboudar	-
18	IR 82639-B-B-140-1	IR 78875-176-B-2/IR 78908-143-B-4	45	Gharib	-
19	IR 83749-B-B-46-1	IR 71524-44-1-1/2*IR 74371-54-1-1	46	Domsiah	-
20	IR 82589-B-B-114-3	IRRI 132/IR 74371-54-1-1	47	Sepidroud	-
21	IR 82589-B-B-84-3	IRRI 132/IR 74371-54-1-1	48	Kadous	-
22	IR 82590-B-B-90-4	CAUDH 1/IR 74371-54-1-1	49	Dorfak	-
23	IR 82590-B-B-94-4	CAUDH 1/IR 74371-54-1-1	50	Gohar	-
24	IR 82590-B-B-98-2	CAUDH 1/IR 74371-54-1-1	51	Hasansaraei	-
25	IR 82635-B-B-143-1	IR 78875-176-B-2/IR 78875-207-B-3	52	Nemat	-
26	IR 82635-B-B-32-4	IR 78875-176-B-2/IR 78875-207-B-3	53	Sadri	-
27	IR 83749-B-B-87-3	IR 71524-44-1-1/2*IR 74371-54-1-1			

از شماره ۱ تا ۳۱ نژادگان‌های هواری و از ۳۲ تا ۵۳ رقم‌های غرقابی (ایرانی) هستند.

محیط بدون تنش رطوبتی، Y_s : عملکرد هر نژادگان در محیط تنش، Y_p : میانگین عملکرد هر نژادگان در محیط بدون تنش و $Y_{\bar{s}}$: میانگین عملکرد هر نژادگان در محیط تنش است.

برای تعیین مناسب‌ترین شاخص‌ها از محاسبه ضریب همبستگی ساده بین این شاخص‌ها و عملکرد دانه در دو شرایط استفاده شد. به منظور گروه‌بندی نژادگان‌ها بر پایه شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد تجزیه خوشه‌ای به روش Ward و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. همچنین به منظور شناسایی متحمل‌ترین نژادگان‌ها به تنش خشکی از روش گرافیکی GGE Biplot نیز استفاده شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS، SAS و GGE Biplot انجام شد.

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2} \quad (1)$$

$$GMP = \sqrt{Y_s \cdot Y_p} \quad (2)$$

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

$$SSI = \left(1 - \frac{Y_s}{Y_p}\right) \div \left(1 - \frac{Y_{\bar{s}}}{Y_p}\right) \quad (4)$$

$$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{(Y_{\bar{s}})^2} \quad (5)$$

$$YI = \frac{Y_s}{Y_{\bar{s}}} \quad (6)$$

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p} \quad (7)$$

در رابطه‌های ۱ تا ۷، Y_p : عملکرد هر نژادگان در

جدول ۲. آمار هواشناسی ایستگاه هواشناسی رشت در فصول زراعی سال ۱۳۹۳

Table 2. Meteorological data in Rasht in cropping seasons of 2014

Month	Rainfall (mm)	Mean tem. (°C)	Mean max tem. (°C)	Mean min tem. (°C)	Mean RH	Sunny hours
April	0.4	20.6	25.7	15.5	76.9	7.2
May	0.5	24.3	28.7	19.8	79.0	8.4
July	0.5	26.4	30.7	22.0	73.3	8.0
August	0.0	27.2	33.6	20.9	65.6	9.7
September	1.4	26.0	30.9	21.1	75.5	6.0
Period of withholding Irrigation	0.3	26.3	31.3	19.9	70.7	8.6

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه در جدول ۳ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد، تفاوت بسیار معنی‌داری بین دو محیط از نظر عملکرد دانه وجود داشت که نشان‌دهنده اعمال مؤثر تنش خشکی روی بوته‌ها بود. همچنین اختلاف بین نژادگان‌ها و برهمکنش بین نژادگان و محیط در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند که نشان‌دهنده تنوع قابل توجه و واکنش متفاوت نژادگان‌ها در دو محیط از لحاظ عملکرد بود. لذا با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش بین نژادگان با محیط، بررسی نژادگان‌ها در محیط تحت تنش و بدون تنش خشکی به صورت مجزا انجام شد.

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نژادگان‌های برنج در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 3. Combined ANOVA of grain yield of rice genotypes under normal and drought stress conditions

S.O.V	df	Mean squares
		GY
En	1	42.403**
Rep (En)	4	4.101
Genotype	51	4.691**
Genotype * En	51	1.973**
Error	204	0.844
CV (%)		26.32

بررسی عملکرد نژادگان‌ها در شرایط بدون تنش نشان داد، برترین نژادگان‌ها در این شرایط ۴۹ (درفک)، ۱۸ (IR82639-B-B-140-1)، ۱۵ (IR82635-B-B-82-2) و ۱۳ (IR82590-B-B-32-2) با میانگین عملکرد دانه ۵/۶۰، ۵/۵۲، ۵/۲۸ و ۵/۲۳ تن در هکتار بودند و کمترین عملکرد دانه به چهار نژادگان هوازی ۲۰ (IR 82589-B-IR 82590-B-3)، ۲۷ (IR83749-B-B-87-3)، ۲۴ (IR82590-B-B-98-2) و ۲۲ (IR82590-B-B-90-4) اختصاص یافت که به ترتیب میانگین عملکرد دانه برابر با ۱/۸۳، ۱/۸۲، ۱/۷۴ و ۱/۱۹ تن در هکتار داشتند.

در شرایط تنش خشکی نژادگان‌های ۱۳ (IR82590-B-B-32-2)، ۲۹ (Panda)، ۱۰ (IR 81024-B-254-1-B) و ۴۹ (درفک) به ترتیب با میانگین عملکرد ۵/۱۶، ۴/۷۷، ۴/۶۹ و ۴/۶۹ تن در هکتار برترین نژادگان‌ها بودند و نژادگان ۲۲ (IR82590-B-B-90-4) و سه نژادگان غرقابی ۵۲ (نعمت)، ندا (۳۹) و ۴۴ (چمپابودار) به ترتیب با

میانگین عملکرد ۰/۲۸، ۰/۷۱، ۱/۶۲ و ۱/۷۲ تن در هکتار کمترین عملکرد را کسب کردند. با دقت در نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که نژادگان ۲۲ سازگاری مناسبی با شرایط اقلیمی مورد بررسی در این آزمایش نداشته و در هر دو شرایط پایین‌ترین عملکرد را به خود اختصاص داده است. همچنین سه نژادگان ۲۲، ۵۲ (نعمت) و ندا (۳۹) بالاترین افت عملکرد را داشتند. به‌طور کلی شمار ده نژادگان (۴، ۲، ۲۴، ۷، ۳، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۰ و ۱۶) که همه جزء نژادگان‌های هوازی بودند در شرایط تنش خشکی عملکرد بالاتری کسب کردند.

برای تعیین برترین شاخص‌های تحمل یا حساسیت که بتوانند برای شناسایی نژادگان‌های متحمل استفاده شوند، ضریب‌های همبستگی بین شاخص‌های خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی محاسبه شدند. ضریب‌های همبستگی در جدول ۴ ارائه شده‌اند. نتایج مؤید این مطلب است که شاخص‌های MP، GMP، STI و YI بیشترین ارتباط معنی‌دار ($p < 0.01$) را با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی دارند، بنابراین در این تحقیق از آن‌ها به‌عنوان معیار شناسایی نژادگان‌های متحمل و حساس استفاده شد.

Ghiyasi Oskoei *et al.* (2012) نیز با بررسی ضریب‌های همبستگی، شاخص‌های STI، HARM، GMP و MP را در شناسایی نژادگان‌های برنج غرقابی و هوازی متحمل به تنش خشکی معرفی کردند. Erfani *et al.* (2012) در ارزیابی روی ۲۶ نژادگان برنج در سه شرایط آبیاری متداول، تنش خشکی در دو مرحله رویشی (قطع آبیاری از روز ۱۴ ام تا ۴۹ ام پس از نشاء به مدت ۳۵ روز) و زایشی (قطع آبیاری از ۵۰ روز پس از نشاء تا زمان برداشت)، شاخص‌های MP، HM، GMP و STI را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای تعیین نژادگان‌های برنج متحمل به خشکی معرفی کردند. همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت با عملکرد دانه می‌تواند به‌عنوان معیار مناسب در شناسایی و غربال نژادگان‌ها استفاده شود. به‌طور کلی شاخص‌هایی که تنوع ژنتیکی بین نژادگان‌ها دارند و ضمن داشتن وراثت‌پذیری در هر دو محیط همبستگی قابل توجهی با عملکرد داشته باشند

و دیگر گروه‌ها باشد، گروه یادشده حساس خواهد بود. بر پایه داده‌های جدول ۵ نژادگان‌ها به سه گروه جداسازی شدند. گروه متحمل شامل هفت نژادگان، گروه نیمه حساس شامل ۲۳ نژادگان و گروه حساس شامل ۲۲ نژادگان بود. گروه‌های متحمل از لحاظ همه شاخص‌های مورد بررسی برتر از میانگین کل بودند و گروه حساس ارزش‌های بسیار پایین‌تر و انحراف‌های منفی را به خود اختصاص دادند. گروه اول با ۲۳ عضو، گروه شامل نژادگان‌های نیمه متحمل نام گرفت، چون مقادیر شاخص‌های به‌دست‌آمده برای این نژادگان‌ها از میانگین کل بیشتر بود، اما در مقایسه با گروه دوم میزان انحراف‌های آن‌ها مقادیر کمتری را به خود اختصاص داد. این نژادگان‌ها متشکل از ۱۲ نژادگان برنج هوازی و ۱۱ رقم عرفایی (سنگ‌جو، رشتی‌سرد، عنبربو، سالاری، علی-کازمی، هاشمی، غریب، دم‌سیاه، سپیدرود، کادوس و گوهر) بودند. *Ghiassy Oskoee et al.* (2012) نیز در آزمایش خود نژادگان IR83752-B-B-12-3 (نژادگان شماره ۲۸ در این پژوهش) و سنگ‌جو (که در گروه نیمه متحمل قرار گرفتند) را به‌عنوان نژادگان‌های متحمل در شرایط تنش خشکی اعمال‌شده در پایان فصل در شرایط گنبد کاووس گزارش کردند. آنان نژادگان‌های شاه‌پسند، GRALDO و BRBONANC که کمترین میزان شاخص‌های تحمل را به خود اختصاص داده بودند، به‌عنوان نژادگان‌های حساس معرفی کردند.

می‌توانند نژادگان‌های با عملکرد بالاتر را شناسایی کنند (Fernandez, 1992). به‌منظور استفاده همزمان از داده‌های به‌دست‌آمده از همه شاخص‌های تحمل برتر تعیین شده و همچنین میزان عملکرد دانه در دو شرایط از تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی نژادگان‌ها استفاده شد (شکل ۱). بهترین نقطه برش برای رسیدن به گروه‌هایی که بتوانند بیشینه اختلاف را از هم داشته باشند و بتوان نژادگان‌های حساس و متحمل را به نحو مطلوبی از هم جداسازی کرد، نقطه‌ای است که نژادگان‌ها را به سه گروه تقسیم می‌کند. آزمون تجزیه تابع تشخیص برای تشکیل سه گروه با آماره لاندا و وایک برابر با ۰/۸۷۲، معنی‌دار (P < ۰/۰۱) به دست آمد.

برای مشخص کردن میزان تأثیر هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در گروه‌بندی نژادگان‌ها، میانگین شاخص‌ها برای هر گروه و انحراف میانگین کل برای همان شاخص محاسبه شد (*Rashidi et al.*, 2007) (جدول ۵). با توجه به ماهیت این شاخص‌ها، نژادگانی که *YI*، *STI*، *GMP*، *MP* و *YI* بالاتری داشته باشد به‌عنوان نژادگان متحمل شناخته می‌شود. بدیهی است اگر میانگین یک شاخص در یک گروه، از میانگین کل آن شاخص بالاتر باشد، آن گروه از نظر آن شاخص ارزش بیشتری از میانگین کل نژادگان‌ها خواهد داشت و چنانچه برای همه شاخص‌ها برتر از میانگین کل باشد می‌توان نام گروه متحمل را به آن گروه اختصاص داد و برعکس اگر برای همه شاخص‌ها پایین‌تر از میانگین کل

جدول ۴. ضریب‌های همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت با عملکرد دانه نژادگان‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

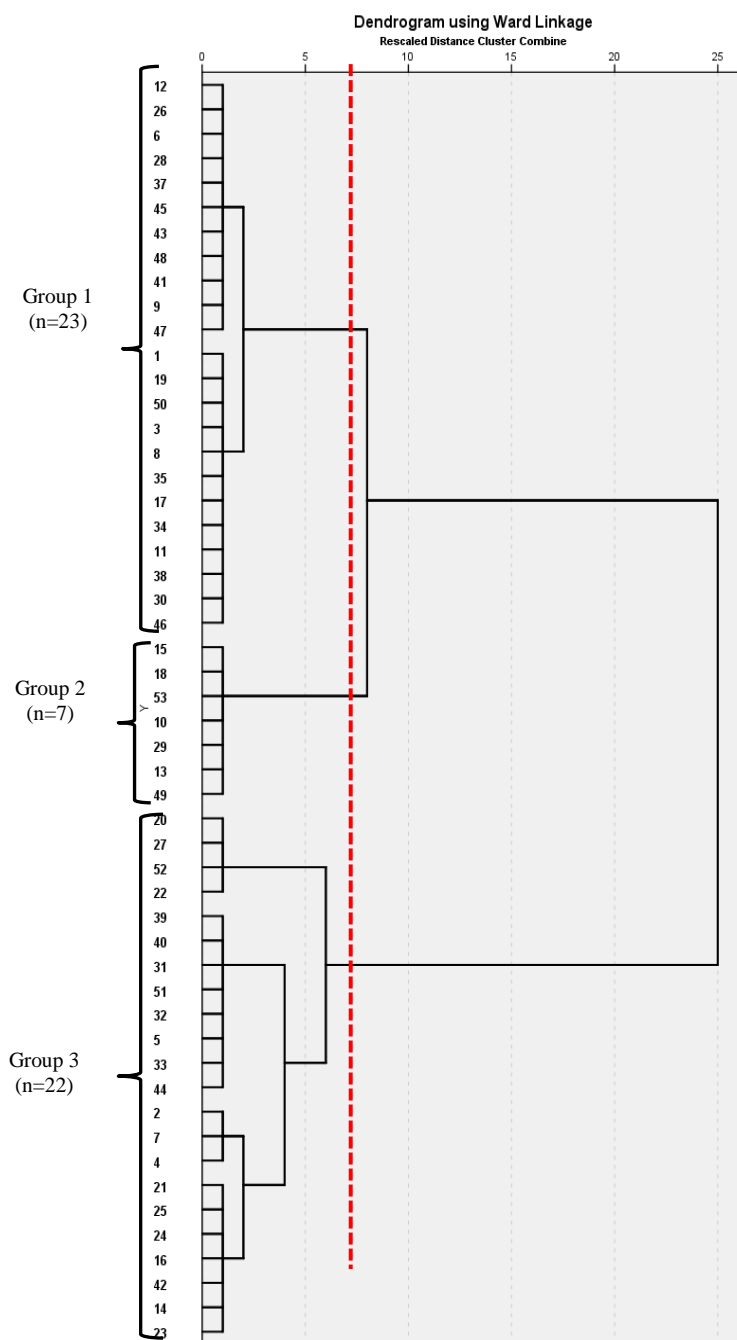
Table 4. Correlation coefficients between sensitivity and tolerance indices with grain yield of rice genotypes under normal and drought stress conditions

	SSI	TOL	GMP	STI	YI	YSI	MP
Grain yield under normal condition	0.490**	0.597**	0.803**	0.785**	0.409**	-0.490**	0.854**
Grain yield under drought stress condition	-0.530**	-0.487**	0.864**	0.845**	1.000**	0.530**	0.824**

جدول ۵. اعضای گروه‌های به‌دست‌آمده از تجزیه خوشه‌ای همراه با میانگین و میزان انحراف از میانگین کل برای شاخص‌های تحمل. داده‌های نژادگان‌های برنج در جدول ۱ ارائه شده است.

Table 5. Memberships of groups derived from cluster analysis with the average and deviation of the total average for tolerance indices. Rice genotypes information has been shown in Table 1.

Group	Rice genotypes	Index				
		GMP	MP	STI	YI	
Group 1: Semi-tolerant genotypes (n=23)	1, 3, 6, 8, 9, 11, 12, 17, 19, 26, 28, 30, 34, 35, 37, 38, 41, 43, 45, 46, 47, 48, 50	3.78	3.82	0.97	1.09	Group average
		0.37	0.33	0.13	0.09	Deviation from the total mean
		4.86	4.88	1.59	1.46	Group average
Group 2: Tolerant genotypes (n=7)	10, 13, 15, 18, 29, 49, 53	1.45	1.39	0.75	0.46	Deviation from the total mean
		2.57	2.70	0.47	0.76	Group average
		-0.85	-0.79	-0.37	0.24	Deviation from the total mean
Group 3: Sensitive genotypes (n=22)	2, 4, 5, 7, 14, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 31, 32, 33, 39, 40, 42, 44, 51, 52	3.41	3.49	0.84	1.00	Total average



شکل ۱. نمودار شجره‌ای حاصل از تجزیه خوشه‌ای نژادگان‌های برنج به روش Ward بر پایه شاخص‌های تحمل و عملکرد بوته در شرایط بدون تنش و تنش خشکی. اطلاعات نژادگان‌های برنج در جدول ۱ ارائه شده است.

Figure 1. Dendrogram derived from cluster analysis of rice genotypes by Ward method based on tolerance indices under normal and drought stress. Rice genotypes information has been shown in Table 1.

داده‌های جدول ۳، هفت نژادگان واجد این ویژگی بودند که در گروه دوم قرار گرفتند. شمار پنج نژادگان به گروه نژادگان‌های هواری تعلق داشتند (-IR81024 IR82635-B-B-، IR82590-B-B-32-2، B-254-1-B، 82-2، IR82639-B-B-140-1 و Panda) و رقم‌های ۴۹

بدیهی است که به نژادگران همواره به دنبال یافتن نژادگان‌هایی هستند که در محیط تحت تنش پایداری عملکرد داشته باشند، بنابراین شناسایی نژادگان‌هایی که بر مبنای شاخص‌های تحمل و حساسیت در گروه متحمل قرار گیرند، بسیار ارزشمند خواهد بود. بر پایه

(درفک) و ۵۳ (صدری) جزء رقم‌های غرقابی هستند. گروه سوم با ۲۲ نژادگان به‌عنوان گروه حساس شناسایی شد. از این شمار ۱۴ نژادگان از گروه هوازی و ۸ نژادگان از گروه برنج‌های غرقابی بومی بودند (قصرالدشتی، سنگ طارم، ندا، اهلمی‌طارم، خزر، چمپابودار، حسن‌سرای و نعمت).

Fallah-Shamsi *et al.* (2012) نیز با ارزیابی رقم‌های اصلاح‌شده برنج شاخص‌های MP، GMP و STI را بهترین شاخص‌ها برای غربال نژادگان‌های متحمل و حساس به خشکی گزارش کردند. در این آزمایش از نظر سه شاخص یادشده رقم‌های ندا، درفک، رگه (لایین)‌های ۲۰۳، ۴۱۶ و ۸۳۱ و ساحل (اصلاح شده)، در گروه نژادگان‌های متحمل‌تر و رقم‌های خزر، هاشمی و سنگ‌جو و علی‌کاظمی در گروه حساس‌تر به تنش کمبود آب شناخته شدند. در مقایسه با این پژوهش که درفک در گروه متحمل‌ترین نژادگان‌ها قرار گرفت و رقم خزر که به‌عنوان نژادگان‌های حساس‌تر معرفی شد، اتفاق نظر وجود دارد، اما در ارتباط با رقم‌های هاشمی، سنگ‌جو، و علی‌کاظمی در این آزمایش به گروه نیمه‌متحمل و ندا به گروه حساس منتسب شد، البته همان‌گونه که شرح داده شد در این آزمایش نوعی مقایسه بین نژادگان‌های هوازی و غرقابی صورت گرفت و بر پایه شاخص‌های برتر گروه‌بندی انجام شد و سه گروه نسبی به نام نیمه‌متحمل، متحمل و حساس تشکیل شد. در حقیقت گروه‌بندی با توجه به مقادیر شاخص‌ها به‌طور نسبی انجام شد.

Safaei Chaeikar *et al.* (2008) با آزمایش روی ۴۹ نژادگان برنج ایرانی و خارجی اظهار داشتند، شاخص‌های MP، GMP، HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشته و آن‌ها را برای ارزیابی نژادگان‌های متحمل به خشکی مناسب اعلام داشتند و از میان آن‌ها شاخص STI را به‌دلیل داشتن همبستگی معنی‌دار و بالاتر نسبت به دیگر شاخص‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش و قابلیت جداسازی نژادگان‌ها با عملکرد بالا در هر دو محیط، بهترین شاخص برای انتخاب نژادگان‌های متحمل

معرفی کردند. آنان بر پایه نتایج مربوط به شاخص‌های تحمل، رقم نعمت را متحمل‌ترین رقم نسبت به تنش خشکی پایان فصل معرفی کردند. البته رقم نعمت در این آزمایش در گروه نژادگان‌های متحمل و نیمه‌متحمل قرار نگرفت و تفاوت در نتایج می‌تواند به شرایط اجرای آزمایش از جمله تفاوت در میزان بارندگی در دو آزمایش و تفاوت در مرحله اعمال تنش خشکی باشد. در آزمایش Safaei Chaeikar *et al.* (2008) ۴۰ روز پس از نشاءکاری قطع آبیاری انجام شد و در این آزمایش تنش خشکی زودتر با قطع آبیاری ۳۰ روز پس از نشاء انجام شد تا درعمل تنش خشکی در مرحله آغاز تشکیل آغازه‌های خوشه اعمال شود و بدیهی است تنش خشکی در این آزمایش اثرگذاری بیشتری در مرحله زایشی خواهد داشت. Katouzi *et al.* (2008) با بررسی سه رقم بهار، درفک و علی‌کاظمی در رژیم‌های مختلف آبیاری بر پایه محاسبه شاخص‌های STI، HM، GMP، MP دریافتند که رقم بهار نسبت به دو رقم دیگر به تنش کم آبی، تحمل بیشتری داشت.

نظر به بررسی ضریب‌های همبستگی، شاخص‌های مقاومت به تنش و وجود همبستگی بالا بین شاخص‌های محاسبه‌شده، از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای گروه‌بندی نژادگان‌ها استفاده شد تا گروه‌بندی نژادگان‌ها بر پایه مؤلفه‌های مستقل از هم نیز ارزیابی شود. نتایج این تجزیه روی همه شاخص‌ها نشان داد، حدود ۹۸ درصد از تغییرات کل توسط دو مؤلفه اصلی اول توجیه می‌شود (جدول ۴) که با توجه به وجود همبستگی بین شاخص‌ها این نتیجه دور از انتظار نیست. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود همه شاخص‌های برتر در مؤلفه اول و سه شاخص برتر شناسایی شده در مؤلفه دوم ضریب‌های مثبت دارند. از آنجایی که مؤلفه اول، معادله‌ای است که همه شاخص‌های مهم را با بالاترین ضریب‌های مثبت در بر می‌گیرد و ۵۸ درصد از تغییرات را نشان می‌دهد (جدول ۶) بنابراین به نظر می‌رسد هرچقدر نژادگان‌ها از لحاظ مؤلفه اول مقادیر بالاتری را به خود اختصاص دهند با داشتن مقادیر بالاتر برای مجموع شاخص‌های یادشده به‌ویژه شاخص‌های تأثیرگذارتر، جزء

گزارش کردند که رقم‌های دانیال، تابش، نعمت، فجر و ساحل در تنش مرحله رویشی و نژادگان‌های دانیال، ۸۶۰۸، نعمت، ساحل و کادوس در تنش مرحله زایشی جزء نژادگان‌های انتخابی از نظر شاخص‌های STI و GMP هستند و از سویی در ناحیه مطلوب نمودار دووجهی به دست آمده از دو مؤلفه اول نیز قرار گرفتند از این رو به عنوان بهترین نژادگان‌ها با پتانسیل عملکرد مطلوب و متحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

در شکل ۳ نمودار دووجهی همه شاخص‌های تحمل و حساسیت و عملکرد دانه در محیط بدون تنش و تنش خشکی برای نژادگان‌های برنج بر پایه دو مؤلفه اول نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ارتباط بین نژادگان‌های مربوط به هر گروه با شاخص‌ها و عملکرد دانه در دو محیط به کلی مشخص است. به گونه‌ای که نژادگان‌های متحمل در مجاورت شاخص‌های تحمل GMP، MP و STI و نژادگان‌های نیمه متحمل با کمی اختلاف از آن‌ها در ناحیه دورتر قرار گرفتند و به طور کلی در حدفاصل دو بردار مربوط به YP (عملکرد دانه در شرایط بدون تنش) و YS (عملکرد دانه در تنش خشکی) واقع شدند. این ناحیه از نمودار را می‌توان منطقه قابلیت و پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نامید. از سوی دیگر همه نژادگان‌های حساس در فاصله بین دو بردار مربوط به شاخص‌های YSI، TOL و SSI قرار گرفتند. این ناحیه از نمودار دووجهی را می‌توان منطقه حساس به خشکی نامید. Ghiasy Oskoee *et al.* (2012) بنابر نتایج تجزیه گرافیکی نمودار دووجهی اظهار داشتند نژادگان‌های سنگ‌جو، سرخو، گرده، IR83752-B-B-123، طارم محلی و طارم امیری در هر دو شرایط میانگین عملکرد بالا داشتند و در مجاورت برترین شاخص‌ها یعنی MP، GMP، HARM و STI قرار داشتند (Yahooian *et al.*, 2005) که از نمودار دووجهی در شناسایی نژادگان‌های متحمل سویا استفاده کردند بهترین شاخص‌های تحمل را STI و GMP معرفی کردند که در زاویه بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی قرار گرفته بودند که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. در این پژوهش شماری از نژادگان‌ها از جمله شماری از نژادگان‌های

نژادگان‌های متحمل تر به خشکی خواهند بود و چون مؤلفه دوم برای شاخص‌های TOL و SSI (که کمتر بودن آن‌ها ملاک متحمل بودن است) نیز ضریب‌های مثبت بالا دارند، بنابراین نژادگان‌هایی که متحمل تر هستند برای مؤلفه دوم مقادیر بسیار بالا نداشته باشند. بنابراین مطابق کادربندی در شکل ۲، متحمل‌ترین نژادگان‌ها در ناحیه با میزان مؤلفه اول بالا و میزان مؤلفه دوم مثبت و نزدیک به صفر دارند (نژادگان‌های ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۸، ۲۹، ۴۹ و ۵۳) و برعکس نژادگان‌هایی که در ناحیه با مؤلفه اول و دوم پایین قرار دارند نژادگان‌های حساس به خشکی هستند (نژادگان‌های ۲، ۴، ۷، ۱۶، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۷). در مجموع ضمن تأیید نتایج تجزیه خوشه‌ای می‌توان اذعان داشت شاخص‌های تحمل برتر و تأثیرگذارتر با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز همان چهار شاخص شاخص‌های GMP، STI، YI، MP تعیین شدند بنابراین از طریق این مؤلفه‌ها نیز امکان گزینش وجود خواهد داشت.

جدول ۶. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی عملکرد و شاخص‌های تحمل و حساسیت نژادگان‌های برنج شامل بردارهای مشخصه، ریشه مشخصه، نسبت واریانس توجیه شده واریانس توجیه شده تجمعی دو مؤلفه اول

Table 6. The results of principle component analysis on grain yield and tolerance and sensitive indices in rice genotypes including eigenvectors, eigenvalues, proportion variance and cumulative variance

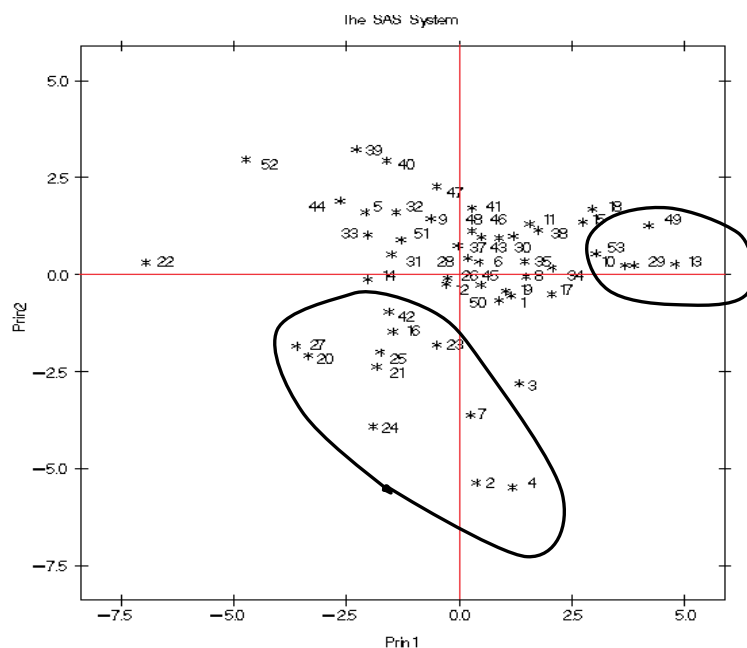
Variable	Eigenvectors	
	PC ₂	PC ₁
Yield under normal condition	0.402	0.274
Yield under drought condition	-0.131	0.423
SSI	0.491	-0.138
TOL	0.499	-0.110
GMP	0.139	0.421
STI	0.148	0.413
YI	-0.131	0.423
YSI	-0.491	0.138
MP	0.175	0.411
Proportion variance	0.402	0.580
Cumulative variance	0.982	0.580
Eigenvalues	3.614	5.223

Erfani *et al.* (2012) در ارزیابی روی ۲۶ نژادگان

برنج در سه شرایط آبیاری متداول و تنش خشکی در دو مرحله رویشی و زایشی، با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی شاخص‌های تحمل و حساسیت

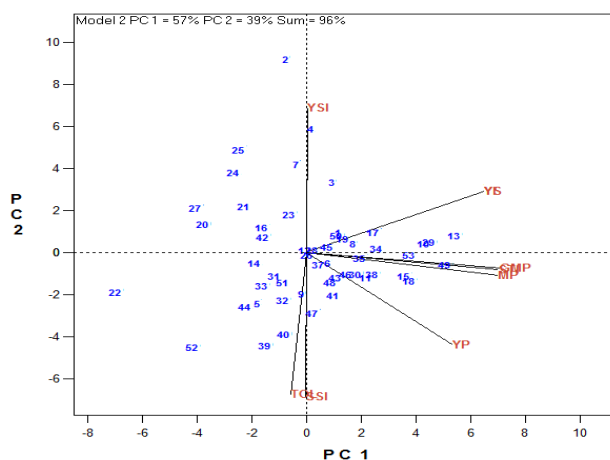
کرد می‌توان بهره‌برداری لازم را از این نژادگان‌ها به‌عمل آورد. همچنین می‌توان از نتایج این آزمایش در تهیه جمعیت‌های اصلاحی و استفاده از ال‌های مطلوب مرتبط با تحمل به تنش خشکی نژادگان‌های هوازی متحمل شناسایی شده در انتقال به رقم‌های غرقابی مطلوب اما حساس به تنش خشکی استفاده کرد.

هوازی به‌عنوان نژادگان‌های متحمل‌تر به تنش خشکی شناسایی شدند. این نژادگان‌ها قابلیت انجام تحقیقات گسترده‌تر با هدف معرفی رقم‌های متحمل برای مناطق مواجه به کمبود آب را دارند، در صورتی‌که بتوان با انجام آزمایش در چند سال و چند مکان و در شرایط شالیزاری، برتر بودن این نژادگان‌ها را تأیید



شکل ۲. نمودار دووجهی مؤلفه اصلی اول و دوم برای نژادگان‌های برنج بر پایه عملکرد در شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های تحمل و حساسیت. نژادگان‌های متحمل با کادر ۱ و نژادگان‌های حساس به خشکی با کادر ۲ جداسازی شدند مشخصات نژادگان‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

Figure 2. Scatter plot of two first principal components rice genotypes based on yield in normal and drought conditions and tolerance and sensitivity Indices to drought stress. The tolerant and sensitive genotypes distinguished by frame 1 and 2 respectively. Genotypes information has been showed in Table 1.



شکل ۳. نمودار دووجهی شاخص‌های تحمل و حساسیت برای نژادگان‌های برنج بر پایه دو مؤلفه اول. مشخصات نژادگان‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

Figure 3. Biplot chart of tolerance and sensitive indices for rice genotypes based on the first two components. Genotypes information has been showed in Table 1.

و IR82635-B-B-82-2، IR82639-B-B-140-1
IR82590-B-B-32-2 بودند و در شرایط تنش خشکی
نژادگان‌های IR82590-B-B-32-2، Panda، IR81024-
B-254-1-B و درفک برترین نژادگان‌ها بودند.

سپاسگزاری

از مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج در فیلیپین و مؤسسه
تحقیقات برنج در رشت برای در اختیار قرار دادن مواد
گیاهی این تحقیق و همکاری جناب آقای دکتر
احمدرضا دادرس در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی
می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش با بررسی شاخص‌های تحمل، تجزیه
به مؤلفه‌های اصلی و نمودار دووجهی به‌دست‌آمده از
تجزیه گرافیکی نشان دادند، برترین شاخص‌ها در
شناسایی نژادگان‌های متحمل، شاخص‌های MP، GMP،
YI و STI هستند و بنابر نتایج شمار هفت نژادگان
متشکل از پنج نژادگان هوازی شامل IR81024-B-254-
1-B، IR82590-B-B-32-2، IR82635-B-B-82-2،
IR82639-B-B-140-1 و Panda و رقم‌های غرقابی
درفک و صدری در گروه متحمل قرار گرفتند. همچنین
برترین نژادگان‌ها در شرایط بدون تنش درفک،

REFERENCES

- Bouman, B. A. M., Peng, S., Castaneda, A. R. & Visperas, A. M. (2005). Yield and water use of irrigated topical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, 74, 87-105.
- Bouman, B. A. M. (2001). Water-efficient management strategies in rice production. *International Rice Research Notes*, 16, 17-22.
- Bouman, B. A. M., Xiaoguang, Y., Huaqi, W., Zhiming, W., Junfang, Z., Changgui, W. & Bin, C. (2002). Aerobic Rice (Han Dao): A new way of growing rice in water short areas. *Proceedings of the 12th ISCO Conference*, May 26-31, Beijing, China.
- Bousslama, M. & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933-937.
- Erfani, F., Shokrpour, M., Momeni, A. & Erfani, A. (2013). Evaluation of drought tolerance in rice varieties using yield-based indices at vegetative and reproductive stage. *Sustainable Agriculture and Production Science*, 4, 135-148.
- Fallah-Shamsi, S. A., Esfahani, M., Ghodsi, M. & Samizadeh, H. (2012). Evaluation of water deficit stress effect in local and improved rice genotypes based on tolerance indices. *3rd Conference on Integrated Water Management*. 10-11 August, Sari, Iran
- Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (ed.). In: *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crop to Temperature and Water Stress, Taiwan*, 13-18 August, pp. 257-270.
- Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat Cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R.G., Ricciardi, G. L. & Borghi, B. (1997). Valuation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, 523-531.
- Ghiasy Oskoei, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H. & Mohamadi Nejad, Gh. (2012). Effect of drought stress on yield and yield components in rice landraces and improved cultivars under Gonbad Kavous environmental condition. *Cereal Research*, 2(3), 165-179.
- Ghiasy Oskoei, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H. & Mohamadi Nejad, Gh. (2013). Evaluation of rice cultivars in drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices. *Electronic Journal of Crop Production (EJCP)*. 6 (4), 55-75.
- Karaba, A., Dixit, S., Greco, R., Aharon, A., Trijatmiko, K. R., Martinez, N. M., Krishnan, A., Nataraja, K. N., Udayakumar, M. & Pereira, A. (2007). Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY, an Arabidopsis drought and salt tolerance gene. *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)*, 104, 15270-15275.
- Karim Koshteh, R. & Sabouri, H. (2015). Rice drought-tolerant genotypes recognition using multivariate analysis. *Agroecology Journal*. 11(4), 13-24.
- Katouzi, M., Rahimzadeh Khoei, F. & Sabouri, H. (2008). Evaluation of rice cultivars in different irrigation treatment based on sensitive and tolerance indices. *Electronic Journal of Crop Production (EJCP)*, 1(3), 33-47
- Rashidi, V., Majidi, I., Mohammadi, S. A. & Moghadam Vahed, M. (2007). Determine of genetic relationship in durum wheat lines by cluster analysis and identity of morphological main characters in each gropes. *Journal Agronomy Science*, 13(2), 439-450.

16. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. *Corp Science*, 21, 943-946.
17. Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H. & Esfahani, M. (2008). Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 9(4), 315-331.
18. Sikuku, P. A., Netondo, G. W., Onyango, J. C. & Musyimi, D. M. (2010). Effects of water deficit on physiology and morphology of three varieties of nerica rainfed rice (*Oryza sativa* L.). *ARPEN Journal of Agricultural and Biological Science*, 5, 23-28.
19. Singh, V. P., Singh, R. K., Singh, B. B. & Zeigler, R. S. (eds). (1996). Physiology of Stress Tolerance in Rice: Proceedings of the *International Conference on Stress Physiology of Rice*, 28 Feb-5 March 1994, Lucknow, U.P., India, 239 p.
20. Witcombe, J. R., Hollington, P. A., Howarth, C. J., Reader, S. & Steele, K. A. (2008). Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 703-716.
21. Yahooian, S. H., Bihamta, M. R., Babaei, H. R. & Habibi, D. (2005). Evaluation to drought stress in soybean genotype. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding* 2(2), 72-75. (in Farsi)
22. Yang, J. & Zhang, J. (2010). Crop management technique to enhance harvest index in rice. *Journal of Experimental Botany*, 61(12), 3177- 3189.