"مجله علوم زراعی ایران"
جلد هیجدهم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٥

غربالگری ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل و روش‌های چند متغیره در شرایط تنش خشکی

Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for drought tolerance using tolerance indices and multivariate analysis

سیده ارحامه فلاح شمسی[1]، همت‌اله پیردشتی[2]، علی‌اکبر عبادی[3]، مسعود اصفهانی[4] و محمود رائینی[5]

چکیده

فلاح شمسی، س. ا.، ه. پیردشتی، ع. ا. عبادی، م. اصفهانی و م. رائینی. ١٣٩٥. غربالگری ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل و روش‌های چند متغیره در شرایط تنش خشکی. **مجله علوم زراعی ایران. ١٨(٤): ٣٦٣-٣٤٧.**

به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی، آزمایشی گلدانی روی ٤٠ ژنوتیپ برنج بومی و اصلاح شده در شرایط بدون تنش و تنش آب (قطع آب در مرحله آبستنی) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ١٣٩٣ در موسسه تحقیقات برنج کشور اجرا شد. براساس شاخص‌های رایج تحمل تنش (TOL، SSI، STI، MP، GMP و HM)، ١٧ ژنوتیپ انتخاب و در سال دوم (١٣٩٤) در دو محیط در مزرعه؛ بدون تنش (آبیاری کامل تا انتهای دوره رشد) و تنش (قطع آب از مرحله آغازش خوشه تا انتهای دوره رشد) به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. براساس نتایج آزمایش مزرعه‌ای، ارقام نعمت و پردیس به ترتیب با ٤٨٣١ و ٢٠٧٦ کیلوگرم در هکتار، بیشترین و کمترین عملکرد دانه را در شرایط بدون تنش داشتند. در شرایط تنش خشکی، بیشترین عملکرد دانه از رقم ساحل (٣٦٠٥ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد از رقم علی‌کاظمی با ١١٧٩ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. تنش خشکی باعث کاهش ١١/٥ تا ٦٤ درصد عملکرد دانه (به ترتیب در ارقام ساحل و علی‌کاظمی) شد. براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ١٧ ژنوتیپ برنج مورد ارزیابی به دو گروه تفکیک شدند که ١٣ ژنوتیپ مقدار بالاتر شاخص‌های تحمل تنش را نشان دادند. بر اساس روش‌های رتبه‌بندی و تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز به ترتیب نه و هفت ژنوتیپ به عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی شناسایی شدند. در آزمایش حاضر در مجموع براساس سه روش تجزیه خوشه‌ای، رتبه‌دهی و بای‌پلات، ژنوتیپ‌های درفک، قائم، لاین ٨٣١، اهلمی طارم و جلودار متحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، برنج، تجزیه خوشه‌ای، تنش خشکی و شاخص‌های تحمل.

تاریخ دریافت: ١٣٩٥/٠٩/١٥ تاریخ پذیرش: ١٣٩٥/١١/٢٧ این مقاله مستخرج از رساله دکتری و طرح پژوهشی شماره ٣-٠٤-٠٤٥٢-٩٣١١٠ موسسه تحقیقات برنج کشور می باشد.

١- دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
٢- دانشیار پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: pirdasht@yahoo.com)
٣- استادیار موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت
٤- استاد دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
٥- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان، سالیانه تقریباً ۳۵ تا ۷۰ درصد از کالری مورد نیاز سه میلیارد نفر از جمعیت دنیا را تأمین می‌کند. گزارش شده است که برای تأمین نیاز غذایی جمعیت جهانی تا سال ۲۰۲۵ نیاز به افزایش ۶۰ درصدی در تولید برنج می‌باشد (Fageria, 2007)، در عین حال از یک سو منابع آب شیرین به علت تغییرات آب و هوایی، رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی و توسعه صنعت، به‌طور فزاینده‌ای در حال کاهش است (Yang and Zhang, 2010) و از سوی دیگر برای تولید یک کیلوگرم شلتوک برنج حدود ۲۵۰۰ لیتر آب مورد نیاز است (Bouman, 2009). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد برنج محسوب شده و می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه عملکرد و کاهش مقدار کل تولید برنج شود (Sikuku *et al*., 2010). تخمین زده می‌شود که ۵۰ درصد تولید جهانی برنج تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرد، از این رو اصلاح ارقام جدید به‌منظور بهبود کارایی مصرف آب، جهت غلبه بر کمبود آب و تأمین نیاز جمعیت جهانی ضروری است (This *et al*., 2010). با توجه به محدودیت آب آبیاری برای اغلب گیاهان زراعی از جمله برنج، استفاده هر چه مفیدتر و کارآمدتر از آب آبیاری، یکی از مهم‌ترین راهکارهای مقابله با بحران کمبود آب می‌باشد و شناسایی میزان تحمل ژنوتیپ‌های برنج نسبت به کمبود آب، از نخستین اقدامات لازم برای مقابله با اثرات سوء کمبود آب در زراعت این گیاه محسوب می‌شود. ازاین‌رو، استفاده از شاخص‌های تحمل، امکان بهره‌برداری از صفات مرتبط با عملکرد بالا را در برنامه تولید ارقام متحمل، تسهیل خواهد نمود. استفاده از این روش‌ها اطمینان ایجاد می‌کند که ژنوتیپ‌های انتخاب شده بر اساس این شاخص، متحمل به تنش خواهند بود (Ouk *et al*., 2006).

در بین شاخص‌های تحمل تنش، میزان کمتر شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان‌دهنده تغییرات کم عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و پایداری آن ژنوتیپ و میزان کمتر شاخص تحمل (TOL) حاکی از تحمل بیشتر ژنوتیپ به تنش است. شاخص تحمل تنش (STI) نیز توانایی تفکیک ژنوتیپ‌هایی را دارد که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی را دارند. مقادیر بالای این شاخص نیز برای یک ژنوتیپ نشان‌دهنده تحمل تنش و پتانسیل عملکرد بالاتر است (Fernandez, 1992). شاخص پایداری عملکرد (YSI) نشان‌دهنده مقاومت ژنتیکی رقم به تنش و میزان بالای شاخص عملکرد (YI) حاکی از عملکرد بالای رقم در هر دو محیط تنش و بدون تنش می‌باشد (Jabari *et al*., 2008). در این صورت ارقامی که تفاوت عملکرد زیادی با شاهد داشته باشند، مقادیر شاخص برتری (Pi) بیشتری خواهند داشت (Sio-Se Mardeh *et al*., 2006). از سوی دیگر هرقدر مقادیر میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP) و میانگین هارمونیک (HM)، برای ژنوتیپی بیشتر باشد، تحمل بالاتری به تنش دارد.

نقوی و همکاران (Naghavi *et al*., 2013) گزارش کردند که شاخص نسبی خشکی (RDI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) همبستگی بالایی با عملکرد دانه ذرت در شرایط بدون تنش و تنش خشکی دارند و این شاخص‌ها جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل مناسب‌تر هستند. این محققان بیان داشتند که از بین ۱۲ شاخص تحمل، شاخص YI، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) و شاخص‌های تغییریافته تحمل تنش (K_1STI و K_2STI)، مناسب‌ترین شاخص‌ها به‌منظور گزینش ارقام متحمل بودند. در بررسی اثر کم‌آبی روی ۱۵ ژنوتیپ کلزا مشخص شد که شاخص‌های STI، MP، GMP، K_1STI و K_2STI همبستگی مثبت با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند. نتایج بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی هم نشان داد که این شاخص‌ها برای شناسایی ارقام متحمل

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

به تنش مناسب‌تر هستند (Aliakbari *et al*., 2014).

سی‌وسه مرده و همکاران (Sio-Se Mardeh *et al*., 2006) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی متوسط، شاخص‌های MP، GMP و STI برای شناسایی ارقام گندم با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (ژنوتیپ‌های گروه A) مؤثر هستند، اما در شرایط تنش شدید هیچکدام از شاخص‌ها قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A فرناندز نبودند. آنها اظهار داشتند که کارایی شاخص‌ها در انتخاب ارقام متحمل بسته به شدت تنش متفاوت است. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2008) نیز کارایی شاخص‌های تحمل تنش را برای ارقام گندم در شدت‌های مختلف تنش، متفاوت گزارش کردند. نتایج تحقیق روی ارقام یولاف در ترکیه نشان داد که شاخص YSI قادر به جداسازی ارقام حساس/ مقاوم در شرایط تنش شدید و شاخص‌های STI، MP، GMP، YI، HM و Pi در گزینش ارقام متحمل به تنش مؤثر بودند (Akcura and Ceri, 2011). صفری و همکاران (Safari *et al*., 2009) در ارزیابی اثر تنش خشکی در دو مرحله رویشی و زایشی روی لاین‌های اینبرد ذرت بیان کردند که در شرایط تنش در مرحله رویشی، شاخص‌های MP، GMP و TOL و در شرایط تنش در مرحله زایشی، شاخص‌های GMP و TOL مناسب‌ترین شاخص‌ها هستند. کومار و همکاران (Kumar *et al*., 2014) بیان کردند که انتخاب بر اساس شاخص‌های DTE (کارایی تحمل تنش)، SSI، STI و TOL به شناسایی ژنوتیپ‌های برنج متحمل به خشکی در شرایط دیم کمک می‌کند. مطالعه روی لاین‌های اصلاح شده برنج نیز نشان داد که انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص عملکرد خشکی (DYI) به شناسایی لاین‌های با عملکرد بسیار نزدیک به ارقام رایج در شرایط بدون تنش و عملکرد بالاتر در شرایط تنش شدید و متوسط خشکی، منجر می‌شود (Raman *et al*., 2012). آنها شاخص‌های STI و GMP را برای شناسایی ژنوتیپ‌های برنج پرمحصول در شرایط بدون تنش و تنش شدید خشکی و شاخص‌های DYI، SSI و TOL را برای تفکیک ژنوتیپ‌های پرمحصول در شرایط تنش خشکی، معرفی کردند. رحیمی و همکاران (Rahimi *et al*., 2013) شاخص‌های STI، MP، GMP و HM را برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول در برنامه‌های اصلاح برنج مناسب اعلام کردند. گزارش شده است که شاخص‌های SSI، TOL و YSI برای شناسایی ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی در مرحله زایشی مناسب هستند (Khan and Dhurve, 2016). صفایی چائی‌کار و همکاران (Safaei Chaeikar *et al*., 2008) در ارزیابی ۴۲ ژنوتیپ برنج ایرانی و خارجی و فلاح شمسی و همکاران (Fallah-Shamsi *et al*., 2012) در ارزیابی ۱۵ ژنوتیپ اصلاح شده و بومی برنج گزارش کردند که شاخص‌های MP، GMP و STI برای ارزیابی تحمل تنش خشکی انتهای فصل و تنش کمبود آب، مناسب هستند.

روش‌های آماری چندمتغیره ابزار مفیدی برای استخراج الگوهای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط هستند. استفاده از روش‌های تجزیه چندمتغیره نظیر تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای در گیاهان مختلف زراعی از جمله برنج به‌منظور شناسایی ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل کاربرد دارد (Abd El-Mohsen *et al*., 2015). بعلاوه از روش رتبه‌بندی نیز برای ارزیابی شاخص‌ها و مجموع، انحراف معیار و میانگین رتبه‌ها در شناسایی ارقام متحمل به تنش استفاده می‌شود. ژنوتیپ‌هایی که مقدار کمتری از نظر مجموع و انحراف معیار رتبه‌ها داشته باشند، متحمل به تنش محسوب می‌شوند (Frashadfar and Elyasi, 2012).

پژوهش حاضر با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به کمک روش‌های مختلف آماری در دو شرایط گلدانی و مزرعه‌ای انجام شد.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در دو سال (سال اول به‌صورت گلدانی و سال دوم به‌صورت مزرعه‌ای) اجرا شد. آزمایش سال اول (۱۳۹۳) روی ۴۰ لاین و رقم بومی و اصلاح شده از ژنوتیپ‌های برنج غرقابی (جدول ۱) در دو شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی به صورت گلدانی اجرا شد. ژنوتیپ‌های برنج مربوط به چهار استان گیلان، مازندران، اصفهان و خوزستان بودند که بذر آنها از موسسه تحقیقات برنج کشور تهیه شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و با دو عامل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ‌های برنج در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) انجام شد. گلدان‌ها در طول اجرای آزمایش زیر پوشش بارانگیر قرار داده شدند. برای آزمایش، از گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد که در هر گلدان سه گیاهچه نشاکاری شدند. آبیاری گلدان‌ها تا انتهای مرحله پنجه‌زنی ژنوتیپ‌های برنج به صورت غرقابی انجام شد و در گلدان‌های مربوط به تنش کم‌آبی، آبیاری در مرحله آبستنی [مرحله پنج کدبندیسیستم ارزیابی استاندارد برنج؛ SES (IRRI, 2014)] به طور کامل قطع و پس از وقوع علائم تنش (فاصله گرفتن خاک از جداره گلدان تا حدود پنج تا هشت سانتی‌متر)، آبیاری گلدان‌ها از سر گرفته شد (Yazdani, 2012). بر اساس رابطه بین میزان فاصله گرفتن خاک (شالیزاری) از جداره گلدان و مقدار رطوبت حجمی (Yazdani, 2012)، میزان رطوبت حجمی خاک محاسبه و براساس منحنی رطوبتی خاک، میزان افت پتانسیل آبی و شدت تنش اعمال شده مشخص گردید (رابطه ۱).

$$y = 33x^2 - 38.8x + 11.3 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

y: نصف فاصله خاک از جداره گلدان و x : مقدار رطوبت حجمی خاک می‌باشند. با استفاده از رابطه ۱، با فاصله گرفتن خاک به میزان پنج سانتی‌متر از جداره

جدول ۱– خصوصیات ژنوتیپ‌های برنج مورد ارزیابی

Table 1. Characteristics of rice genotypes

شماره No.	Rice genotypes	ژنوتیپ‌های برنج	منشاء Origin	شماره No.	Rice genotypes	ژنوتیپ‌های برنج	منشاء Origin
1	Khazar	خزر	1	21	Keshvari	کشوری	4
2	Dorfak	درفک	1	22	Shiroudi	شیرودی	4
3	Nemat	نعمت	4	23	Koohsar	کوهسار	4
4	Gohar	گوهر	1	24	Hashemi	هاشمی	1
5	Saleh	صالح	1	25	Ali Kazemi	علی‌کاظمی	1
6	Kadoos	کادوس	1	26	Domsiah	دمسیاه	1
7	Tabesh	تابش	4	27	Sangejo	سنگ‌جو	4
8	Shafagh	شفق	4	28	Sadri	صدری	1
9	Pouya	پویا	4	29	Binam	بینام	1
10	Fajr	فجر	4	30	Hasansarayi	حسن‌سرائی	1
11	Sahel	ساحل	4	31	Hasani	حسنی	1
12	Ghaem	قائم	4	32	Deylamani	دیلمانی	4
13	Jelodar	جلودار	4	33	Ahlomi Tarom	اهلمی‌طارم	4
14	Pajohesh	پژوهش	4	34	Hamar Ahvaz	حمراهواز	3
15	Pardis	پردیس	4	35	Champa Ahvaz	چمپا اهواز	3
16	Zayandeh Rud	زاینده‌رود	2	36	Anboori Ahvaz	عنبوری‌اهواز	3
17	Sazandegi	سازندگی	2	37	Hasani rishak ghermez	حسنی ریشک قرمز	1
18	Danial	دانیال	3	38	Gilaneh	گیلانه	1
19	Hoveyzeh	هویزه	3	39	Line 831	لاین ۸۳۱	1
20	Neda	ندا	4	40	Firoozan	فیروزان	2

1:Gilan, 2:Isfahan, 3:Khozestan and 4:Mazandaran

۱: گیلان، ۲: اصفهان، ۳: خوزستان و ۴:مازندران

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

گلدان، مکش اشباعی معادل ۲۸۱- کیلوپاسکال محاسبه شد. با رسیدن فاصله خاک از جداره به حدود هشت سانتی‌متر (۹۰۰- کیلوپاسکال)، به منظور جلوگیری از وارد شدن خسارت شدید به گیاه، آبیاری گلدان‌های تنش از سر گرفته شد. گلدان‌های بدون تنش، تا انتهای دوره رشد به‌طور کامل آبیاری شدند. در انتهای دوره رشد گیاه و در مرحله رسیدگی،بوته‌های هر گلدان کف‌بر شده و عملکرد دانه در هر گلدان ثبت شد.

از بین ۴۰ ژنوتیپ ارزیابی شده در آزمایش گلدانی، ۱۷ ژنوتیپ انتخاب و در سال ۱۳۹۴ در شرایط مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها شامل ۱۴ ژنوتیپ متحمل که براساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به عنوان ژنوتیپ‌های گروه A فرناندز شناسایی شدند و در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی داشتند، همراه با سه ژنوتیپ از گروه‌های دیگر در شرایط مزرعه‌ای کشت شدند. آزمایش سال دوم در دو مزرعه شامل یک مزرعه برای شرایط شاهد بدون تنش (آبیاری از ابتدای دوره تا ۱۰ روز پیش از برداشت به‌صورت غرقاب) و مزرعه دیگر برای تنش خشکی [قطع آب از مرحله حداکثر پنجه‌زنی، همزمان با آغازش خوشه تا انتهای دوره رسیدگی (مرحله سه کدبندی سیستم ارزیابی استاندارد برنج)] اجرا شد (داده‌های مربوط به پتانسیل آب خاک در جدول ۲ ارائه شده است). ابعاد کرت‌های آزمایشی ۱/۵×۱/۵ متر و فواصل نشاکاری ۲۵×۲۵ سانتی‌متر بودند. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار با دو عامل اصلی تیمارهای آبیاری (بدون تنش با آبیاری سنتی و تنش با قطع آب در مرحله حداکثر پنجه‌زنی) و عامل فرعی ۱۷ ژنوتیپ برنج انتخابی از آزمایش اول، اجرا شد. در اطراف کرت‌های تنش و بین قطعات مربوط به ژنوتیپ‌های با دوره رسیدگی یکسان، زه‌کش‌هایی جهت خروج سریع آب در زمان بارش‌های احتمالی و جلوگیری از نشت آب از کرت‌های مجاور، احداث شد. نشاکاری در تاریخ ۹۴/۲/۶ و قطع آب ژنوتیپ‌های زودرس و دیررس به ترتیب در تاریخ‌های ۹۴/۴/۳۱ و ۹۴/۵/۹ انجام شد. در انتهای دوره رشد، بوته‌های هر کرت برداشت و عملکرد دانه آنها با رطوبت ۱۴ درصد اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- میزان رطوبت حجمی و پتانسیل آب خاک بعد از قطع آبیاری (۱۳۹۴)

Table 2. Volumetric moisture content and soil water potential after irrigation withhold (IW) (2015)

Measurement time	زمان اندازه‌گیری	رطوبت حجمی خاک Soil volumetric moisture (%)	پتانسیل آب خاک Soil water potential (kPa)
7 days after IW	۷ روز بعد از قطع آبیاری	47.8	-38
12 days after IW	۱۲ روز بعد از قطع آبیاری	46.8	-58
17 days after IW	۱۷ روز بعد از قطع آبیاری	42.6	-142
22 days after IW	۲۲ روز بعد از قطع آبیاری	34.1	-347
24 days after IW	۲۴ روز بعد از قطع آبیاری	24.0	-900

برای ارزیابی تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌های برنج به تنش، از شاخص‌های میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص نسبی خشکی (RDI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص تغییر یافته تحمل تنش (K_1STI و K_2STI)، شاخص برتری (P_i) و شاخص عملکرد خشکی (DYI) براساس روابط جدول ۳ استفاده شد. پس از اندازه‌گیری

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

عملکرد دانه، شاخص‌های موردنظر برای هر دو سال آزمایش محاسبه شدند. تجزیه خوشه‌ای به روش گروه‌بندی واریانس حداقل وارد با استفاده از داده‌های استاندارد شده، براساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش انجام شد. برای تعیین صحت گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای، از تجزیه تابع تشخیص به روش مستقیم استفاده شد. تجزیه و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)، تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با نرم‌افزار PAST نسخه ۳/۰۵ و تجزیه تابع تشخیص با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد.

جدول ۳- روابط مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های تحمل خشکی

Table 3. The used equation for calculating drought tolerance indices

Indices	شاخص‌های تحمل	Formula	رابطه	Reference	منبع
Mean productivity	میانگین حسابی	$MP = (Y_S + Y_N)/2$		Rosielle and Hamblin, 1981	
Geometric mean productivity	میانگین هندسی	$GMP = \sqrt{Y_S} \times Y_N$		Fernandez, 1992	
Harmonic mean	میانگین هارمونیک	$HM = (2 \times Y_N \times Y_S)/(Y_N + Y_S)$		Fernandez, 1992	
Tolerance index	شاخص تحمل	$TOL = Y_N - Y_S$		Rosielle and Hamblin, 1981	
Stress susceptibility index	شاخص حساسیت به تنش	$SSI = (1-(Y_S/Y_N))/SI$ $SI = 1-(\overline{Y}_S/\overline{Y}_N)$		Fischer and Maurer, 1978	
Stress tolerance index	شاخص تحمل تنش	$STI = (Y_N \times Y_S)/(\overline{Y}_N)^2$		Fernandez, 1992	
Yield index	شاخص عملکرد	$YI = Y_S/\overline{Y}_S$		Gavuzzi *et al*., 1997	
Yield stability index	شاخص پایداری عملکرد	$YSE = Y_S/Y_N$		Bouslama and Schapaugh, 1984	
Relative drought index	شاخص نسبی خشکی	$RDI = (Y_S/Y_N)/(\overline{Y}_S/\overline{Y}_N)$		Fischer and Wood, 1979	
Stress susceptibility percent index	شاخص درصد حساسیت به تنش	$SSPI = [Y_N - Y_S/2(\overline{Y}_N)] \times 100$		Moosavi *et al*., 2008	
Modified stress tolerance index (K1STI and K2STI)	شاخص تغییر یافته تحمل تنش	$K_1STI = Y_S^2/\overline{Y}_S^2$		Farshadfar and Sutka, 2002	
		$K_2STI = Y_N^2/\overline{Y}_N^2$		Farshadfar and Sutka, 2002	
Superiority index	شاخص برتری	$P_i = \sum_{i=1}^{n}(X_{ij} - M_j)^2/2n$		Clarke *et al*., 1992	
Drought yield index	شاخص عملکرد خشکی	$DYI = \frac{\overline{Y}_N}{\overline{Y}_S}/\frac{G_N}{G_S}$		Raman *et al*., 2012	

$\overline{Y}_S$: میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش، $\overline{Y}_N$:میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش

G: میانگین هندسی عملکرد بین ژنوتیپ‌ها، Ys: عملکرد ژنوتیپ در محیط تنش، Y_N: عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و SI: شاخص تنش، X_{ij}: عملکرد دانه ژنوتیپ iم در محیط jم و M_j: عملکرد دانه ژنوتیپ با حداکثر عملکرد در محیط j

$\overline{Y}_S$: Mean yield of all genotypes under stress conditions, $\overline{Y}_N$: Mean yield of all genotypes under non-stress conditions, G: Geometric mean across genotypes, Ys: Yield of genotype under stress, Y_N: Yield of genotype under non-stress conditions, SI: Stress index, X_{ij}: Grain yield of i^{th} genotype in the j^{th} environment M_j: Yield of the genotype with maximum yield at location j

نتایج و بحث

نتایج حاصل از ارزیابی مقدماتی ژنوتیپ‌ها در شرایط گلدانی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش به رقم علی‌کاظمی (۴۴ گرم در بوته)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

و کمترین مقدار عملکرد به رقم دانیال (۶/۷ گرم در بوته) مربوط بود. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نیز به ترتیب برای ارقام گیلانه و دانیال (۳۴/۸ و ۴/۴ گرم در بوته) حاصل شد. براساس نتایج به دست آمده، تنش خشکی کاهش عملکرد ۱/۶ تا ۵۰/۸ درصدی را به ترتیب در ارقام صالح و دمسیاه باعث شد (جدول ۴).

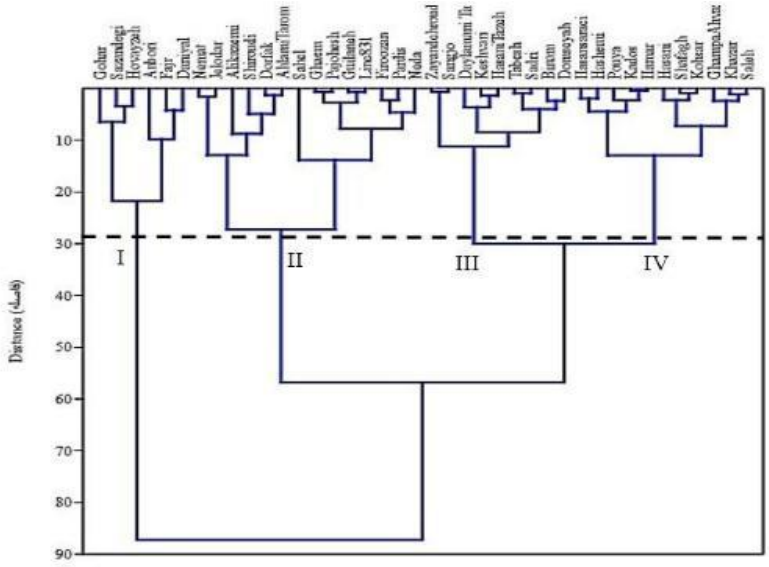
بر اساس عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش آبی، شاخص‌های رایج تحمل و حساسیت به تنش شامل TOL، SSI، STI، MP، GMP و HM محاسبه شدند. در تجزیه خوشه‌ای، روش گروه‌بندی واریانس حداقل وارد با توجه به امکان رسم دندروگرام مناسب جهت برش و نیز مشخص نمودن گروه‌بندی مطلوب، مورد استفاده قرار گرفت. ضریب کوفنیک برای تجزیه خوشه‌ای به روش وارد ۰/۷۵۱۶ به دست آمد. خط برش برای دندروگرام حاصل در نظر گرفته شد و براین اساس ژنوتیپ‌های برنج در چهار گروه تفکیک شدند (شکل ۱). لامبدای ویلکس برای سه تابع شناسایی شده بسیار معنی‌دار (۰/۰۰۰) و صحت گروه‌بندی ۹۷/۵ درصد بود (جدول ۵). گروه‌های حاصل به ترتیب شامل ۶، ۱۴، ۹ و ۱۱ ژنوتیپ بودند (شکل ۱). مقایسه میانگین بین گروه‌های ایجاد شده (جدول ۶) نشان داد که از نظر شاخص‌های رایج تحمل تنش، ژنوتیپ‌های گروه دوم (II) شامل نعمت، جلودار، علی‌کاظمی، شیرودی، درفک، اهلمی طارم، ساحل، قائم، پژوهش، گیلانه، لاین ۸۳۱، فیروزان، پردیس و ندا، جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی بودند، زیرا در هر دو محیط بدون تنش و تنش دارای عملکرد بالایی (به ترتیب ۳۶/۷ و ۲۹/۷ گرم در بوته) بودند و با توجه به تقسیم‌بندی چهارگانه ژنوتیپ‌ها در واکنش به شرایط تنش و بدون تنش فرناندز، در گروه A قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های گروه یک (I) شامل گوهر، سازندگی، هویزه، عنبوری اهواز، فجر و دانیال در هر دو محیط بدون تنش و تنش عملکرد پایینی (به ترتیب ۱۰/۹ و

جدول۴- عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yn) و تنش خشکی (Ys) و میزان کاهش عملکرد (YR) ژنوتیپ‌های برنج انتخابی (۱۳۹۳)

Table 4. Grain yield of selected rice genotypes in non-stress (Yn) and drought stress condition (Ys) and yield reduction rate (YR) (2014)

ژنوتیپ‌های برنج Rice genotypes		عملکرد دانه در شرایط بدون تنش Yn (g.plant^{-1})	عملکرد دانه در شرایط تنش Ys (g.plant^{-1})	کاهش عملکرد YR (%)
Dorfak	درفک	37.4	29.4	-21.4
Nemat	نعمت	41.0	33.6	-18.0
Gohar	گوهر	18.0	14.6	-18.6
Kados	کادوس	31.1	27.1	-12.7
Pouya	پویا	32.0	25.6	-20.0
Sahel	ساحل	34.4	25.8	-33.5
Ghaem	قائم	34.9	32.7	-6.5
Jelodar	جلودار	39.9	32.2	-19.4
Pajohesh	پژوهش	35.6	32.4	-9.0
Pardis	پردیس	32.3	29.9	-7.2
Neda	ندا	34.8	32.3	-7.7
Shiroudi	شیرودی	37.6	24.9	-33.7
Alikazemi	علی‌کاظمی	44.0	25.9	-41.2
AhlamiTarom	اهلمی طارم	38.3	28.6	-25.5
Gilaneh	گیلانه	36.4	34.7	-4.7
Line831	لاین ۸۳۱	36.3	33.9	-6.7
Firoozan	فیروزان	33.1	32.4	-2.2

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]



شکل ۱– دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج به روش گروه‌بندی واریانس حداقل وارد (۱۳۹۳) (ضریب کوفنیک: ۰/۷۵۱۶)

Fig. 1. Dendrogram of cluster analysis of rice genotypes by Ward's minimum variance method (2014) (Coph.Coef: 0.7516)

از چپ به ترتیب: گوهر، سازندگی، هویزه، عنبوری، فجر، دانیال (گروه یک)، نعمت، جلودار، علی‌کاظمی، شیرودی، درفک، اهلمی‌طارم، ساحل، قائم، پژوهش، گیلانه، لاین ۸۳۱، فیروزان، پردیس، ندا (گروه دو)، زاینده‌رود، سنگ‌جو، دیلمانی‌طارم، کشوری، حسنی ریشک قرمز، تابش، صدری، بینام، دمسیاه (گروه سه)، حسن‌سرائی، هاشمی، پویا، کادوس، حمر، حسنی، شفق، کوهسار، چمپا اهواز، خزر و صالح (گروه چهار)

جدول ۵- آزمون تابع تشخیص برای ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی با استفاده از لامبدای ویلکس برای شکل ۱

Table 5. Discriminant function analysis using Wilks' Lambda for rice genotypes under drought stress condition for Fig. 1

Test of function(s)	آزمون توابع	لامبدای ویلکس Wilks' Lambda	کای اسکوئر Chi-square	درجه آزادی df	معنی‌داری Sig.
1 through 3	تابع اول از درون تابع سوم	0.009	161.004	18	0.000
2 through 3	تابع دوم از درون تابع سوم	0.128	69.956	10	0.000
3	تابع سوم	0.425	29.131	4	0.000

جدول ۶ – مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج براساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

Table 6. Mean comparison of classified groups by cluster analysis of rice genotypes using susceptible and tolerant indices

Groups	Yn	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI
I	16.07d	10.93d	5.17c	13.53c	13.17d	12.90d	1.30b	0.20c
II	36.73a	29.70a	7.07b	33.20a	32.97a	32.63a	0.83c	1.20a
II	31.43b	19.90c	11.57a	25.70b	24.97c	24.27c	1.53a	0.70b
IV	28.87c	24.87b	4.00d	26.87b	26.77b	26.70b	0.60d	0.80b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means with similar letter(s) in each column are not significantly different at 1% probability level using LSD test

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

۱۶/۱ گرم در بوته) داشتند (گروه D). ژنوتیپ‌های گروه سوم (III) شامل زاینده‌رود، سنگ‌جو، دیلمانی‌طارم، کشوری، حسنی ریشک قرمز، تابش، صدری، بینام و دمسیاه در محیط بدون تنش عملکرد بالایی (۳۱/۴ گرم در بوته) داشتند (گروه B)، اما تنش کم‌آبی افت عملکرد زیادی را در این گروه (۱۹/۹ گرم در بوته) باعث شد (۳۶/۶ درصد). گروه چهارم (IV) شامل ژنوتیپ‌های حسن‌سرائی، هاشمی، پویا، کادوس، حمر اهواز، حسنی، شفق، کوهسار، چمپا اهواز، خزر و صالح در محیط تنش دارای عملکرد خوبی (۲۴/۹ گرم در بوته) بودند (گروه C). ژنوتیپ‌های این گروه در محیط بدون تنش عملکرد کمی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (۲۸/۸ گرم در بوته). در آزمایش فلاح شمسی و همکاران (Fallah-Shamsi *et al*., 2012) براساس این سه شاخص، ارقام علی‌کاظمی (بومی) و ندا، درفک و ساحل (اصلاح شده) در ارزیابی مزرعه‌ای، متحمل به تنش کمبود آب شناخته شدند. نتایج آزمایش عرفانی و همکاران (Erfani *et al*., 2011) روی ۲۶ ژنوتیپ برنج در تیمارهای تنش خشکی در مراحل رویشی و زایشی نشان داد که ژنوتیپ‌های دانیال، تابش، نعمت، فجر و ساحل در تنش در مرحله رویشی و ژنوتیپ‌های دانیال، نعمت، ساحل و کادوس در تنش در مرحله زایشی از نظر بهترین شاخص‌های تحمل در آزمایش (GMP و STI)، تحمل بالاتری نسبت به تنش خشکی داشتند.

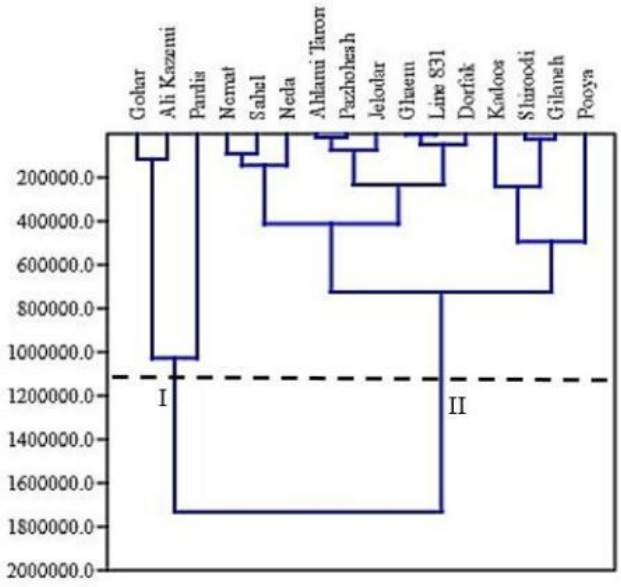
براساس نتایج آزمایش مزرعه‌ای، ارقام نعمت و پردیس به ترتیب با ۴۸۳۱ و ۲۰۷۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش را داشتند. در شرایط تنش خشکی بیشترین عملکرد دانه از رقم ساحل (۳۶۰۵ کیلوگرم در هکتار) وکمترین عملکرد از رقم علی‌کاظمی با ۱۱۷۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. تنش خشکی در سال دوم آزمایش کاهش ۱۱/۵ تا ۶۴ درصدی را به ترتیب در ارقام ساحل و علی‌کاظمی باعث شد (جدول ۷). از ۴۰ ژنوتیپ بررسی شده در آزمایش گلدانی، ۱۷ ژنوتیپ شامل ۱۴ ژنوتیپ متحمل یا به عبارتی ژنوتیپ‌های گروه دو (II) به همراه رقم گوهر از گروه یک (I) به عنوان شاهد حساس و ارقام پویا و کادوس از گروه چهار (IV) با عملکرد بالا در شرایط تنش، انتخاب شدند و در شرایط مزرعه‌ای درمعرض تنش خشکی قرار گرفتند.

جدول ۷– عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yn) و تنش (Ys) و میزان کاهش عملکرد (YR) ژنوتیپ‌های برنج

Table 7. Grain yield of rice genotypes in non-stress (Yn) and drought stress conditions (Ys) and yield reduction rate (YR)

ژنوتیپ‌های برنج Rice genotypes		عملکرد دانه در شرایط بدون تنش Yn (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه در شرایط تنش Ys (kg.ha^{-1})	کاهش عملکرد YR (%)
Sahel	ساحل	4074.4	3605.2	-11.51
Jelodar	جلودار	3431.4	2642.9	-22.98
Ghaem	قائم	3679.9	2902.5	-21.12
Pooya	پویا	3795.6	1373.9	-63.80
Kadoos	کادوس	3521.9	1871.9	-46.85
Dorfak	درفک	3834.5	2812.9	-26.64
Nemat	نعمت	4830.9	2633.2	-45.49
Shiroodi	شیرودی	3090.1	2731.6	-11.60
Neda	ندا	4713.5	3198.6	-32.14
Gohar	گوهر	3056.0	1430.2	-53.20
Pardis	پردیس	2075.9	1452.5	-30.03
Gilaneh	گیلانه	3519.3	2196.8	-37.58
Ahlami Tarom	اهلمی طارم	3599.4	2590.5	-28.03
Ali Kazemi	علی کاظمی	3264.3	1178.6	-63.89
Pazhohesh	پژوهش	4138.7	2144.9	-48.17
Line 831	لاین ۸۳۱	3795.4	2748.0	-27.60

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]



شکل ۲– دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج به روش ادغام برحسب متوسط گروه‌ها (۱۳۹۴) (ضریب کوفنیک:۰/۸۳۳۸)

Fig. 2. Dendrogram of cluster analysis of rice genotypes by UPGMA method (2015) (Coph.Coef: 0.8338)

از سمت چپ به ترتیب: گوهر، علی‌کاظمی، پردیس (گروه اول)، نعمت، ساحل، ندا، اهلمی طارم، پژوهش، جلودار، قایم، لاین ۸۳۱، درفک، کادوس، شیرودی، گیلانه و پویا (گروه دوم)

جدول ۸- آزمون تابع تشخیص برای ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی با استفاده از لامبدای ویلکس برای شکل ۲

Table 8. Discriminant function analysis using Wilks' Lambda for rice genotypes under drought stress condition for Fig. 2

آزمون توابع Test of Function(s)		لامبدای ویلکس Wilks' Lambda	کای اسکوئر Chi-square	درجه آزادی d.f	معنی‌داری Significance
1	(تابع اول)	0.129	22.529	6	0.001

جدول ۹- مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج (۱۳۹۴)

Table 9. Mean comparison of classified groups by cluster analysis of rice genotypes (2015)

group	Yn	Ys	TOL	SSI	STI	MP	GMP	HM
I	2869.3	1353.8	1515.6	1.35	0.27	2111.6	1944.1	1793.1
II	3946.7	2592.1	1354.6	0.90	0.74	3269.4	3176.7	3089.2
LSD (0.05)	311.4	327.4	537.7	0.49	0.07	172.6	191.0	221.9
group	DYI	YSI	YI	Pi	RDI	SSPI	K1STI	K2STI
I	1.35	0.50	0.57	3710538	0.78	13.0	0.253	0.143
II	0.97	0.73	1.09	1394447	1.04	11.6	0.470	0.510
LSD (0.05)	0.28	0.19	0.14	340370	0.28	4.63	0.074	0.079

در انتهای دوره به دلیل رشد نامناسب و عملکرد بسیار پایین رقم فیروزان، این رقم از آزمایش حذف و انتخاب ارقام متحمل بین ۱۶ ژنوتیپ باقیمانده انجام شد. برای سال دوم آزمایش، ۱۴ شاخص تحمل و حساسیت به تنش محاسبه و تجزیه خوشه‌ای آن‌ها به روش گروه‌بندی واریانس حداقل وارد و روش ادغام برحسب متوسط گروه‌ها یا UPGMA انجام شد. دندروگرام به دست آمده از روش UPGMA ضریب کوفنیک

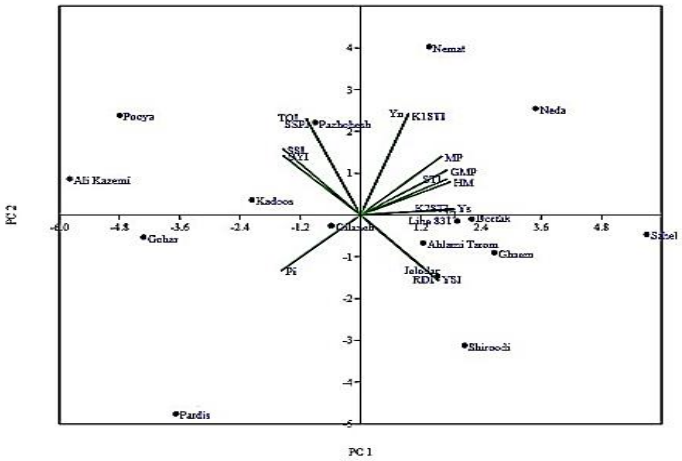
[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

بـــالاتری (۰/۸۳۳۸) نســـبت بـــه روش وارد (۰/۵۹۹۵) داشـــت، ازایـــن‌رو پـــس از بـــرش‌دهـــی دنـــدروگرام حاصل از آن، ژنوتیـپ‌هـای بـرنج مـورد بررسـی بـه دو گـروه تفکیـک شـدند. گـروه اول شـامل سـه ژنوتیـپ گوهر، علی کاظمی و پردیس بود و بقیـه ژنوتیـپ‌هـا در گـروه دوم قـرار گرفتنـد (شـکل ۲) و تفـاوت بـین ایـن دو گروه براسـاس لامبـدای ویلکـس حاصـل از تجزیـه تابع تشخیص معنـی‌دار (۰/۰۰۱) و صـحت گـروه‌بنـدی

جدول ۱۰- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل خشکی ژنوتیپ‌های برنج

Table 10. Principal components analysis for drought tolerance indices of rice genotypes

شاخص‌ها Indices		مولفه اصلی اول PC1	مولفه اصلی دوم PC2
Yn		0.155	0.394
Ys		0.301	0.023
TOL		-0.175	0.374
SSI		-0.250	0.255
STI		0.277	0.138
MP		0.262	0.227
GMP		0.279	0.174
HM		0.289	0.128
DYI		-0.249	0.230
YSI		0.251	-0.253
YI		0.301	0.021
Pi		-0.255	-0.215
RDI		0.251	-0.254
SSPI		-0.175	0.374
K1STI		0.154	0.389
K2STI		0.296	0.023
Eigenvalue	مقادیر ویژه	11.0034	4.7054
%Variance	درصد واریانس	69.8	28.1
%Cumulative	درصد تجمعی	69.8	97.9



شکل ۳- نمودار بای‌پلات ۱۶ ژنوتیپ برنج و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی

Fig. 3. Biplot of 16 rice genotypes and drought tolerance and susceptible indices based on the first and second principle component

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

۱۰۰ درصد بود (جدول ۸). براساس ۱۴ شاخص تحمل و حساسیت محاسبه شده، ارقام گوهر، علی‌کاظمی و پردیس از سایر ژنوتیپ‌ها جدا شدند (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین بین دو گروه ایجاد شده در جدول ۹ حاکی از آن بود که گروه دوم بالاترین میزان عملکرد دانه را در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی (به ترتیب ۳۹۴۶/۷ و ۲۵۹۲/۱ کیلوگرم در هکتار) داشتند.

به‌منظور بررسی همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس تمام شاخص‌ها در سال دوم آزمایش، از روش بای‌پلات استفاده شد. تجزیه به مولفه‌های اصلی برای داده‌های مربوط به ۱۴ شاخص و ۱۶ ژنوتیپ نشان داد که بیش از ۹۸ درصد از تغییرات کل، توسط دو مؤلفه اصلی اول (PC1) و دوم (PC2) قابل تفسیر بود و حذف سایر مؤلفه‌ها تأثیر بسیار ناچیزی در بیان تغییرات داشت (جدول ۱۰)، بنابراین ترسیم بای‌پلات براساس این دو مؤلفه انجام شد. سهم مؤلفه اصلی اول و دوم در توجیه نتایج به ترتیب ۶۹/۸ و ۲۸/۱ درصد بود. مؤلفه اصلی اول ضرایب مثبتی برای شاخص‌های STI، MP، GMP، HM، YI، YSI، RDI و K2STI و عملکرد در شرایط تنش (Ys) داشت. ازاین‌رو مؤلفه اول به‌عنوان مؤلفه تحمل به تنش خشکی نامگذاری شد. با توجه به مقادیر مثبت و بالای ضرایب این مؤلفه می‌توان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیرتنش را انتخاب نمود. مؤلفه دوم با دارا بودن همبستگی مثبت با شاخص TOL و همبستگی منفی با شاخص‌های Pi، YSI و RDI، مؤلفه حساسیت به تنش نامیده شد، بنابراین هرچه مؤلفه دوم کمتر باشد مطلوب‌تر است. در این صورت ژنوتیپ‌ها با دارابودن مقادیر بالاتر برای مؤلفه اصلی اول (PC1) و مقادیر کمتر برای مؤلفه اصلی دوم (PC2)، متحمل به تنش شناخته شدند. در نتیجه لاین ۸۳۱، درفک، اهلمی طارم، ساحل، قائم، جلودار و شیرودی که در قسمت پایین و سمت راست نمودار بای‌پلات شکل ۳ قرار گرفتند، به دلیل واقع شدن در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی، متحمل به تنش خشکی شناخته شدند. ارقام ندا و نعمت در قسمت سمت راست و بالای نمودار بای‌پلات واقع شدند که دارای پتانسیل عملکرد متوسط تا بالا و حساسیت به خشکی (نیمه‌متحمل) می‌باشند. در قسمت پایین و سمت چپ نمودار که نمایانگر حساسیت بالا و پتانسیل تولید کم بود، ارقام حساس به خشکی شامل گوهر، پردیس و گیلانه قرار گرفتند. ارقام پویا، پژوهش، علی‌کاظمی و کادوس با قرارگرفتن در ناحیه سمت چپ و بالای نمودار بای‌پلات، به عنوان ارقام نیمه‌حساس یعنی با عملکرد و پتانسیل تولید پایین و حساسیت متوسط تا بالا به خشکی شناخته شدند.

از آنجایی که شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی براساس هرکدام از شاخص‌ها به تنهایی نتایج متفاوتی را به همراه دارد، برای تعیین مطلوب‌ترین ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی از میانگین رتبه تمامی شاخص‌های محاسبه شده ($\bar{R}$)، انحراف معیار شاخص‌ها (SDR) و مجموع رتبه‌ها (RS) که جمع میانگین رتبه‌ها با انحراف معیار شاخص‌ها است نیز استفاده شد (Frashadfar and Elyasi, 2012). بر اساس نتایج رتبه‌دهی ژنوتیپ‌ها که در جدول ۱۱ ارائه شده است، ژنوتیپ‌هایی که کمترین مجموع رتبه را دارند، شامل درفک، نعمت، ندا، قائم، گیلانه، جلودار، اهلمی‌طارم، پژوهش و لاین ۸۳۱ متحمل به تنش هستند. البته با توجه به اینکه شاخص‌های استفاده شده در این روش، مانند میانگین رتبه و مجموع رتبه‌ها، به دلیل حضور دو نوع از شاخص‌ها در ارزیابی‌های مربوط به تحمل تنش که برخی کم بودنشان و برخی مقادیر بالای آن‌ها نشان دهنده تحمل ژنوتیپ می‌باشد، باعث ایجاد خطا خواهد شد، بنابراین مقدار نهایی به دست آمده همیشه حاصل توازن صحیحی از رتبه‌های بالا و پایین دو گروه متفاوت شاخص‌ها نخواهد بود، ازاین‌رو این روش به عنوان روش مکمل درکنار سایر روش‌های آماری مانند تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات مورد استفاده قرار گرفت.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

جدول ۱۱- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی و روش‌های آماری (۱۳۹۴)

Table 11. Ranking of rice genotypes using drought tolerance indices and statistical methods (2015)

ردیف No.	ژنوتیپ‌های برنج Rice genotypes		Yn	Ys	TOL	SSI	STI	MP	GMP	HM	DYI	YSI	YI	Pi	RDI	SSPI	K1STI	K2STI		SDR	RS
1	Sahel	ساحل	4	1	15	16	1	2	2	1	16	1	1	15	1	15	4	1	6.0	6.2	12.2
2	elodar	جلودار	12	7	12	13	8	9	8	8	13	4	7	8	4	12	12	7	9.0	2.8	11.8
3	Ghaem	قایم	8	3	13	14	4	5	5	4	14	3	3	11	3	13	8	3	7.1	4.2	11.3
4	Pooya	پویا	6	15	1	2	13	13	13	13	2	15	15	4	15	1	6	15	9.3	5.5	14.8
5	adoos	کادوس	10	12	5	5	12	12	12	12	5	12	12	5	12	5	10	12	9.6	3.0	12.6
6	Dorfak	درفک	5	4	10	12	3	4	4	5	12	5	4	13	5	10	5	4	6.6	3.3	9.8
7	Nemat	نعمت	1	8	2	6	2	3	3	3	6	11	8	14	11	2	1	8	5.6	3.8	9.4
8	Shiroodi	شیرودی	14	6	16	15	10	10	10	9	15	2	6	6	2	16	14	6	9.8	4.5	14.3
9	Neda	ندا	2	2	7	8	6	1	1	2	8	9	2	16	9	7	2	2	5.3	3.9	9.2
10	Gohar	گوهر	15	14	6	3	14	14	14	14	3	14	14	3	14	6	15	14	11.1	4.6	15.6
11	ardis	پردیس	16	13	14	9	16	16	16	16	9	8	13	1	8	14	16	13	12.4	4.0	16.4
12	Gilaneh	گیلانه	11	10	8	7	11	11	11	11	7	10	10	7	10	8	11	10	9.6	1.5	11.1
13	Ahlami Tarom	اهلمی طارم	9	9	11	10	7	8	7	7	10	7	9	10	7	11	9	9	8.8	1.4	10.1
14	Ali Kazemi	علی‌کاظمی	13	16	3	1	15	15	15	15	1	16	16	2	16	3	13	16	11.0	6.0	17.0
15	Pazhohesh	پژوهش	3	11	4	4	9	7	9	10	4	13	11	9	13	4	3	11	7.8	3.4	11.2
16	Line 831	لاین ۸۳۱	7	5	9	11	5	6	6	6	11	6	5	12	6	9	7	5	7.3	2.2	9.5

$\bar{R}$: Ranks mean, SDR: Standard deviation of ranks and RS: Ranks sum

$\bar{R}$: میانگین رتبه‌ها، SDR: انحراف معیار رتبه‌ها و RS: مجموع رتبه‌ها

جدول ۱۲- ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی انتخاب شده براساس روش‌های مختلف آماری

Table 12. The selected drought stress tolerant rice genotypes using various statistical methods

Statistical method	روش آماری	Rice genotypes	ژنوتیپ‌های برنج
Ranking	رتبه‌بندی	Dorfak, Nemat, Neda, Ghaem, Gilaneh, Jelodar, Ahlomi Tarom, Pajohesh, Line 831	درفک، نعمت، ندا، قائم، گیلانه، جلودار، اهلمی‌طارم، پژوهش و لاین ۸۳۱
Cluster analysis	تجزیه خوشه‌ای	Nemat, Sahel, Neda, Ahlami Tarom, Pajohesh, Jelodar, Ghaem, Line 831, Dorfak, Kadoos, Shiroudi, Pouya, Guilaneh,	نعمت، ساحل، ندا، اهلمی‌طارم، پژوهش، جلودار، قائم، لاین ۸۳۱، درفک، کادوس، شیرودی، گیلانه، پویا
Biplot	بای‌پلات	Line 831, Dorfak, Ahlomi Tarom, Jelodar, Sahel, Shiroudi, Ghaem	لاین ۸۳۱، درفک، اهلمی‌طارم، جلودار، ساحل، شیرودی و قائم
Three methods	هر سه روش	Dorfak, Ghaem, Line 831, Ahlomi Tarom, Jelodar	درفک، قائم، لاین ۸۳۱، اهلمی طارم، جلودار

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

تجزیه خوشه‌ای، ۱۷ ژنوتیپ برنج مورد بررسی را به دو گروه تفکیک نمود که ۱۳ ژنوتیپ ازنظر شاخص‌های مورد بررسی وضعیت بهتری را نسبت به چهار ژنوتیپ دیگر داشتند. بر اساس روش‌های رتبه-بندی و تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز به ترتیب نه و هفت ژنوتیپ به عنوان متحمل به تنش شناخته شدند (جدول ۱۲). در مجموع بر اساس نتایج کلی این پژوهش و بر طبق نتایج سه روش رتبه‌دهی، تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات، ارقام درفک، قائم، لاین ۸۳۱، اهلمی طارم و جلودار به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

سپاسگزاری

از موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به جهت همکاری در اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Abd El-Mohsen, A. A., M. A. Abd El-Shafi, E. M. S. Gheith and H. S. Suleiman. 2015. Using different statistical procedures for evaluating drought tolerance indices of bread wheat genotypes. Adv. Agric. Biol. 4(1): 19-30.

Ahmadi, A., V. Mohamadi, A. Sio-Semardeh and K. Pustini. 2008. Evaluation of wheat yield and drought resistance indices across water regimes. The 11th International Wheat Genetics Symposium. Sydney University Press. 24-29 August 2008, Brisbane, Australia.

Akcura, M. and S. Ceri. 2011. Evaluation of drought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environmental conditions. Zemdirbyste-Agriculture. 98(2): 157-166.

Aliakbari, M., H. Razi and S. A. Kazemeini. 2014. Evaluation of drought tolerance in rapeseed (*Brassica napus* l.) cultivars using drought tolerance indices. International J. Adv. Biol. Biomed. Res. 2(3): 696-705.

Bouman, B. 2009. How much water does rice use? Rice Today. 8(1):28-29

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

Clarke, J. M., R. M. DePauw and T. F. Townley Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Sci. 32: 723–728.

Erfani, F., M. Shokrpour, A. Momeni and A. Erfani. 2011. Evaluation of drought tolerance in rice varieties using yield-based indices at vegetative and reproductive stages. Sustain. Agric. prod. Sci. 22(4):135-147. (In Persian with English abstract).

Fageria, N. K. 2007. Yield physiology of rice. J. Plant Nutr. 30: 843–879.

Fallah-Shamsi, S. A., M. Esfahani, M. Ghodsi and H. Samizadeh Lahiji. 2012. Evaluation of water deficit stress effect in local and improved rice genotypes based on tolerance indices. Proceedings of the 3rd Conference of Water Resources Management, 20-21 Aug 2011. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. (In Persian with English abstract).

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

Farshadfar, E. and P. Elyasi. 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. Eur. J. Exper. Biol. 2 (3): 577-584.

Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta. Agron. Hung. 50(4): 411–416.

Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (ed.). 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. and T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. Aust. J. Agric. Res. 30: 1001-1020.

Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campaline, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Can. J. Plant Sci. 77: 523-531.

IRRI (International Rice Research Institute). 2014. Standard Evaluation System for Rice (SES). Loss Banos, Leguna, Philippines.

Jabari, H., G. A. Akbari, J. Daneshian, I. Allahdadi and N. Shahbazian. 2007. Effect of water deficit stress on agronomic characteristics of Sunflower hybrids. Agric. J. 9(1): 13-22. (In Persian with English abstract).

Khan, I. M. and O.P. Dhurve. 2016. Drought response indices for identification of drought tolerant genotypes in rainfed upland rice (*Oryza sativa* L.). Int. J. Sci. Environ. Technol. 5(1): 73 – 83.

Kumar, S., S. K. Dwivedi, S. S. Singh, S. K. Jha, Lekshmy S, R. Elanchezhian, O. N. Singh and B. P. Bhatt. 2014. Identification of drought tolerant rice genotypes by analyzing drought tolerance indices and morpho-physiological traits. SABRAO J. Breed. Genet. 46 (2): 217-230.

Moosavi, S. S., B. Yazdi Samadi, M. R. Naghavi, A. A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert. 12: 165-178.

Naghavi, M. R., A. P. Aboughadareh and M. Khalili. 2013. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. Not. Sci. Biol. 5(3): 388-393.

Ouk, M., J. Basnayake, M. Tsubo, S. Fukai, K.S. Fischer, M. Cooper and H. Nesbitts. 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. Field Crops Res. 99: 48-58.

Rahimi, M., H. Dehghani, B. Rabiei and A. Tarang. 2013. Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. Int. J. Agric. Crop Sci. (IJACS) 5(3): 194-199.

Raman, A., S. B. Verulkar, N. P. Mandal, M. Variar, V. D. Shukla, J. L. Dwivedi, B. N. Singh, O. N. Singh, P. Swain, A. K. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, H. P. Piepho and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. Rice, 5:31-43.

Safaei Chaeikar, S., B. Rabiei, H. Samizadeh and M. Esfahani. 2008. Evaluation of tolerance to terminal

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Iran. J. Crop Sci. 9 (4): 315-331. (In Persian with English abstract).

Safari, S., J. Dehghani and R. Choukan. 2009. Studying drought tolerance indices in maize inbred lines under limited and complete irrigation. J. Plant Protec. 23 (2), 20-25 (In Persian with English abstract)**.**

Sikuku, P. A., G. W. Netondo, J. C. Onyango and D. M. Musyimi. 2010. Effects of water deficit on physiology and morphology of three varieties of nerica rainfed rice (*Oryza sativa* L.). ARPEN J. Agric. Biol. Sci. 5: 23-28.

Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Res. 98: 222-229.

This, D., J. Comstock, B. Courtois, Y. Xu, N. Ahmadi, W.M. Vonhof, C. Fleet, T. Setter and S. McCouch. 2010. Genetic analysis of WUE in rice at the leaf level. Rice. 3: 72-86

Yang, J. and J. Zhang. 2010. Crop management technique to enhance harvest index in rice. J. Exp. Bot. 61(12): 3177- 3189.

Yazdani, M. R. 2012. Investigation on trend of cracking in paddy fields and management recommendation for percolation reduction. Irrigation Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (In Persian with English abstract)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]

Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for drought tolerance using tolerance indices and multivariate analysis

Fallah-Shamsi, S. A.[1], H. Pirdashti[2], A. A. Ebadi[3], M. Esfahani[4] and M. Raeini[5]

ABSTRACT

Fallah-Shamsi, S. A., H. Pirdashti, A. A. Ebadi, M. Esfahani and M. Raeini. 2017. Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for drought tolerance using tolerance indices and multivariate analysis. **Iranian Journal of Crop Sciences. 18(4): 347-363. (In Persian).**

This experiment was carried out to identify drought tolerant genotypes in a set of 40 rice genotypes. Experimental materials were tested in two experiments including; a; pot experiment carried out on 40 local and improved rice genotypes under two conditions of non-stressed and water stressed (water withholding at booting stage), and b; field experiment with 17 selected rice genotypes from pot experiment using tolerance indices, at Rice Research Institute of Iran in 2014-15 rice growing season. These genotypes were tested under field conditions under normal (fully irrigated till the end of crop life cycle) and stress condition (water withholding at panicle initiation stage, till the end of crop life cycle). Results of the field experiment showed that two rice genotypes; Nemat and Pardis with 4831 and 2076 kg.ha^{-1} had highest and lowest paddy yield in the non-stressed condition, respectively. In watered stress condition, the highest paddy yield obtained from Sahel (3605 kg.ha^{-1}) and the lowest yield recorded from Ali Kazemi (1179 kg.ha^{-1}). In drought stress conditions in the second year, paddy yield was reduced by 11.5% in Sahel to 64% in Ali Kazemi cultivars. Cluster analysis could classify 17 rice genotypes iin two groups and among them13 genotypes had higher stress tolerance indices. Using ranking method and biplot based on principle components analyisi, 9 and 7 genotypes were identified as tolerant, respectively. Dorfak, Ghaem, Line 831, Ahlami Tarom and Jelodar genotypes were identified as drought stress tolerant genotypes.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, Drought stress, Rice and Tolerance indices.

Received: December, 2016 **Accepted: February, 2017**

1. Ph.D. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. Associate prof., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (Corresponding author)
(Email: pirdasht@yahoo.com)
3. Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
4. Professor, University of Guilan, Rasht, Iran
5. Professor., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.6.1]