

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، به طور 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 به منظور 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. از این رو، 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 هر قدر 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 تغییر یافته تحمل تنش (K_1STI و K_2STI)، مناسب‌ترین شاخص‌ها به منظور 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

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 چائی کار 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.

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

تا انتهای مرحله پنجه‌زنی ژنوتیپ‌های برنج به صورت غرقابی انجام شد و در گلدان‌های مربوط به تنش کم‌آبی، آبیاری در مرحله آبستنی [مرحله پنج کدبندی سیستم 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).

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

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

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در دو سال (سال اول به صورت گلدانی و سال دوم به صورت 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

جدول ۱- خصوصیات ژنوتیپ‌های برنج مورد ارزیابی

Table 1. Characteristics of rice genotypes

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

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

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

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 $1/5 \times 1/5$ متر و فواصل نشاکاری 25×25 سانتی‌متر بودند. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار با دو عامل اصلی تیمارهای آبیاری (بدون تنش با آبیاری سستی 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 $94/2/6$ و قطع آب ژنوتیپ‌های زودرس و دیررس به ترتیب در تاریخ‌های $94/4/31$ و $94/5/9$ انجام شد. در انتهای دوره رشد، بوته‌های هر کرت برداشت و عملکرد دانه آنها با رطوبت ۱۴ درصد اندازه‌گیری شد.

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 به طور 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 بر اساس 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 به صورت غرقاب) و مزرعه دیگر برای تنش خشکی [قطع آب از مرحله حداکثر

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

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) بر اساس روابط جدول ۳ استفاده شد. پس از اندازه‌گیری

برای ارزیابی تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌های برنج به تنش، از شاخص‌های میانگین حساسی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI)،

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.

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

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	$SSI = (1 - (Y_S / Y_N)) / SI$ $SI = 1 - (\bar{Y}_S / \bar{Y}_N)$		Fischer and Maurer, 1978	
Stress tolerance index	شاخص تحمل تنش	$STI = (Y_N \times Y_S) / (\bar{Y}_N)^2$		Fernandez, 1992	
Yield index	شاخص عملکرد	$YI = Y_S / \bar{Y}_S$		Gavuzzi <i>et al.</i> , 1997	
Yield stability index	شاخص پایداری عملکرد	$YSE = Y_S / Y_N$		Bousslama and Schapaugh, 1984	
Relative drought index	شاخص نسبی خشکی	$RDI = (Y_S / Y_N) / (\bar{Y}_S / \bar{Y}_N)$		Fischer and Wood, 1979	
Stress susceptibility percent index	شاخص درصد حساسیت به تنش	$SSPI = [Y_N - Y_S / 2(\bar{Y}_N)] \times 100$		Moosavi <i>et al.</i> , 2008	
Modified stress tolerance index (K1STI and K2STI)	شاخص تغییر یافته تحمل تنش	$K_1STI = Y_S^2 / \bar{Y}_S^2$ $K_2STI = Y_N^2 / \bar{Y}_N^2$		Farshadfar and Sutka, 2002	
Superiority index	شاخص برتری	$P_i = \sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2 / 2n$		Clarke <i>et al.</i> , 1992	
Drought yield index	شاخص عملکرد خشکی	$DYI = \frac{\bar{Y}_N}{Y_S} / \frac{G_N}{G_S}$		Raman <i>et al.</i> , 2012	

\bar{Y}_S : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش، \bar{Y}_N : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش
 G : میانگین هندسی عملکرد بین ژنوتیپ‌ها، Y_S : عملکرد ژنوتیپ در محیط تنش، Y_N : عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و SI : شاخص تنش، X_{ij} : عملکرد دانه ژنوتیپ i م در محیط j م
 M_j : عملکرد دانه ژنوتیپ با حداکثر عملکرد در محیط j

\bar{Y}_S : Mean yield of all genotypes under stress conditions, \bar{Y}_N : Mean yield of all genotypes under non-stress conditions, G : Geometric mean across genotypes, Y_S : 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

شرایط گلدانی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش به رقم علی‌کاظمی (۴۴ گرم در بوته)

نتایج و بحث

نتایج حاصل از ارزیابی مقدماتی ژنوتیپ‌ها در

(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، علی کاظمی، شیرودی، درفک، اهلمی طارم، ساحل، قائم، پژوهش، گیلانه، لاین ۸۳۱، فیروزان، پردیس و ندا، جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم آبی 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، عنبروری اهواز، فجر و دانیال در هر دو محیط بدون تنش و تنش عملکرد پایینی (به ترتیب ۱۰/۹ و

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

جدول ۴- 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 علی کاظمی	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

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.

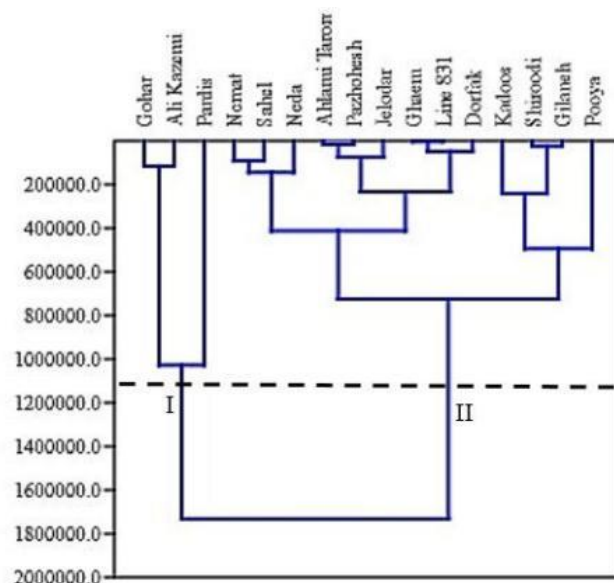
براساس نتایج آزمایش مزرعه‌ای، ارقام نعمت و پردیس به ترتیب با ۴۸۳۱ و ۲۰۷۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش را داشتند. در شرایط تنش خشکی بیشترین عملکرد دانه از رقم ساحل (۳۶۰۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد از رقم علی کاظمی با ۱۱۷۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. تنش خشکی در سال دوم آزمایش کاهش ۱۱/۵ تا ۶۴ درصدی را به ترتیب در ارقام ساحل و علی کاظمی 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 در معرض تنش خشکی قرار گرفتند.

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 علی کاظمی (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

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	چلودار	3431.4	2642.9	-22.98
Ghaem	قانم	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



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، علی کاظمی، 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

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

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

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

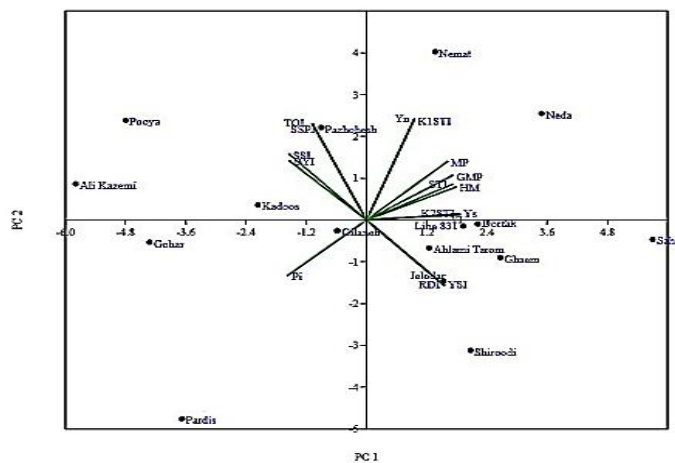
در انتهای دوره به دلیل رشد نامناسب و عملکرد بسیار پایین رقم فیروزان، این رقم از آزمایش حذف و انتخاب ارقام متحمل بین ۱۶ ژنوتیپ باقیمانده انجام شد. برای سال دوم آزمایش، ۱۴ شاخص تحمل و حساسیت

بالاتری (۰/۸۳۳۸) نسبت به روش وارد (۰/۵۹۹۵) داشت، از این رو پس از برش‌دهی دندروگرام حاصل از آن، ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی به دو گروه تفکیک شدند. گروه اول شامل سه ژنوتیپ گوهر، علی کاظمی و پردیس بود و بقیه ژنوتیپ‌ها در گروه دوم قرار گرفتند (شکل ۲) و تفاوت بین این دو گروه براساس لامبدای ویلکس حاصل از تجزیه تابع تشخیص معنی‌دار (۰/۰۰۱) و صحت گروه‌بندی

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	مؤلفه اصلی اول PC1	مؤلفه 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

۱۰۰ درصد بود (جدول ۸). براساس ۱۴ شاخص تحمل و حساسیت محاسبه شده، ارقام گوهر، علی کاظمی 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.

به منظور بررسی همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس تمام شاخص‌ها در سال دوم آزمایش، از روش بای‌پلات استفاده شد. تجزیه به مؤلفه‌های 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 بر اساس 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، YS، RDI و K2STI و عملکرد در شرایط تنش (YS) داشت. از این رو مؤلفه اول به عنوان 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 YSI، Pi و RDI، مؤلفه حساسیت به تنش نامیده شد، بنابراین هرچه مؤلفه دوم کمتر باشد مطلوب‌تر است. در این صورت ژنوتیپ‌ها با دارا بودن 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، جلو دار 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، علی کاظمی و کادوس با قرار گرفتن 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 بر اساس هر کدام 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، جلو دار، اهلمی طارم، 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 بودن نشان 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، از این رو این روش به عنوان روش مکمل در کنار سایر روش‌های آماری مانند تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات مورد استفاده قرار گرفت.

" غربالگری ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) ..."

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 قائم	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 علی کاظمی	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

RS: Ranks mean, SDR: Standard deviation of ranks and RS: Ranks sum

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، اهلمی طارم، 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، اهلمی طارم، پژوهش، جلودار، قائم، لاین ۸۳۱، درفک، کادوس، شیرودی، گیلانه، پویا
Biplot	بای‌پلات	Line 831, Dorfak, Ahlomi Tarom, Jelodar, Sahel, Shiroudi, Ghaem	لاین ۸۳۱، درفک، اهلمی طارم، جلودار، ساحل، شیرودی و قائم
Three methods	هر سه روش	Dorfak, Ghaem, Line 831, Ahlomi Tarom, Jelodar	درفک، قائم، لاین ۸۳۱، اهلمی طارم، جلودار

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.

تجزیه خوشه‌ای، ۱۷ ژنوتیپ برنج مورد بررسی را به دو گروه تفکیک نمود که ۱۳ ژنوتیپ از نظر شاخص‌های مورد بررسی وضعیت بهتری را نسبت به چهار ژنوتیپ دیگر داشتند. بر اساس روش‌های رتبه‌بندی 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

References

منابع مورد استفاده

- 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).

- 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). Los Banos, Laguna, 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

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)

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

Fallah-Shamsi, S. A.¹, H. Pirdashti², A. A. Ebadi³, M. Esfahani⁴ and M. Raeini⁵

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 in two groups and among them 13 genotypes had higher stress tolerance indices. Using ranking method and biplot based on principle components analysis, 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