دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره دوازدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۹

مطالعه‌ی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های برنج بر اساس مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشد گیاه‌چه در شرایط تنش خشکی

الهه قربانی[۱]، زهرا خدارحم‌پور*[۲]، عبدالعلی گیلانی[۳]

۱- کارشناس ارشد اصلاح نباتات، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
۳- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Zahra.khodarahmpour@iau.ac.ir

(تاریخ دریافت:۴ شهریور ماه۱ ۳۹۹ ، تاریخ پذیرش: ۲۵ آذرماه ۱۳۹۹)

چکیده

به منظور مطالعه تنوع ژنتیکی در ۲۶ ژنوتیپ برنج (مجموعه متحمل به گرمای IRRI) در سال ۱۳۹۵ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار شامل ۲۴ لاین و ۲ هیبرید به عنوان فاکتور اول و تنش خشکی با پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ در ۵ سطح صفر (شاهد)، ۰/۳-، ۱/۸-، ۳/۳- و ۴/۸- بار به عنوان فاکتور دوم اجرا گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین سطوح خشکی، ژنوتیپ‌ها و برهمکنش آن‌ها در تمام صفات در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. کمترین شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاه‌چه در سطح ۴/۸- بار مشاهده گردید. بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین طول ساقه‌چه و طول گیاه‌چه به دست آمد. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ۴ مؤلفه اول ۸۵ درصد از کل تنوع را توجیه نمودند. تجزیه کلاستر به روش وارد ژنوتیپ‌ها را در سه کلاستر قرار داد. در کلاستر اول لاین‌های ۴۸، ۱۵، ۳۵، ۴۴، ۴۲، ۲۰، ۱۹، ۵، ۲۸، ۱۰، ۱۶،۴، ۲، ۵۵، ۵۳، ۳۱، ۳۴، ۳۶ و هیبرید HB_2، در کلاستر دوم لاین‌های ۲۵، ۲۳ و هیبریدHB_1 و در کلاستر سوم لاین‌های ۴۰، ۱۳، ۴۱، ۲۱ قرار گرفتند. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بای پلات و تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های کلاستر دوم از نظر سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، طول گیاه‌چه، وزن تر گیاه‌چه، وزن خشک گیاه‌چه، نسبت وزن خشک به تر گیاه‌چه، شاخص بنیه بذر، بالاتر از میانگین کل بوده و بنابراین متحمل به خشکی می‌باشند. ژنوتیپ‌های منتخب یاد شده می‌توانند در پیشبرد برنامه‌های اصلاحی در توسعه ارقام جدید برنج با تحمل بیشتر به تنش خشکی، مورد توجه قرار داده شوند.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، پلی اتیلن گلایکول، تجزیه کلاستر، تجزیه به مؤلفه های اصلی

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی نیمی از مردم جهان است و تقریباً یک پنجم از کل کالری دریافتی انسان را فراهم می‌کند (۸). امروزه این محصول استراتژیک با توجه به جایگاه آن در تأمین غذا و کالری مورد نیاز مردم، نقش مهمی در سبد غذایی مردم ایفاء می‌کند. این گیاه با قابلیت تولید محصول بالا، یک غله عمده غذایی در بین گیاهان زراعی است که بیش از ۵۰ درصد مردم جهان به نوعی به آن وابسته هستند (۲۰).

تنش خشکی یکی از رایج‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که بخش زیادی از مناطق تحت کشت برنج را تهدید می‌کند، بنابراین ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج از نظر میزان تحمل و یا حساسیت به تنش خشکی و معرفی ارقام برتر از اهمیت بالایی برخوردار است (۳۰). تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید غلات به ویژه در مناطق خشک است (۳۱).

جوانه‌زنی بذور و استقرار گیاه‌چه از عوامل مهم تولید برنج در مزارع است (۲۳). خشکی می‌تواند روی جنبه‌های مختلف جوانه‌زنی مانند قدرت جذب آب (۱۸)، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی (۹)، میانگین زمان جوانه‌زنی بذر، قدرت جوانه‌زنی و بنیه بذر (۱۱) تأثیر منفی بگذارد.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها معمولاً براساس نشانگرهای مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، سیتوژنتیکی و مولکولی انجام می‌گیرد (۱۷). استفاده از نشانگرهای مورفولوژیکی به دلیل سهولت و کم هزینه بودن در ارزیابی‌های مقدماتی مناسب بوده و می‌توانند به عنوان رویکردی عمومی در بررسی تنوع ژنتیکی بین توده‌ها استفاده گردند (۳۲). استفاده از این ویژگی‌ها توأم با بکارگیری روش‌های آنالیز آماری و تجزیه چند متغیره مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر روش‌هایی مناسب برای غربال توده‌ها می‌باشد(۱۲ و ۲۸).

در آزمایشی، ۴۴ ژنوتیپ برنج بر اساس صفات مورفولوژیک و شاخص‌های تحمل به خشکی در مرحله گیاه‌چه‌ای و رویشی، به پنج گروه تقسیم شدند (۲۹). گویمارلس و همکاران (۲۰) ۴۱ ژنوتیپ برنج را در مرحله زایشی مورد ارزیابی قرار داده و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب در شش و هفت گروه دسته بندی کردند. موسوی و همکاران (۶) با بررسی ۲۶ ژنوتیپ برنج در شرایط تنش شوری گزارش کردند که تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ۱۱ صفت بررسی شده را به ۲ مؤلفه تقسیم و بر اساس آن ۶۴ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه نمود. با استفاده از تجزیه کلاستر ۲۶ ژنوتیپ مورد بررسی در سه کلاستر قرار گرفتند.

کشور ایران در حال حاضر حدود ۳/۴ میلیون تن مصرف برنج دارد که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۵ مقدار مصرف به ۵/۱ میلیون تن برسد; اما مطالعه وضعیت ۲۰ سال گذشته نشان می‌دهد که در طی این سال‌ها سطح زیر کشت برنج در کشور از یک روند نسبتاً ثابت و تا حدی نزولی تبعیت کرده است (۵۲۰-۶۰۰ هزار هکتار) به دلیل محدودیت زمین‌های قابل کشت امکان افزایش سطح زیر کشت وجود ندارد (۱۶). از این رو افزایش بهره‌وری در واحد سطح باید در دستور کار قرار گیرد. مطالعات در زمینه میزان تنوع ژنتیکی تحمل به تنش خشکی در مرحله جوانه زنی در برنج اندک است. لذا با توجه به اهمیت برنج، اثرات مخرب خشکی و اهمیت وجود تنوع ژنتیکی در ژرم‌پلاسم برنج، این پژوهش به بررسی تنوع ژنتیکی بخشی از لاین‌های پیشرفته برنج در مرحله جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی پرداخته تا با تعیین متحمل‌ترین لاین‌ها در شرایط تنش خشکی در این مرحله، تعیین صفات شاخص و ارتباط میان صفات در این مرحله از رشد، راه‌کارهای اصلاحی برای برنامه‌های آینده ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل ۲۴ لاین و ۲ هیبرید برنج (جدول ۱) و فاکتور دوم سطوح مختلف پتانسیل آب ناشی از غلظت‌های مختلف پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ در ۵ سطح صفر (آب مقطر)، ۰/۳-، ۱/۸- ، ۰/۳- و ۴/۸- بار بودند. در این آزمایش خصوصیات جوانه‌زنی بذر و گیاهچه ژنوتیپ‌ها مورد بررسی قرار گرفت. پتانسیل‌های خشکی توسط روش میشل و کافمن (۲۶) با استفاده از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ (PEG) تهیه گردید.

$$\varphi_s = -(1/18\times10^{-2})C - (1/18\times10^{-4})C^2 + (2/67\times10^{-4})CT + (8/39\times10^{-7})C^2T$$

برای آزمایش جوانه‌زنی از روش استاندارد جوانه‌زنی (۲۱) استفاده گردید. ابتدا بذور هر لاین به طور جداگانه در یک بشر ریخته و با آب مقطر چند بار شستشو داده شدند. سپس در محلول هیپوکلریت سدیم (وایتکس) ٪۵ به مدت یک دقیقه قرار گرفته و خوب هم زده تا سطح بذور با محلول آغشته شود. سپس مجدداً چند بار با آب مقطر شستشو داده شدند. از هر ژنوتیپ ۲۵ بذر در ظروف یک‌بار مصرف به ابعاد (۹ × ۲۰/۵) سانتی‌متر حاوی کاغذ صافی که قبلاً در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت ضد عفونی شده بودند، کشت شد. سپس تیمارهای خشکی بر روی آن‌ها اعمال گردید. به منظور اندازه‌گیری جوانه‌زنی بذور بعد از قرار دادن بذرها در ظروف و اعمال تنش خشکی بر آنها، از روز دوم تا چهاردهم تعداد بذور جوانه‌زده شمارش شدند. یک بذر وقتی جوانه‌زده محسوب می‌شود که طول ریشه‌چه‌ی آن حدود ۲ میلی‌متر باشد.

جدول ۱- اسامی ژنوتیپ‌های برنج

کد	شجره	کد	شجره
2	ATTEY(ACC 32382)	31	KHAU MA TUOI (ACC 78329)
4	BASMATI 370 (ACC 06426)	34	MRC 603-383
7	DOM SIAH(ACC 32294)	35	N 22
10	GANJAY (ACC 76349)	36	N 22 (ACC 117273)
13	HASAN SERAI(ACC 79564)	40	N 22 (ACC 4819)
15	IR 2006-P12-12-2-2	41	N 22 (ACC 6264)
16	IR 59418-7B-9-2	42	PADI HOJONG (ACC 8192)
19	IR 61250-3B-7-1-2	44	PEH-KUH-TSAO-TU (ACC 8237)
20	IR 64196-3B-23-3	48	TCHAMPA (ACC 32369)
21	IR 64197-3B-15-2	53	ZAKHA (ACC86915)
23	IR 65852-4B-16-1-3	55	LOCAL CHEK (SPECIFY NAME)
25	IR 71895-3R-26-2-1	HB1	CHINA (HYBRID 1)
28	JIJAI (ACC 76357)	HB2	CHINA (HYBRID 2)

در این آزمایش درصد جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، نسبت وزن خشک به وزن تر گیاهچه، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر اندازه‌گیری شدند. درصد جوانه زنی براساس فرمول زیر محاسبه گردید (۲۷):

معادله (۱)

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذور جوانه‌زده در دوره آزمایش}}{\text{کل بذور کاشته شده}} \times 100$$

متوسط زمان جوانه‌زنی مطابق معادله زیر محاسبه گردید (۱۳):

معادله (۲)

$$MGT = \frac{\sum nt}{\sum n}$$

MGT: متوسط زمان جوانه‌زنی، n: تعداد بذور جدید که در زمان t جوانه‌زده‌اند، t: روزها یا ساعات بعد از کاشت

سرعت جوانه‌زنی بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (۲۲):

$$G.S = \frac{\sum n}{\sum n(n \times DN)} \times 100$$ معادله (۳)

G.S: سرعت جوانه‌زنی، n: تعداد بذور جوانه زده در روزهای شمارش جوانه‌زنی، DN: تعداد روزهای شمارش دوره جوانه‌زنی

شاخص بنیه بذر با استفاده از فرمول زیر برآورد گردید (Abdul-baki and Anderson, 1975):

$$Vi = \frac{\%Gr \times MSH}{100}$$ معادله (۴)

Vi: شاخص بنیه بذر، Gr%: درصد جوانه‌زنی، MSH: میانگین طولی گیاهچه (ریشه‌چه و گیاهچه)

طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه بر اساس میانگین از پنج گیاه‌چه با کمک خط کش‌های پارچه‌ای با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شد. به این منظور خمیدگی گیاه‌چه باز شده و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از انتها تا محل اتصال به بذر اندازه‌گیری گردید. متوسط وزن تر گیاه‌چه با نمونه‌برداری از پنج گیاه‌چه شاخص در هر پتری به وسیله ترازو و با دقت میلی‌گرم اندازه‌گیری شد. سپس هر گیاه‌چه را به منظور اندازه‌گیری وزن خشک در فویل آلومینیومی پیچانده و در دستگاه آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و دوباره آن‌ها با ترازو وزن شدند.

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مختلف با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ تجزیه واریانس شدند. قبل از تجزیه واریانس تبدیل آرک سینوس برای داده‌های مربوط به درصد جوانه‌زنی انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد. همبستگی بین صفات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، رسم بای‌پلات و تجزیه کلاستر با استفاده از نرم افزار Minitab نسخه ۱۶ صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها، تنش خشکی و برهمکنش آن‌ها تفاوت بسیار معنی‌داری از نظر کلیه صفات مورد مطالعه وجود داشت (جدول ۲). معنی‌داری ژنوتیپ بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات مورد مطالعه در مرحله گیاه‌چه‌ای در شرایط تنش خشکی است، که برخی از این صفات می‌توانند در ایجاد تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. البته چون این ژنوتیپ‌ها دارای مبدأ متفاوت و شامل لاین‌های اصلاح شده داخلی، خارجی و هیبرید هستند، بطور طبیعی وجود تفاوت بین آن‌ها نیز دور از انتظار نیست.

مقایسات میانگین

براساس جدول ۳ با افزایش میزان خشکی تا سطح ۴/۸- بار، درصد جوانه زنی با ۴۴/۷ درصد کاهش، در گروه c قرار گرفت; که مقدار تغییرات برای این صفت نسبت به شاهد ۴۶/۹ درصد بود. لازم به ذکر است بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به سطح شاهد و ۰/۳- بار برابر با ۸۷/۶۰ و ۸۱/۸۷ درصد بود. با افزایش میزان خشکی میانگین زمان جوانه‌زنی نیز افزایش پیدا کرد. در نتیجه بیشترین زمان جوانه‌زنی در ۴/۸- بار اتفاق افتاد که میزان آن برابر با ۴/۰۷ روز می‌باشد. در سطح شاهد کمترین زمان جوانه‌زنی بدست آمد که برابر با ۲/۳۸ روز می‌باشد. این صفت در شرایط تنش خشکی ۷۱ درصد افزایش یافت. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به سطح شاهد و برابر با ۰/۴۶۱ تعداد بذر در روز است به طوری که با افزایش خشکی این مقدار کاهش و در خشکی ۴/۸- بار سرعت جوانه‌زنی برابر با ۰/۲۶۲ تعداد بذر در روز می‌باشد (با توجه به تعداد زیاد جداول برهمکنش تنش خشکی و ژنوتیپ‌ها از ذکر آن خودداری گردید).

با افزایش خشکی خصوصیات رویشی گیاه کاهش پیدا کرد، به طوری که صفت طول ساقه‌چه نسبت به شاهد ۹۰/۴ درصد کاهش یافت. کمترین رشد طولی ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاه‌چه در سطح خشکی ۴/۸- بار اتفاق افتاد که مقدار طول آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۷۱، ۲/۷۸، ۳/۵۰ سانتی‌متر می‌باشد و بیشترین طول ساقه‌چه و گیاه‌چه در سطح ۰/۳- بار به ترتیب با مقدار ۸/۳۳ و

۱۶/۶۷ سانتی‌متر مشاهده گردید. در صورتی که بیشترین طول ریشه‌چه در سطح شاهد با طول ۸/۵۹ سانتی‌متر اتفاق افتاد (جدول ۳). نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه با افزایش خشکی ۸۰/۳ درصد افزایش پیدا کرد و در خشکی ۴/۸- بار این نسبت ۵/۸۹ بود. در صورتی که در سطح شاهد۱/۱۶ می‌باشد.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود وزن تر گیاه‌چه با بیشتر شدن میزان خشکی کاهش پیدا کرد. به طوری که بیشترین وزن تر گیاه‌چه به خشکی ۰/۳- و ۱/۸- بار اختصاص دارد و برابر با ۳۳۷ و ۳۸۰ میلی‌گرم می‌باشند. در خشکی ۴/۸- بار کمترین وزن تر گیاه‌چه برابر با ۳۰۵ میلی‌گرم مشاهده شد. بیشترین وزن خشک و نسبت وزن خشک به تر گیاه‌چه در خشکی ۳/۳- بار ملاحظه گردید.

شاخص بنیه بذر با افزایش تنش کاهش چشمگیری داشت بطوری که سطح شاهد با ۱۴ بیشترین شاخص بنیه بذر و سطح ۴/۸- بار با مقدار ۲ کمترین شاخص بنیه بذر را داشت.

نتایج مقایسات میانگین (جدول ۴) نشان داد که لاین شماره ۲۵ با ۸۷/۳۶ درصد جوانه‌زنی بیشترین میزان جوانه‌زنی را داشت. لاین شماره ۴۱ با مقدار ۴ روز در بالاترین رده میانگین زمان جوانه‌زنی قرار گرفته است و لاین شماره ۲۵ با کمترین مقدار ۲/۳۹ در پایین‌ترین رده n قرار گرفته است. همچنین لاین شماره ۲۵ و ۵۳ با مقدار ۰/۴۴ در بالاترین گروه سرعت جوانه‌زنی قرار گرفتند و نیز لاین ۴۱ با کمترین مقدار ۰/۲۸ در پایین‌ترین گروه قرار گرفت

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که در صفات طول ساقه‌چه و گیاه‌چه لاین ۲۵ به ترتیب با ۷/۸۹ و ۱۸/۳۳ سانتی‌متر بیشترین مقدار را در این صفات داشتند. هیبرید HB_1 با ۱۰/۸۶ بیشترین طول ریشه‌چه و لاین‌های ۴۴، ۳۴ و ۲۱ نیز بیشترین نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه را به خود اختصاص دادند. در صفات نامبرده لاین ۳۴ کمترین طول ساقه‌چه، لاین ۱۹ کمترین طول ریشه‌چه و گیاه‌چه و لاین ۵ کمترین نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه را داشتند.

با بررسی مقایسه میانگین اثر اصلی ژنوتیپ مربوط به وزن تر گیاه‌چه، لاین ۴۰ با ۴۹۷/۸ میلی‌گرم بیشترین وزن تر گیاه‌چه و لاین ۲۸ با ۲۷۴/۳۳ میلی‌گرم، کمترین وزن تر گیاه‌چه را به خود اختصاص دادند. در صورتی که در وزن خشک گیاه‌چه لاین ۲۵ و ۳۶ با ۱۱۹/۳ و ۱۱۷/۳ میلی‌گرم و لاین ۱۶ با ۴۸ میلی‌گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک گیاه‌چه را داشتند (جدول ۴). لاین‌های ۲۱ و ۴۰ کمترین نسبت وزن خشک به تر گیاه‌چه را داشتند که هر دو آن‌ها برابر با ۰/۱۲ می‌باشند. در صورتی که لاین‌های ۳۶، ۵، ۲۸ با ۰/۳۷ بیشترین نسبت وزن خشک به تر گیاه‌چه را داشتند (جدول ۴).

در مقایسه میانگین اثر اصلی ژنوتیپ مربوط به این صفت لاین ۲۵ با ۱۸/۲۵ بیشترین مقدار را نشان داد و لاین ۵ با مقدار ۶/۴۹ کمترین شاخص بنیه بذر را به خود اختصاص داد (جدول ۴). همچنین در مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ با تنش لاین ۲۰ کمترین شاخص بنیه بذر را داشت.

شرایط تنش خشکی با ایجاد تأخیر در فرآیند جذب آب بذر، باعث کاهش نرخ جوانه‌زنی بذر شده و در نهایت درصد جوانه‌زنی و بنیه گیاه‌چه را کاهش می‌دهد (۲۴). در حقیقت در شرایط تنش خشکی، کاهش جذب آب با کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرآیندهای بیوشیمیایی جوانه‌زنی همراه است که علت اصلی کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی است (۱۵). کاهش وزن تر و خشک گیاه‌چه از رخدادهای رایجی است که در اکثر گیاهان در شرایط تنش خشکی اتفاق می‌افتد. با افزایش تنش اسمزی از جمله تنش خشکی درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و نسبت این دو کاهش می‌یابد (۱۰).

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات مربوط به تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه ژنوتیپ‌های برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاهچه	نسبت طول ریشه چه به ساقه چه	وزن تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه	نسبت وزن خشک به تر	شاخص بنیه بذر
ژنوتیپ	۲۵	۲۸۱۰/۱۵**	۳/۵**	۰/۰۴**	۱۸/۳۵**	۵۳/۸۷**	۹۷/۷۱**	۳۶۹۸۷/۱۹**	۳۶۹۸۷/۱۹**	۶۶۱۱/۳۴**	۰/۰۷**	۱۱۳/۳**
تنش خشکی	۴	۱۶۴۶۰/۵**	۳۷/۵۴**	۰/۵۱**	۸۶۷/۹۲**	۵۱۸/۰۷**	۲۷۰۰/۲۷**	۹۰۴۶۴/۲۲**	۹۰۶۴/۲۲**	۱۰۷۷۱۴/۷۷**	۰/۹۷**	۱۶/۹**
ژنوتیپ×تنش	۱۰۰	۲۸۹/۳**	۰/۶۷**	۰/۰۱**	۳/۱۶**	۵/۳۲**	۱۰/۵۹**	۲۰۲۵۳/۸**	۲۰۲۵۳/۸۰**	۲۸۳۶/۳۸**	۰/۰۳**	۱۴/۱۷**
خطا	۲۶۰	۴۸/۱۵	۰/۰۴	۰/۰۰۰۷	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۵۸	۶۴۴/۶۸	۶۴۴/۶۸	۷۹/۱۱	۰/۰۰۱	۰/۷۵
ضریب تغییرات	——	۱۰/۰۸	۶/۸۵	۷/۷	۹/۶۱	۵/۳۲	۶/۱۹	۷/۲۸	۱۰/۸	۱۳/۷	۹/۲۶	۹/۲۶

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و گیاهچه ژنوتیپ‌های برنج

تنش خشکی(بار)	درصد جوانه زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی(روز)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد در روز)	طول ساقه‌چه(سانتی‌متر)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه چه	وزن تر گیاهچه (میلی‌گرم)	وزن خشک گیاهچه(میلی‌گرم)	نسبت وزن خشک به تر	شاخص بنیه بذر
۰	a۸۷/۶۰	e۲/۳۸	a۰/۴۶۱	b۷/۴۲	a۸/۵۹	b۱۶/۱۱	cd۱/۱۶	b۳۳۶/۶۶	e۵۸/۶۶	cd۰/۱۸۹	a۱۳/۹۸
۰/۳-	a۸۱/۸۷	d۲/۶۷	b۰/۳۹۸	a۸/۳۳	b۸/۳۰	a۱۶/۶۷	d۱/۰۳	a۳۷۹/۳۳	d۶۴/۳۳	d۰/۱۸۰	b۱۲/۶۸
۱/۸-	b۷۷/۴۸	c۲/۹۲	c۰/۳۶۱	c۶/۷۷	c۸/۰۰۴	c۱۴/۸۳	c۱/۲۲	a۳۷۹/۷۲	c۷۰/۷۷	c۰/۱۹۷	c۱۱/۸۱
۳/۳-	b۷۵/۶۳	b۳/۲۱	d۰/۳۲۱	d۳/۹۹	d۶/۶۴	d۱۰/۶۸	b۱/۷۷	b۳۴۲/۴۴	a۱۴۳/۲۲	a۰/۴۲۵	d۸/۴۷
۴/۸-	c۴۴/۶۸	a۴/۰۷	e۰/۲۶۲	e۰/۷۱	e۲/۷۸	e۳/۵۰	a۵/۸۹	c۳۰۴/۷۰	b۷۴/۴۴	b۰/۲۸۴	e۲/۳۶
مقدار تغییرات	۴۶/۸۵	-۷۱	۴۳/۲	۹۰/۴	۶۷/۶	۹۷/۸	-۸۰/۳	۹۰/۹	-	-	۸۳/۱

در هر ستون میانگین‌های که دارای حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

مقدار تغییر بیانگر میزان تغییر(کاهش یا افزایش) صفت مورد نظر بر حسب درصد در بالاتری سطح تنش در مقایسه با شاهد می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و گیاهچه ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی

ژنوتیپ‌ها	درصد جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد در روز)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه چه	وزن تر گیاهچه (میلی‌گرم)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)	نسبت وزن خشک به تر	شاخص بنیه بذر
2	۶۹/۴۵^{efg}	۳/۵^{c}	۰/۳^{jk}	۷/۰۱^{b}	۷/۰۳^{fg}	۱۴/۲۳^{cd}	۱/۱۲^{jk}	۳۷۶/۶۶^{de}	۸۶/۶۶^{d}	۰/۲۷$^{d-g}$	۹/۰۲$^{g-j}$
4	۸۰/۵۴^{abc}	۲/۵۹$^{k-n}$	۰/۴۱$^{c-f}$	۵/۹۸^{cd}	۵/۸۱^{jk}	۱۲/۱۲$^{e-h}$	۱/۱۸^{ijk}	۲۸۶/۶۶^{mno}	۸۶/۶۶^{d}	۰/۳۲^{bc}	۱۰/۰۷^{ef}
5	۶۰/۱۲^{jkl}	۲/۷۶$^{g-k}$	۰/۳۷^{gh}	۵/۰۴^{fg}	۵/۱۹^{lm}	۱۰/۳۶^{l}	۱/۱^{jk}	۳۰۹/۳۳^{lm}	۱۱۶/۷^{a}	۰/۳۷^{a}	۶/۴۹^{n}
10	۸۲/۶۰^{ab}	۲/۶۴$^{i-m}$	۰/۳۹$^{d-g}$	۵/۴۲^{ef}	۵/۲۱^{lm}	۱۰/۷^{kl}	۱/۸۴^{gh}	۳۰۸/۶۶^{lm}	۶۲^{hij}	۰/۲۱^{jk}	۹/۷۶$^{e-h}$
13	۷۲/۳۵^{efg}	۳/۳۹^{c}	۰/۲۹^{jk}	۷/۲۵^{b}	۶/۹۸^{fgh}	۱۴/۳۷^{cd}	۲/۳۱^{ef}	۴۱۹/۲^{b}	۵۴/۶۶^{jkl}	۰/۱۳^{mn}	۱۱/۹۴^{d}
15	۷۲/۵۲$^{d-g}$	۳/۰۲^{ef}	۰/۳۶^{gh}	۵/۰۱^{fgh}	۵/۸۶^{j}	۱۱/۲۱^{ijk}	۱/۸۴^{gh}	۳۷۲^{def}	۸۴/۶۶ ^{de}	۰/۲۲^{ij}	۸/۵۳$^{i-l}$
16	۸۲/۳۷^{ab}	۲/۹۳^{efg}	۰/۳ ^{hi}	۵/۳۸^{ef}	۶/۵۳^{i}	۱۱/۹۱$^{f-i}$	۱/۸۴^{gh}	۳۰۲/۶۶^{lmn}	۴۸^{l}	۰/۱۶^{lm}	۱۰/۳۳^{e}
19	۷۸/۹۲^{bc}	۳/۱۴ ^{de}	۰/۳۶^{gh}	۴/۶۱ ^{ghi}	۳/۸۴ ^{o}	۸/۴۵ ^{no}	۱/۵۲^{hi}	۳۶۶/۹۳$^{d-g}$	۱۰۴ ^{b}	۰/۲۷$^{d-h}$	۷/۰۰۴ ^{mn}
20	۷۹/۶$^{b-e}$	۳/۳۱^{bc}	۰/۳۸^{gf}	۴/۷۹^{gh}	۴/۲۸^{n}	۹/۱۴^{nm}	۱/۸۴^{gh}	۳۵۵/۶۶$^{e-h}$	۱۰۶/۷ ^{b}	۰/۲۹$^{b-e}$	۸/۰۷^{kl}
21	۶۵/۱۲^{hij}	۲/۸۴$^{f-i}$	۰/۳^{hi}	۴/۸۷^{fgh}	۸/۸۱^{d}	۱۳/۶۲^{d}	۴/۰۶^{a}	۴۱۶^{b}	۵۲^{kl}	۰/۱۲^{n}	۹/۸۷^{efg}
23	۷۵/۱۷$^{b-e}$	۲/۴۹^{mn}	۰/۳۸^{efg}	۷/۰۳^{b}	۱۰/۶۴^{b}	۱۸/۱۷^{a}	۳/۵۱^{bc}	۳۴۰$^{h-k}$	۱۰۰/۷^{bc}	۰/۳^{bcd}	۱۲/۸۷^{bc}
25	۸۷/۳۶^{a}	۲/۳۹^{n}	۰/۴۴^{a}	۷/۸۹^{a}	۹/۷۹^{bc}	۱۸/۱۳^{a}	۱/۴۶^{ghi}	۳۸۶/۶۶^{cd}	۱۱۹/۳^{a}	۰/۳۲^{b}	۱۸/۲۵^{a}
28	۶۵/۵۳^{jk}	۳/۰۸^{e}	۰/۳۷^{g}	۴/۹۷^{fgh}	۷/۶۳^{e}	۱۲/۷۴^{e}	۱/۹۹^{fg}	۲۷۴/۳۳^{o}	۹۳/۳۳^{cd}	۰/۳۷^{a}	۸/۵۴$^{i-l}$
31	۷۵/۷۵$^{b-e}$	۲/۶۲$^{j-m}$	۰/۴۱$^{c-f}$	۳/۸۱^{j}	۶/۶۲^{hi}	۱۰/۴۲^{l}	۳/۰۵^{d}	۳۴۲/۶$^{g-j}$	۸۷/۳۳^{d}	۰/۲۶$^{d-h}$	۸/۸۶$^{h-k}$
34	۷۴/۲۲$^{c-f}$	۲/۵۳^{lmn}	۰/۴۲^{abc}	۳/۷۴^{j}	۷/۶۱^{e}	۱۱/۴۶$^{g-k}$	۴/۰۷^{a}	۲۸۰^{no}	۶۶^{ghi}	۰/۲۵$^{f-i}$	۸/۱۹^{Jkl}
35	۶۷/۶۶^{ghi}	۳/۴^{c}	۰/۳۴^{hi}	۴/۸۲^{gh}	۷/۰۷^{fg}	۱۲/۱۵^{efg}	۲/۲۸^{ef}	۴۰۸/۶۶^{bc}	۹۹/۳۳^{bc}	۰/۲۵$^{e-i}$	۹/۵۵$^{e-h}$
36	۷۶/۳^{bc}	۲/۵۴ ^{lmn}	۰/۳۹ $^{c-g}$	۴/۱^{ij}	۸/۷ ^{d}	۱۲/۶۵ ^{ef}	۳/۶۹^{b}	۳۲۷/۳۳$^{j-l}$	۱۱۷/۳ ^{a}	۰/۳۷^{a}	۹/۴ $^{f-i}$
40	۶۰/۰۴^{jk}	۳/۳۶^{c}	۰/۳۲^{ij}	۶/۳^{c}	۹/۵۳^{c}	۱۵/۷۸^{b}	۲/۶۵^{e}	۴۹۷/۸^{a}	۵۹/۳۳^{ijk}	۰/۱۲^{n}	۱۱/۵۸^{d}
41	۶۳/۶۵^{hij}	۴/۰۰۵^{a}	۰/۲۸^{kl}	۴/۴۹^{ghi}	۷/۱۸^{f}	۱۱/۶۹$^{g-j}$	۳/۱۸^{dg}	۳۷۳/۳۳^{def}	۶۶/۶۶^{ghi}	۰/۲^{jk}	۸/۶۳$^{i-l}$
42	۶۶/۴۸^{ghi}	۳/۴۹^{c}	۰/۳ ^{ij}	۴/۶۱^{ghi}	۴/۵۵^{n}	۹/۱۶^{mn}	۱/۲۶^{ij}	۳۲۸/۳۳$^{i-l}$	۹۱/۳^{cd}	۰/۲۸^{def}	۸/۱۱^{jkl}
44	۶۲/۷۴^{hij}	۲/۸۷^{fgh}	۰/۳۳^{i}	۵/۸۵^{cde}	۵/۴۶^{kl}	۱۱/۲۷^{ijk}	۴/۰۶^{a}	۳۱۹/۳۳^{jkl}	۶۲/۶۶^{hij}	۰/۲^{jk}	۷/۸^{lm}

48	۸۰/۱۱ a-d	۳/۱۴ de	۰/۳۹ c-g	۴/۵۹ ghi	۵/۰۰۸ m	۹/۶ m	۲/۶۱ e	۳۴۷ f-i	۸۴ de	۰/۲۴ g-j	۸/۵۸ i-l
53	۷۹/۶۵ b-e	۲/۸۳ f-j	۰/۴۴ a	۴/۶۴ ghi	۶/۷ ghi	۱۱/۳۳ h-k	۳/۱۷ cd	۳۰۶/۳ lm	۸۶ d	۰/۲۸ def	۱۰/۱۶ ef
55	۷۶/۸۹ b-c	۳/۱۴ de	۰/۳۴ hi	۷/۸۳ ab	۶/۸۷ f-i	۱۴/۷۹ c	۱/۴۶ hij	۳۱۳/۳۳ klm	۷۴/۶۶ fg	۰/۲۸ def	۱۳/۲۸ b
HB1	۸۲/۰۷ ab	۲/۷۳ g-l	۰/۴۱ b-e	۵/۷۲ de	۱۰/۸۶ a	۱۶/۰۸ b	۲/۵۹ e	۴۱۶/۶۶ b	۹۸ bc	۰/۲۴ g-j	۱۳/۲۲ b
HB2	۸۰/۸۱ abc	۲/۶۸ h-m	۰/۳۹ c-g	۵/۵۹ de	۷/۶۴ e	۱۲/۸۶ e	۲/۶۲ e	۳۶۴ de	۶۴/۶۶ hi	۰/۱۸ kl	۱۲/۰۹ cd

در هر ستون میانگین‌های که دارای حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مربوط به ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱.درصد جوانه‌زنی	۱										
۲.میانگین زمان جوانه‌زنی	-۰/۵۵۶**	۱									
۳.سرعت جوانه‌زنی)	۰/۶۳۷**	-۰/۸۸۰**	۱								
۴.طول ساقه چه	۰/۰۸۸	-۰/۰۷۷	-۰/۱۰۷	۱							
۵.طول ریشه چه	۰/۱۶۲	-۰/۲۴۱	-۰/۰۹۲	۰/۳۷۸*	۱						
۶.طول گیاهچه	۰/۱۷۳	-۰/۲۲۳	۰/۰۳۵	۰/۷۳۵**	۰/۹۰۰**	۱					
۷.نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه	۰/۲۵۰	-۰/۲۵۰	۰/۲۱۶	-۰/۳۳۶	۰/۵۵۰**	۰/۲۴۷	۱				
۸.وزن تر گیاهچه	۰/۰۸۷	-۰/۱۷۹	-۰/۱۸۱	۰/۲۶۱	۰/۳۸۷*	۰/۴۰۳*	۰/۱۸۷	۱			
۹.وزن خشک گیاهچه	۰/۱۷۹	-۰/۱۸۳	۰/۳۷۱*	-۰/۱۰۴	-۰/۰۷۵	۰/۰۹۱	-۰/۲۲۰	-۰/۱۲۱	۱		
۱۰.نسبت وزن خشک به تر	۰/۰۱۳	-۰/۱۶۴	۰/۳۰۱	-۰/۱۲۳	-۰/۱۳۷	-۰/۱۵۰	-۰/۲۷۰	-۰/۵۶۸**	۰/۸۴۵**	۱	
۱۱. شاخص بنیه بذر	۰/۶۹۷**	-۰/۴۱۶*	۰/۳۸۰*	۰/۵۹۲**	۰/۶۵۲**	۰/۷۶۰**	۰/۲۴۰	۰/۳۷۷*	۰/۰۳۵	-۰/۱۳۱	۱

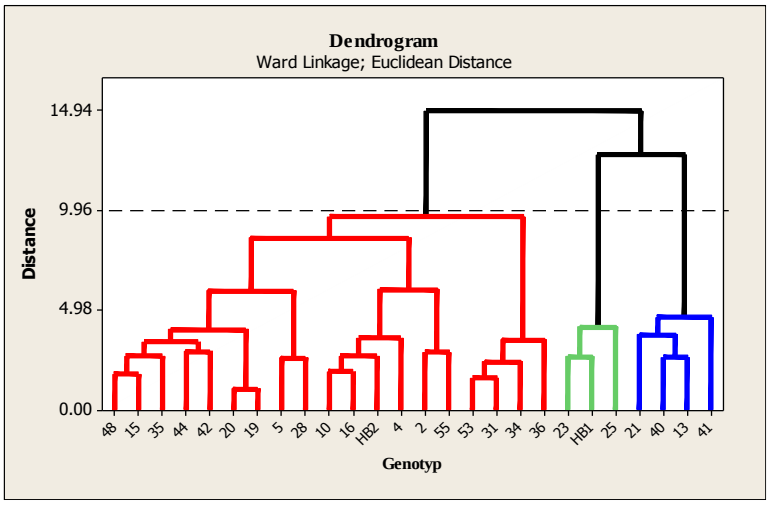
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱٪

همبستگی بین صفات

نتایج حاصل از همبستگی بین صفات مورد مطالعه نشان داد که شاخص بنیه بذر با درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و طول گیاه‌چه همبستگی مثبت و معنی‌دار با ضرایب همبستگی ۰/۶۹۷، ۰/۵۹۲، ۰/۶۵۲ و ۰/۷۶۰ در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۵). پس با افزایش یا کاهش این صفات، شاخص بنیه بذر هم تغییر خواهد کرد. افزایش درصد جوانه‌زنی باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌شود و طول ساقه‌چه باعث افزایش طول گیاه‌چه و همچنین افزایش طول ریشه‌چه باعث افزایش طول گیاه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه می‌شود. همچنین با افزایش وزن خشک، نسبت وزن خشک به تر گیاه‌چه نیز افزایش می‌یابد. ضریب همبستگی طول ساقه‌چه با گیاه‌چه بیشتر از طول ریشه‌چه است و افزایش یا کاهش طول ساقه‌چه بیشتر طول گیاه‌چه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طول ریشه‌چه با طول گیاه‌چه همبستگی مثبت و معنی‌دار با ضریب همبستگی ۰/۹۰ در سطح احتمال ۱ درصد داشت. با افزایش طول گیاه‌چه، شاخص بنیه بذر افزایش یافت. همچنین میانگین زمان جوانه‌زنی با سرعت جوانه‌زنی همبستگی منفی و معنی‌دار با ضریب همبستگی ۰/۸۸۰ در سطح احتمال ۱ درصد و با شاخص بنیه بذر همبستگی منفی و معنی‌دار با ضریب همبستگی ۰/۴۱۶ در سطح احتمال ۵ درصد داشت. سرعت جوانه‌زنی یکی از مولفه‌های مهم خصوصیات جوانه‌زنی است که نقش زیادی در استقرار گیاه‌چه‌ها در ابتدای فصل رشد دارد، بدیهی است که سرعت جوانه‌زنی بالا موجب بهبود استقرار گیاه‌چه‌ها در مزرعه شده و در نهایت دستیابی به عملکرد مطلوب را میسر می‌سازد (۱). موسوی و همکاران (۶) با بررسی روی ۲۶ ژنوتیپ این تحقیق در شرایط تنش شوری، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را بین شاخص بنیه بذر و طول گیاه‌چه عنوان کردند.

تجزیه کلاستر

به منظور تعیین قرابت ژنوتیپ‌های مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها در ارتباط با صفات اندازه‌گیری شده، از تجزیه کلاستر به روش Ward و با استفاده از فاصله اقلیدسی بر اساس میانگین استاندارد شده با برش دندروگرام در فاصله ۹/۹۶، ۲۶ ژنوتیپ مورد بررسی در سه کلاستر قرار گرفتند (شکل ۱). لاین‌های۳۶، ۳۴، ۳۱، ۵۳، ۵۵، ۲، ۴، ۱۶، ۱۰، ۲۸، ۵، ۱۹، ۲۰، ۴۲، ۴۴، ۳۵، ۱۵، ۴۸ به همراه HB_2، در کلاستر اول قرار گرفتند. طبق جدول ۶ ژنوتیپ‌های این کلاستر از نظر درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، وزن خشک گیاه‌چه و نسبت وزن خشک به تر گیاه‌چه بالاتر از میانگین کل بودند. کلاستر دوم شامل لاین‌های ۲۵ و ۲۳ و هیبرید HB_1 و از نظر سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه چه، طول ریشه چه، طول گیاه‌چه، وزن تر گیاه‌چه، وزن خشک گیاه‌چه، نسبت وزن خشک به تر گیاه‌چه، شاخص بنیه بذر طبق جدول ۶ بالاتر از میانگین کل بودند. به همین ترتیب کلاستر سوم شامل لاین‌های ۲۱، ۴۰، ۱۳ و ۴۱ و از نظر میانگین زمان جوانه زنی، وزن تر گیاه‌چه و نسبت وزن تر به خشک گیاه‌چه بالاتر از میانگین کل بودند (جدول ۴). شایان ذکر است که بالا بودن میانیگن زمان جوانه زنی صفتی مطلوب نیست.



شکل ۱ – دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۲۶ ژنوتیپ برنج در شرایط تنش خشکی براساس ۱۱ صفت مورد مطالعه

جدول ۶– میانگین و درصد انحراف از میانگین کل کلاسترها برای صفات مختلف ژنوتیپ‌های برنج

صفات	کلاستر اول ۲، ۴، ۵، ۱۰، ۱۵، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۸، ۳۱، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۴۲، ۴۴، ۴۸، ۵۳، ۵۵، HB2	کلاستر دوم ۲۳و ۲۵ و HB1	کلاستر سوم ۱۳و ۲۱و ۴۰و ۴۱	میانگین کل
درصد جوانه‌زنی	۱۸/۶+و ۷۸/۵۵	۱۷/۲-و۵۴/۸۶	۱/۴-و ۶۵/۲۹	۶۶/۲۳
میانگین زمان جوانه‌زنی	۰و ۲/۹۶	۱۴/۳-و۲/۵۴	۱۴/۹+و ۳/۴۰	۲/۹۶
سرعت جوانه‌زنی	۲/۸+و ۰/۳۷	۱۳/۹+و۰/۴۱	۱۶/۷-و ۰/۳۰	۰/۳۶
طول ساقه‌چه	۱۲/۹-و ۵/۱۵	۱۶/۴+و ۶/۹	۳/۲-و ۵/۷۲	۵/۹۱
طول ریشه‌چه	۲۴/۹-و ۶/۱۹	۲۶/۶+و ۱۰/۴۳	۱/۴-و ۸/۱۳	۸/۲۴
طول گیاه‌چه	۱۹/۹-و ۱۱/۴	۲۲/۶+و ۱۷/۴۶	۲/۶-و ۱۳/۸۷	۱۴/۲۴
نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه	۱۳/۸-و ۲/۲۴	۳/۱-و ۲/۵۲	۱۷/۳+و ۳/۰۵	۲/۶۰
وزن تر گیاه‌چه	۱۲/۸-و ۳۳۱/۰	۰/۴+و ۳۸۱/۱۱	۱۲/۴+و ۶,۴۲۶	۳۷۹/۵۸
وزن خشک گیاه‌چه	۲/۶+و ۸۵/۴	۲۷/۴+و ۱۰۶	۳۰-و ۵۸/۱۷	۸۳/۱۸
نسبت وزن خشک به تر گیاه‌چه	۱۰/۸+و ۰/۲۶۶	۱۹/۲+و ۰/۲۸۶	۴۰/۴-و ۰/۱۴۳	۰/۲۴
شاخص بنیه بذر	۲۰/۳-و ۹/۱۵	۲۸/۷+و ۱۴/۸	۸/۵-و ۱۰/۵۱	۱۱/۵

تابع تشخیص

برحسب تابع تشخیص از ۱۹ لاینی که در گروه اول قرار گرفته بودند. همه ۱۹ لاین به طور صحیح متعلق به گروه اول می‌باشد. به همین ترتیب از ۳ لاینی که در کلاستر دوم و نهایتاً از ۴ لاینی که در گروه سوم برحسب تجزیه خوشه‌ای قرار گرفتند، همه متعلق به همین گروه‌ها بوده و ۱۰۰٪ صحیح می‌باشند. از این ۲۶ ژنوتیپ (۲۴ لاین و ۲ هیبرید) مطالعه شده، ۲۶ ژنوتیپ به صورت صحیح گروه‌بندی شده‌اند بنابراین صحت گروه‌بندی ۱۰۰% است و احتمال انتساب اشتباه هر لاین در گروهی که متعلق به آن نیست، صفر می‌باشد. تجزیه تابع تشخیص برای آزمون درستی گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای صحت گروه‌بندی هر سه کلاستر را تایید کرد. این تجزیه در برنج توسط پژوهش‌گران دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفته است (۳ و ۶). موسوی و همکاران (۶) با استفاده از تجزیه کلاستر به روش Ward در شرایط تنش شوری ۲۶ ژنوتیپ مورد بررسی را در سه کلاستر قرار دادند. در آزمایشی دیگر، ۴۴ ژنوتیپ برنج بر اساس صفات مورفولوژیک و شاخص‌های تحمل به خشکی در مرحله گیاه‌چه‌ای و رویشی، به پنج گروه تقسیم شدند (۲۹). گویمارایس و همکاران (۲۰) ۴۱ ژنوتیپ برنج را در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مرحله زایشی مورد ارزیابی قرار داده و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به ترتیب در شش و هفت گروه دسته بندی کردند.

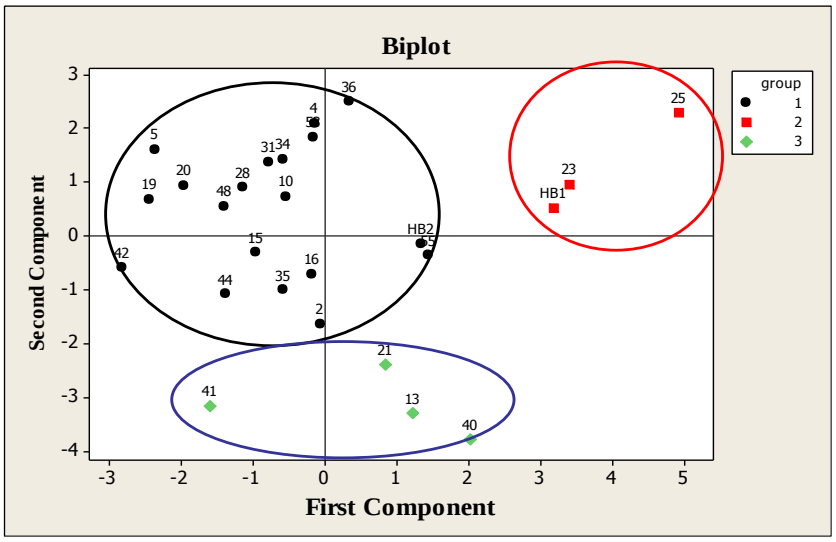
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از میانگین ۱۱ صفت ارزیابی شده در این تحقیق صورت گرفت. پارامترهای حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مقادیر ویژه، میزان واریانس نسبی و تجمعی برای مؤلفه‌های حاصل و نیز مقادیر مؤلفه‌های اصلی هر یک از ژنوتیپ‌های مورد بررسی در جدول ۷ آمده است. مقادیر ویژه بردار مؤلفه‌های اول و دوم در مجموع ۶۱ درصد از تنوع کل را توجیه نمودند. به صورتی که میزان واریانس نسبی برای مؤلفه‌ی اول ۳۳ درصد و مؤلفه دوم ۲۸ درصد می‌باشد. نتایج نشان داد که طول ریشه‌چه، طول گیاه‌چه و شاخص بنیه بذر به ترتیب با مقادیر بردارهای ویژه‌ی ۰/۴۵۲، ۰/۴۵۹ و ۰/۴۹۷ بیشترین تأثیر را در تشکیل و تکوین مؤلفه اول داشتند به نحوی که هر سه صفت ذکر شده در این مؤلفه دارای ضریب عاملی مثبت بودند که با توجه

به مطلوب بودن صفات نامبرده در شرایط تنش خشکی در جهت بالا بردن این مؤلفه باید تلاش کرد. لذا این مؤلفه شاخص بنیه بذر و طول گیاهچه نام‌گذاری گردید. در مؤلفه دوم میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر گیاهچه و نسبت وزن خشک به تر گیاهچه با مقادیر بردارهای ویژه ۰/۴۰۹-، ۰/۴۹۴-، ۰/۳۶۳- و ۰/۴۴۶ بیشترین تأثیر را در تشکیل مؤلفه دوم داشتند به نحوی که میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و وزن تر گیاهچه ضریب عاملی منفی و نسبت وزن خشک به تر گیاهچه ضریب عاملی مثبت داشتند. که با توجه به قرارگیری میانگین زمان جوانه‌زنی که دارای ضریب عاملی منفی بوده و این منفی بودن مطلوب می‌باشد و همچنین منفی بودن سرعت جوانه‌زنی و مثبت بودن نسبت وزن تر به خشک گیاهچه که صفت ارزشمندی هستند نمی‌توان گفت باید در افزایش یا کاهش این مؤلفه در شرایط تنش خشکی تلاش کرد. همچنین این مؤلفه به عنوان خصوصیات جوانه‌زنی و وزن گیاهچه نامگذاری گردید. قربانی و همکاران (۱۹) برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف برنج با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌ها، تعداد ۳ عامل اصلی و مستقل را گزارش دادند که ۷۷/۷۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. مجیدی مهر و امیری (۵) عنوان کردند بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط شوری چهار عامل شناسایی شد که ۶۸/۱۰ درصد از تنوع کل داده‌ها را توجیه کردند. موسوی و همکاران (۶) با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی ۲۶ ژنوتیپ برنج در شرایط شوری، ۱۱ صفت مورد بررسی را به ۲ مؤلفه تقسیم کرد و بر اساس آن ۶۴ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد. به طوری که ۴۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به مؤلفه اول و ۲۳٪ مربوط به مولفه دوم بود. در برنج در شرایط تنش شوری (۳ و ۶) در کاسنی در شرایط تنش خشکی (۴)، در جو در شرایط تنش شوری (۲) از نمودار بای پلات برای گروه‌بندی استفاده گردید.

جدول ۷- تجزیه به مؤلفه های اصلی صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های برنج نسبت به تنش خشکی

صفات	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
۱.درصد جوانه‌زنی	۰/۲۱۳	۰/۲۹۹
۲.میانگین زمان جوانه زنی	-۰/۲۲۰	-۰/۴۰۹*
۳.سرعت جوانه‌زنی	۰/۱۳۶	-۰/۴۹۴*
۴.طول ساقه‌چه	۰/۳۵۶	-۰/۱۲۶
۵.طول ریشه‌چه	۰/۴۵۲*	-۰/۰۴۷
۶.طول گیاهچه	۰/۴۵۹*	-۰/۰۸۸
۷.نسبت طول ریشه به ساقه	۰/۱۱۸	-۰/۰۳۴
۸.وزن تر گیاهچه	۰/۲۱۴	-۰/۳۶۳*
۹.وزن خشک گیاهچه	۰/۰۰۳	۰/۳۷۷
۱۰.نسبت وزن خشک به تر	-۰/۰۷۳	۰/۴۴۶*
۱۱. شاخص بنیه بذر	۰/۴۹۷*	۰/۰۰۴
مقادیر ویژه	۳/۵۹۳	۳/۰۷۴
واریانس نسبی	۰/۳۲۷	۰/۲۸۰
واریانس تجمعی	۰/۳۲۷	۰/۶۰۶



شکل ۲ – نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های برنج تحت شرایط تنش خشکی براساس مؤلفه‌های اول و دوم

نتیجه‌گیری نهایی

افزایش تحمل به خشکی در برنج نیاز اساسی جهت پایداری تولید این محصول مهم محسوب می‌شود. نتایج این تحقیق روند کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر و خشک گیاهچه، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، طول گیاهچه و شاخص بنیه بذر را با افزایش پتانسیل اسمزی نشان داد. به طوری‌که کمترین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر و خشک گیاهچه، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، طول گیاهچه و شاخص بنیه بذر در سطح ۴/۸- بار مشاهده شد. علت وقوع این امر را می‌توان نتیجه افزایش غلظت محلول پلی اتیلن گلایکول محیط کشت دانست که به کاهش جذب آب توسط بذور منجر می‌شود و همچنین مانع از ادامه‌ی فعالیت‌های طبیعی گیاهچه می‌شود.

بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r=۰/۹۰^{**}$) بین طول ساقه‌چه و طول گیاهچه به دست آمد. میانگین زمان جوانه‌زنی با سرعت جوانه‌زنی همبستگی منفی و معنی‌دار با ضریب همبستگی ۰/۸۸۰ در سطح احتمال ۱ درصد و با شاخص بنیه بذر همبستگی منفی و معنی‌دار با ضریب همبستگی ۰/۴۱۶ در سطح احتمال ۵ درصد داشت. هرچه بذور به زمان بیش‌تری برای جوانه‌زنی نیاز داشته باشند سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر کمتر است.

نتایج حاصل از تجزیه کلاستر، لاین‌های مورد بررسی را در سه گروه قرار داد به صورتی که لاین ۴۸ (TCHAMPA(ACC32369)) با منشاء ایران در کلاستر اول و لاین ۴۱ (N22(ACC 6264)) با منشاء مصر در کلاستر سوم بیشترین فاصله ژنتیکی را از هم دارند، بنابراین بهترین هیبرید از تلاقی این دو لاین حاصل خواهد شد. در این راستا می‌توان با گزینش لاین‌هایی که از فاصله ژنتیکی بیشتری برخوردار بوده و تلاقی دادن آن‌ها، نسبت به یافتن نتایج بهتر اقدام نمود. از نتایج این تحقیق می‌توان در برنامه‌های اصلاحی آینده نظیر هیبریداسیون جهت انتخاب والدین مناسب استفاده نمود. بر حسب دندروگرام حاصل در کلاستر دوم لاین‌های مطلوب ۲۵ (IR 71895-3R-26-2-1) با منشاء ایری، هیبرید CHINA HB_1 ((HYBRID 1)) با منشاء چین و همچنین لاین ۲۳ (IR 65852-4B-16-1-3) با منشاء ایری قرار گرفتند. براساس نتایج مقایسه میانگین و تجزیه کلاستر می‌توان گفت بهترین ژنوتیپ‌ها لاین‌های ۲۵، ۲۳ و هیبرید HB_1 از نظر تحمل به تنش خشکی و حساس‌ترین لاین‌ها متعلق به کلاستر اول و سوم می‌باشند، که هر کدام از نظر یکسری صفات نامطلوب بودند. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ۲ مؤلفه اول ۶۱ درصد از کل تنوع را توجیه نمودند.

در نهایت لاین ۲۵ با توجه به نتایج بای پلات و تجزیه خوشه‌ای در ناحیه و کلاستر با تحمل به تنش خشکی قرار گرفت. همچنین لاین ۴۱، لاین ۱۹ و لاین ۴۰ در نمودار بای پلات و تجزیه خوشه‌ای در ناحیه و کلاستر با حساسیت به تنش خشکی قرار

گرفتند، بنابراین به عنوان حساس‌ترین لاین‌ها در بین ۲۶ ژنوتیپ مورد بررسی به تنش خشکی معرفی می‌گردد. در برنامه‌های اصلاحی آینده برای تحمل به خشکی استفاده از لاین‌های فوق الذکر توصیه می‌گردد. خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد و ایجاد اختلال در مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان به ویژه جوانه‌زنی در مناطق خشک و نیمه خشک است. شناسایی ارقامی که بتوانند تنش خشکی را در مرحله‌ی جوانه‌زنی بهتر تحمل کنند، در افزایش تراکم گیاهی در مزرعه و در نهایت عملکرد بیشتر موثر خواهند بود (۵).

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که بین ژنوتیپ‌های برنج تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر تحمل به خشکی براساس صفات و شاخص‌های مرحله جوانه‌زنی وجود دارد که می‌تواند برای بهبود این ویژگی در برنج مود استفاده قرار گیرد. همچنین نتایج نشان داد که تجزیه‌های چند متغیره به عنوان ابزاری کارآمد می‌توانند ارقام با درجات تحمل متفاوت به خشکی را از یکدیگر تفکیک نمایند. ارقام متحمل معرفی شده می‌توانند برای مطالعات آتی و نیز به منظور بررسی ارتباط بین واکنش به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و بلوغ مورد استفاده قرار گیرند چرا که الزاماً ژنوتیپ‌هایی که در مرحله جوانه‌زنی مقاوم می‌باشند، نمی‌توانند در مرحله بلوغ نیز مقاوم باشند.

منابع

۱.جعفرنژاد، ا.، طاهری، ج. و رهچمانلـه، ا. ا. ۱۳۸۸. بررسی تحمل به خشکی در ۴ ژنوتیپ گندم، در مرحله جوانه‌زنی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۲(۱): ۷۳-۸۵.

۲.ریحانپور، ش.، خدارحم‌پور، ز. و سلطانی هویزه، م. ۱۳۹۹. مطالعه تنوع ژنتیکی جو تحت شرایط تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه از طریق تجزیه چند متغیره. مجله علوم و تحقیقات بذر. ۶(۴): ۵۲۷-۵۵۳.

۳.شریفی، پ.، امین پناه، ه.، عبادی، ا. ا. و حلاجیان، م. ت. ۱۳۸۵. گروهبندی ژنوتیپ‌های برنج موتانت تحت شرایط تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران. ۱۹(۲): ۱۴۸-۱۶۴.

۴.عساکره، ف. و خدارحم‌پور، ز. ۱۳۹۵. مطالعه تنوع زنتیکی تحمل به تنش خشکی در اکوتیپ‌های کاسنی (*Cichorium intybus* L.) از طریق تجزیه چند متغیره. مجله علوم و تحقیقات بذر. ۳(۲): ۲۵-۱۳.

۵.مجیدی مهر، ا. و امیری، ف. ۱۳۹۳. بررسی صفات بیوشیمیایی و شیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف برنج تحت تنش شوری. مجله غلات. ۱: ۵۸-۴۵.

۶.موسوی، ک.، خدارحم‌پور، ز و گیلانی، ع. ع. ۱۳۹۶. گروهبندی زنوتیپ‌های برنج در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت شرایط تنش شوری. مجله علوم و تحقیقات بذر. ۴(۱): ۸۹-۱۰۰.

7.Abdul-baki, A.A. & Anderson, J.D. 1975. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science. 13: 630-633.

8.Abubakar, B., Yakasal, H.M., Zawaal, N. & Ismail, M. 2018. Compositional analysis of white, brown and germinated forms of popular Malaysian rice to offer in sight in to the growing diet-related diseases. Journal of Food Drug Analysis. 26: 706-715.

9.An, Y.Y., Liang, Z.S. & Zhang, Y. 2011. Seed germination responses of *Periploca sepium* Bunge, a dominant shrub in the loeses hilly regions of China. Journal of Arid Environments. 75(5): 504-508.

10.Armand, N., Amiri, H. & Ismaeili, A. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry) under drought stress condition. Iranian Journal of Pulses Research. 6: 42-53.

11.Boydak, M., Dirik, H., Tllki, F. & Callkogiu, M. 2003. Effects of water stress on germination in six provenances of Pinus brutia seeds from different bioclimatic zones in Turkey. Journal of Agricultural Foresty. 27(2): 91-97.

12.Chalak, L., Chehade, A. & Kadri, A. 2007. Morphological characterization of cultivated almonds in Lebanon. Fruits. 62: 177-186.

13.Ellis, R.A. & Roberts, E.H. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology. 9: 373-409.
14.Espahbodi, K., Mirzaiee Nadoushan, H., Tabari, M., Akbarinia, M. & Dehghan Shooraki, Y. 2006. Investigation of genetic variation of wild service (*Sorbus torminalis* L. Crantz), using morphological analysis of fruits and leaves. Research Reconstruction. 72: 44-57. (In Persian)
15.Fabian, A., Jager, K. & Barnabas, B. 2008. Effects of drought and combined drought and heat stress on germination ability and seminal root growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Journal of Acta Biologica. 52: 157-159.
16.FAO, 2019. (Online) Available at http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.
17.Farshadfar, E., Haghparast, R. & Qaitoli, M. 2008. Chromosomal localization of the genes controlling agronomic and physiological indicators of drought tolerance in barley using disomic addition lines. Asian Journal of Plant Sciences. 7(6): 536- 543.
18.Gholami, M., Raheml, M. & Kholdebarin, B. 2010. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol on seed germination of four wild almond species. Australian Journal of Basic Applied Sciences. 4(5): 785-791.
19.Ghorbani, H.R., Samizadeh Lahiji, H., Rabiei, B. & Allahgholipour, M. 2012. Rice genotypes using factor and cluster analysis. Journal of Agricultural Stable Production. 21(3): 90-104.
20.Guimaraes, C. M., Castro, A.P., Stone, L.F. & Oliveira, J.P. 2016. Drought tolerance in upland rice: identification of genotypes and agronomic characteristics. Acta Sciences. 38(1): 201-206.
21.ISTA (Inernational seed and Tecnology Association). 1996. International rules for seed testing rules. Seed Science and Technology. 24: 155-202.
22.Ktowski, F. 1926. Temperature relation to germination of vegetable seed. Proceeding American Society of Horticulture Science, 23: 176-184.
23.Li, Q.F., Zhou, Y., Xlong, M., Ren, X.Y., Han, I., Wang, J.D., Zhang, C.Q., Fan, X.L. & Liu, Q.Q. 2020. Gibberellin recovers seed germination in rice with impaired brassinosteroid signaling. Plant Sciences. 293, DOI: 10.1016/j.plantsci.2020.110435.
24.Liu, M., Li, M., Liu, K. & Sui, N. 2015. Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties. Journal of Agricultural Sciences. 7:231-240.
25.Majidi, M.M. 2012. Identification of canola cultivars for drought tolerance in germination and seedling growth stages using principal component analysis. Journal of Crop Production and Processing. 2(4): 41-51.
26.Michel, B.E., & Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 51(5): 914-916.
27.Scott, S.J., Jones, R.A. & Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Sciences. 24: 1192-1199.
28.Sorkheh K., Shiran, B., Khodambashi, M., Moradi, H., Gradziel, T.M. & Martínez-Gómez, P. 2010. Correlations between quantitative tree and fruit almond traits and their implications for breeding. Scientia Horticulturae. 125: 323–331.
29.Thi Thu Ha, P., D.T. Khang, P.T. Tuyen, L.T. Minh, T.N. Minh, N.T. Lang, B.C. Buu & T. D. Xuan. 2016. Correlation among agro-morphological variation and genetic diversity of rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. International Letters Natural Sciences. 58: 42-53.
30.Venuprasad, R., Sta Cruz, M.T., Amante, M., Magbanua, R., Kumar, A. & Atlin, G.N. 2008. Response to two cycles of divergent selection for grain yield under drought stress in four rice breeding populations. Field Crops Research. 107: 232-244.
31.Wasaya, A., Zhang, X., Fang, Q. & Yan, Z. 2018. Root phenotyping for drought tolerance: A Review. Agronomy. 8: 241-260.
32.Weising, K., Nybom, H., Wolff, K. & Kahl, G. 2005. DNA Fingerprinting in Plants. principles, Methods and Applications. 2nd Edition. Taylor & Francis Group, 444 p.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 10, Issue 2, autumn and winter 2020

Study of genetic variation of rice genotypes on the germination components and seedling growth in the drought stress condition

Elahe Ghorbani[1], Zahra Khodarahmpour*[2], Abdolali Gilani[3]

1-MSc of Plant Breeding, Department of Plant Breeding, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2-Associate Professor of Department of Production and Plant Genetics, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
3-Assistant Professor of Department of Seed and Plant Improvement Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Extention Center, AREEO, Ahvaz, Iran.
* **Corresponding Author, Email**: Zahra.khodarahmpour@iau.ac.ir
(Received: 26 August 2022; Accepted: 16 December 2022)

Abstract

The present study was conducted to study genetic diversity in 26 rice genotypes (lRRl heat tolerant collection) in 2016 in Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research Center as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications including 24 lines and 2 hybrids as the first factor and drought stress with PEG 6000 in 5 levels of zero (control), -0.3, -1.8, -3.3 and -4.8 Bar were performed as the second factor. The results of analysis of variance showed that there was a significant difference between drought levels, genotypes and their interaction in all traits at a probability level of one percent. The lowest indices of germination and seedling growth were observed at the level of -4.8 Bar. The highest positive and significant correlation ($r = 0.90^{**}$) was obtained between shoot length and seedling length. In principal component analysis, the four first components accounted for 85% of the total diversity. Cluster analysis with Ward method included genotypes in three clusters. In the first cluster of lines 48, 15, 35, 44, 42, 20, 19, 5, 28, 10, 16, 4, 2, 55, 53, 31, 34, 36 and HB2 hybrid, in the second cluster of lines 25 and 23 and hybrid HB1 and in the third cluster were lines 40, 13, 41 and 21. According to the results of mean of comparison, biplot and cluster analysis of the second cluster genotypes in terms of germination rate, shoot length, root length, seedling length, seedling fresh weight, seedling dry weight, seedling Dry/wet weight ratio, seed vigor index are higher than the total average and therefore tolerate to drought. The selected genotypes can be considered in advancing breeding programs in the development of new rice cultivars with greater tolerance to drought stress.

Key words: biplot, cluster analysis, principal component analysis, Polyethylene glycol