doi: 10.22124/c.2018.10556.1402

دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هشتم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۷ (۱۸۳-۱۶۹)

ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج بر اساس عملکرد و اجزای آن تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به خشکی با روش تجزیه بای‌پلات

هاشم امین‌پناه[۱]، پیمان شریفی[۲]* و علی‌اکبر عبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۳

چکیده

به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج از لحاظ تحمل به خشکی و تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه، ۱۸ ژنوتیپ برنج (۱۴ لاین جهش‌یافته نسل M5 و چهار رقم حساس به خشکی) تحت شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) و تنش خشکی در مرحله زایشی به‌صورت دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ ارزیابی شدند. تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت نشان داد که عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری کامل با تعداد پنجه، درصد باروری دانه و عرض دانه و تحت شرایط تنش خشکی با طول و عرض دانه، تعداد پنجه، درصد باروری دانه و تعداد دانه پر همبستگی مثبت داشت. شاخص‌های متوسط بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP)، میانگین هارمونیک (HarM)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص عملکرد (YI)، شاخص‌های مناسب در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش بودند. بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و نمود کلی صفات در شرایط تنش، ارقام خزر، هاشمی، طارم و گیلانه حساس‌ترین و لاین‌های موتانت ۱، ۲، ۳، ۴ (همگی از رقم طارم محلی) و ۷ (از رقم هاشمی)، به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۲۷۸۸/۳۳، ۲۱۶۳/۰۰، ۲۱۷۸/۳۳، ۲۱۹۴/۰۰ و ۲۳۷۵/۰۰ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط تنش خشکی، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس نمره تحمل به تنش (STS) نیز این لاین‌ها متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. بنابراین، به نظر می‌رسد که استفاده از موتاسیون توانسته باشد تحمل به خشکی را در نتاج افزایش دهد. این لاین‌های موتانت علاوه بر استفاده به‌عنوان والدین تلاقی‌ها، می‌توانند به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی نیز معرفی شوند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات ژنوتیپ × صفت، شاخص عملکرد، موتاسیون، نمره تحمل به تنش

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
* نویسنده مسئول: peyman.sharifi@gmail.com

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را در جهان با محدودیت روبه‌رو می‌سازد (Venuprasad *et al.*, 2008). در برنامه‌های اصلاح برنج به‌منظور دستیابی به ارقام متحمل به خشکی، والدین تلاقی‌ها از ارقام و لاین‌های پیشرفته‌ای انتخاب می‌شوند که دارای صفات مطلوبی از قبیل جابه‌جایی آسیمیلات‌ها، تجمع پرولین، تنظیم اسمزی، آب نسبی از دست رفته، محتوای نسبی آب برگ، بهبود جذب آب، ذخیره‌سازی آب در سلول‌های گیاهی، کاهش از دست رفتن آب، پایداری غشای سلولی و قابلیت ارتجاع سلولی برای مقابله با شرایط تنش خشکی هستند (Afiukwa *et al.*, 2016). از آنجا که عملکرد در محیط‌های خشک تحت تأثیر سه جزء پتانسیل عملکرد، فنولوژی مناسب و تحمل به خشکی قرار می‌گیرد، از این‌رو اگر غربال برای تحمل به خشکی بر اساس عملکرد دانه باشد، ممکن است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که پتانسیل عملکرد بالا و یا فنولوژی مناسب داشته باشند، اما فاقد تحمل به خشکی باشند (Geravandi *et al.*, 2011). بنتابراین، بررسی همزمان صفات در شرایط تنش خشکی در کنار عملکرد می‌تواند به شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب کمک موثرتری کند.

نخستین هدف در یک برنامه اصلاحی برای تولید ارقام جدید و متحمل به تنش خشکی، شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس صفاتی مانند درصد باروری خوشه بیش‌تر و پاکوتاهی (Guimarães *et al.*, 2010)، طول خروج خوشه از غلاف کم‌تر (Barnabás *et al.*, 2008)، سطح برگ و شاخص سطح برگ کم‌تر (Blum and Sullivan, 1986) است که در نواحی هدف ارزیابی شده باشند (Yan and Rajcan, 2002). در روش‌های سنتی اصلاح نبات، اصلاح‌گران جدول‌های دوطرفه ژنوتیپ × صفت را برای هر صفت ایجاد و ژنوتیپ‌ها را بر اساس شاخص‌های انتخاب رتبه‌بندی می‌کنند و سپس ژنوتیپ‌های برتر را با یکدیگر تلاقی می‌دهند. این روش برای بررسی تعداد محدودی صفت آسان است، اما برای ارزیابی تعداد زیادی صفت، سخت و کارایی آن کم بوده و موجب انتخاب تعداد زیادی ژنوتیپ به‌عنوان والدین تلاقی‌ها می‌شود (Samonte *et al.*, 2013). یک روش بسیار کارا برای تجزیه داده‌های مربوط به تعداد زیاد صفت و انتخاب ارقام و لاین‌های مناسب، روش تجزیه GGE بای‌پلات (Genotype and Genotype Environment Biplot است که توسط یان و همکاران (Yan *et al.*, 2000) برای ارزیابی داده‌های دوطرفه ژنوتیپ × محیط ارایه شد و در آن ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مولفه اصلی اول (PC1) و دوم (PC2) حاصل از مقادیر ویژه انجام می‌شود.

تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (Genotype by trait (GT) biplot analysis) برای تشخیص صفاتی ابداع شد که می‌توانند برای انتخاب غیرمستقیم صفت هدف استفاده شوند (Yan and Rajcan, 2002). بای‌پلات ابزار مناسبی برای توصیف و خلاصه کردن ماتریس اطلاعات در تجزیه توصیفی داده‌ها است و روش GT بای‌پلات می‌تواند برای مطالعه هم‌زمان چندین صفت در ژنوتیپ‌های مختلف استفاده شود (Yan and Kang, 2003). مهم‌ترین اهداف این روش شامل ارزیابی ارقام بر اساس یک، دو و یا مجموعه‌ای از صفات، نمایش گرافیکی عیب‌ها یا شایستگی‌های یک صفت، نمایش گرافیکی روابط متقابل میان صفات و نیز شناسایی صفاتی که ارتباط زیادی با صفت هدف دارند، است و از آن می‌توان در گزینش غیرمستقیم صفت هدف استفاده کرد (Yan and Kang, 2003). همچنین در این روش ژنوتیپ‌ها بر اساس چندین صفت ارزیابی می‌شوند و برترین ژنوتیپ‌ها مورد شناسایی قرار می‌گیرند. در این روش، روابط بین صفات از طریق همبستگی‌های ساده به‌دست نمی‌آید، بلکه از طریق روابط متقابل تمام صفات اندازه‌گیری می‌شود و الگوی کلی داده‌ها به‌دست می‌آید (Samonte *et al.*, 2013). تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × صفت برای ارزیابی صفات مختلف در ژنوتیپ‌های سویا (Yan and Rajcan, 2002)، یولاف (Yan and Frégeau-Reid, 2008)، ذرت (Badu-Apraku and Akinwale, 2011; Safari Dolatabad *et al.*, 2010)، لوبیا چشم بلبلی (Oladejo *et al.*, 2011)، گندم (Akcura, 2011)، برنج (Sharifi *et al.*, 2013; Samonte *et al.*, 2013)، کلزا (Malekshahi *et al.*, 2012) و اسفناج (Sabaghnia *et al.*, 2015) استفاده شده است. این روش برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش‌های محیطی از جمله خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نیز در برنج (Ghiasy Oskoee *et al.*, 2013; Karim Koshteh and Sabouri, 2015; Rahimi *et al.*, 2013; Muthuramu *et al.*, 2011) مورد استفاده قرار گرفته است.

با توجه به گروه‌بندی متفاوت ژنوتیپ‌ها توسط شاخص‌های مختلف، استفاده از معیاری که با در نظر گرفتن همه این شاخص‌ها یک نتیجه واحد بدهد، مناسب می‌باشد. یکی از معیارهایی که برای این منظور می‌تواند استفاده شود، نمره تحمل به تنش (Stress Tolerance Score= STS) است (Abdolshahi *et al.*, 2013).

مطالعه حاضر به منظور ارزیابی تعدادی از لاین‌های موتانت برنج از نظر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال و شاخص‌های تنش با استفاده از روش بای‌پلات ژنوتیپ در صفت و همچنین شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و مقایسه نتایج روش‌های مختلف با استفاده از نمره تحمل تنش (STS) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰/۲۶ متر پایین‌تر از سطح دریا به صورت دو آزمایش جداگانه و تحت دو شرایط بدون تنش (آبیاری معمول) و تنش خشکی به صورت طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. ژنوتیپ‌های برنج شامل ۱۴ لاین جهش‌یافته نسل M5 (هفت لاین موتانت از رقم هاشمی، شش لاین موتانت از رقم طارم محلی و یک لاین موتانت از رقم خزر) به همراه چهار رقم (هاشمی، طارم محلی، خزر و گیلانه) در مجموع ۱۸ ژنوتیپ بودند. لاین‌های موتانت از پروژه‌ای مشترک با پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای با استفاده از پرتوتابی اشعه گاما به‌دست آمدند.

برای اعمال تنش خشکی، در مراحل آغازش جوانه‌های اولیه خوشه، آبیاری به‌طور کامل قطع شد. جهت جلوگیری از ورود آب باران (بارندگی) به کرت‌های تحت تنش کمبود آب از پوشش پلاستیکی به‌عنوان پناهگاه (شیلتر) استفاده شد. مساحت هر کرت ۱۲ مترمربع و فاصله نشاءها ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف و ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف و تعداد نشاءها در هر کپه ۳-۲ عدد بود. خزانه‌گیری در تاریخ ۲۵ فروردین و نشاءکاری در ۲۳ اردیبهشت در مرحله ۵-۴ برگی صورت گرفت. کلیه عملیات زراعی از قبیل آبیاری، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز، مبارزه با آفات مطابق توصیه‌های فنی انجام شد. صفات ارتفاع بوته، طول میانگره، طول و عرض برگ پرچم، تعداد پنجه بارور، طول خوشه، طول خروج خوشه از غلاف، تعداد دانه پر در خوشه، تعداد دانه پوک در خوشه، درصد باروری دانه و طول و عرض دانه (شلتوک) اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن کامل محصول، برداشت از مساحت ده متر مربع از هر واحد آزمایشی پس از حذف حاشیه انجام گرفت و پس از اندازه‌گیری رطوبت دانه توسط دستگاه RISTER-L ساخت شرکت KIYA SEISAKUSHO توکیوی ژاپن، عملکرد شلتوک بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد.

شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش ($\overline{Y}_P$) و تنش خشکی ($\overline{Y}_S$) به شرح زیر محاسبه شدند:

۱- شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index) (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1 - Y_S / Y_P}{SI} \qquad (۱)$$

که در آن، شاخص تنش (SI=Stress Index) از رابطه (۲) محاسبه شد:

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

۲- شاخص تحمل (Tolerance) (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_P - Y_S \qquad (۳)$$

۳- متوسط عملکرد (Mean Productivity) (Rosielle and Hamblin, 1981):

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

۴- میانگین هندسی تولید (Geometric Mean Productivity) (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S} \qquad (۵)$$

۵- شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index) (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{Y_P Y_S}{(\overline{Y}_P)^2} \qquad (۶)$$

۶- شاخص عملکرد (Yield Index) (Gavuzzi *et al.*, 1997):

$$YI = \frac{Y_S}{\overline{Y}_S} \quad (۷)$$

۷- شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index) (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P} \quad (۸)$$

۸- میانگین هارمونیک (Harmonic Mean) (Fernandez, 1992):

$$HarM = \frac{2(Y_P \times Y_S)}{Y_P + Y_S} \quad (۹)$$

۹- نمره تحمل به تنش (Stress Tolerance Score=STS) (Abdolshahi *et al.*, 2013):

$$STS = GMP_{std} + STI_{std} + HMP_{std} + MP_{std} - TOL_{std} - SSI_{std} - \beta_{std} \quad (۱۰)$$

در این رابطه، β شیب خط رگرسیون عملکرد ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیطی است. اعداد مربوط به هر شاخص ابتدا توسط رابطه (۱۱) استاندارد شدند که در آن Z_{ij} نمره استاندارد ژنوتیپ jام در شاخص iام، X_{ij} داده خام ژنوتیپ jام در شاخص iام، $\overline{X}_i$ میانگین شاخص iام و S_i انحراف استاندارد شاخص iام است. پس از استاندارد کردن داده‌ها، شاخص STS محاسبه شد:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{X}_i}{S_i} \quad (۱۱)$$

تمام نمودارهای بای‌پلات برای صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل و نیز شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از نرم‌افزار Minitab رسم شدند. تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز با استفاده از نرم‌افزار Minitab انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری بر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و درصد باروری دانه در سطح احتمال یک درصد و مساحت برگ پرچم و طول خروج خوشه از غلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه وجود داشت. اثر معنی‌دار ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر صفات مورد مطالعه بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است. برخی از این صفات می‌توانند در ایجاد تحمل به خشکی در ژنوتیپ های مورد مطالعه استفاده شوند. اثر متقابل ژنوتیپ در آبیاری برای صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه، طول خروج خوشه از غلاف، طول خوشه و درصد باروری دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). این امر نشاندهنده آن است که تغییرات قابل ملاحظه و بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال وجود داشت و همچنین واکنش ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط متفاوت رطوبتی برای صفات مورد مطالعه یکسان نبود و ژنوتیپ‌ها عکس‌العمل‌های متفاوتی در دو شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال داشتند. در تطابق با نتیجه حاضر، محققین دیگری نیز اثرمتقابل ژنوتیپ در آبیاری را بر صفات فوق گزارش نمودند (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008; Ghiasy Oskoee *et al.*, 2013). تجزیه واریانس ساده داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی برای صفات ارتفاع بوته، نسبت طول به عرض دانه، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه، طول خوشه، درصد باروری دانه و عملکرد دانه دارای اختلاف معنی‌دار بودند (داده‌ها ارایه نشده‌اند).

نتایج حاصل از بررسی زاویه بردارهای بین صفات (با توجه به کسینوس زاویه بین دو بردار) در شرایط آبیاری کامل نشان داد که صفت عملکرد دانه با صفات درصد باروری دانه، طول خروج خوشه از غلاف، طول و عرض دانه، تعداد دانه پر در خوشه و تعداد پنجه همبستگی مثبت ($r = \cos 0° = +1$) و با سایر صفات همبستگی منفی ($r = \cos 180° = -1$) داشت. همبستگی ساده بین صفات نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، عملکرد دانه با درصد باروری دانه (۰/۵۷*) دارای همبستگی مثبت و با صفات طول برگ پرچم (۰/۱۳-)، عرض برگ پرچم (۰/۷۲**-) و تعداد دانه پوک (۰/۶۲**-) همبستگی منفی داشت (جدول ارایه نشده است). از آنجا که بای‌پلات کلیه تغییرات موجود در یک مجموعه از داده‌ها را توضیح نمی‌دهد، بلکه فقط از اطلاعات دو مولفه اول استفاده می‌کند که به‌ترتیب برابر با ۲۹/۳ و ۱۸/۶ درصد بود، کسینوس زاویه بین متغیرها به‌طور دقیق به ضرایب همبستگی قابل تبدیل نیستند. در تطابق با تحقیق حاضر، محققین دیگری هم با مقادیر پایین دو مولفه اصلی اول، اقدام به استفاده از روش بای‌پلات ژنوتیپ در صفت برای بررسی روابط بین صفات و نیز شناسایی ژنوتیپ‌های برتر

از نظر هر صفت کرده‌اند. یان و راجکان (Yan and Rajcan, 2002) با مقادیر ۳۵ و ۲۳ درصد در ژنوتیپ‌های سویا، اتناف و همکاران (Atnaf *et al.*, 2017) نیز با مقادیر ۳۳ و ۲۲ درصد در توده‌های بومی باقلامصری (*Lupinus albus* L.)، یان و فرِگیو-رید (Yan and Frégeau-Reid, 2018) با مقادیر ۲۹ و ۲۱ درصد در یولاف و آکورا (Akcura, 2011) با مقادیر ۳۱ و ۱۹ درصد در گندم از تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت استفاده کردند. با این وجود، این زاویه‌ها می‌توانند اطلاعات کافی برای ارایه یک تصویر کلی از روابط بین متغیرها فراهم کنند که درک آن از جدول همبستگی ساده میسر نیست (Yan and Kang, 2003). از طرف دیگر، تطابق کامل نتایج حاصل از تجزیه بای‌پلات و ضرایب همبستگی ساده مورد انتظار نیست، زیرا بای‌پلات روابط بین تمام صفات را توصیف می‌کند، حال آنکه ضرایب همبستگی ساده فقط روابط بین دو صفت را توجیه می‌کنند (Yan and Rajcan, 2002). دلیل دیگر این عدم تطابق کامل می‌تواند ناشی از پایین بودن مقادیر دو مؤلفه اصلی اول در تحقیق حاضر (در مجموع ۴۷/۹ درصد) باشد. محققین دیگری نیز با بررسی ضرایب همبستگی ساده، همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و صفات طول و عرض دانه (Balouchzaehi and Kiani, 2013)، تعداد پنجه بارور (Gohari *et al.*, 2010; Beikzadeh *et al.*, 2015; Ravindra Babu *et al.*, 2012) و درصد باروری دانه و طول خروج خوشه از غلاف (Rahim Souroush *et al.*, 2005; Aminpanah and Sharifi, 2013) را گزارش کردند. شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2013) نیز با استفاده از تجزیه بای‌پلات و مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم که به‌ترتیب ۴۶/۴ و ۳۵/۷ درصد از تنوع کل را توجیه کردند، نشان دادند که صفت عملکرد دانه با صفات تعداد دانه پر، وزن خوشه، شاخص برداشت، شکل دانه و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت داشت. از آنجا که طول بردارهای هر کدام از صفات میزان تأثیر منفی و یا مثبت صفات را بر روی صفت وابسته اندازه می‌گیرد (Yan and Tinker, 2005)، صفات درصد باروری دانه و عرض دانه بیشترین تأثیر مثبت و صفات عرض برگ پرچم و تعداد دانه پوک در خوشه بیش‌ترین تأثیر منفی را بر عملکرد دانه داشتند (شکل ۱).

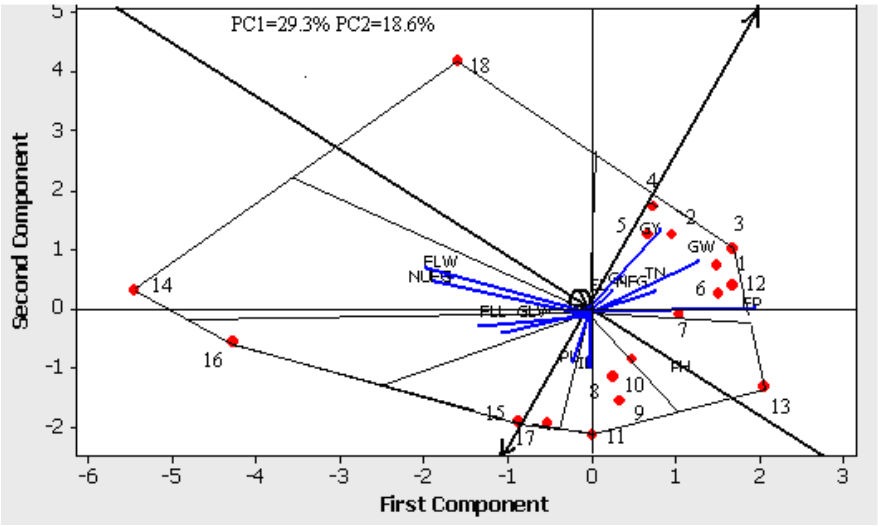
با استفاده از چندضلعی بای‌پلات، ژنوتیپ‌های با ارزش برای یک یا چند صفت تعیین می‌شوند. ژنوتیپ‌هایی که دورترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند، توسط خطوط منقطع به هم متصل و یک تحدب (چندضلعی) به‌وجود می‌آورند که سایر ژنوتیپ‌ها درون آن قرار می‌گیرند (Yan and Kang, 2003). در شرایط آبیاری کامل، نمودار بای‌پلات بر اساس نمای چندضلعی به هفت بخش تقسیم شد که ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۸، ۳، ۱۳، ۱۱، ۱۵ و ۱۶ در رأس چندضلعی و در دورترین فاصله ار مبدأ بای‌پلات قرار داشتند. این ژنوتیپ‌ها بهترین (برای صفات واقع در آن بخش) و بدترین (برای صفات واقع در طرف مقابل) هستند (Yan and Kang, 2003). در بخش اول که ژنوتیپ شماره ۱۴ در رأس آن واقع شده بود، صفات عرض برگ پرچم، تعداد دانه‌های پوک، طول برگ پرچم و نسبت طول به عرض دانه قرار داشتند که بیانگر این است که بیش‌ترین میزان این صفات در ژنوتیپ ۱۴ وجود داشت. در این بخش هیچ ژنوتیپ دیگری واقع نشد (شکل ۱). سامونته و همکاران (Samonte *et al.*, 2013) با مقادیر مؤلفه‌های برابر با ۳۰ و ۱۴ درصد، برترین ژنوتیپ‌های برنج را از نظر هر کدام از صفات معرفی کردند.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و برخی از صفات مورفولوژیکی برنج در شرایط تنش و بدون تنش

Table 1. Combined analysis of variance for grain yield and some of the rice morphological trtaits under non-stress and drought stress conditions

Source of variations	df	Mean squares							
		Grain length to width ratio	Grain fertility percentage	Panicle expansion length	Panicle length	Tiller number	Flag leaf area	Plant height	Grain yield
Irrigation (I)	1	0.32^{ns}	7744.62^{**}	62.86^{*}	5.55^{ns}	176.33^{**}	124.33^{*}	5097.8^{**}	191818709^{**}
Replication (I)	4	0.07	51.21	5.80	1.34	1.43	12.93	17.73	350094.5
Genotype (G)	17	0.46^{**}	462.19^{**}	22.33^{**}	29.34^{**}	29.55^{**}	70.93^{**}	1011.1^{**}	820879.8^{**}
I × G	17	0.15^{ns}	120.88^{**}	3.25^{**}	3.71^{**}	22.21^{**}	38.36^{**}	195.52^{**}	341037.8^{**}
Error	68	0.16	25.80	1.83	1.39	4.33	4.64	9.49	37354.7
CV (%)		10.06	6.32	18.31	4.22	12.52	9.02	2.20	6.14

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



شکل ۱- بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT) برای ۱۸ ژنوتیپ برنج (۱۴ لاین موتانت و ۴ رقم) بر اساس ۱۴ صفت در شرایط آبیاری کامل.

Figure 1. The genotype by trait (GT) biplot of 18 genotypes (14 mutant lines and 4 cultivars) for 14 traits under irrigated conditions. The traits abbreviations are including: FLL, flag leaf length; FLW, flag leaf width; GLW, grain length to width ratio; GL, grain length; GW, grain width; NFG, number of filled grains; NUFG, number of unfilled grains; FP, grain fertility percentage; EL, panicle exsertion; IL, internode length; PL, panicle length; PH, plant height; TN, number of tillers; GY, grain yield and the genotypes number are 1, TM6-230-VE-7-5-1; 2, TM6-230-VE-8-4-1; 3, TM6-250-10-7-1; 4, TM6-B-2-1-E; 5, TM6-B-7-1; 6, TM6-B-19-2; 7, HM5-250-E-1-1; 8, HM5-250-E-3-2; 9, HM5-250-7-1; 10, HM5-250-7-6; 11, HM5-300-E-1; 12, HM5-300-3-1; 13, HM5-300-5-1; 14, KM5-200-4-2-E; 15, Khazar; 16, Hashemi; 17, Tarom; 18, Gilaneh.

مقایسه میانگین‌ها، ارزیابی ژنوتیپ‌ها را بر اساس هر کدام از صفات به‌صورت جداگانه انجام می‌دهد، حال آنکه با استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ در صفت، ارزیابی بر اساس چندین صفت انجام می‌شود. ارزیابی بر اساس چند صفت به چهار دلیل جنبه مهمی در ارزیابی ارقام محسوب می‌شود: اول آنکه یک رقم ایده‌آل بایستی برخوردار از چندین ویژگی باشد، دوم اغلب اهداف اصلاحی شامل صفات پیچیده برخوردار از چندین جزء هستند، سوم هنگامی که صفت هدف متشکل از اجزای مختلف می‌باشد، ضروری است سودمندترین اجزا برای گزینش غیرمستقیم تعیین شوند و چهارم رقم به‌عنوان یک سیستم زنده مجموعه ساده‌ای از صفات مستقل نیست و اصلاح موثر به درک سیستم‌های بهبود رقم، از جمله درک اجزای اساسی سیستم و روابط متقابل میان آن‌ها نیاز دارد (Yan and Rajcan, 2002).

سطح برگ برنج که توسط طول و عرض برگ تعیین می‌شود، در تولید عملکرد دانه سهیم است و به‌عنوان ارگان اصلی تولید کربوهیدرات می‌باشد (Samonte *et al.*, 2013). در بخش دوم که ژنوتیپ ۱۸ در رأس آن قرار داشت و هیچ ژنوتیپ دیگری هم در آن واقع نشده بود، هیچکدام از صفات قرار نداشتند که نشان‌دهنده عدم برتری این ژنوتیپ از نظر صفات مورد مطالعه بود. در بخش سوم که ژنوتیپ ۳ در رأس آن قرار داشت و ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۲، ۱، ۱۲، ۶ و ۷ نیز در این بخش قرار گرفته بودند، صفات مهمی چون عملکرد دانه، طول و عرض دانه، طول خروج خوشه از غلاف، تعداد دانه پر در خوشه و تعداد پنجه در بوته قرار داشتند. با توجه به همبستگی مثبت این صفات با عملکرد دانه، این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و صفات مؤثر بر آن در شرایط آبیاری کامل توصیه شوند و برای معرفی رقم یا به‌عنوان والد برای تولید ارقام جدید و نیز ایجاد جوامع جدیدی که از نظر این صفات دارای پایداری و ثبات هستند، استفاده شوند. در بخش چهارم که از نظر ارتفاع بوته برتری داشت، ژنوتیپ ۱۳ در رأس و ژنوتیپ ۱۰ درون آن قرار داشت. ارتفاع بوته به عنوان یک صفت مهم در گیاهان است، زیرا پابلندی گیاهان در مرحله رویشی یک مزیت رقابتی در مقابل علف‌های هرز است (Caton *et al.*, 2003; Ekeleme *et al.*, 2009). علا و همکاران (Ala *et al.*, 2014) نشان دادند که ارتفاع اولیه گیاه یک صفت مهم در رقابت با علف‌های هرز برنج در مراحل اولیه رشد بود. با این‌حال گیاهان پابلند تمایل به ورس دارند، در حالی‌که ارقام نیمه‌پاکوتاه را می‌توان در

تراکم بالاتر کاشت (Samonte *et al.*, 2013). در بخش پنجم، صفت طول میانگره و در رأس آن ژنوتیپ ۱۱ قرار داشت. بخش ششم، شامل ژنوتیپ ۱۵ در رأس و ژنوتیپ ۱۷ در مجاورت آن بود و از نظر طول خوشه حائز اهمیت بود. در بخش آخر که ژنوتیپ ۱۶ در رأس آن قرار داشت، هیچ صفت و ژنوتیپ دیگری قرار نگرفت (شکل ۱).

در زمینه تجزیه ژنوتیپ در صفت، رقم ایده‌آل رقمی است که چندین صفت مطلوب در زمینه ژنتیکی خود دارد و دارای بیش‌ترین میانگین صفات مورد مطالعه است (Badu-Apraku and Akinwale, 2011). چنین رقم ایده‌آل یا نزدیک به ایده‌آلی می‌تواند به‌عنوان یک رقم شاهد در آزمایش‌های بعدی استفاده شود که در آن مجموعه‌ای از صفات اندازه‌گیری خواهند شد. بر اساس این نمای بای‌پلات، نمود صفات مهم واقع در سمت راست (عملکرد دانه، طول و عرض دانه، طول خروج خوشه از غلاف، تعداد دانه پز در خوشه، تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته و طول خوشه) در ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ پایین‌تر از متوسط و در سایر ژنوتیپ‌ها بالاتر از متوسط بود. بهترین رقم که با دارا بودن بالاترین میانگین کارایی در بین کل صفات، رقم نزدیک به ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشد و توسط دایره و فلش اشاره‌کننده به آن نشان داده می‌شود (Yan and Kang, 2003) شامل ژنوتیپ ۴ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۵ و ۲ بودند. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی و یا در برنامه‌های اصلاحی استفاده شوند. ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۶ ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر متوسط نمود تمام صفات مورفولوژیک در شرایط آبیاری کامل بودند (شکل ۱).

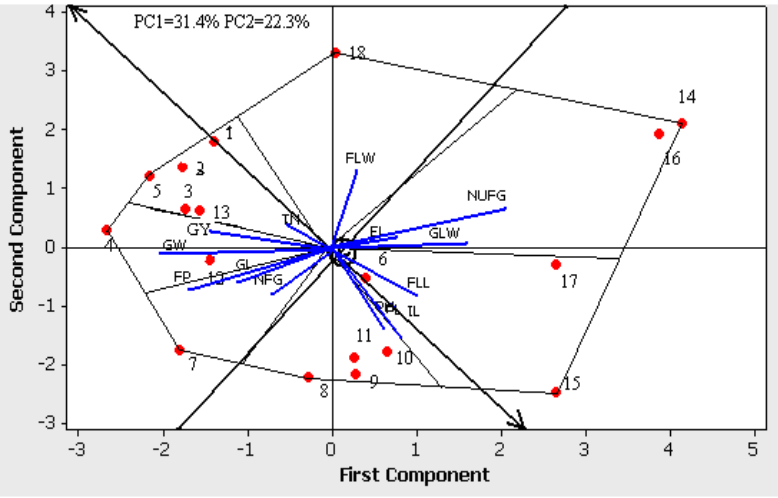
نمودار بای‌پلات داده‌های حاصل از شرایط تنش خشکی نشان داد که صفات طول و عرض دانه، درصد باروری دانه، تعداد پنجه و تعداد دانه‌های پر دارای همبستگی مثبت (r=cos0°=+1) با عملکرد دانه بودند. در این نمای از بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۳۱/۴ و ۲۲/۳ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. همچنین صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد دانه پوک، طول و عرض برگ پرچم، طول خوشه، طول میانگره، طول خروج حوشه از غلاف و نسبت طول به عرض دانه دارای همبستگی منفی (r=cos180° = -1) با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی بودند (شکل ۲). همبستگی ساده بین صفات مؤید روابط مشاهده شده با استفاده از این نمودار است، به‌طوریکه در شرایط آبیاری نرمال، عملکرد دانه با صفات طول دانه (۰/۰۶)، عرض دانه (۰/۵۲)، درصد باروری دانه (۰/۲۸) و تعداد پنجه (۰/۳۲) همبستگی مثبت داشت (جدول ارائه نشده است). بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌هایی با ارتفاع بوته کوتاه، تعداد دانه‌های پوک کمتر و مقادیر کمتر طول خوشه و طول میانگره می‌تواند به حفظ پتانسیل عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی کمک کند. همچنین استفاده از این صفات می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌کارهای مقابله با تنش خشکی در نظر گرفته شوند. در تطابق با این نتیجه، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و صفات تعداد دانه در خوشه و درصد باروری خوشه‌چه با عملکرد دانه در بوته (Haider *et al.*, 2012) و همبستگی منفی و معنی‌دار عملکرد دانه در بوته با ارتفاع بوته (Haider *et al.*, 2013) در شرایط تنش خشکی گزارش شده است.

در شرایط تنش خشکی نیز نمودار بای‌پلات بر اساس نمای چندضلعی به هفت بخش تقسیم شد که ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۱۸، ۱۴، ۱۵، ۸ و ۷ در رأس چندضلعی و دورترین فاصله از مبدأ بای‌پلات قرار داشتند (شکل ۲). در رأس بخش اول که شامل صفات طول و عرض دانه، درصد باروری دانه و عملکرد دانه بود، ژنوتیپ ۴ و درون آن ژنوتیپ ۱۲ قرار داشت. بنابراین دو ژنوتیپ ۴ و ۱۲ از نظر این صفات دارای ارجحیت بودند. در بخش دوم که ژنوتیپ ۵ در رأس و ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۱۳ و ۱ در درون آن قرار داشتند، صفت تعداد پنجه واقع بود. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های این‌دو بخش در ناحیه‌ای واقع شده‌اند که معرف بیش‌تر بودن عملکرد دانه و نیز صفات دارای همبستگی مثبت با عملکرد دانه بودند، این ژنوتیپ‌ها می‌توانند در زمینه تولید ارقام مقاوم به خشکی از طریق فرآیندهای انتخاب استفاده شوند.

از قدرت پنجه‌زنی به‌عنوان صفتی موثر در افزایش توانایی رقابتی یاد شده است. در این راستا اظهار شده است که رشد زیادتر ممکن است از طریق افزایش سطح برگ و در نتیجه تولید مقدار مواد فتوسنتری بیشتر، پتانسیل تولید پنجه را افزایش دهد. از طرفی در اثر پنجه‌زنی زیادتر ممکن است سطح برگ افزایش یافته و این امر منجر به رشد بیشتر شود (Caton *et al.*, 2003). همچنین تعداد پنجه زیاد نشان‌دهنده میزان تولید گره بالا (Samonte *et al.*, 2006) است که یکی از صفات فنوتیپی اولیه توصیه‌شده در ارقام پرمحصول در شرایط محدودیت آب است (Samonte *et al.*, 2011). بخش سوم، شامل ژنوتیپ ۱۸ در رأس و صفت عرض برگ پرچم درون آن بود. در بخش چهارم، ژنوتیپ ۱۴ در رأس و ژنوتیپ ۱۶ در مجاورت آن قرار داشت. در این بخش نیز صفات طول خروج خوشه از غلاف،

نسبت طول به عرض برگ پرچم و تعداد دانه پوک در خوشه قرار داشتند. در بخش پنجم، ژنوتیپ ۱۵در رأس قرار داشت و صفات واقع‌شده در این بخش شامل طول برگ پرچم، ارتفاع بوته، طول خوشه و طول میانگره بود. ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۶ نیز در این بخش قرار داشتند. بخش ششم، شامل ژنوتیپ ۸ در رأس آن و ژنوتیپ‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ درون آن بودند و هیچ‌کدام از صفات در این بخش واقع نبودند. بخش آخر نیز فقط شامل ژنوتیپ ۷ و صفت تعداد دانه پر در خوشه بود.

با توجه به نمای نمودار محور تستر متوسط (Average tester coordinate, ATC)، در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های ۱، ۵، ۴، ۲، ۳، ۱۳، ۱۲، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ دارای نمود بالاتر از متوسط برای صفات طول و عرض دانه، درصد باروری دانه، تعداد پنجه و عملکرد دانه بودند، در حالی‌که سایر ژنوتیپ‌ها دارای نمود کمتر از متوسط برای این صفات بودند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۵ از نظر نمود عملکرد و صفات فوق ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در طرف مقابل، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ دارای مقادیر بیشتر از متوسط برای ارتفاع بوته، تعداد دانه پوک، طول و عرض برگ پرچم، طول خوشه، طول میانگره، طول خروج حوشه از غلاف و نسبت طول به عرض دانه بودند (شکل ۲). ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ با توجه به دارا بودن بیشترین میزان صفات طول و عرض دانه، درصد باروری دانه، عملکرد دانه و تعداد پنجه و همچنین نمود بیشتر از متوسط برای صفات فوق می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی استفاده شوند. همچنین ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ در شرایط تنش خشکی دارای کمترین نمود عملکرد و صفات دارای همبستگی مثبت با آن بودند و ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند و می‌توانند به‌عنوان شاهدهای مستعد برای ارزیابی ارقام حساس به تنش خشکی انتهای فصل مورد استفاده قرار گیرند. به نظر می‌رسد که از دلایل کاهش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۸ مقدار پایین طول خروج خوشه از غلاف و در ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۶ مقدار زیاد دانه‌های پوک در خوشه در شرایط تنش خشکی باشد. در این راستا اظهار شده است که یکی از مهمترین دلایل اثرات خشکی، ممانعت از رشد طولی بالاترین میانگره یعنی دمگل است که منجر به باقی ماندن خوشه درون غلاف برگ پرچم و از دست رفتن محصول می‌شود (Caton *et al.*, 2003). به این ترتیب، اگر تنش خشکی طی دوره رشد دمگل به وقوع بپیوندد، بسته به شدت تنش، فرآیند خروج خوشه کند شده یا متوقف می‌گردد. با آبیاری مجدد ممکن است دمگل رشد طولی خود را از سر بگیرد، اما معمولاً به طول نهایی لازم نرسیده و بخش عمده‌ای از خوشه درون غلاف برگ پرچم باقی می‌ماند.



شکل ۲- بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT) برای ۱۸ژنوتیپ برنج (۱۴ لاین موتانت و ۴ رقم) بر اساس ۱۴ صفت تحت شرایط تنش خشکی. علایم صفات و کد ژنوتیپ‌ها در شکل ۱ ارایه شده‌اند.

Figure 2. The genotype by trait (GT) biplot of 18 genotypes (14 mutant lines, 4 cultivars) for 14 traits under drought stress conditions. The traits symbols and genotypes number are similar to Figure 1.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای بررسی بیش‌تر روابط بین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی انجام گرفت. نتایج نشان داد که مولفه اصلی اول ۸۲/۸ درصد و مولفه اصلی دوم ۱۷ درصد و دو مولفه در مجموع ۹۹/۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند بنابراین، استفاده از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها برای تفسیر نتایج کارایی بالایی دارد و تنها موجب از دست رفتن بخش بسیار ناچیزی از تغییرات می‌شود. مولفه اصلی اول دارای ضرایب منفی برای شاخص‌های SSI و TOL و ضرایب مثبت برای عملکرد در شرایط آبیاری کامل و تنش و شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI و HarM بود (جدول ۲). با توجه به مقادیر مثبت این ضرایب در مولفه اصلی اول، انتخاب بر اساس این مولفه می‌تواند موجب گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش شود. بنابراین، این مولفه را می‌توان به‌عنوان پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی نام نهاد. در مقابل، مولفه اصلی دوم، ارتباط مثبت با شاخص‌های SSI و TOL و منفی با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی داشت. از آنجایی که مقادیر بیش‌تر شاخص‌های SSI و TOL نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ به تنش است، می‌توان این مولفه را به‌عنوان عامل حساسیت به خشکی نام‌گذاری کرد و بنابراین انتخاب بر اساس این مولفه سبب گزینش و جداسازی ژنوتیپ‌هایی با تحمل پایین و حساسیت بالا به خشکی می‌شود، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های دارای مقدار کم‌تر این مولفه، مقادیر کم‌تر SSI و TOL و بیش‌تر عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی خواهند داشت. غیاثی اسکویی و همکاران (Ghiasy Oskoee *et al.*, 2013) و عرفانی و همکاران (Erfani *et al.*, 2012) نیز بر اساس مولفه اصلی دوم که مرتبط با حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بود، ژنوتیپ‌های حساس را شناسایی کردند.

بررسی زوایای بین خطوط مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی در نمودار بای‌پلات نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HarM، STI، YI و YSI دارای همبستگی مثبت ($r = cos0° = +1$) با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال بودند. حال‌آنکه عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با شاخص TOL فاقد همبستگی ($r = cos90° = 0$) و با شاخص SSI دارای همبستگی منفی ($r = cos180° = -1$) بود. عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دارای همبستگی منفی با شاخص‌های TOL و SSI بود (شکل ۳). از آنجا که شاخص‌های دارای همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو شرایط، برای جداکردن و شناسایی ژنوتیپ های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط مناسب می‌باشند (Fernandez, 1992)، بنابراین MP، GMP، HarM، STI و YI را می‌توان برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده نمود. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر صفایی چایکار و همکاران (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008) نیز همبستگی منفی بین دو شاخص TOL و SSI و عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی گزارش نمودند. این بدان مفهوم است که در صورت گزینش بر اساس هر یک از این شاخص‌ها، به‌طور غیرمستقیم ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر انتخاب خواهند شد. همچنین در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، عرفانی و همکاران (Erfani *et al.*, 2012) با استفاده از نمودار بای‌پلات نشان دادند که شاخص SSI، همبستگی منفی و بالا با عملکرد دانه برنج در شرایط تنش خشکی داشت. ایشان همچنین نشان دادند که شاخص‌های MP، GMP، HarM و STI با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی همبستگی مثبت داشتند.

جدول ۲- مقادیر و بردارهای ویژه حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی

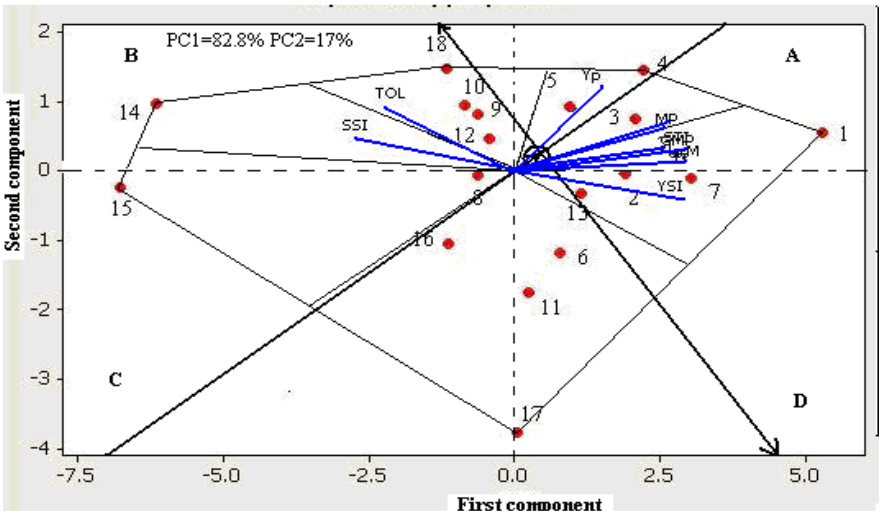
Table 2. Eigen values and vectors from principal component analysis using drought resistance indices

Principal component	Variance (%)	Eigen value	HarM	YSI	YI	STI	GMP	TOL	MP	SSI	Ys	Yp
1	82.8	8.27	0.35	0.33	0.35	0.34	0.34	-0.25	0.32	-0.32	0.34	0.16
2	17	1.69	0.04	-0.26	-0.02	0.15	0.13	0.52	0.31	0.26	0.02	0.68

Drought resistance indices are including: HarM, harmonic mean; YSI, yield stability index; YI, yield index; STI, stress tolerance index; GMP, geometric mean productivity; TOL, tolerance; MP, mean productivity; SSI, stress susceptibility index; Ys, yield in steress condition; Yp, yield in normal condition.

نمودار بای‌پلات بر اساس نمای چندضلعی مربوط به شاخص‌های تحمل به شش بخش تقسیم شد (شکل ۳). در رأس بخش اول ژنوتیپ ۱۷ و درون آن ژنوتیپ‌های ۶، ۱۱ و ۱۶ آن قرار داشتند. ژنوتیپ ۱۵ در رأس و ژنوتیپ ۸ درون بخش دوم قرار داشت. هیچ‌کدام از شاخص‌ها در این دو بخش واقع نشدند. در بخش سوم ژنوتیپ ۱۴ در رأس قرار داشت و شامل شاخص SSI بود. بخش چهارم شامل ژنوتیپ ۱۸ در رأس و ژنوتیپ‌های ۹، ۱۰ و ۱۲ در درون و شاخص TOL بود. با توجه به اینکه شاخص‌های SSI و TOL بیانگر حساسیت و ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالای این شاخص‌ها حساس به تنش هستند، بنابراین ژنوتیپ‌های ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۸ ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند که عملکرد این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کم‌تر از متوسط عملکرد همه ژنوتیپ‌ها بود. بخش پنجم شامل ژنوتیپ ۴ در رأس و ژنوتیپ‌های ۳ و ۵ در درون به‌همراه عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و شاخص MP بود. بخش ششم نیز شامل ژنوتیپ ۱ در رأس و ژنوتیپ‌های ۲، ۷ و ۱۳ در داخل و شاخص‌های GMP، HarM، STI، YI و YSI و عملکرد دانه در شرایط تنش بود. با توجه به قرار گرفتن تمام شاخص‌های تحمل به تنش در این دو بخش، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۱۳ را می‌توان جزء ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نام برد (شکل ۳).

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها نیز بر اساس دو مولفه اول انجام و ژنوتیپ‌ها در چهار ناحیه تقسیم شدند (شکل ۳). در ناحیه A که دارای ضرایب مثبت برای عملکرد دانه در هر دو شرایط و شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI و HarM در هر دو مولفه اول و دوم بود، ناحیه با عملکرد بالا و متحمل به خشکی بود و در آن ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ قرار گرفتند. در نقطه مقابل این ناحیه (ناحیه C) ژنوتیپ‌هایی با عملکرد کم و حساسیت بالا به تنش خشکی و شامل ژنوتیپ‌های ۸، ۱۵ و ۱۶ بود. این نحوه توزیع ژنوتیپ‌ها، بیان‌کننده تنوع ژنتیکی لاین‌های مورد بررسی نسبت به شرایط تنش خشکی نیز می‌باشد. در مجموع، ژنوتیپ‌های واقع در انتهای سمت راست با بیش‌ترین مقادیر مولفه اصلی اول (ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲) دارای بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در شرایط خشکی و بیش‌ترین تحمل به تنش خشکی بودند و در بین آن‌ها ژنوتیپ شماره ۱ متحمل‌ترین ژنوتیپ بود. این لاین سازگاری بیش‌تری با شرایط محیطی داشت و عملکرد مناسبی در هر دو محیط تنش و بدون تنش تولید کرد. این نتایج در تطابق با نتایج حاصل از بای‌پلات ژنوتیپ در صفت در شرایط تنش خشکی (شکل ۲) بود که در آن، لاین‌های موتانت ۱، ۲، ۳ و ۴ دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و متحمل به تنش خشکی بودند. در مقابل، ژنوتیپ‌های واقع در انتهای سمت چپ (ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۵) کم‌ترین عملکرد دانه در شرایط تنش و بیش‌ترین حساسیت را به خشکی داشتند.



شکل ۳- بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT) برای ۱۸ ژنوتیپ برنج (۱۴ لاین موتانت و ۴ رقم) بر اساس ۱۰ شاخص تحمل و حساسیت به تنش. علایم شاخص‌ها مشابه جدول ۱ و کد ژنوتیپ‌ها مشابه جدول ۱ می‌باشند.

Figure 3. The genotype by trait (GT) biplot of 18 genotypes (14 mutant lines, 4 cultivars) for 10 tolerance and susceptibility indices. The traits symbols and genotypes number are similar to Figure 1.

انتخاب والدین در برنامه‌های تلاقی جهت اصلاح و معرفی رقم بسیار حائز اهمیت است و یکی از مهم‌ترین تصمیم‌ها برای هر اصلاح‌گر می‌باشد (Fehr, 1987). منبع ژرم‌پلاسم یک بخشی از این تصمیم است. زمانی‌که ایجاد نسل برای تنوع جدید از نظر صفت خاصی از اهمیت برخوردار باشد، شناسایی و تلاقی والدین واقع در دو انتهای (طرفین مخالف) صفات مورد بررسی لازم است. تنوع زیاد حاصل در نسل F_2 این تلاقی‌ها می‌تواند منجر به ایجاد ژنوتیپ هدف با ترکیبات صفات موردنظر شود (Samonte *et al.*, 2013). با این حال، اگر تنوع کمتر برای صفات مورد نیاز باشد و یا اگر هدف حفظ مقادیر صفات باشد، والدین با صفات فنوتیپی مشابه مانند ارقام تجاری مطلوب می‌باشند (McCouch, 2004). یکی از راه‌کارهای ایجاد تنوع ژنتیکی برای مقاومت به خشکی، استفاده از موتاسیون و در نتیجه ارزیابی لاین‌های موتانت از نظر مقاومت به خشکی است (Majd and Ardakani, 2004). در مجموع با توجه به صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی (شکل ۲) و شاخص‌های مقاومت به تنش (شکل ۳)، ارقام والدینی هاشمی، خزر و طارم و رقم اصلاح‌شده گیلانه حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند، در حالی‌که لاین‌های موتانت حاصل از آن‌ها درجات مختلفی از تحمل به خشکی را نشان دادند. بر این اساس، لاین‌های شماره ۱ (TM6-230-VE-7-5-1)، ۲ (TM6-230-VE-8-4-1)، ۳ (TM6-250-10-7-1)، ۴ (TM6-B-2-1-E) و ۷ (HM5-250-E-1-1) متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند و عملکرد آن‌ها تحت شرایط تنش خشکی به‌ترتیب برابر با ۲۷۸۸/۳۳، ۲۱۶۳/۰۰، ۲۱۷۸/۳۳، ۲۱۹۴/۰۰ و ۲۳۷۵/۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با متوسط عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی (۱۸۱۶/۸۳ کیلوگرم در هکتار) بیش‌تر بود. در مقابل، لاین‌های شماره ۸ (HM5-250-E-3-2) و ۱۴ (KM5-200-4-2-E) حساس به خشکی بودند. در تطابق با نتایج تحقیق حاضر، پناه‌آبادی و همکاران (Panahabadi *et al.*, 2016) نیز نشان دادند که لاین موتانت MT149 نسبت به رقم والدی خود (ندا) از نظر تمام صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی برتری داشت.

نمره تحمل به تنش (STS) برای دستیابی به یک نتیجه‌گیری کلی نیز نشان داد که لاین‌های شماره ۱ (TM6-230-VE-7-5-1)، ۷ (HM5-250-E-1-1)، ۲ (TM6-230-VE-8-4-1)، ۳ (TM6-250-10-7-1) و ۴ (TM6-B-2-1-E) متحمل‌ترین ژنوتیپ ها به تنش خشکی بودند. همچنین حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ این نمره ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۸، ۱۰ و ۹ بودند. این یافته‌ها در تطابق کامل با نتایج حاصل از تجزیه‌های بای‌پلات (شکل‌های ۲ و ۳) بود.

جدول ۳- نمره تحمل به تنش (STS) و رتبه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 3. Stimated characteristics for stress tolerance score (STS)

Genotype	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
STS	14.61	5.50	5.19	4.97	1.78	3.37	8.80	-1.73	-2.56	-3.40	2.36	-1.71	3.56	-18.5	-19.0	-2.19	3.71	-4.76
Rank	1	3	4	5	10	8	2	12	14	15	9	11	7	17	18	13	6	16

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تحت شرایط آبیاری کامل، ژنوتیپ ۴ (TM6-B-2-1-E) بر اساس نمود کلی صفات عملکرد دانه، طول و عرض دانه، طول خروج خوشه از غلاف، تعداد دانه پر در خوشه، تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته و طول خوشه برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۲، ۱، ۱۲، ۶ و ۷ نیز برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند، زیرا برای صفات عملکرد دانه، طول و عرض دانه، طول خروج خوشه از غلاف، تعداد دانه پر در خوشه و تعداد پنجه در بوته دارای مقادیر بالایی بودند. در شرایط تنش خشکی، لاین‌های ۴ (TM6-B-2-1-E) و ۱۲ (HM5-300-3-1) از نظر صفات عرض دانه (به‌ترتیب ۲/۶۷ و ۲/۵۳ میلی‌متر)، باروری دانه (به‌ترتیب ۸۴ و ۸۲/۳۷ درصد) و عملکرد دانه (به‌ترتیب ۲۱۹۴ و ۲۰۲۴ کیلوگرم در هکتار) برتر بودند. ژنوتیپ‌های ۵ (TM6-B-7-1)، ۲ (TM6-230-VE-8-4-1)، ۳ (TM6-250-10-7-1)، ۱۳ (HM5-300-5-1) و ۱ (TM6-230-VE-7-5-1) به‌عنوان بهترین موتانت‌ها از نظر پتانسیل تولید پنجه بودند که همبستگی زیادی با عملکرد دانه داشت. ژنوتیپ شماره ۷ (HM5-250-E-1-1) نیز بهترین موتانت از نظر تعداد دانه پر در خوشه بود. بر اساس نمود کلی صفات طول و عرض دانه، درصد باروری دانه، تعداد پنجه و عملکرد دانه در

شـرایط خشـکی، لاین‌های ۱ (TM6-230-VE-7-5-1)، ۵ (TM6-B-7-1)، ۴ (TM6-B-2-1-E)، ۲ (TM6-230-VE-8-4-1)، ۳ (TM6-250-10-7-1) و ۱۳ (HM5-300-5-1) ژنوتیپ‌های برتر و ژنوتیپ‌های ۱۴ (KM5-200-4-2-E) و ۱۵ (خزر) ضـعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. برای شـاخص‌های مقاومت به تنش، ژنوتیپ‌های ۱۴ (KM5-200-4-2-E)، ۱۵ (خـزر)، ۱۶ (هـاشـمـی)، ۱۷ (طـارم) و ۱۸ (گیلانـه) حسـاس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی و لاین‌های شماره ۱ (TM6-230-VE-7-5-1)، ۷ (HM5-250-E-1-1)، ۴ (TM6-B-2-1-E)، ۳ (TM6-250-10-7-1) و ۲ (TM6-230-VE-8-4-1) متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشـکی بودنـد. در مجموع ژنوتیـپ‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ با دارا بودن صـفات مطلوب و شاخص‌های مقاومت به تنش و نیز تولید عملکرد مناسب و قابل قبول در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (که موید حفظ پتانسیل عملکرد آن در شرایط تنش است)، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر این تحقیق شناخته شدند. با توجه به نمره تحمل به تنش (STS) نیز این ژنوتیپ‌ها از STS بالاتری نسـبت به سـایرین برخوردار بودند و با داشـتن میانگین عملکرد مناسب در شرایط تنش خشکی به‌عنوان ارقام متحمل به‌خشـکی معرفی شـدند. به این ترتیـب، این لاین‌هـا علاوه بر اسـتفـاده بـه‌عنوان والدین تلاقی‌هـا، برای ایجاد جمعیت‌های متحمل به خشـکی در پروسـه‌های معرفی ارقام متحمل به خشـکی نیز می‌توانند اسـتفاده شوند. علاوه بر آن، نتایج این تحقیق نشان داد که روش موتاسـیون به نحو چشـم‌گیری توانسـت تحمل به خشـکی را در نتاج ارقامی افزایش دهد که خود حساس به خشکی بودند و از این‌رو، استفاده از روش موتاسیون جهت ایجاد لاین‌های متحمل به خشـکی در پروژه‌های اصـلاحی ارقام مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی استفاده نمود.

References

Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S. and Mohamadi-Nejad, G. 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) using different multivariate methods. **Archive of Agronomy and Soil Science** 59: 685-704.

Afiukwa, C. A., Faluyi, J. O., Atkinson, C. J., Ubi, B. E., Igwe, D. O. and Akinwale, R. O. 2016. Screening of some rice varieties and landraces cultivated in Nigeria for drought tolerance based on phenotypic traits and their association with SSR polymorphisms. **African Journal of Agricultural Research** 11 (29): 2599-2615.

Akcura, M. 2011. The relationships of some traits in Turkish winter bread wheat landraces. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 35: 115-125.

Ala, A., Agha-Alikhani, M., Amiri Larijani, B. and Soufizadeh, S. 2014. Comparison between direct-seeding and transplanting of rice in Mazandaran province: Weed competition, yield and yield components. **Iranian Journal of Field Crops Research** 12 (3): 463-475.

Aminpanah, H. and Sharifi, P. 2013. Path analysis of rice (*Oryza sativa* L.) grain yield and its related components in competition with barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv). **Journal of Crop Production and Proccessing** 3: 105-121. (In Persian with English Abstract).

Atnaf, M., Tesfaye, K., Dagne, K. and Wegary, D. 2017. Genotype by trait biplot analysis to study associations and profiles of Ethiopian white lupin (*Lupinus albus* L.) landraces. **Australian Journal of Crop Science** 11 (1):55-62.

Badu-Apraku, B. and Akinwale, R. O. 2011. Cultivar evaluation and trait analysis of tropical early maturing maize under striga-infested and striga-free environments. **Field Crops Research** 121: 186-194.

Balouchzaehi, A. B. and Kiani, G. 2013. Determination of selection criteria for yield improvement in rice through path analysis. **Journal of Crop Breeding** 5 (12): 75-84. (In Persian with English Abstract).

Barnabás, B., Jäger, K., and Fehér, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. **Plant, Cell and Environment** 31 (1): 11-38.

Beikzadeh, H., Alavi Siney, S. M., Bayat, M. and Ezady, A. A. 2015. Estimation of genetic parameters of effective agronomical traits on yield in some of Iranian rice cultivar. **Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)** 104: 73-78. (In Persian with English Abstract).

Bouslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science** 24: 933-937.

Blum, A. and Sullivan, C. Y. 1986. The comparative drought resistance of sorgum and millet from humid and dry regions. **Annals of Botany** 57: 835-846.

Caton, B. P., Cope, A. E. and Mortimer, M. 2003. Growth traits of diverse rice cultivars under severe competition: implications for screening for competitiveness. **Field Crops Research** 83: 157-172.

Ekeleme, F., Kamara, A. Y., Oikeh S. O., Omoigui L. O., Amaza, P., Abdoulaye, T. and Chikoye, D. 2009. Response of upland rice cultivars to weed competition in the savannas of west Africa. **Crop Protection** 28 (1): 90-96.

Erfani, F., Shokrpour, M., Momeni, A. and Erfani, A. 2012. Evaluation of drought tolerance in rice varieties using yield-based indices at vegetative and reproductive stage. **Sustainable Agriculture and Production Science** 23 (4): 136-147. (In Persian with English Abstract).

Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development: Theory and technique. Macmillan Publishing Company, Macmillan, Inc. New York. 536 p.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (Ed.). Adaptation of food crops to temperature and water stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC Publications, Tainan, Shanhua, Taiwan. pp: 257-270.

Fischer, R. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Crop and Pasture Science** 29: 897-912.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L. and Brghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science** 77 (4): 523-531.

Ghiasy Oskoee, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H. and Mohammadinejad, G. 2013. Evaluation of rice cultivars in drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices. **Electronic Journal of Crop Poduction** 6 (4): 55-75. (In Persian with English Abstract).

Gohari, M., Khayat, M. and Lack, S. 2010. Correlation and path analysis in some of important agronomic traits on grain yield of rice cultivars. **New Finding in Agriculture** 4 (3): 261-269. (In Persian with English Abstract).

Geravandi, M., Farshadfar, E. and Kahrizi, D. 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. **Russian Journal of Plant Physiology** 58 (1): 69-75.

Guimarães, C. M., Stone, L. F., Lorieux, M., Oliveira, J. P., Alencar, G. C. O. and Dias, R. A. A. 2010. Infrared thermometry for drought phenotyping of inter and intra specific upland rice lines. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambienta** l4 (2): 148-154.

Haider, Z., Razaq, A., Mehboob, A., ur Rehman, S., Iqbal, A., Hussain, A., Saeed, U., Naveed, M. T., Zia, S., Mahmood, Z. and Mehmood, K. 2013. Comparison of associations among yield and yield components in rice (*Oryzae sativa* L.) under simulated drought stress condition using multivariate statistics. **International Journal of Scientific and Engineering Research** 4 (8): 329-340.

Haider, Z., Khan, A. S. and Zia, S. 2012. Correlation and path coefficient analysis of yield components in rice (*Oryza sativa* L.) under simulated drought stress condition. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science** 12 (1): 100-104.

Karim Koshteh, R. and Sabouri, H. 2015. Rice drought-tolerant genotypes recognition using multivariate analysis. **Agroecology Journal** 11 (4): 13-24. (In Persian with English Abstract).

Malekshahi, F., Dehghani, H. and Alizade, B. 2012. Biplot trait analysis of some of canola (*Brassica napus* L.) genotypes in irrigation and drought stress conditions. **Plant Production Journal** 35 (3): 1-16. (In Persian with English Abstract).

Majd, F. and Ardakani, M. R. 2004. Nuclear techniques in agriculture sciences. Tehran University Press, Tehran, Iran. 381 p. (In Persian).

McCouch, S. 2004. Diversifying selection in plant breeding. **Plos Biology** 2 (10): 1507-1512.

Muthuramu, S., Jebaraj, S. and Gnanasekaran, M. 2011. AMMI biplot analysis for drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). **Research Journal of Agricultural Sciences** 2 (1): 98-100.

Oladejo, A. S., Akinwale, R. O. and Obisesan, I. O. 2011. Interrelationships between grain yield and other physiological traits of cowpea cultivars. **African Crop Science Journal** 19 (3): 189-200.

Panahabadi, R., Ahmadikhah, A. and Askari, H. 2016. The effects of drought stress on morpho-physiological characters and expression of *OsCat A* in rice seedling. **Journal of Agricultural Biotecnology** 8 (2): 1-16. (In Persian with English Abstract).

Rahim Souroush, H., Mesbah, M. and Hosseinzadeh, A. 2005. Studying the relationships among yield and yield component traits in rice. **Iranian Journal of Agriculture Sciences** 35 (4): 983-993. (In Persian with English Abstract).

Rahimi, M., Dehghani, H., Rabiei, B. and Tarang, A. R. 2013. Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences** 5 (3): 194-199.

Ravindra Babu, V., Shreya, K., Dangi, K. S., Usharani, G. and Shankar, A. S. 2012. Correlation and path analysis studies in popular rice hybrids of India. **International Journal of Scientific and Research Publications** 2 (3): 1-5.

Rosielle, A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science** 21: 943-946.

Sabaghnia, N., Farhad, B. and Janmohammadi, M. 2015. Graphic analysis of trait relations of spinach (*Spinacia oleracea* L.) landraces using the biplot method. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis** 63 (4): 1187-1194.

Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H. and Esfahani, M. 2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences** 9 (4): 315-331. (In Persian with English Abstract).

Safari Dolatabad, S., Choukan, R., Hervan, E. M. and Dehghani, H. 2010. Multienvironment analysis of traits relation and hybrids comparison of maize based on the genotype by trait biplot. **American Journal of Agricultural and Biological Science** 5 (1): 107-113.

Samonte, S. O. P. B., Wilson, L. T., Tabien, R. E. and Medley, J. C. 2011. Evaluation of a rice plant type designed for high grain yield. ASA CSSA SSSA International Annual Meetings, San Antonio, Texas, USA. Available at http://a-c-s.confex.com/crops/2011am/flvgateway. cgi/id/11283?recordingid=11283.

Samonte, S. O.P.B., Wilson, L. T. and Tabien, R. E. 2006. Maximum node production rate and main culm node number contributions to yield and yield-related traits in rice. **Field Crops Research** 96 (2,3): 313-319.

Samonte, S. O. P. B., Tabien, R. E. and Wilson, L. T. 2013. Parental selection in rice cultivar improvement. **Rice Science** 20 (1): 45-51.

Sharifi P., Dehghani, H., Mumeni, A. and Moghaddam, M. 2013. Study genetic relations of some of rice agronomic traits with grain yield by some of multivariate analysis. **Iranian Journal of Field Crop Science** 44 (1): 169-179. (In Persian with English Abstract).

Venuprasad, R., Sta Cruz, M. T., Amante, M., Magbanua, R., Kumar, A. and 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.

Yan, W. and Kang, M. S. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Yan, W. and Frégeau-Reid, J. 2008. Breeding line selection based on multiple traits. **Crop Science** 48: 417-423.

Yan, W. and Frégeau-Reid, J. 2018. Genotype by yield×trait (GYT) biplot: A novel approach for genotype selection based on multiple traits. **Scientific Reports** 8 (1): 1-10.

Yan, W. and Rajcan, I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science** 42: 11-20.

Yan, W. and Tinker, N. A. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype × environment interaction. **Crop Science** 45: 1004-1016.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science** 40: 597-605.

doi: 10.22124/c.2018.10556.1402

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 8, No. 2, Summer 2018 (169-183)

Evaluation of rice genotypes based on yield and yield components under complete irrigation and drought stress conditions and drought tolerance indices using biplot analysis

Hashem Aminpanah[1], Peyman Sharifi[2*] and Ali Akbar Ebadi[3]

Received: May 5, 2018 Accepted: July 25, 2018

Abstract

To evaluate rice genotypes to drought stress and determine the effective traits on grain yield, 18 rice genotypes (14 M5 mutant lines and four drought sensitive cultivars) were studied in two separately experiments under normal irrigation and drought stress conditions in reproductive stage based on randomized complete block design with three replications at Rice Research Institute of Iran (RRII), Rasht, Iran, during 2014-2015 growing season. Genotype by trait (GT) biplot analysis indicated positive correlations between grain yield and tiller number, grain productivity and width of grains in normal irrigation condition and width and length of grains, number of tillers, grain productivity and number of filled grains in drought stress condition. Stress tolerance index (STI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP) and harmonic mean (HM) indices were as suitable indices to select the high-yielding genotypes under drought stress condition. Based on drought stress tolerance indices and overall performance of traits under drought condition, Khazar, Hashemi, Tarom and Gilaneh were as the most sensitive genotypes and mutant lines G1, G2, G3, G4 (derived from Tarom) and G7 (derived from Hashemi) with 2788.33, 2163.00, 2178.33, 2194.00 and 2375.00 kg.ha^{-1} grain yield in drought stress condition, were the tolerant genotypes. Stress tolerance score (STS) were also introduced the above genotypes as tolerant genotypes. Therefore, it is seems that use of mutations has been able to increase drought tolerance on the progenies. The above mutant lines in addition to use as parents in crosses, could also be used in the introduction of drought tolerant cultivars.

Keywords: Genotype by trait biplot, Mutation, Stress tolerance score, Yield index

1. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
3. Research Assist. Prof., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
* Corresponding author: peyman.sharifi@gmail.com