



## Assessing Grain Yield Stability of Rice Promising Lines using GGE-Biplot Analysis

Soheila Nikzadeh Talebi<sup>1</sup> | Babak Rabiei<sup>2</sup>✉

1. Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: [soheilanikzadeh@webmail.guilan.ac.ir](mailto:soheilanikzadeh@webmail.guilan.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: [rabiei@guilan.ac.ir](mailto:rabiei@guilan.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: April 14, 2024

Received in revised form:

June 16, 2024

Accepted: June 20, 2024

Published online: March 21, 2025

#### Keywords:

Adaptability,  
genotype×environment  
interaction,  
ideal genotype,  
maturity period,  
seed quality.

### ABSTRACT

One of the critical stages in plant breeding programs is the genotype-by-environment interaction and the selection of high-yielding and stable genotypes. In this research, 20 pure rice lines were evaluated in a randomized complete block design with three replications over three years (2020, 2021, and 2022) at the Rice Research Institute of country (Rasht) for identification of high-yielding and stable genotypes. The analysis of variance of the main effects of year, genotype, and genotype-by-year interaction showed significant differences at 1% probability level. The results of stability analysis using the GGE-biplot method showed that the first two components described a total of 97.43% of the variation in genotype and genotype-environment interaction, indicating the validity of the GGE-biplot method in explaining performance variations of genotypes. Based on the biplot polygon, lines 9, 19, 2, 6, 3, and 16 were identified as the most responsive lines. In the genotype-focused scaling diagram, line 9 was the closest to the genotype ideal line. The analysis of other characteristics of the studied lines revealed that lines 9, 10, and 13 exhibited shorter maturity time and plant height, along with a more moderate and desirable cooking quality compared to other lines; therefore, these three lines are recommended for further experimentation to introduce a new variety.

Cite this article: Nikzadeh Talebi, S., & Rabiei, B. (2025). Assessing grain yield stability of rice promising lines using GGE-biplot analysis. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56(1), 37-50. Doi: [10.22059/ijfcs.2024.375029.655075](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.375029.655075).



© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.375029.655075>



انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

## بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش برنج با استفاده از تجزیه و تحلیل GGE-biplot

سهیلا نیک‌زاده طالبی<sup>۱</sup> بابک ربیعی<sup>۲</sup> ✉

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: [soheilanikzadeh@webmail.guilan.ac.ir](mailto:soheilanikzadeh@webmail.guilan.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: [rabiei@guilan.ac.ir](mailto:rabiei@guilan.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۶</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱</p> <p><b>کلیدواژه‌ها:</b> برهمکنش ژنوتیپ × محیط، دوره رسیدگی، ژنوتیپ ایده‌آل، سازگاری، کیفیت دانه.</p>	<p>یکی از مراحل مهم در برنامه‌های به‌نژادی، بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و گزینش لاین‌های پرمحصول و پایدار است. در این پژوهش، ۲۰ لاین خالص برنج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سه سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۱ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) با هدف شناسایی لاین‌های پرمحصول و پایدار ارزیابی شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد برای اثرات اصلی سال، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در سال نشان داد. نتایج تجزیه پایداری به روش GGE-biplot نشان داد دو مولفه اصلی اول در مجموع ۹۷/۴۳ درصد از تغییرات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توصیف کردند که نشان‌دهنده معتبر بودن روش GGE-biplot در توجیه تغییرات عملکرد دانه لاین‌ها می‌باشد. لاین‌های ۹، ۱۹، ۲، ۶، ۳ و ۱۶ بر اساس نمودار چندضلعی به‌عنوان واکنش‌پذیرترین لاین‌ها بودند. در نمودار مقیاس-بندی متمرکز بر ژنوتیپ لاین ۹ نزدیک‌ترین لاین به ژنوتیپ ایده‌آل بود. بررسی سایر ویژگی‌های لاین‌های مورد مطالعه نشان داد که سه لاین ۹، ۱۰ و ۱۳ دارای زمان رسیدگی و ارتفاع بوته کم‌تر و کیفیت پخت متوسط و مطلوب‌تری نسبت به سایر لاین‌ها بودند؛ از این‌رو، سه لاین مذکور جهت اجرای آزمایش‌های بعدی به‌منظور معرفی رقم پیشنهاد می‌شوند.</p>

**استناد:** نیک‌زاده طالبی، س.، و ربیعی، ب. (۱۴۰۴). بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش برنج با استفاده از تجزیه و تحلیل

GGE-biplot. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۶(۱)، ۳۷-۵۰. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.375029.655075



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین منابع غذایی و غذای اصلی بیش از یک‌سوم جمعیت جهان است (Samal et al., 2018). این مسأله موجب شده است که برنج یکی از مهم‌ترین محصولات استراتژیک آسیا محسوب شود (Roy et al., 2013; Wijesingha et al., 2015). بر اساس گزارش FAO میانگین تولید برنج در ایران طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ در حدود ۳/۵ میلیون تن و در سال ۲۰۲۰، ۳/۹ میلیون تن بوده است (FAO, 2024). با توجه به رشد جمعیت دنیا و محدودیت منابع تولید، به‌ویژه زمین‌های مستعد کشت برنج، محققین برنج باید به‌دنبال استفاده از راهکارهای مناسب جهت افزایش تولید در واحد سطح باشند. تولید ارقام پرمحصول برنج که دارای پتانسیل عملکردی بالاتری هستند، پاسخی مناسب به تقاضای روزافزون این محصول و راهکاری مناسب برای بهبود امنیت غذایی در دنیا خواهد بود (Mohidem et al., 2022). یکی از مراحل مهم در برنامه‌های تولید و معرفی ارقام جدید پرمحصول، بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها و در نهایت گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار است. بدین منظور بایستی از طریق آزمایش‌های چندناحیه‌ای (MET) واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی مختلف ارزیابی و لاین‌های با عملکرد بالا و با نوسانات کم در محیط‌های مختلف شناسایی شوند.

الگوی تغییرات عملکرد دانه در گیاهان زراعی به صورت پیوسته و کمی بوده و علاوه بر کنترل ژنتیکی آن توسط چندین ژن با آثار کم (Minor genes)، شدیداً تحت تاثیر محیط قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت تاثیر اثر اصلی ژنوتیپ، اثر محیط (یا انحرافات محیطی) و برهمکنش ژنوتیپ و محیط می‌باشد (Meng et al., 2016; Ikmal et al., 2020). برهمکنش ژنوتیپ و محیط از یک طرف و وجود همبستگی بین عملکرد دانه با بسیاری از صفات زراعی از طرف دیگر، چالش‌های به‌نژادگران در گزینش ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های به‌نژادی است. آگاهی از چنین برهمکنشی از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند به به‌نژادگران در انتخاب دقیق ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار کمک کند (Yan & Tinker, 2006; Akter et al., 2015). برهمکنش ژنوتیپ و محیط زمانی رخ می‌دهد که واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف یکسان نباشد. در صورت وجود چنین وضعیتی، ژنوتیپ‌های برتر نباید فقط بر اساس اثر اصلی ژنوتیپ یا فقط بر اساس برهمکنش ژنوتیپ و محیط انتخاب شوند، بلکه باید انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب اثرات اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط انجام گیرد (Yan & Kang, 2003).

تجزیه پایداری مهم‌ترین روش برای پی بردن به ماهیت برهمکنش عوامل ژنتیکی و غیر ژنتیکی (اثر متقابل ژنوتیپ در محیط) است. روش‌های مختلفی جهت ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارائه شده است که شامل روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره هستند (Mohammadi et al., 2010). Yan et al. (2000) به جای تفکیک اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط، این دو اثر را با یکدیگر ترکیب کردند که مبنای مدل GGE-biplot قرار گرفت. روش گرافیکی GGE-biplot با حذف اثر محیط و ترکیب همزمان اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، منجر به حصول نتایج قابل اعتمادی می‌شود (Yan, 2011). با استفاده از این روش ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول با سازگاری عمومی و خصوصی و محیط‌های مطلوب جهت کشت ژنوتیپ‌ها را می‌توان شناسایی کرد. سازگاری عمومی، انتخاب بر اساس متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها و سازگاری خصوصی، انتخاب بر پایه متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در یک زیرمجموعه از محیط‌های خاص تعریف می‌شود (Laxami et al. 2017).

روش GGE-biplot به منظور ارزیابی سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها توسط بسیاری از محققان در گیاهان زراعی مختلفی از جمله برنج (Chandrashekhar et al., 2020; Chandra et al., 2022)، گندم (Mohammadi et al., 2010)، جو (Meng et al., 2016)، ذرت (Fan et al., 2007) و سورگوم (Rakshit et al., 2012) مورد استفاده قرار گرفته است. Cheloei et al. (2020) به منظور معرفی ارقام با عملکرد بالا و پایدار، ۱۳ ژنوتیپ جهش‌یافته به‌همراه سه رقم شاهد را در دو مکان طی دو سال زراعی (2016 and 2017) مورد ارزیابی قرار دادند و با استفاده از روش GGE-biplot ارقام پرمحصول و پایدار برای هر یک از مکان‌های مورد مطالعه را شناسایی کردند. Rebollo et al. (2023) برهمکنش ژنوتیپ × محیط در عملکرد دانه را بر اساس داده‌های آزمایش‌های چندناحیه‌ای روی دو جمعیت بزرگ برنج ایندیکا و ژاپونیکا با استفاده از روش‌های مختلف مانند GGE biplot برآورد کردند. نتایج آنها نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ × محیط نسبتاً بالایی برای عملکرد دانه در هر دو جمعیت

وجود داشت. همچنین با تفکیک مکان‌های آزمایش به چند مگامحیط، مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی موثر بر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را شناسایی کردند. Ghazy *et al.* (2024) نیز پایداری عملکرد دانه ۳۴ ژنوتیپ برنج را در هشت محیط با استفاده از روش‌های چندمتغیره AMMI و GGE- biplot ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که علاوه بر وجود تفاوت‌های بسیار معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها و نیز محیط‌ها از نظر عملکرد دانه، اثر اصلی محیط توانست بالاترین سهم از واریانس کل عملکرد دانه را توصیف کند. همچنین ژنوتیپ‌های پرمحصول، پایدار و با سازگاری خصوصی را برای محیط‌های تحت تنش شوری، گرما و خشکی شناسایی و معرفی کردند.

این پژوهش با هدف بررسی پایداری عملکرد دانه در ۲۰ لاین امیدبخش برنج و معرفی لاین‌های پایدار و پرمحصول انجام شد. علاوه بر این، جهت اجتناب از خوابیدگی بوته‌ها (ورس) و خسارت بارندگی‌های انتهایی فصل که منجر به کاهش کیفیت پخت ارقام برنج می‌شوند، غربال، شناسایی و معرفی لاین‌های پاکوتاه، زودرس و با سایر ویژگی‌های زراعی و کیفی مطلوب نیز از اهداف دیگر این مطالعه بود.

## ۲. روش‌شناسی پژوهش

مواد گیاهی این تحقیق شامل ۲۰ لاین امیدبخش حاصل از تلاقی رقم غریب (یک رقم محلی ایرانی با عملکرد پایین و کیفیت پخت مطلوب) با رقم سپیدرود (یک رقم اصلاح‌شده با عملکرد نسبتاً بالا و کیفیت پخت نامطلوب) بود که به‌منظور ارزیابی پایداری عملکرد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) طی سه سال ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ کشت شدند. لاین‌های مورد مطالعه با توجه به مقایسه عملکرد از بین ۱۴۶ لاین حاصل از تلاقی بین ارقام بالا انتخاب شدند (Kordrostami *et al.*, 2017; Jokarfard & Rabiei 2020). بذر لاین‌های مورد مطالعه در فصل بهار پس از جوانه‌دارشدن، در خزانه‌های با پوشش پلاستیکی کشت شد و در مرحله چهاربرگی انتقال نشاها به زمین اصلی انجام شد. زمین اصلی، پس از آب‌گیری و کرت‌بندی، با انجام دو بار شخم عمود بر هم و سپس استفاده از لولر، آماده انتقال نشاها شد. مساحت هر واحد آزمایشی ۱۲ متر مربع (۳×۴ متر) بود و نشاها به صورت تک‌بوته با فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر کشت شدند. برای تغذیه گیاهان، کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس به‌ترتیب به‌مقدار ۲۰۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منابع اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم استفاده شد که نصف کود نیتروژن به‌همراه کل کودهای فسفر و پتاس قبل از انتقال نشاها به زمین اصلی و نصف دیگر کود نیتروژن در زمان حداکثر پنجه‌زنی به زمین داده شد. آبیاری به‌صورت غرقابی و سایر عملیات زراعی شامل مبارزه با آفات و بیماری‌ها و کنترل علف‌های هرز در زمان مناسب در چند نوبت انجام شد. پس از رسیدگی کامل محصول، برداشت از مساحت حدود نه متر مربع از هر واحد آزمایشی پس از حذف یک ردیف از اطراف هر کرت به‌عنوان حاشیه انجام و پس از خرمن‌کوبی، وزن شلتوک اندازه‌گیری و سپس با رطوبت ۱۴ درصد بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، ابتدا میانگین عملکرد دانه لاین‌ها در هر سال محاسبه و سپس میانگین کل، واریانس و ضریب تغییرات عملکرد هر یک از لاین‌ها برآورد شد. قبل از تجزیه واریانس مرکب، ابتدا آزمون یکنواختی واریانس خطای آزمایشی به‌وسیله آزمون بارتلت (Bartlett, 1937) با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.1 (SAS Institute, 2003) انجام شد. تجزیه واریانس مرکب با فرض تصادفی بودن اثر سال و ثابت بودن اثر لاین (ژنوتیپ) و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها با روش LSD در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.1 (SAS Institute, 2003) انجام شد.

تجزیه پایداری با استفاده از روش GGE-biplot بر اساس مدل زیر انجام شد (Yan *et al.*, 2000):

$$y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{1i} \eta_{1i} + \lambda_2 \xi_{2i} \eta_{2i} + \varepsilon_{ij} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه،  $y_{ij}$  میانگین ژنوتیپ نام در محیط زام،  $\mu$  میانگین کل مشاهدات،  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  به‌ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مولفه اصلی (PC<sub>1</sub> و PC<sub>2</sub>)،  $\xi_{i1}$  بردار ویژه ژنوتیپ نام برای PC<sub>1</sub>،  $\xi_{i2}$  بردار ویژه ژنوتیپ نام برای PC<sub>2</sub>،  $\eta_{1i}$  بردار ویژه محیط نام برای PC<sub>1</sub>،  $\eta_{2i}$  بردار ویژه محیط نام برای PC<sub>2</sub> و  $\varepsilon_{ij}$  باقیمانده می‌باشد.

تجزیه پایداری با استفاده از برنامه GenStat نسخه ۱۲ (GenStat, 2010) انجام و نمودارهای لازم رسم شدند.

### ۳. نتایج پژوهش و بحث

به منظور بررسی یکنواختی خطاهای آزمایشی برای صفت عملکرد دانه، از آزمون بارتلت (Bartlett, 1937) استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار آماره کای اسکوئر برابر با ۱/۰۲ و سطح معنی‌داری آن برابر با ۰/۶۰ بود، بدین مفهوم که خطاهای آزمایشی یکنواخت بوده و می‌توان تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه را برای داده‌های حاصل از سه سال آزمایش انجام داد. نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه در سه سال آزمایش (جدول ۱) نشان داد که اثرات اصلی سال و ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × سال برای صفت عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر سال، نشان‌دهنده متفاوت بودن شرایط آب و هوایی مانند دما، میزان بارش‌ها و میزان تبخیر طی دوره رشد برنج در سه سال آزمایش است. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نیز بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه و معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × سال نیز نشان‌دهنده واکنش متفاوت و نوسان عملکرد لاین‌های برنج طی سال‌های مختلف بوده است. محققان دیگر نیز در بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های برنج، اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را معنی‌دار گزارش کرده‌اند (Akter *et al.*, 2019; Khatun *et al.*, 2021).

میانگین عملکرد لاین‌ها به همراه واریانس و ضریب تغییرات در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی عملکرد لاین‌ها نشان داد که لاین‌های ۹، ۱۳، ۱۰، ۱ و ۱۹ در سال اول اجرای آزمایش با تولید عملکرد دانه بالای پنج تن در هکتار، لاین‌های برتر آزمایش بودند. در سال‌های دوم و سوم آزمایش نیز به ترتیب لاین‌های شماره ۹، ۱۳، ۱، ۱۰، ۹، ۱، ۱۹، ۲۰ و ۱۳ عملکرد بالای پنج تن در هکتار تولید کردند. از نظر میانگین کل عملکرد دانه در سه سال تحقیق نیز لاین شماره ۹ با تولید عملکرد دانه ۵۵۲۷ کیلوگرم در هکتار، بیش‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد و با تفاوت معنی‌دار با تمامی لاین‌های مورد مطالعه، برترین لاین آزمایش نسبت به همه لاین‌ها بود. پس از آن نیز چهار لاین ۱، ۱۳، ۱۰ و ۱۹ همگی با تولید متوسط عملکرد دانه بالای پنج تن در هکتار طی سه سال، لاین‌های برتر این آزمایش بودند. در مقابل، لاین‌های شماره ۳ و ۶ به ترتیب با تولید عملکرد دانه ۳۳۷۲ و ۳۵۲۳ کیلوگرم در هکتار، ضعیف‌ترین لاین‌های آزمایش بودند. بررسی واریانس بین سال‌ها نشان داد که کم‌ترین میزان واریانس متعلق به لاین‌های ۹، ۱۲، ۱۰، ۳، ۷ و ۱۳ بود که نشان‌دهنده نوسانات کم عملکرد این لاین‌ها طی سال‌های اجرای آزمایش بود. نتایج حاصل از برآورد ضریب تغییرات عملکرد دانه لاین‌ها طی سه سال نیز نشان داد که لاین‌های ۹، ۱۰، ۱۲، ۷ و ۱۳ به ترتیب کم‌ترین میزان ضریب تغییرات را به خود اختصاص دادند.

به این ترتیب، در مقایسه واریانس و ضریب تغییرات عملکرد لاین‌ها طی سه سال آزمایش، پنج لاین ۹، ۱۰، ۱۲، ۷ و ۱۳ دارای کم‌ترین نوسانات عملکرد بودند و بنابراین با داشتن کم‌ترین برهمکنش ژنوتیپ × سال، به‌عنوان لاین‌های پایدار از نظر این دو پارامتر معرفی می‌شوند. در این بین، لاین‌های شماره ۹، ۱۰ و ۱۳ هر سه با تولید متوسط عملکرد بالای پنج تن طی سه سال، پرمحصول‌ترین لاین‌های آزمایش نیز بودند.

جدول ۱. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ۲۰ لاین امیدبخش برنج در سه سال (۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱).

Source of variation	df	Sum of square	Mean square	Sum of square proportion (%)		
				Genotype	Genotype × year interaction	Other factors
Year	2	649234.44	324617.22**	82.57	6.04	11.39
Replication (Year)	6	122090.00	20348.33			
Genotype	19	50107031.11	2637212.16**			
Genotype × Year	38	3667898.89	96523.65**			
Error	114	6134110.00	53807.98			
Coefficient of variation (CV %)			5.01			
Coefficient of determination (R <sup>2</sup> %)			89.89			

\*\* Significant at 1% probability level.

جدول ۲. میانگین عملکرد دانه، واریانس و ضریب تغییرات لاین‌های امیدبخش در طی سه سال مورد بررسی (۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱).

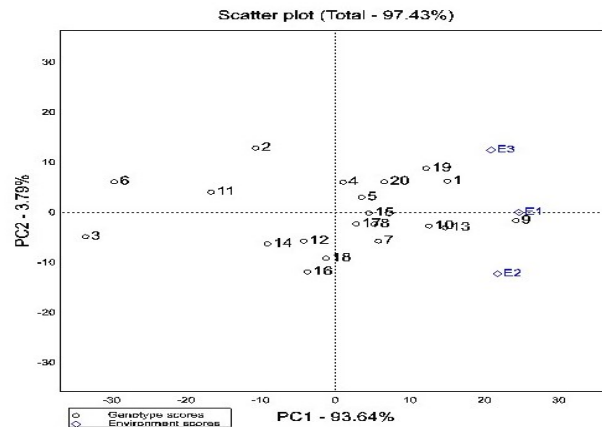
Rice line	Average grain yield			Mean (kg.ha <sup>-1</sup> )	Variance	CV (%)
	2020	2021	2022			
1	5130.00	5090.00	5363.33	5194.44 <sup>b</sup>	21792.59	2.84
2	4370.00	3853.33	4440.00	4221.11 <sup>hi</sup>	102670.37	7.59
3	3246.67	3490.00	3380.00	3372.22 <sup>j</sup>	14848.14	3.61
4	4590.00	4566.67	4853.33	4670.00 <sup>def</sup>	25344.44	3.40
5	4506.67	4826.67	4983.33	4772.22 <sup>de</sup>	59025.92	5.09
6	3346.67	3443.33	3780.00	3523.33 <sup>j</sup>	51744.44	6.45
7	4920.00	4896.67	4693.33	4836.67 <sup>d</sup>	15544.44	2.57
8	4670.00	4943.33	4876.67	4830.00 <sup>d</sup>	20311.11	2.95
9	5626.67	5510.00	5446.67	5527.78 <sup>a</sup>	8337.03	1.65
10	5196.67	5083.33	4993.33	5091.11 <sup>bc</sup>	10381.48	2.00
11	3760.00	4026.67	4256.67	4014.44 <sup>i</sup>	61781.48	6.19
12	4446.67	4570.00	4380.00	4465.56 <sup>gf</sup>	9292.59	2.15
13	5320.00	5150.00	5043.33	5171.11 <sup>b</sup>	19470.37	2.69
14	4090.00	4496.67	4290.00	4292.22 <sup>gh</sup>	41348.14	4.73
15	4613.33	4886.67	4913.33	4804.44 <sup>d</sup>	27570.37	3.45
16	4420.00	4740.00	4296.67	4485.56 <sup>gf</sup>	52359.25	5.10
17	4563.33	4856.67	4796.67	4738.89 <sup>de</sup>	24014.81	3.27
18	4406.67	4843.33	4506.67	4585.56 <sup>ef</sup>	52337.03	4.98
19	5050.00	4913.33	5296.67	5086.66 <sup>bc</sup>	37744.44	3.81
20	4643.33	4866.67	5146.67	4885.56 <sup>cd</sup>	63603.70	5.16

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، با آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

برای اینکه تجسم روشن‌تری از عملکرد لاین‌های برنج مورد مطالعه و میزان نوسانات عملکرد آنها در سال‌های مختلف به دست آید، تجزیه پایداری لاین‌ها به روش گرافیکی GGE-biplot انجام و نتایج آن در قالب نمودارهای مختلف ارائه شد. نتایج نشان داد که دو مولفه اصلی در مجموع ۹۷/۴۳ درصد از تغییرات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × سال را توصیف کردند (شکل ۱) که نشان‌دهنده معتبر بودن روش GGE-biplot در توجیه تغییرات کل عملکرد دانه می‌باشد. سهم مولفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۳/۷۹ و ۹۳/۶۴ درصد بود. سهم بالای مولفه اصلی اول نسبت به مولفه اصلی دوم، نشان‌دهنده نقش بیش‌تر و اهمیت بالاتر اثر ژنوتیپ نسبت به برهمکنش ژنوتیپ × سال در توجیه تغییرات عملکرد دانه در لاین‌های مورد مطالعه بود. Khan *et al.* (2019) نیز با ارزیابی هشت لاین برنج در پنج محیط، به نتایج مشابهی دست یافتند و دو مولفه اصلی که در مجموع ۸۸/۱۷ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه می‌کردند، شناسایی کردند، اما برخلاف نتایج این آزمایش، سهم مولفه‌های اصلی اول و دوم را به ترتیب ۵۱/۳۶ درصد و ۳۶/۵۴ درصد گزارش کردند. از جمله دلایل تفاوت قابل توجه سهم مولفه‌های اول (اثر ژنوتیپ) و دوم (برهمکنش ژنوتیپ × محیط) در مطالعه Khan *et al.* (2019) نسبت به نتایج این آزمایش را می‌توان به تفاوت ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده و به‌ویژه تفاوت در تعداد و شرایط اقلیمی موجود در محیط‌های مورد مطالعه در دو آزمایش نسبت داد که منجر به سهم بسیار بیش‌تر برهمکنش ژنوتیپ × محیط در آزمایش این محققان شده است.

به‌منظور بررسی پراکنش عملکرد لاین‌ها در سال‌های مورد مطالعه، نمودار بای‌پلات بر اساس مولفه‌های اصلی اول و دوم رسم شد (شکل ۱). نمای بای‌پلات را می‌توان به چهار ناحیه تفکیک کرد. لاین‌های دارای مقادیر بیش‌تر برای مولفه اصلی اول لاین‌های پرمحصول، و برعکس لاین‌های دارای مقادیر کم‌تر برای مولفه اصلی اول لاین‌های کم‌محصول می‌باشند. در مقابل از نظر مولفه اصلی دوم، لاین‌های با مقادیر نزدیک به صفر به‌عنوان لاین‌های پایدار و برعکس لاین‌های با مقادیر بیش‌تر یا کم‌تر از صفر به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار در نظر گرفته می‌شوند (Yan & Kang, 2003; Mohamed *et al.*, 2013). با توجه به موقعیت لاین‌های مورد مطالعه در بای‌پلات، به ترتیب لاین‌های شماره ۹، ۱، ۱۳، ۱۰ و ۱۹ پرمحصول‌ترین لاین‌ها و لاین‌های شماره ۳، ۶، ۱۱، ۲ و ۱۴ کم‌محصول‌ترین لاین‌های این آزمایش بودند. از نظر پایداری نیز با توجه به اینکه مقادیر مطلق مولفه اصلی دوم نشان‌دهنده پایداری ژنوتیپی است (Kaya *et al.*, 2006)، لاین شماره ۱۵ با مقدار مولفه اصلی دوم نزدیک به صفر به‌عنوان

پایدارترین لاین و پس از آن به ترتیب لاین‌های شماره ۹، ۸، ۱۷، ۱۰ و ۱۳ با کم‌ترین مقدار این مولفه به‌عنوان لاین‌های پایدار و در مقابل دو لاین ۲ و ۱۶ با بیش‌ترین مقدار مولفه اصلی دوم به‌عنوان ناپایدارترین لاین‌های این آزمایش بودند (شکل ۱).

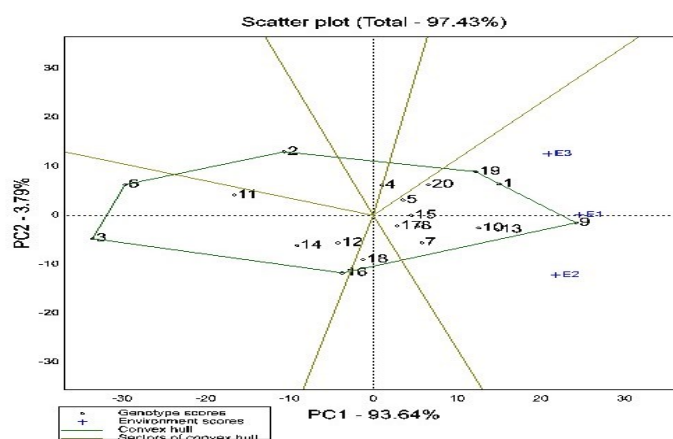


شکل ۱. نمودار GGE-biplot بر اساس مقیاس‌بندی متمرکز برای بررسی پراکنش ۲۰ لاین برنج در سه سال مورد مطالعه.

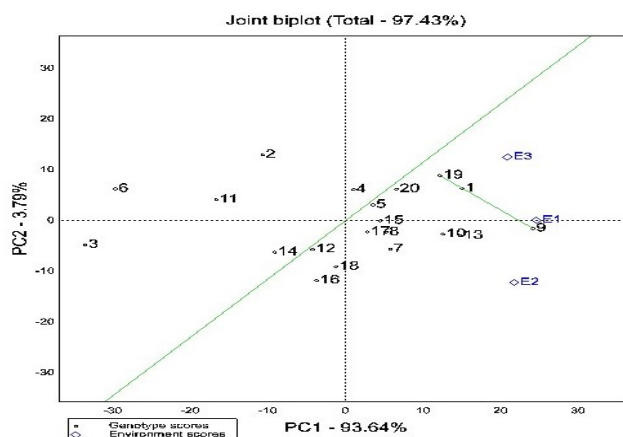
نمای چندضلعی بای‌پلات ابزاری موثر و مفید جهت نمایش الگوی "کدام- برتر- کجا" برای مجموعه داده‌های آزمایش‌های چندمحیطی و بهترین راه جهت بررسی و ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط است (Yan & Kang, 2003; Rakshit *et al.*, 2012). چندضلعی با پیوستن ژنوتیپ‌های رأس با خطوط مستقیم ایجاد می‌شود، به‌گونه‌ای که تمام ژنوتیپ‌ها در داخل این چندضلعی قرار می‌گیرند. خطوط عمود بر اضلاع، چندضلعی را به بخش‌هایی تقسیم می‌کنند و هر بخش بر اساس ژنوتیپ رأس آن که ژنوتیپ برتر آن بخش است، نام‌گذاری می‌شود. این ژنوتیپ‌ها برترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در بعضی یا همه محیط‌ها محسوب می‌شوند. در حقیقت محیط‌هایی که در هر بخش قرار می‌گیرند با ژنوتیپ‌های همان بخش دارای سازگاری خصوصی هستند (Yan & Kang, 2003). نمودار چندضلعی ۲۰ لاین برنج مورد مطالعه در سه سال در شکل ۲ ارائه شده است. بر اساس شکل ۲، لاین‌های شماره ۹، ۱۹، ۲، ۶، ۳ و ۱۶ در رأس‌های چندضلعی قرار گرفتند. این لاین‌ها به‌دلیل دارا بودن بردارهای بلند در جهت مربوط به خود، به‌عنوان لاین‌های واکنش‌پذیر این تحقیق شناخته شدند. خطوط عمود بر بدنه محدب ترسیم‌شده، بای‌پلات را به شش بخش تقسیم کرد. لاین‌های موجود در هر بخش از لحاظ پاسخ به شرایط محیطی (سال‌های مورد بررسی) شباهت زیادی با یکدیگر دارند.

در بخش یک حاصل از تقسیم بدنه محدب، دو لاین ۹ و ۱۹ در رأس بدنه محدب در بخش یک، لاین شماره ۱ روی ضلع متصل‌کننده این دو لاین و لاین‌های ۲۰، ۵، ۱۵، ۱۷، ۸، ۷، ۱۰ و ۱۳ در داخل بدنه محدب این بخش قرار گرفتند. همچنین هر سه سال مورد مطالعه نیز در بخش یک قرار گرفتند که نشان‌دهنده پاسخ مناسب لاین‌های واقع در بخش یک به سال‌های مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد. لاین‌های ۹ و ۱۹ به‌دلیل قرارگیری در رأس بخش یک، به‌عنوان واکنش‌پذیرترین لاین‌ها در هر سه سال آزمایش شناخته شدند. لاین‌های ۵، ۲۰، ۱۹ و ۱ نیز به‌دلیل نزدیکی به بردار سال سوم (E3)، واکنش مناسبی را در سال سوم اجرای آزمایش داشتند. لاین ۱۵ و پس از آن لاین ۹ به‌دلیل نزدیکی به بردار سال اول اجرای آزمایش (E1) پاسخ مناسبی در این سال نشان داد، اگرچه لاین ۱۵ عملکرد کم‌تری نسبت به لاین ۹ تولید کرد. لاین‌های ۸، ۱۷ و ۷ به‌دلیل همجوار بودن با بردار محیط E2، واکنش بهتری در سال دوم (E2) نشان دادند و لاین‌های ۱۰ و ۱۳ به‌دلیل قرارگرفتن بین دو بردار E1 و E2 عملکرد مناسبی در هر دو سال E1 و E2 داشتند. همچنین هیچ‌یک از سه سال مورد بررسی در بخش‌هایی که لاین‌های ۲، ۶، ۳ و ۱۶ به‌عنوان لاین‌های رأس آنها بودند، قرار نگرفتند که نشان می‌دهد این لاین‌ها در هیچ‌یک از سال‌های مورد بررسی، عملکرد بالایی تولید نکردند و به‌عبارت دیگر این لاین‌ها کم‌ترین میزان عملکرد را به‌خود اختصاص دادند.

به منظور بررسی دقیق تر لاین‌های واقع در رأس بخش یک بای پلات چندضلعی و مقایسه آنها با سایر لاین‌های مورد مطالعه، از نمای گرافیکی مقایسه ژنوتیپ‌ها استفاده شد (شکل ۳). در این نمای بای پلات، دو ژنوتیپ واکنش‌پذیر با رسم یک خط مستقیم به یکدیگر متصل و سپس خط دیگری عمود بر این خط از مبدأ بای پلات رسم می‌شود. خط مستقیم اتصال دهنده دو ژنوتیپ، فاصله اقلیدسی بین آنها و خط عمود بر آن به عنوان خط برابری عملکرد شناخته می‌شود. لاین شماره ۱ روی خط مستقیم اتصال دهنده لاین‌های شماره ۹ و ۱۹ و هر سه لاین در یک سمت خط برابری عملکرد قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر، هیچ‌یک از سال‌های مورد بررسی روی خط برابری عملکرد قرار نگرفته و همانند سه لاین فوق در یک سمت این خط قرار دارند (شکل ۳). لاین ۹ نسبت به دو لاین ۱ و ۱۹ نزدیک‌ترین لاین به سال اول (E1) و پس از آن سال دوم (E2) است و بنابراین بهترین لاین در این دو سال می‌باشد. لاین‌های ۱ و ۱۹ نیز به دلیل نزدیک بودن به سال سوم (E3)، بهترین لاین‌ها در سال سوم آزمایش بودند. Silva Junior *et al.* (2020) نیز طی آزمایشی، برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد ۱۲ ژنوتیپ برنج را در ۱۲ محیط با استفاده از روش GGE-biplot مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که دو ژنوتیپ G3 و G5 که روی خط برابری عملکرد قرار داشتند، عملکرد یکسانی را در دو محیط A3 و A9 نشان دادند.



شکل ۲. نمای چندضلعی بای پلات بر اساس الگوی کدام- برتر- کجا جهت شناسایی لاین‌های برتر در هر سال. اعداد ۱-۲۰ و حروف E1-E3 به ترتیب لاین‌های برنج و سال‌های آزمایش را نشان می‌دهند.



شکل ۳. نمای GGE-biplot بای پلات جهت مقایسه دو لاین واکنش‌پذیر. اعداد ۱-۲۰ و حروف E1-E3 به ترتیب لاین‌های برنج و سال‌های آزمایش را نشان می‌دهند.

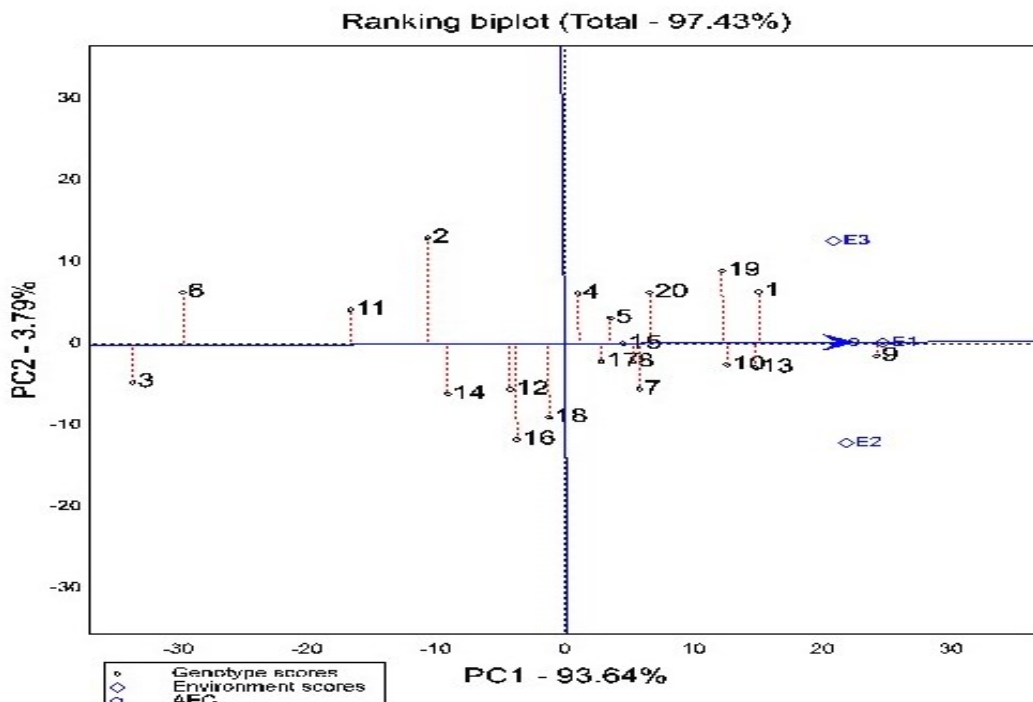
به منظور ارزیابی همزمان عملکرد و پایداری لاین‌های مورد بررسی در سه سال، از مختصات محیط متوسط (Average Environment Coordination) استفاده شد (شکل ۴). مختصات محیط متوسط خطی است که از مبدأ مختصات



بای‌پلات و محیط متوسط (در این آزمایش میانگین سال‌ها) عبور می‌کند و به‌وسیله دایره کوچک نشان داده شده است. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس محور افقی AEC نمادی از عملکرد و بر اساس محور عمودی نمایانگر پایداری ژنوتیپ‌ها است (Yan & Kang, 2003). بنابراین لاین‌هایی که در سمت راست محور عمودی قرار گیرند، دارای عملکرد دانه بیش‌تر از متوسط و لاین‌هایی که در سمت چپ محور عمودی واقع شوند، دارای عملکرد کم‌تر از متوسط هستند.

بر اساس شکل ۴، به‌ترتیب لاین‌های ۹، ۱، ۱۳، ۱۰، ۱۹، ۲۰، ۷، ۸، ۱۵، ۵، ۱۷ و ۴ میانگین عملکرد دانه بالاتری از متوسط و لاین‌های ۱۸، ۱۶، ۱۲، ۱۴، ۲، ۱۱، ۶ و ۳ به‌ترتیب میانگین عملکرد کم‌تری از متوسط داشتند. در مقابل در خصوص پایداری لاین‌ها، با توجه به این‌که محور عمودی AEC نمایی از پایداری است، بنابراین لاین‌هایی که فاصله کم‌تری از محور افقی داشته باشند، دارای برهمکنش کم‌تری با سال بوده و به‌عبارت دیگر از پایداری بیش‌تری برخوردار هستند و برعکس لاین‌هایی که فاصله بیش‌تری از محور افقی دارند (دارای مقادیر مثبت یا منفی بیش‌تری برای محور عمودی یا PC2 هستند)، نقش بیش‌تری در ایجاد برهمکنش ژنوتیپ × سال داشته و پایداری کم‌تری دارند. فاصله هر یک از لاین‌های مورد مطالعه از محور افقی با خطوط عمودی قرمز رنگ در نمای بای‌پلات شکل ۴ رسم شد. بنابراین لاین ۱۵ با قرار گرفتن روی محور افقی AEC (مقدار صفر PC2)، پایدارترین لاین این آزمایش و پس از آن، لاین ۹ و سپس لاین‌های ۸، ۱۷، ۱۰ و ۱۳ به‌دلیل داشتن کم‌ترین مقدار برای محور عمودی، پایداری بیش‌تری نسبت به لاین‌های دیگر این آزمایش داشتند. نکته قابل توجه این است که لاین ۱۵ به‌لحاظ قرار گرفتن در منطقه صفر محور عمودی به‌عنوان پایدارترین لاین شناخته شد، اما عملکرد دانه کم‌تری نسبت به لاین‌های ۹، ۱۳، ۱۰ و حتی ۸ نشان داد.

با توجه به ضرورت در نظر گرفتن توأم عملکرد و پایداری در گزینش لاین‌های برتر، کلیه لاین‌های مطالعه‌شده در این آزمایش بر اساس مقدار هر دو محور افقی و عمودی AEC رتبه‌بندی و متوسط رتبه‌های عملکرد و پایداری محاسبه شد و سپس رتبه نهایی هر لاین محاسبه شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که لاین شماره ۹ با کم‌ترین میانگین رتبه به‌عنوان پرمحصول‌ترین و پایدارترین لاین نسبت به تمام لاین‌های مورد بررسی در این آزمایش شناخته شد. پس از آن، به‌ترتیب لاین‌های شماره ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۸، ۱ و ۱۷ و سپس لاین‌های ۵، ۷ و ۲۰ که دارای رتبه یکسانی بودند، در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.



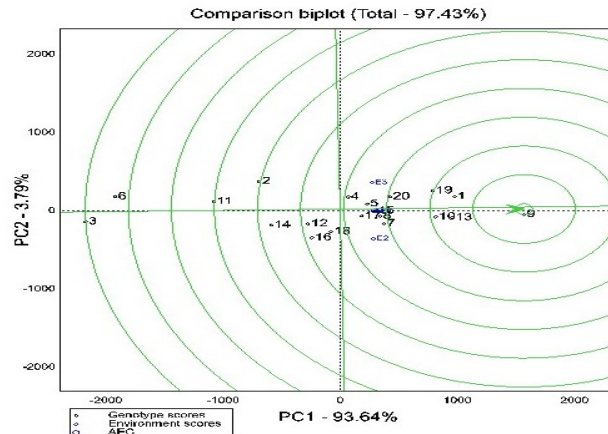
شکل ۴. بای‌پلات محور محیط متوسط برای رتبه‌بندی لاین‌های برنج بر اساس پایداری. اعداد ۱-۲۰ و حروف E1-E3 به‌ترتیب لاین‌های برنج و سال‌های آزمایش را نشان می‌دهند.

جدول ۳. رتبه بندی ژنوتیپ‌های برنج از نظر عملکرد و پایداری.

Genotype	Grain yield ranking	Stability ranking	Average yield and stability ranking	Final ranking
1	2	10	6	5
2	17	15	16	18
3	20	7	13.5	15
4	12	10	11	10
5	10	5	7.5	7
6	19	11	15	17
7	7	8	7.5	7
8	8	3	5.5	4
9	1	2	1.5	1
10	4	4	4	2
11	18	6	12	12
12	15	8	11.5	11
13	3	5	4	2
14	16	9	12.5	13
15	9	1	5	3
16	14	14	14	16
17	11	3	7	6
18	13	13	13	14
19	5	12	8.5	9
20	6	10	8	8

یکی از نمودارهای مناسبی که در روش گرافیکی GGE-biplot ارائه می‌شود، نمودار ژنوتیپ ایده‌آل است که بر اساس تعیین فاصله ژنوتیپ‌های آزمایش از یک ژنوتیپ ایده‌آل فرضی ترسیم می‌گردد. ژنوتیپ ایده‌آل فرضی در این روش به‌عنوان پرمحصول‌ترین و پایدارترین ژنوتیپ تعریف می‌شود. ژنوتیپ ایده‌آل فرضی در نمودار مربوطه به‌صورت یک دایره کوچک و یک بیکن روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داده می‌شود (شکل ۵) که ممکن است در واقعیت وجود نداشته باشد، اما می‌تواند به‌عنوان مرجعی جهت ارزیابی سودمندی ژنوتیپ‌ها (Kroonenberg, 1995) و معیاری برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار (Yan & Kang, 2003) استفاده شود. بنابراین ژنوتیپ ایده‌آل دارای بیش‌ترین طول روی بردار محور افقی AEC و کم‌ترین فاصله عمودی با خط AEC است (Yan *et al.* 2000). سایر ژنوتیپ‌های آزمایش به‌صورت دایره‌های هم‌مرکز با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی که نشان‌دهنده فاصله هر ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی است، رسم می‌شوند (شکل ۵)، به‌گونه‌ای که مطلوبیت ژنوتیپ‌ها به‌لحاظ عملکرد و پایداری با دور شدن از ژنوتیپ ایده‌آل کاسته می‌شود. بر اساس شکل ۵، لاین شماره ۹ نزدیک‌ترین لاین به ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بود و تقریباً در موقعیت ژنوتیپ ایده‌آل قرار گرفت و پس از آن، چهار لاین ۱، ۱۳، ۱۰ و ۱۹ نزدیک‌ترین لاین به ژنوتیپ ایده‌آل بودند و بنابراین پنج لاین فوق به‌عنوان پرمحصول‌ترین و پایدارترین لاین‌های آزمایش بر اساس نمای گرافیکی ژنوتیپ ایده‌آل شناخته شدند.

Allahgholipour (2016) با بررسی ۱۰ رقم برنج محلی و اصلاح‌شده در سه منطقه و طی دو سال، از روش GGE-biplot و نمودار ژنوتیپ ایده‌آل فرضی برای انتخاب رقم‌های با عملکرد بالا و پایدار استفاده کرد. او گزارش کرد که چهار ژنوتیپ BC9، BC25، RI18436-46 و صالح دارای عملکرد و پایداری بالا و لاین BC4 دارای عملکرد بالا و پایداری متوسط بودند. وی در نهایت لاین BC4 (حاصل تلاقی برگشتی رقم آبجی‌بوجی به‌عنوان والد دوره‌ای و رقم صالح به‌عنوان والد بخشنده) که دارای پایداری متوسط و عملکرد قابل قبول و همچنین میزان آمیلوز متوسط، دوره رشد مناسب و ارتفاع بوته مطلوب بود را به‌عنوان برترین ژنوتیپ آزمایش انتخاب و معرفی کرد. (Hasan *et al.* 2022) نیز با ارزیابی ۲۶ هیبرید برنج در سه محیط با روش GGE-biplot از نمودار ژنوتیپ ایده‌آل جهت رتبه‌بندی همزمان عملکرد و پایداری هیبریدها استفاده و هیبرید BRRI را که در مرکز دایره‌های هم‌مرکز قرار داشت، به‌عنوان برترین ژنوتیپ معرفی نمودند. همچنین بیان داشتند که نمای گرافیکی ژنوتیپ ایده‌آل، علاوه بر فاصله ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از ژنوتیپ ایده‌آل، همبستگی بین ژنوتیپ‌ها را نیز نشان می‌دهد.



شکل ۵. GGE-biplot جهت مقایسه لاین‌های برنج مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی. اعداد ۱-۲۰ و حروف E1-E3 به ترتیب لاین‌های برنج و سال‌های آزمایش را نشان می‌دهند.

لازم به توضیح است که به‌نژادگران برنج به‌منظور معرفی رقم‌های جدید، علاوه بر عملکرد بالا و پایداری در تولید محصول، باید به ویژگی‌های زراعی و کیفی ارقام نیز توجه داشته باشند، زیرا اگر رقمی که معرفی می‌شود نتواند نیازها و سلیقه‌های شالیکاران و مصرف‌کنندگان برنج را تأمین نماید، موفق نخواهد بود. در این راستا، شالیکاران بیش‌تر تمایل به کشت ارقامی دارند که علاوه بر تولید محصول و عملکرد دانه بالا، دارای ویژگی‌های زراعی و کیفی مطلوب و مناسب مانند ارقام برنج دانه بلند با کیفیت پخت مطلوب (که مورد پسند مصرف‌کنندگان بوده و ارزش اقتصادی بیش‌تری در بازار مصرف دارند)، ارقام با دوره رسیدگی مناسب و زودرس (که علاوه بر تنش خشکی، با بارش‌های انتهایی فصل که موجب کاهش کیفیت دانه‌ها می‌شود، مواجه نشوند)، و ارقام پاکوتاه (که دچار افتادگی بوته یا ورس نشوند) باشند. به‌همین ترتیب، ذائقه مصرف‌کنندگان برنج به‌ویژه مصرف‌کنندگان ایرانی نیز بیش‌تر برنج‌های باکیفیت پخت مطلوب و مناسب (برنج‌های دانه‌بلند با کیفیت پخت مناسب و معطر) را می‌پسندند. بر این اساس، در این آزمایش نیز علاوه بر پایداری و عملکرد دانه، ویژگی‌های مهم زراعی و کیفی دانه‌ها از جمله دوره رسیدگی، ارتفاع بوته، میزان آمیلوز، قوام ژل، طول دانه خام و طول دانه بعد از پخت نیز برای ۲۰ لاین مورد مطالعه اندازه‌گیری و در جدول ۴ ارائه شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس عملکرد و پایداری (ژنوتیپ‌های ۹، ۱۰ و ۱۳) زودرس و پاکوتاه بوده و از نظر خصوصیات کیفیت پخت در محدوده کیفیت پخت ارقام محلی (درصد آمیلوز متوسط، درجه حرارت ژلاتینی‌شدن و قوام ژل متوسط) بودند و همچنین طول دانه بلندی دارند.

جدول ۴. ویژگی‌های زراعی و کیفی مهم لاین‌های مورد مطالعه در این تحقیق.

Line	Days to heading	Plant height (cm)	Amylose content (%)	gel consistency (mm)	Grain length (mm)	Cooked grain length (mm)
1	93.11	114.35	21.33	4.90	6.45	11.28
2	95.00	104.17	20.05	5.98	6.60	12.18
3	96.22	128.89	18.60	3.73	5.60	10.67
4	91.56	111.57	23.27	4.01	5.41	10.87
5	91.56	110.69	23.50	5.49	7.19	12.04
6	98.00	121.06	18.64	4.32	7.03	12.63
7	91.78	94.82	23.31	3.74	6.03	11.77
8	91.44	112.88	21.56	4.81	7.07	12.31
9	91.67	113.33	22.83	4.37	6.39	11.96
10	88.33	102.79	23.45	5.67	6.79	11.17
11	94.56	120.41	22.15	5.35	6.02	10.50
12	100.11	117.85	21.00	4.59	6.57	12.02
13	89.56	111.29	21.87	4.44	7.76	13.12
14	96.22	126.25	21.91	3.84	6.79	12.31
15	93.11	114.37	23.65	4.36	7.31	12.82
16	100.22	123.30	23.56	4.66	5.45	10.64
17	91.56	97.61	22.70	5.02	7.20	12.10
18	96.11	131.23	22.14	4.05	6.95	13.04
19	90.44	109.44	22.17	4.87	6.66	10.84
20	92.22	105.70	23.17	5.34	7.29	11.98

#### ۴. نتیجه‌گیری

برهمکنش ژنوتیپ × محیط به دلیل ماهیت پیچیده، همیشه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و عوامل تاثیرگذار در ارزیابی لاین‌ها و برنامه‌های معرفی رقم مطرح است. در این تحقیق، پایداری عملکرد ۲۰ لاین امیدبخش برنج طی سه سال با استفاده از روش GGE-biplot ارزیابی شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر هر سه عامل سال، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × سال بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. سهم ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × سال در توصیف تغییرات عملکرد دانه به ترتیب ۸۲/۵۷ و ۶/۰۴ درصد برآورد شد. نتایج تجزیه پایداری به روش GGE-biplot نشان داد که دو مولفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۹۳/۶۴ و ۳/۷۹ و در مجموع ۹۷/۴۳ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. مطالعه همزمان عملکرد و پایداری بر اساس روش GGE-biplot نشان داد که به ترتیب لاین‌های شماره ۹، ۱۰ و ۱۳ دارای بالاترین عملکرد دانه و کم‌ترین نوسانات عملکرد طی سه سال اجرای آزمایش بودند. بر اساس نمای بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل نیز لاین شماره ۹ نزدیک‌ترین لاین به ژنوتیپ ایده‌آل بود و پس از آن لاین‌های شماره ۱، ۱۳، ۱۰ و ۱۹ پایدارترین و پرمحصول‌ترین لاین‌ها شناخته شدند. بررسی سایر ویژگی‌های زراعی و کیفی لاین‌های مورد مطالعه نشان داد که سه لاین ۹، ۱۰ و ۱۳ علاوه بر عملکرد دانه بالا و پایدار، دارای زمان رسیدگی و ارتفاع بوته کم‌تر و کیفیت پخت متوسط و مطلوب‌تری نسبت به سایر لاین‌ها بودند و از این‌رو سه لاین مذکور جهت اجرای آزمایش‌های بعدی به‌منظور معرفی رقم پیشنهاد می‌شوند. علاوه بر این، نتایج این آزمایش نشان داد که روش GGE-biplot به دلیل استفاده همزمان از اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط (G + G×E) و ارائه نمودارهای دو بعدی قابل تفسیر، روش مناسبی برای ارزیابی پایداری و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول است.

#### ۵. تشکر

نگارندگان از دانشگاه گیلان و موسسه تحقیقات برنج کشور برای پشتیبانی و همکاری‌های لازم جهت اجرای این پژوهش صمیمانه تشکر می‌کنند.

#### ۶. منابع

- Akter, A., Hasan, M.J., Kulsum, M.U., Rahman, M.H., Khatun, M., & Islam, M.R. (2015). GGE biplot analysis for yield stability in multi-environment trials of promising hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Bangladesh Rice Journal*, 19(1), 1-8.
- Akter, A., Hasan, M.J., Kulsum, M.U., Lipi, L.F., Begum, H., Rahman, N.M.F., Farhat, T., & Baki, M.Z.I. (2019). Stability and adaptability of promising hybrid rice genotypes in different locations of Bangladesh. *Advances in Plants and Agriculture Research*, 9(1), 35-39.
- Allahgholipour, M. (2016). Genotype × environment interaction effect in rice genotypes using GGE-biplot. *Cereal Research*, 6(1), 1-14. (In Persian).
- Bartlett, M.S. (1937). Properties of sufficiency and statistical test. *Proceedings of the Royal Society A*, 160(901), 268-282.
- Chandra, B.S., Devi, K.R., Lingaiah, N., Hari, Y., & Prasad, K.R. (2022). Evaluation of phenotypic stability for grain yield in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes using AMMI and GGE biplot models. *International Journal of Environmental and Climate Change*, 12(11), 3146-3157.
- Chandrashekar, S., Babu, R., Jeyaprakash, P., Umarani, R., Bhuvaneshwari, K., & Manomani, S. (2020). Yield stability analysis in multi-environment trials of hybrid rice (*Oryza sativa* L.) in Northern India using GGE biplot analysis. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 11(2), 665-673.
- Ghazy, M.I., Abdelrahman, M., El-Agoury, R.Y., El-hefanwy, T.M., EL-Naem, S.A., Daher, E.M., & Rehan, M. (2024). Exploring genetics by environment interactions in some rice genotypes across varied environmental conditions. *Plants(Basel)*, 13(1), 1-17.
- Cheloei, G., Ranjbar, G.A., Babaeian- Jelodar, N., Bagheri, N., & Nouri, M. (2020). Evaluation of genotype × environment interaction for grain yield of promising genotypes of rice (*Oryza sativa* L.) derived from mutation induction using the GGE-biplot method. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 10(2), 69-72.
- Fan, X.M., Kang, M.S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., & Xu, C. (2007). Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99, 220-228.

- Food and Agricultural Organization. (2024). FAOSTAT. Retrieved July 1. from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- GenStat. (2010). *Genstat Procedure Library Release PL22.1*. (12th ed.). VSN International Ltd., Hemel Hempstead.
- Hasan, M.J., Kulsum, M.U., Sarker, U., Matin, M.Q.I., Shahin, N.H., Kabir, M.S., Ercisli, S., & Marc, R.A. (2022). Assessment of GGE, AMMI, regression, and its deviation model to identify stable rice hybrids in Bangladesh. *Plants*, 11(2336), 1-26.
- Ikmal, A.M., Noraziyah, A.A.S., Ellina, Z.P.D., Riana, T.A.T.N.A., Amira, I., Wickneswari, R., & Aisyah, Z.S. (2020). Genotype-by-environment interaction and stability analysis of qDTYs pyramided rice (*Oryza sativa*) lines under water-limited environments. *International Journal of Agriculture & Biology*, 24(6), 1835-1844.
- Jokarfard, V., & Rabiei, B. (2020). Selecting superior and high yielding recombinant inbred lines of an F11 rice population using index selection method. *Cereal Research*, 10(1), 19-32.
- Kaya, Y., Akcura, M., & Taner, S. (2006). GGE-biplot analysis of multi- environment yield trails in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(5), 325-337.
- Khan, R.A.R., Ramzan, M., Haider, Z., Akhter, M., Riaz, M., Sultan Ali, S., Awan, T.H., & Mahmood, A. (2019). Stability and adaptability analysis in advance fine grain rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for yield. *Journal of Agriculture and Aquaculture*, 1(2), 1-9.
- Khatun, M., Aminul Islam, A.K.M., Rafiqul Islam, M., Rahman Khan, M.A., & Kamal Hosain, M. (2021). Grain yield stability analysis using AMMI and GGE biplot models in different breeding zones of Bangladesh. *Research Square*, 1-17.
- Kordrostami, M., Rabiei, B., & Hassani Kumleh, H. (2017). Biochemical, physiological and molecular evaluation of rice cultivars differing in salt tolerance at the seedling stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23(3), 529-544.
- Kroonenberg, P.M. (1995). Introduction to biplots for G×E tables. Department of Mathematics, Research Report 51. *Australia: The University of Queensland*. 1-22.
- Laxami, J., Kumar, B., & Razdan, A.K. (2017). GGE biplot analysis of genotype x environment interaction in basmati rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(12), 3345-3350.
- Meng, Y., Ren, P., Ma, X., Li, B., Bao, Q., Zhang, H., Wang, J., Bai, J., & Wang, H. (2016). GGE biplot-based evaluation of yield performance of barley genotypes across different environments in China. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 18(2), 533-543.
- Mohamed, N.E.M., Said, A.A., & Amein, K.A. (2013). Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and GGE-biplot analysis of genotype × environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 8(42), 5197-5203.
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Amir, A., & Ceccareli, S. (2010). Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop & Pasture Science*, 61, 92-101.
- Mohidem, N.A., Hashim, N., Shamsudin, R., & Che Man, H. (2022). Rice for food security: Revisiting its production, diversity, rice milling process and nutrient content. *Agriculture*, 12, 741.1-28.
- Rakshit, S., Ganapathy, K.N., Gomashe, S.S., Rathore, A., Ghorade, R.B., Kumar, M.V.G., Ganesmurthy, K., Jain, S.K., Kamtar, M.Y., Sachan, J.S., Ambekar, S.S., Ranwa, B.R., Kanawade, D.G., Balusamy, M., Kadam, D., Sarkar, A., Tonapi, V.A., & Patil, J.V. (2012). GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. *Euphytica*, 185, 465-479.
- Rebollo, I., Aguilor, I., Pérez de Vida, F., Molina, F., Gutiérrez, L., & Rosas, J.E. (2023). Genotype by environment interaction characterization and its modeling with random regression to climatic variables in two rice breeding populations. *Crop Science*, 63(4), 2220-2240.
- Roy, R., Weng Chan, N., & Rainis, R. (2013). Development of an empirical model of sustainable rice farming: A case study from three rice-growing ecosystems in Bangladesh. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, 13(4), 449-460.
- SAS Institute. (2003). SAS 9.1 for Windows. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Samal, R., Roy, P.S., Sahoo, A., Kar, M.K., Patra, B.C., Marndi, B.C., & Gundimod, J.N.R. (2018). Morphological and molecular dissection of wild rices from Eastern India suggests distinct speciation between *O. rufipogon* and *O. nivara* populations. *Scientific Reports*, 8(1), 1-13.
- Silva Júnior, A.C., Carneiro, V.Q., Santos, I.G., Costa, W.G., Silva, G.N., Cruz, C.D., & Soares, P.C. (2020). Methods of adaptability and stability applied to the improvement of flooded rice. *Genetics and Molecular Research*, 19(3), 1-17.
- Wijesingha, J.S.J., Deshapriya, N.L., & Samarakoon, L. (2015). Rice crop monitoring and yield assessment with MODIS 250m gridded vegetation product: A case study in Sa Kaeo province, Thailand. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, volume XL-7/W3, 2015, 36th International symposium on Remote sensing of Environment, 11-15 may, Berlin, Germany, pp. 121-127.

- Yan, W. (2011). GGE biplot vs. AMMI graphs for genotype – by – environment data analysis. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 65(2), 181-193.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597-605.
- Yan, W., & Kang, M.S. (2003). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press, Boca Raton, FG, USA.
- Yan, W., & Tinker, N.A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623–645.