



University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Assessing agronomic traits, grain quality and yield stability of promising rice lines using Lin and Binns and GGE-biplot methods

Hosein Rahim Soroush^{1*}, Maryam Hoseini Chaleshtori², Ali Akbar Ebadi², Ali Reza Haghighi Hasanalideh³ and Ali Mohadesi⁴

1. Research Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran (*Corresponding author: rahimsoroush@yahoo.com)
2. Research Associate Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
3. Research Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
4. Researcher, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Considering the lack of food in the world, increasing the production of rice is one of the demands of the global market and one of the important goals of many countries producing this crop plant. The final performance of each organism is affected by the genotypic potential, the environmental effects and the interaction between genotype and environment. The interaction of genotype and environment causes that different genotypes do not have the same reaction under different environmental conditions. Genotypes that can produce higher yields in different regions or under different environmental conditions and maintain their performance stability are considered as successful genotypes. In this study, nine promising rice lines originating from the Hashemi variety, along with two varieties Hashemi and Gilaneh, were evaluated for grain yield in two regions during two years. The objective of this study was to evaluate the stability of the studied lines and introduce the most stable ones in order to introduce the new varieties.

Materials and methods

The plant materials of this experiment were nine promising rice lines originating from the Hashemi variety, as a Iranian local variety with good quality, along with two varieties Hashemi and Gilaneh as control varieties. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications in two regions, Rice Research Institute of Iran (Guilan province, Iran) and Chaparsar Research Station (Mazandaran province, Iran), in two years, 2017 and 2018. The studied traits included grain yield, days to 50% flowering, head rice percentage, milling efficiency, grain length, amylose content and gelatinization temperature. For data statistical analysis, simple analysis of variance was firstly performed for grain yield, and then Bartlett's test was done to check the uniformity of the experimental errors. Combined analysis of variance and comparison of means by Duncan's method was performed with SAS software. To evaluate the stability of the studied lines, Lin and Binns and GGE-biplot methods were used.

Research findings

The results of combined analysis of variance showed that the effects of genotype and year as well as the interaction of year×place and year×place×genotype on grain yield were significant. Therefore, grain yield stability of the studied genotypes was evaluated using Lin and Binns and GGE-biplot



methods. The results of Lin and Binns method indicated that two genotypes Gilaneh and 19603 (Hashemi/IR74720-85-1-2-1), with the lowest intra-location variance, were the most stable genotypes in this experiment. The results of GGE-biplot graphical method also showed that the genotypes 19607, Hashemi and Gilaneh, which formed the vertices of the polygon in the grain yield biplot, were the best or the weakest genotypes in some environments or in all environments. Also, the simultaneous evaluation of stability and grain yield of the studied genotypes identified the promising line 19603 as the best genotype. The graph of ideal genotype also showed that the promising line 19603 had the smallest distance from the hypothetical ideal genotype compared to other genotypes, so it was the best genotype of this experiment.

Conclusion

The results of stability analysis of rice genotypes using Lin and Binns and GGE-biplot methods introduced genotype 19603 as the most stable genotype of this experiment. This promising line along with the promising line 19607 produced the highest average paddy yield in all studied environments. These genotypes with the number of days to 50% flowering less than 95 days, grain length more than seven mm, and medium amylose content and gelatinization temperature, were considered as genotypes with mid-maturing, long-grain (Sadri) and good cooking quality. Therefore, two promising lines 19603 and 19607 are suggested for cultivar introduction programs.

Keywords: Cooking quality, Graphic analysis, Ideal genotype, Maturity period

Received: July 24, 2023

Accepted: September 18, 2023

Cite this article:

Rahim Soroush, H., Hoseini Chaleshtori, M., Ebadi, A. A., Haghighi Hasanalideh, A. R., & Mohadesi, A. (2023). Evaluation of agronomic traits, grain quality and yield stability for promising rice lines using Lin and Binns and GGE-biplot methods. *Cereal Research*, 13(3), 215-229. doi: [10.22124/CR.2023.25478.1792](https://doi.org/10.22124/CR.2023.25478.1792).



ارزیابی صفات زراعی، کیفیت دانه و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش برنج با استفاده از روش‌های لین و بینز و GGE-biplot

حسین رحیم‌سروش^{۱*}، مریم حسینی چالشتی^۲، علی‌اکبر عبادی^۲، علیرضا حقیقی حسنعلیده^۳ و علی محدثی^۴

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران (* نویسنده مسئول):

rahimsouroush@yahoo.com

۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۴- محقق، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

چکیده جامع

مقدمه: با توجه به کمبود مواد غذایی در جهان، افزایش تولید برنج یکی از خواسته‌های بازار جهانی و از اهداف مهم بسیاری از کشورهای تولیدکننده این محصول می‌باشد. عملکرد نهایی هر محصول تحت تاثیر پتانسیل ژنوتیپ، اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرد. برهمکنش ژنوتیپ و محیط موجب می‌شود ژنوتیپ‌های مختلف تحت شرایط محیطی متفاوت واکنش یکسانی نداشته باشند. ژنوتیپ‌هایی که بتوانند در مناطق مختلف و یا تحت شرایط محیطی متفاوت، عملکرد بالاتری تولید کنند و پایداری عملکرد خود را حفظ کنند، ارقام موفق به‌شمار می‌آیند. در این پژوهش، نه لاین امیدبخش برنج با منشاء هاشمی به‌همراه دو رقم هاشمی و گیلانه در دو منطقه و طی دو سال از نظر عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. هدف از مطالعه نیز ارزیابی پایداری لاین‌های مورد مطالعه و معرفی پایدارترین آن‌ها به‌منظور معرفی رقم‌های جدید بود.

مواد و روش‌ها: مواد گیاهی این آزمایش، تعداد نه لاین امیدبخش برنج با منشاء رقم هاشمی به‌عنوان یک رقم برنج محلی ایرانی با کیفیت مطلوب بود که به‌همراه دو رقم هاشمی و گیلانه به‌عنوان رقم‌های شاهد آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو منطقه، موسسه تحقیقات برنج کشور (گیلان، رشت) و ایستگاه تحقیقات چپر سر (مازندران) به‌مدت دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، درصد برنج سالم، راندمان تبدیل، طول شلتوک، محتوای آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینی شدن بود. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، ابتدا تجزیه واریانس ساده برای عملکرد دانه انجام شد و سپس، آزمون بارتلت جهت بررسی یکنواختی خطاهای آزمایش صورت گرفت. تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن با نرم‌افزار SAS انجام شد. به‌منظور ارزیابی پایداری لاین‌های مورد مطالعه نیز از روش‌های لین و بینز و GGE-biplot استفاده شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ و سال و همچنین برهمکنش سال×مکان و سال×مکان×ژنوتیپ بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. به این ترتیب، پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های لین و بینز و GGE-biplot ارزیابی شد. نتایج روش لین و بینز نشان داد که ژنوتیپ‌های گیلانه و ۱۹۶۰۳ (Hashemi/IR74720-85-1-2-1) با داشتن کم‌ترین واریانس درون‌مکانی برای عملکرد دانه، به‌ترتیب پایدارترین ژنوتیپ‌های

این آزمایش بودند. نتایج حاصل از روش گرافیکی GGE-biplot نیز نشان داد که در بای پلات عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های ۱۹۶۰۷، هاشمی و گیلانه که رئوس چند ضلعی را تشکیل دادند، بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در برخی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها بودند. در مقابل، بررسی همزمان پایداری و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها، لاین امیدبخش ۱۹۶۰۳ را به‌عنوان بهترین ژنوتیپ معرفی کرد. نمودار ژنوتیپ ایده‌آل نیز نشان داد که لاین امیدبخش ۱۹۶۰۳ کم‌ترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت و بنابراین برترین ژنوتیپ این آزمایش بود.

نتیجه‌گیری: نتایج ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های برنج با استفاده از روش‌های لین و بینز و GGE-biplot، لاین امیدبخش ۱۹۶۰۳ را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ این آزمایش معرفی کرد. این لاین به‌همراه لاین امیدبخش ۱۹۶۰۷، بالاترین میانگین عملکرد شلتوک را در تمامی محیط‌های ارزیابی شده تولید کردند. این ژنوتیپ‌ها، با تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی کم‌تر از ۹۵ روز، طول دانه بیش از هفت میلی‌متر و میزان آمیلوز و دمای ژلاتینی شدن متوسط، در ردیف ژنوتیپ‌های میان‌رس، دانه‌بلند (صدری) و با کیفیت پخت مطلوب قرار گرفتند. بنابراین، دو لاین امیدبخش ۱۹۶۰۳ و ۱۹۶۰۷ به‌منظور اجرای برنامه‌های معرفی رقم، پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه گرافیکی، دوره رسیدگی، ژنوتیپ ایده‌آل، کیفیت پخت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

نحوه استناد به این مقاله:

رحیم‌سروش، حسین، حسینی چالستری، مریم، عبادی، علی‌اکبر، حقیقی حسنعلیده، علیرضا، و محدثی، علی. (۱۴۰۲). ارزیابی صفات زراعی، کیفیت دانه و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش برنج با استفاده از روش‌های لین و بینز و GGE-biplot. *تحقیقات غلات*، ۱۳(۳)، ۲۱۵-۲۲۹. doi: [10.22124/CR.2023.25478.1792](https://doi.org/10.22124/CR.2023.25478.1792)

مقدمه

تأمین غذای کافی برای بشر یک چالش اساسی است، به‌ویژه اکنون که بهره‌برداری از منابع آب و زمین از مرزهای پایدار فراتر رفته است (Soltani *et al.*, 2020). با توجه به کمبود مواد غذایی مردم جهان تا سال ۲۰۵۰، مسلماً بخش اعظم موضوع امنیت غذایی بر جنبه‌های تولید غذا متمرکز است. افزایش تولید برنج، از خواسته‌های بازار جهانی و از اهداف بسیاری از کشورهای تولیدکننده این محصول راهبردی است که هنوز فاصله زیادی بین پتانسیل‌ها و امکانات تولید آن وجود دارد. افزایش تولید همیشه یک راه‌کار مهم برای کمک به افزایش امنیت غذایی بوده است (Keramat *et al.*, 2021). بر اساس آمار سازمان خواروبار جهانی (فائو) در سال ۲۰۲۱، میزان اراضی زیر کشت برنج حدود ۱۶۵ میلیون هکتار و متوسط عملکرد آن ۴/۸ تن در هکتار بوده است (FAO, 2023). در ایران نیز طبق جدیدترین آمار منتشر شده از وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت برنج در کشور ۷۹۱ هزار هکتار و میزان تولید آن ۳/۶ میلیون تن با متوسط عملکرد ۴/۶ تن در هکتار بوده است (Ministry of Agriculture-Jahad, 2023). از کل سطح زیر کشت کشور، ۵۷۷ هزار هکتار معادل ۷۳ درصد متعلق به دو استان گیلان و مازندران بوده که از این سطح، ۲/۶ میلیون تن شلتوک با متوسط عملکرد ۴/۴ تن در هکتار به‌دست آمده است (Ministry of Agriculture-Jahad, 2023). تغییرات اقلیمی یا محیطی را می‌توان یکی از مهم‌ترین دلایل چالش امنیت غذایی دانست که می‌تواند عوامل دیگر را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد. دستیابی به پتانسیل عملکرد بالقوه، بستگی به توان سازگاری رقم در شرایط مختلف محیطی، راه‌کارهای مدیریتی و سایر عوامل مانند میزان آب مصرفی، میزان بارندگی و عوامل اکولوژیک دارد. از این‌رو، با توجه به افزایش جمعیت، افزایش قیمت محصول و افزایش تقاضا، افزایش تولید برنج با افزایش سطح زیر کشت و عمدتاً با افزایش عملکرد در واحد سطح تمرکز خواهد یافت.

معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار، یکی از اهداف مهم برای هماهنگی با افزایش جمعیت جهان است (Singh *et al.*, 2019). عملکرد نهایی هر محصول با پتانسیل ژنوتیپ (G)، اثر محیط (E) و برهمکنش ژنوتیپ و محیط (GE) تعیین می‌شود (Yan & Kang, 2002). عملکرد ارقام و لاین‌های برنج اغلب تحت تأثیر محیط قرار

می‌گیرد. بنابراین ارزیابی ژنوتیپ‌های امیدبخش در چند سال یا در چند مکان روش مناسبی جهت شناسایی پایداری عمومی و خصوصی عملکرد آن‌ها می‌باشد (Yan *et al.*, 2000). پایداری و سازگاری دو واژه پرکاربرد و مهم در بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط هستند. به توان ژنتیکی تولید عملکرد بالا در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها، سازگاری می‌گویند که به دو دسته خصوصی و عمومی تقسیم می‌شود. رقم‌های دارای سازگاری عمومی در محیط‌های مختلف عملکرد بیش‌تری دارند، اما رقم‌های با سازگاری خصوصی به‌طور معمول ظرفیت ژنتیکی عملکرد بالا را در محیط‌های محدودی دارند که باعث می‌شود چنین رقمی در زیر نواحی خاصی از یک ناحیه بزرگ استفاده شود. اما مفهوم پایداری عملکرد به ثبات عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط محیطی مختلف اطلاق می‌شود (Hill *et al.*, 1998). هرچند بیش‌تر محققان مفهوم سازگاری و پایداری عملکرد را یکسان و به مفهوم عملکرد بالا و با ثبات یک رقم در محیط‌های مختلف در نظر گرفته‌اند، ولی برخی از محققان مفهوم سازگاری را بیش‌تر به داشتن عملکرد بالا و پایدار در مکان‌های مختلف و در ارتباط با برهمکنش ژنوتیپ × مکان در نظر می‌گیرند. بنابراین، مفهوم پایداری بیش‌تر در ارتباط با ثبات عملکرد در طی زمان و متناسب با برهمکنش ژنوتیپ × سال استفاده می‌شود (Barah *et al.*, 1981; Lin & Binns, 1993; Evans, 1988). با توجه به واکنش متفاوت ارقام برنج نسبت به شرایط محیطی و قابل کنترل نبودن شرایط محیطی، برهمکنش ژنوتیپ در محیط می‌تواند هر گونه پیشرفت ناشی از گزینش را کاهش دهد. بنابراین، ارقامی که بتوانند در مناطق مختلف با تنش‌های محیطی، عملکرد بالاتری تولید و پایداری عملکرد خود را حفظ کنند، ارقام موفق‌تری به‌شمار می‌آیند. از این‌رو، انجام آزمایش‌های سازگاری و پایداری عملکرد برای دستیابی به ارقامی با عملکرد بالا و پایدار در مناطق مختلف، همیشه مورد توجه به‌نژادگران بوده است (Sharifi *et al.*, 2020).

روش‌های گوناگونی برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارایه شده است که شامل روش‌های پارامتری تک‌متغیره و چندمتغیره و روش‌های ناپارامتری می‌باشند. روش‌های پارامتری تک‌متغیره، در چهار گروه واریانس و ضریب تغییرات محیطی، اکووالانس و واریانس پایداری، ضریب رگرسیون و انحراف از خط رگرسیون تقسیم‌بندی می‌شوند. اغلب آماره‌های یاد

ژنوتیپ‌های برنج بر اساس روش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و منجر به معرفی ارقامی همچون گیلانه (Allahgholipour & Haghghi Hasanalideh, 2021) و ستایش (Mohtashami *et al.*, 2022) شده است. نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که در بیش‌تر آزمایش‌های تجزیه پایداری، اثر اصلی محیط زیاد است، در حالی‌که تغییرات توجیه‌شده توسط اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ×محیط که قابل توصیه و تفسیر هستند، کم است. از آنجایی‌که محیط قابل کنترل نیست، از این‌رو در روش GGE-biplot از منابع تغییرات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ×محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی را به‌دست آورد. در روش GGE-biplot با بهره‌گیری از روش‌های چندمتغیره و رسم نمودارهای دو بعدی، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، تفسیر نتایج نیز ساده‌تر است و از این‌رو یک روش مناسب برای تجزیه پایداری است (Yan *et al.*, 2000). با توجه به مطالب فوق، این آزمایش به‌منظور ارزیابی پایداری عملکرد تعداد نه لاین امیدبخش برنج با منشاء هاشمی به‌همراه دو رقم گیلانه و هاشمی به‌عنوان شاهد اجرا شد و هدف از اجرای آزمایش، معرفی لاین‌های پرمحصول و پایدار بود.

مواد و روش‌ها

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این پژوهش حاصل تلاقی ساده رقم محلی هاشمی با ارقام وارداتی و اصلاح شده بودند که پس از انتخاب در نسل‌های در حال تفرق، خالص‌سازی شدند (جدول ۱). این ژنوتیپ‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو منطقه رشت و چپر سر طی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ کشت و ارزیابی شدند. بذریاشی در نیمه دوم فروردین‌ماه درخزانه جوی و پشته و نشاکاری در مرحله سه تا چهار برگی در زمین اصلی در کرت‌هایی به مساحت ۱۲ مترمربع به‌صورت کپه‌ای (۳ تا ۴ نشاء در هر کپه) با فواصل کاشت ۲۵×۲۵ سانتی‌متر انجام شد. میزان کود شیمیایی ۱۵۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاس و ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم در هکتار در نظر گرفته شد. یک‌سوم اوره، نصف کود پتاس و تمام فسفات آمونیوم قبل از آخرین شخم، یک‌سوم اوره و نصف دیگر کود پتاس در هنگام حداکثر پنجه‌زنی و یک‌سوم باقیمانده اوره در مرحله آبستنی خوشه به زمین اصلی داده شد. سایر عملیات زراعی در خزان و زمین اصلی شامل مبارزه با علف‌های هرز و آفت

شده، همبستگی مثبت و بالایی با یکدیگر دارند. با این وجود، محققان پیشنهاد می‌کنند که برای بازدهی بیش‌تر، بهتر است نتیجه‌گیری بر اساس ترکیبی از روش‌های مختلف صورت گیرد (Kanouni *et al.*, 2021). لین و همکاران (Lin *et al.*, 1986) پارامترهای پایداری را به سه تیپ، یک، دو و سه دسته‌بندی کردند و سپس، لین و بینز (Lin & Binns, 1988) پارامتر پایداری تیپ چهار را تحت عنوان شاخص برتری پیشنهاد کردند. در این روش، ژنوتیپی پایدار است که واریانس بین سال‌های آن در درون یک مکان کوچک باشد. اگرچه محاسبه و استفاده از روش‌های پارامتری تک‌متغیره و ناپارامتری آسان است، ولی این روش‌ها نمی‌توانند ماهیت پیچیده و چندبعدی برهمکنش را به‌خوبی تفسیر کنند. از این‌رو، استفاده از روش‌های چندمتغیره برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است (Zobel *et al.*, 1988; Moreno-Gonzalez *et al.*, 2004). در میان روش‌های چندمتغیره، روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI; Additive Main Effect and Multiplicative Interaction) و روش GGE-biplot از اهمیت بیش‌تری برخوردار هستند. روش GGE-biplot (Yan *et al.*, 2000) از نمودار بای‌پلات (Gabriel, 1971) و روش چندمتغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده و بر خلاف مرسوم‌ترین روش چندمتغیره تجزیه پایداری که فقط اثر متقابل ژنوتیپ×محیط را مدنظر قرار می‌دهد، از اثر اصلی ژنوتیپ نیز استفاده می‌کند. در روش گرافیکی GGE-biplot بر خلاف سایر روش‌های رایج، گزینش ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول بر مبنای تجزیه گرافیکی انجام می‌گیرد. این روش دارای قابلیت‌های فراوان، سهولت و دقت بیش‌تر در انجام تجزیه‌ها و سادگی در تفسیر خروجی‌ها است (Yan, 2016).

در زمینه ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ×محیط در برنج، مطالعات زیادی صورت گرفته و گزارش‌های متعددی در دسترس است که از آن جمله می‌توان به گزارش‌های ارائه شده توسط اله‌قلی‌پور و همکاران (Allahgholipour *et al.*, 2015)، عشقی و همکاران (Eshghi *et al.*, 2016)، خراسانی و همکاران (Khorasany *et al.*, 2019)، مصطفوی و همکاران (Mostafavi *et al.*, 2019)، شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2020)، چلوئی و همکاران (Cheloei *et al.*, 2020) و عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2022) اشاره کرد که در آن‌ها پایداری

درون‌مکانی نیز با تقسیم جذر واریانس درون‌مکانی به میانگین عملکرد هر رقم بر حسب درصد به‌دست آمد.

تجزیه گرافیکی GGE-biplot (Yan & Kang, 2002) بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد (رابطه ۱) با استفاده از نرم‌افزار Genstat انجام شد:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \sum \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

که در آن، Y_{ij} میانگین ژنوتیپ i در محیط j ، μ میانگین کل، β_j اثر اصلی محیط j ، λ_1 مقادیر منفرد برای مؤلفه اصلی 1 ($PCI, l=1, 2$) و برای بای‌پلات دو بعدی، η_{1j} بردار ویژه محیط j برای PCI و ε_{ij} باقیمانده مدل است. همچنین، مقیاس‌بندی متقارن (Symmetrical Scaling) بردارهای ویژه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب با استفاده از روابط (۲) و (۳) انجام شد:

$$\xi_{i1}^* = \lambda_1^{1/2} \xi_{i1} = (\lambda_1 \xi_{ik}) \lambda_1^{1/2} \quad (2)$$

$$\eta_{1j}^* = \lambda_1^{1/2} \eta_{1j} = \eta_{1j} \lambda_1^{1/2} \quad (3)$$

مقدار منفرد برای یک مؤلفه اصلی برابر ریشه دوم مجموع مربعات توجیه شده توسط آن مؤلفه اصلی است. بنابراین ریشه دوم مقادیر منفرد برای مؤلفه اصلی l ام بر اساس رابطه (۴) به‌دست آمد:

$$\lambda_1^{1/2} = (X_1 n)^{1/4} \quad (4)$$

در این رابطه، X_1 مقدار منفرد برای مؤلفه اصلی l ام و n تعداد ژنوتیپ است. پس از مقیاس‌بندی متقارن، بردارهای ویژه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، مقادیر مورد نیاز برای رسم نمودارهای بای‌پلات جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در هر محیط، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس الگوی همزمان عملکرد و پایداری و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ فرضی ایده‌آل انجام شد (Yan & Kang, 2002).

کرم‌ساقه‌خوار برنج و آبیاری غرقابی طبق عرف منطقه و در همه مکان‌ها و سال‌ها به‌صورت یکنواخت انجام شد.

در زمان رسیدگی دانه‌ها، کلیه بوته‌های هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها از مساحت ۱۰ متر مربع برداشت و عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد و سپس میانگین مشاهدات هر کرت جهت تجزیه‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، صفات تعیین‌کننده کیفیت پخت دانه مانند محتوای آمیلوز به‌روش جولیانو (Juliano, 1971) و دمای ژلاتینی شدن به‌روش لیتل و همکاران (Little et al., 1958) اندازه‌گیری شد.

محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس ساده عملکرد بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌طور جداگانه برای مکان‌ها و سال‌ها انجام شد. همچنین، به‌منظور بررسی یکنواختی خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت با استفاده از آماره کای مربع انجام و سپس تجزیه واریانس مرکب داده‌ها انجام شد. آزمون F بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات با فرض تصادفی بودن سال‌ها و مکان‌ها و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها و مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن انجام شد. تجزیه واریانس ساده، مرکب و مقایسه میانگین صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. همچنین، با معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ \times محیط برای صفات مورد بررسی، تجزیه پایداری به‌روش‌های لین و بینز و GGE-biplot انجام شد.

در روش واریانس درون‌مکانی لین و بینز (Lin & Binns, 1988)، ابتدا برای هر رقم واریانس مربوط به سال‌های داخل هر مکان محاسبه و سپس با میانگین‌گیری از این واریانس‌ها در دو مکان مورد مطالعه، واریانس درون‌مکانی برای هر رقم محاسبه شد. ضریب تغییرات

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش مقایسه عملکرد ناحیه‌ای

Table 1. Characteristics of genotypes studied in multi-environment yield

Number	Genotype	Origin
1	19601	Hashemi/IR75489-15-2-1-1
2	19602	Hashemi/ Kadous
3	19603	Hashemi/IR74720-85-1-2-1
4	19604	Hashemi/IR70422-95-1-1
5	19605	Hashemi/IR70416-53-2-2
6	19606	Hashemi/ IR67418-110-32222-1
7	19607	Hashemi/ IR67418-110-32222-2
8	19608	Hashemi/ IR67418-110-32222-3
9	19609	Hashemi/ IR67418-110-32222-4
10	Hashemi	Local variety
11	Gilaneh	(Saleh \times Abjiboji)/Abjiboji

نتایج و بحث

تمام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، میانگین عملکرد بیش‌تری در مقایسه با ژنوتیپ شاهد بومی هاشمی در هر دو مکان چپرسر و رشت طی دو سال داشتند. همچنین ژنوتیپ گیلانه در مکان رشت سال اول و دوم و چپرسر سال دوم، بیشترین محصول را تولید کرد. این در حالی است که ژنوتیپ ۱۹۶۰۷ در یک مکان با بیش‌ترین عملکرد در رتبه اول و در دو مکان نیز اختلاف معنی‌داری با رقم گیلانه داشت. ژنوتیپ ۱۹۶۰۳ نیز بعد از رقم گیلانه در سه مکان بیش‌ترین عملکرد را با/ یا بدون اختلاف معنی‌دار با گیلانه تولید کرد. بنابراین سه ژنوتیپ گیلانه، ۱۹۶۰۷ و ۱۹۶۰۳ در اکثر مکان‌ها و سال‌ها بر سایر ارقام مورد آزمایش برتری داشتند و یا اینکه حداقل هم‌گروه تعدادی از آن‌ها بودند. وجود اختلاف در میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها از مکانی به مکان دیگر و یا از سالی به سال دیگر بیانگر این واقعیت است که ارزیابی عملکرد ژنوتیپ‌ها در یک مکان یا یک سال نمی‌تواند دقیق و قابل توصیه باشد و باید ژنوتیپ‌ها، طی سال‌ها و مکان‌های متعدد مورد ارزیابی قرار گرفته و سازگاری و پایداری آن‌ها مشخص شود.

نتایج تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه در سال‌ها و مکان‌های مختلف نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر توان تولید محصول تفاوت‌های معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. ضریب تغییرات خطای آزمایش‌ها نیز بین ۱/۵۵ تا ۲/۴۴ درصد و نشان دهنده دقت بسیار خوب آزمایش‌ها بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها (جدول ۳) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۹۶۰۷ و ۱۹۶۰۳ به ترتیب با تولید محصول ۵۴۶۸/۳ و ۵۳۴۲/۳ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد را در چپرسر در سال اول به خود اختصاص دادند و بدون اختلاف معنی‌دار در یک گروه قرار گرفتند. بعد از آن نیز ژنوتیپ‌های ۱۹۶۰۱، ۱۹۶۰۲، ۱۹۶۰۶ و گیلانه با تولید بیش از ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بعلاوه ژنوتیپ‌های ۱۹۶۰۹ و ۱۹۶۰۸ عملکرد کم‌تر از گیلانه (۵۱۸۵/۳ کیلوگرم در هکتار)، اما بدون اختلاف معنی‌دار با آن تولید کردند. نتایج نشان داد که

جدول ۲- تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش‌های چندناحیه‌ای

Table 2. Simple analysis of variance for grain yield of the studied genotypes in multi-environmental trials

Source of variation	df	Mean square			
		2017		2048	
		Rasht	Chaparsar	Rasht	Chaparsar
Block	3	36589.17	5723.30	36551.33	2066.93
Genotype	10	1067294.01**	1783891.82**	1197039.47**	987263.22**
Error	18	11243.61	12545.12	7547.93	5240.8
CV (%)	-	2.17	2.44	1.87	1.55

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

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش‌های چندناحیه‌ای

Table 3. Comparison of means for grain yield of the studied genotypes in multi-environmental trials

Genotype	2017		2018	
	Rasht	Chaparsar	Rasht	Chaparsar
19601	5052.5 ^{ab}	5284.8 ^b	4728.0 ^d	4800.3 ^b
19602	5013.5 ^{ab}	5235.3 ^{bc}	4736.3 ^d	4694.0 ^{bc}
19603	5069.8 ^a	5342.3 ^a	4977.8 ^b	5030.0 ^a
19604	4892.8 ^{bc}	5011.3 ^{de}	4496.5 ^e	4568.5 ^d
19605	4798.3 ^c	4960.5 ^e	4558.5 ^e	4618.3 ^{cd}
19606	5160.5 ^a	5215.0 ^{bc}	4911.8 ^{bc}	4774.3 ^b
19607	5155.0 ^a	5468.3 ^a	4741.5 ^d	5057.8 ^a
19608	5033.8 ^{ab}	5066.0 ^{cde}	4806.5 ^{cd}	4720.5 ^{bc}
19609	5089.3 ^a	5102.5 ^{cde}	4815.0 ^{cd}	4620.8 ^{cd}
Gilaneh	5177.0 ^a	5185.3 ^{bcd}	5147.5 ^a	5078.5 ^a
Hashemi	3373.5 ^d	3027.5 ^f	3079.8 ^f	3264.0 ^e

Means followed by the similar letter (s) in each column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 1% probability level.

ژنوتیپ ۱۹۶۰۶ قرار گرفت. بعلاوه، کلیه ژنوتیپ‌ها برتری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نسبت به شاهد هاشمی (با کم‌ترین مقدار عملکرد)، داشتند (جدول ۵). نتایج ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها به روش لین و بینز (Lin & Binns, 1988) نشان داد که به‌ترتیب ژنوتیپ‌های گیلانه و ۱۹۶۰۳ (Hashemi/IR74720-85-1-2-1) دارای کم‌ترین مقدار واریانس و ضریب تغییرات درون‌مکانی بودند و رتبه‌های اول و دوم پایداری را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۵). بدین معنی که عملکرد این ژنوتیپ‌ها از سالی به سال دیگر دارای نوسانات کم‌تری در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر بررسی شده در این تحقیق بود و بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. بعلاوه، عملکرد این ژنوتیپ‌ها نیز برتری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر داشت. عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2022) نیز در پژوهشی مشابه، پایداری ۱۴ لاین جهش‌یافته برنج را با روش‌های مختلف تجزیه پایداری بررسی و شاخص‌های برتری لین و بینز را شاخص‌های مناسبی برای شناسایی لاین‌های پایدار و با عملکرد بالا گزارش کردند. لین و بینز (Lin & Binns, 1988) واریانس درون‌مکانی را به‌عنوان شاخص پایداری نوع چهارم، یک شاخص وراثت‌پذیر معرفی کردند. آن‌ها معتقد بودند که از بین عوامل موثر بر عملکرد واریته‌ها، عامل غیرقابل کنترل سال است نه مکان، و بنابراین اظهار داشتند که واریته‌ها را می‌بایست نسبت به نوسانات سالیانه ارزیابی و برای تعیین پایداری مورد استفاده قرار داد و از عامل مکان فقط برای تعیین وسعت کشت واریته‌ها در مکان‌های مختلف استفاده کرد.

به‌منظور تجزیه واریانس مرکب، ابتدا آزمون بارتلت جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد. بر اساس نتایج، مقدار χ^2 برابر با ۴/۰۴ برآورد شد که از نظر آماری معنی‌دار نبود. از این‌رو، واریانس خطاهای آزمایشی یکنواخت بود و می‌توان تجزیه واریانس مرکب داده‌ها را انجام داد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب (جدول ۴) نشان داد که اثرات ساده ژنوتیپ و سال معنی‌دار بود که بیانگر وجود اختلافات ژنتیکی در عملکرد بین ژنوتیپ‌های مختلف و نیز وجود تفاوت در میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها از سالی به سال دیگر بود، به‌طوری که عوامل جوی مانند بارش‌ها، طول روز، حداقل و حداکثر دمای هوا و خاک و سایر عوامل اقلیمی طی دو سال اجرای آزمایش یکسان نبوده و این تفاوت‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد ژنوتیپ‌ها داشتند. اثر ساده مکان معنی‌دار نبود، یعنی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق مورد آزمایش باعث ایجاد اختلاف قابل توجه در مکان‌ها نشدند. برهمکنش ژنوتیپ × سال و ژنوتیپ × مکان نیز بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود و به‌عبارت دیگر پاسخ ژنوتیپ‌ها در دو مکان و نیز طی دو سال یکسان بود. در مقابل، برهمکنش سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان معنی‌دار شد. ستاری و همکاران (Sattari *et al.*, 2019) و شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2020) نیز با بررسی پایداری لاین‌های برنج، نتایج مشابهی را گزارش کردند.

مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در چهار آزمایش (دو مکان و دو سال) نشان داد که بیش‌ترین عملکرد را ژنوتیپ‌های گیلانه، ۱۹۶۰۷ و ۱۹۶۰۳ با تولید محصول ۵۱۰۰ تا ۵۱۵۰ کیلوگرم در هکتار داشتند و بعد از آن‌ها

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش‌های چندناحیه‌ای

Table 4. Combined analysis of variance for grain yield of the studied genotypes in multi-environmental trials

Sources of variation	df	Mean square
Year	1	3827330.20**
Location	1	181987.07 ^{ns}
Year × Location	1	51210.57 *
Replication (Year × Location)	12	20546.57
Genotype	10	4846337.15**
Genotype × Year	10	78200.87 ^{ns}
Genotype × Location	10	65079.85 ^{ns}
Genotype × Year × Location	10	46460.94**
Error	120	8975.35

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

جدول ۵- پارامترهای پایداری لین و بینز برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش‌های چندناحیه‌ای

Table 5. Lin and Binns stability parameters for grain yield of studied genotypes in multi-environmental trials

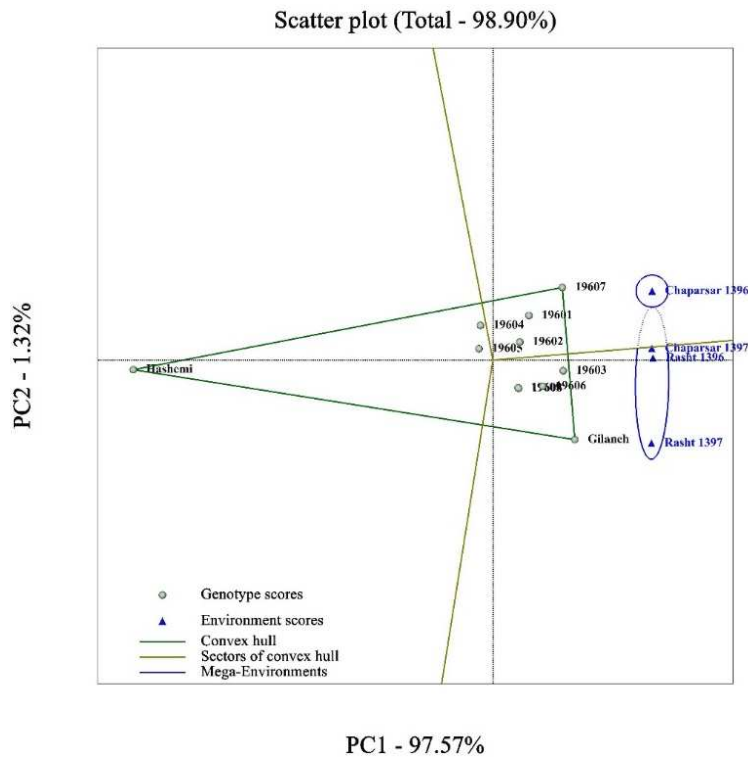
Genotype	Grain yield (kg/ha) [†]	Yield ranking	Intra-location variance	Variance ranking	Intra-location CV	CV ranking
19601	4966.38 ^{bc}	5	85010.1	9	5.87	8
19602	4919.75 ^c	6	92461.4	11	6.18	10
19603	5104.94 ^a	3	26498.8	2	3.19	2
19604	4742.25 ^d	9	88281.4	10	6.27	11
19605	4733.88 ^d	10	43651.2	5	4.41	4
19606	5015.38 ^d	4	64017.1	6	5.04	5
19607	5105.63 ^a	2	84873.1	8	5.71	7
19608	4906.69 ^c	8	42758.0	4	4.21	3
19609	4906.88 ^c	7	76818.8	7	5.65	6
Hashemi	3186.19 ^e	11	35548.0	3	5.92	9
Gilaneh	5147.06 ^c	1	3069.1	1	0.34	1

[†] Means followed by the similar letter (s) in each column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 1% probability level.

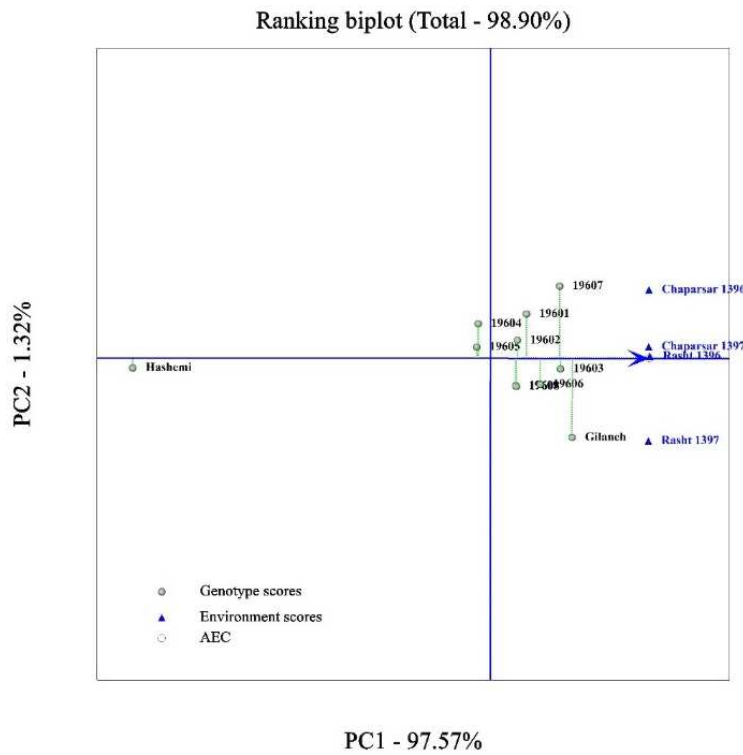
بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها استفاده کرد. محور با دایره و فلش نشان‌دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک‌تر باشد، پایدارتر است. علاوه بر این، خط عمودی نشان‌دهنده متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها است و ژنوتیپ‌های موجود در سمت راست و چپ این خط به ترتیب دارای عملکرد بیش‌تر و کم‌تر از متوسط عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها هستند (Yan *et al.*, 2000). بر این اساس، ژنوتیپ‌های هاشمی، ۱۹۶۰۳، ۱۹۶۰۵، ۱۹۶۰۲ و ۱۹۶۰۶ بیش‌ترین پایداری را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند و در این بین ژنوتیپ ۱۹۶۰۳ از پایداری و عملکرد دانه مناسبی برخوردار بود (شکل ۲). عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2022) نیز به منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های موتانت برنج از روش GGE-biplot استفاده و لاین‌های امیدبخش پایدار و با عملکرد بالا را شناسایی کردند که در نهایت منجر به معرفی رقم جدید کیان شد. محتشمی و همکاران (Mohtashami *et al.*, 2022) نیز ژنوتیپ‌های مختلف برنج را از لحاظ پایداری عملکرد مورد ارزیابی قرار دادند و لاین ۵۳ را که با تولید عملکرد بالا، پایداری مناسبی نیز در مناطق مورد بررسی داشت، به‌عنوان برترین لاین آزمایش انتخاب کردند. این لاین علاوه بر عملکرد و پایداری مناسب، دارای ویژگی‌های کمی و کیفی بسیار مناسب دانه نیز بود و در سال ۱۴۰۰ به‌عنوان رقم ستایش جهت کشت در مناطق سردسیر کشور به جامعه کشاورزی معرفی شد (Mohtashami *et al.*, 2022).

نتایج حاصل از روش GGE-biplot نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول (معرف اثر اصلی ژنوتیپ) و دوم (معرف برهمکنش ژنوتیپ × محیط) به ترتیب ۹۷/۵۷ و ۱/۳۲ درصد و در مجموع ۹۸/۹۰ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند (شکل ۱). درصد توجیه بالا اعتبار بیش‌تر نتایج حاصل از این روش را نشان می‌دهد. چلویی و همکاران (Cheloei *et al.*, 2020) نیز در تحقیقی مشابه بیان کردند که دو مولفه اول در مجموع ۹۲/۵۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر و محیط‌های بزرگ، نمودار چندضلعی GGE-biplot رسم و در شکل ۱ ارائه شد. در این شکل، ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند، توسط خطوط مستقیمی به یکدیگر متصل و یک چندضلعی حاصل می‌شود. ژنوتیپ‌های واقع در رأس این چندضلعی، ارقام برتر برای محیط‌های واقع در آن ناحیه هستند (Yan *et al.*, 2000). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ژنوتیپ‌های ۱۹۶۰۷، هاشمی و گیلانه که رأس‌های چندضلعی را تشکیل دادند، بیش‌ترین فاصله را از مرکز بای‌پلات دارند و بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در برخی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها هستند. دو ژنوتیپ ۱۹۶۰۷ و گیلانه با بیش‌ترین عملکرد دانه در محیط‌های مورد بررسی، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر و رقم هاشمی با کم‌ترین عملکرد دانه در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها، به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ این آزمایش شناخته شدند.

از نمودار محور پایداری یا بای‌پلات مختصات ستر متوسط (Average tester coordinate) می‌توان برای



شکل ۱- نمودار بای پلات چندضلعی برای شناسایی محیط‌های بزرگ و ژنوتیپ‌های برتر
Figure 1. Biplot polygon diagram to identify large environments and superior genotypes

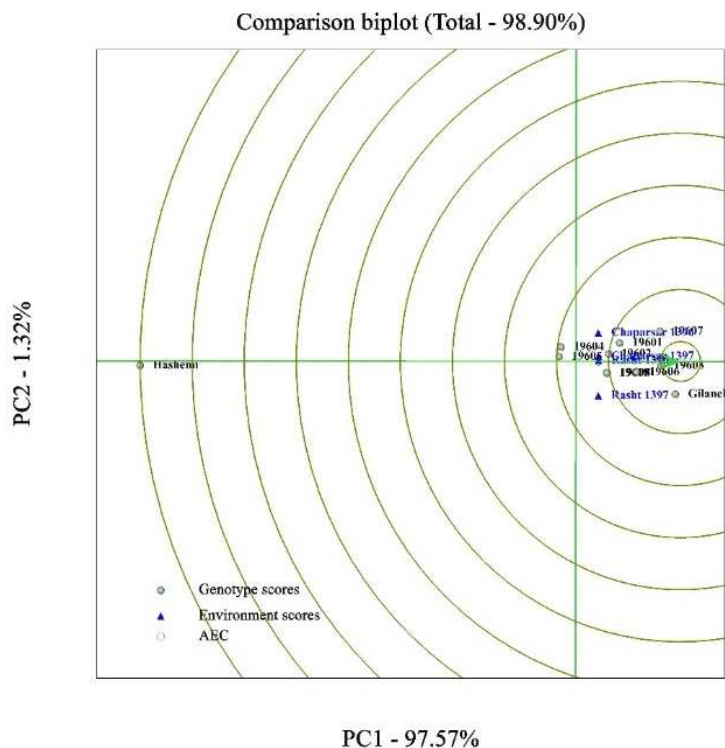


شکل ۲- نمودار بای پلات مختصات تستر متوسط برای بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه
Figure 2. Biplot graph of average tester coordination (ATC) for simultaneous evaluation of stability and grain yield of the studied genotypes

بیش‌ترین فاصله از این ژنوتیپ، به‌عنوان نامناسب‌ترین ژنوتیپ در این پژوهش بود.

علاوه بر عملکرد و پایداری، ویژگی‌های زراعی و کیفی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز ارزیابی و در جدول ۶ ارائه شد. نتایج نشان داد که تمامی ژنوتیپ‌ها دارای میزان آمیلوز (۱۹/۸ - ۲۳/۳ درصد) و دمای ژلاتینی شدن متوسط (۳-۵) و بسیار نزدیک به دو رقم شاهد کیفی هاشمی و گیلانه بودند. ارقام آمیلوز متوسط برنج، پس از پخت نرم و متورم و کاملاً از هم جدا شده و مدت‌ها پس از پخت نرم یا قی می‌مانند. از نظر کیفیت تبدیل دانه نیز همه ژنوتیپ‌ها دارای مقدار تبدیل بین ۶۸-۷۲/۶ درصد و برنج سالم بین ۵۹/۲۱-۵۲/۳۳ درصد بودند. از بین آن‌ها مقدار برنج سالم ژنوتیپ‌های ۱۹۶۰۱، ۱۹۶۰۲ و ۱۹۶۰۳ نزدیک به رقم هاشمی (۵۶/۴۵ درصد) و ژنوتیپ ۱۹۶۰۴ بیش‌تر از رقم هاشمی بود. از نظر کیفیت ظاهری دانه، ژنوتیپ‌های ۱۹۶۰۱، ۱۹۶۰۳، ۱۹۶۰۴ و ۱۹۶۰۵ با طول دانه بیش از ۷/۵ میلی‌متر از گروه برنج‌های خیلی دانه‌بلند و سایر ژنوتیپ‌ها به‌همراه دو رقم شاهد با طول دانه ۶/۶-۷/۵ میلی‌متر از برنج‌های دانه‌بلند بودند.

نمودار ژنوتیپ ایده‌آل بر اساس تعیین فاصله ژنوتیپ‌ها از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی رسم می‌شود. ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بر اساس پایدارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ تعریف و به‌صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داده می‌شود. این ژنوتیپ دارای بیش‌ترین طول روی بردار میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها و کم‌ترین فاصله از محور افقی بای‌پلات است و بنابراین حداقل نقش را در ایجاد برهمکنش ژنوتیپ × محیط دارد. در نتیجه، هر ژنوتیپی که کم‌ترین فاصله را نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل فرضی داشته باشد، به‌عنوان ژنوتیپ برتر در نظر گرفته می‌شود (Yan & Kang, 2002). برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم‌مرکزی در بای‌پلات به‌منظور تعیین فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل رسم می‌شود (شکل ۳). هر ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها بوده و یا نزدیک‌ترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی داشته باشد، به‌عنوان یک ژنوتیپ برتر با عملکرد و پایداری بالا محسوب می‌شود (Yan & Kang, 2002). همان‌طور که مشاهده می‌شود، ژنوتیپ ۱۹۶۰۳ با کم‌ترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی، به‌عنوان برترین ژنوتیپ و رقم هاشمی با



شکل ۳- نمودار بای‌پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد بررسی با ژنوتیپ ایده‌آل

Figure 3. Biplot diagram for comparing the experimental genotypes with the ideal genotype

جدول ۶- مشخصات کیفی لاین‌های امیدبخش برنج مورد مطالعه در این آزمایش

Table 6. Quality characteristics of the promising rice lines studied in this experiment

Genotype	Days to 50% flowering	Head rice (%)	Milling efficiency (%)	Grain length (mm)	Gelatinization temperature	Amylose content (%)
19601	87	56.17	72.60	7.52	4.2	20.6
19602	89	56.47	68.00	7.43	3.8	21.4
19603	86	56.34	68.65	7.56	4.3	23.3
19604	89	59.21	69.12	7.83	4.2	19.8
19605	88	54.00	72.47	7.56	3.9	19.8
19606	93	53.47	69.36	7.42	4.5	21.12
19607	90	54.12	70.85	7.02	4.8	20.23
19608	95	53.68	71.03	7.33	4.9	21.34
19609	94	52.33	70.84	7.26	3.9	20.81
Hashemi	89	56.45	71.25	7.22	4.3	21.2
Gilaneh	87	61	71	7.14	4.7	20.8

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش برنج با استفاده از روش‌های لین و بینز و GGE-biplot نشان داد که لاین ۱۹۶۰۳، پایدارترین لاین امیدبخش نسبت به همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود. علاوه بر این، لاین ۱۹۶۰۳ به همراه لاین ۱۹۶۰۷ با میانگین تولید بیش‌ترین مقدار عملکرد شلتوک در دو مکان و دو سال اجرای آزمایش، اختلاف معنی‌داری با رقم شاهد اصلاح‌شده گیلانه نداشت و به‌عنوان ارقام پرمحصول این آزمایش محسوب شدند. این دو لاین، از لحاظ طول دوره رشد با تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی کم‌تر از ۹۵ روز از ارقام میان‌رس بودند. همچنین، از نظر کیفیت پخت، به‌علاوه دارا بودن درصد آمیلوز و دمای ژلاتینی شدن متوسط در ردیف ژنوتیپ‌های با کیفیت پخت مطلوب قرار گرفتند. از نظر کیفیت تبدیل دو لاین ۱۹۶۰۳ و ۱۹۶۰۷ به‌ترتیب با ۶۸/۶۵ و ۷۰/۸۵ درصد تبدیل کل و ۵۶/۳۴ و ۵۴/۱۲ درصد برنج سالم، در حد عالی بودند و از نظر کیفیت ظاهری دانه نیز با طول دانه بیش از ۷ میلی‌متر از گروه برنج‌های دانه‌بلند یا صدی محسوب شدند.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

- Allahgholipour, M., & Haghghi Hasanalideh, A. (2021). Gilaneh, an improved rice cultivar with high grain quality through backcrossing. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(3), 160-170. doi: [10.22034/CAJPSI.2021.03.04](https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.03.04).
- Allahgholipour, M., Mohadessi, A., Jazaeri Nooshabadi, M., Nahvi, M., & Sharafi, N. (2015). Adoptability and sustainability of promising rice lines in Guilan province. Rice Research Institute of Iran Publications. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). 46 p. [In Persian].
- Barah, B. C., Binswanger, H. P., Rana, B. S. & Rao, G. P. (1981). The use of risk aversion in plant breeding: Concept and application. *Euphytica*, 30, 451-458. doi: [10.1007/BF00034010](https://doi.org/10.1007/BF00034010).

- Cheloei, G., Ranjbar, G., Babaeian Jelodar, N., Bagheri, N., & Noori, M. Z. (2020). Using AMMI model and its parameters for yield stability analysis of rice (*Oryza sativa* L.) advanced mutant genotypes of Tarrum-Mahalli. *Iranian Journal of Genetics & Plant Breeding* 9(1), 70-83. doi: [10.30479/IJGPB.2020.13219.1271](https://doi.org/10.30479/IJGPB.2020.13219.1271).
- Ebadi, A., Sharifi, P. & Taher Hallajian, M. (2022). Stability analysis of grain yield of rice mutants by multivariate methods and superiority index. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 32(2), 313-332. [In Persian]. doi: [10.22034/saps.2021.45415.2668](https://doi.org/10.22034/saps.2021.45415.2668).
- Eshghi, I., Asghari Zakaria, R., Nabipour, A., Sofalian, O., & Norouzi, M. (2016). Yield stability of rice promising lines in Mazandaran province. *Iranian Journal of Field Crop Science* 47(3), 515-525. [In Persian]. doi: [10.22059/ijfcs.2016.60131](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2016.60131).
- Evans, L. T. (1993). *Crop Evolution, Adaptation, and Yield*. New York, Cambridge University Press doi: [10.1017/S0889189300005361](https://doi.org/10.1017/S0889189300005361).
- FAO. (2023). *FAO Statistical Yearbook 2023*. Food & Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. <http://www.fao.org/statistics>.
- Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58, 453-467. doi: [10.1093/biomet/58.3.453](https://doi.org/10.1093/biomet/58.3.453).
- Hill, J., Becker, H. C., & Tigerstedt, P. M. A. (1998). Stability, Adaptability and Adaptation. In: *Quantitative and Ecological Aspects of Plant Breeding*. Plant Breeding. Springer, Dordrecht. pp: 187-211. doi: [10.1007/978-94-011-5830-5_7](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5830-5_7).
- Juliano, B. O. (1971). *Rice: Chemistry and Technology*. The American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, 774 p.
- Kanouni, H., Sadeghzadeh Ahari, D., Saeid, A., Shobeiri, S., Mahdieh, M., Haji Hasani, M., Sotoudeh-Maram, K., & Beheshti Danalou, M. (2021). Investigation of grain yield stability of desi type chickpea across different environments and introducing promising lines. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 31(1), 295-312. [In Persian]. doi: [10.22034/saps.2021.12816](https://doi.org/10.22034/saps.2021.12816).
- Keramat, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zeinali, E. (2021). Evaluation of rice production potential and yield gap in Iran using SSM-iCrop2 model. *Cereal Research*, 11(3), 175-191. [In Persian]. doi: [10.22124/cr.2022.20959.1696](https://doi.org/10.22124/cr.2022.20959.1696).
- Khorasany, E., Fahmideh, L., Babaeian, N. A., & Ranjbar, G. (2019). Studying some of the agronomy traits and yield stability of rice genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 11(31), 196-208. [In Persian]. doi: [10.29252/jcb.11.31.196](https://doi.org/10.29252/jcb.11.31.196).
- Lin, C. S., Binns, M. R., & Lefkovich, L. P. (1986). Stability analysis: Where do we stand?. *Crop Science*, 26, 894-900. doi: [10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x](https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x).
- Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A method of analyzing cultivar \times location \times year experiment: A new stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics*, 76, 425-430. doi: [10.1007/bf00265344](https://doi.org/10.1007/bf00265344).
- Little, R. R., Hilder, G. B., & Dawson, E. H. (1958). Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chemistry*, 35, 111-126.
- Ministry of Agriculture-Jahad. (2023). *Agricultural Statistics of the Cropping Year 2021-22*. Vol. I: Crop Plants. Information and Communication Technology Center, Department of Economy and Planning Publication, Ministry of Agriculture-Jahad, Iran. [In Persian].
- Mohtashami, R., Chakerolhoseini, M., Keshavarz, K., Rouzbehi, F., & Hoseini Chaleshtori, M. (2022). Introducing a new variety of rice 'Setayesh' for cultivation in cold and cold temperate regions. *Applied Field Crops Research*, 35(2), 70-84. [In Persian]. doi: [10.22092/AJ.2023.358343.1599](https://doi.org/10.22092/AJ.2023.358343.1599).
- Moreno-Gonzalez, J., Crossa, J., & Cornelius, P. L. (2004). Genotype \times environment interaction in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. *Euphytica*, 137, 119-127. doi: [10.1023/B:EUPH.0000040509.61017.94](https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000040509.61017.94).
- Mostafavi, K., Hosseini-Imeni, S. S., & Firoozi, M. (2014). Stability analysis of grain yield in lines and cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) using AMMI (additive main effects and multiplicative interaction) method. *Iranian Journal of Field Crops Science*, 45(3), 445-452. [In Persian]. doi: [10.22059/ijfcs.2014.53540](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2014.53540).
- Mostafavi, K., Hosseini Imeni, S. S., & Haji Mohammadali Jahromi, M. (2019). Assessing grain yield stability of rice genotypes under humid climate of northern Iran. *Plant Production Technology*, 11(2), 43-56. [In Persian]. doi: [10.22084/ppt.2017.7140.1418](https://doi.org/10.22084/ppt.2017.7140.1418).

- Sattari, A., Soloki, M., Bagheri, N., Fakheri, B., and Nabipour, A. (2019). Analysis of genotype, environment interaction and grain yield stability of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes in Mazandaran province. *Journal of Crop Breeding*, 11(31), 1-10. [In Persian]. doi: [10.29252/jcb.11.31.1](https://doi.org/10.29252/jcb.11.31.1).
- Sharifi, P., Erfani, A., Mohaddesi, A., Abbasian, A., Aminpanah, H., Mohammad Yousefi, M., & Saeedi, M. (2020). Stability analysis of grain yield of some of rice genotypes by parametric and nonparametric uni-variate methods. *Journal of Crop Production*, 13(3), 85-106. [In Persian]. doi: [10.22069/ejcp.2021.17883.2315](https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.17883.2315).
- Singh, C., Gupta, A., Gupta, V., Kumar, P., Sendhil, R., Tyagi, B. S., Singh, G., Chatrath, R., & Singh, G. P. (2019). Genotype \times environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19, 309-318. doi: [10.1590/1984-70332019v19n3a43](https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3a43).
- Soltani, A., Alimagham, M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Ghassemi S., Vadez V., Sinclair T. R., & Van Ittersum, M. K. (2020). Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. *Agricultural Systems*, 183, 102859. doi: [10.1016/j.agsy.2020.102859](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102859).
- Yan, W. (2016). Analysis and handling of G \times E in a practical breeding program. *Crop Science*, 56, 2106-2118. doi: [10.2135/cropsci2015.06.0336](https://doi.org/10.2135/cropsci2015.06.0336).
- Yan, W., & Kang, M. S. (2002). GGE-biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 271 p. doi: [10.1201/9781420040371](https://doi.org/10.1201/9781420040371).
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnics, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605. doi: [10.2135/cropsci2000.403597x](https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x).
- Zobel, R., Wright, W. M. J., & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393. doi: [10.2134/agronj1988.00021962008000030002x](https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x).