



Razi University



Cereal Biotechnology and Biochemistry

Investigating the genotype × environment interaction and estimating the grain yield stability of rice promising genotypes

Hosein Rahim Soroush¹  , Maryam Hoseini Chaleshtori²  & Alireza Haghghi Hasanalideh¹ 

¹ Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

² Associate Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

 Corresponding author. E-mail: rahimsoroush@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction: After wheat, rice is the most important cereal in the world, providing a large portion of the calories needed by the human population and playing an important role in the nutrition of human societies. The world's largest rice production and consumption is in the Asian continent. Rice production must be increased through breeding programs that aim to achieve high-yielding varieties to face the challenges of the ever-increasing world population and climate change. The interaction of genotype and environment in crop breeding and production is inevitable. Considering the interaction of genotype and environment through stability analysis models can facilitate the accurate locating of varieties in different regions. Therefore, this study evaluated the yield stability of six promising rice lines and two varieties, Shiroodi and Hashemi, as controls.

Materials and methods: Six promising rice genotypes and two varieties including Shiroodi and Hashemi as controls were cultivated and evaluated in a randomized complete block design with three replications in two regions (Rasht and Chaparsar) for three years starting from 2015. Combined variance analysis and the F test were performed assuming randomness of years and fixedness of locations and genotypes, based on expectation values of the mean squares and comparison of means by Tukey's method. With the significant interaction effect of genotype × environment for the studied traits, stability analysis was performed using Lin and Beans, AMMI and GGE-biplot methods.

Results: The results of combined variance analysis showed that the effects of genotype, location, year × location, genotype × location and genotype × year × location were significant. The results of the stability analysis of rice genotypes by Lin and Binns method showed that Genotypes 19401 and 19403 had the first and second rank in yield stability. Evaluation of AMMI model parameters showed that Genotypes 19401, 19402, 19404 and 19403 were stable genotypes with high general adaptability. Based on ASV parameter and grain yield, Genotypes 19401 and 19402 were selected as the most stable genotypes. Also, the results of the GGE-biplot method showed that Genotype 19401 had the most stability among the investigated genotypes and had a good grain yield.

Conclusion: Overall, the results of evaluating the stability of promising rice lines using Lin and Binns, AMMI and GGE-biplot methods showed that Genotype 19401 was the most stable promising line with mean paddy production of 6.3 tons per hectare in the two locations and three years. It was considered as one of the high-yielding lines without any significant difference with the improved Shiroodi cultivar.

Keywords: Genotype and environment interaction, biplot, rice, Grain yield.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 13 Apr 2024, Revised: 08 May 2024, Accepted: 05 Sep 2024, Published online: 22 Sep 2024

Cite this article: Rahim Soroush, H., Hoseini Chaleshtori, M., & Haghghi Hasanalideh, A. (2024). Investigating the genotype × environment interaction and estimating the grain yield stability of rice promising genotypes. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 3(3), 409-424. DOI: [10.22126/cbb.2024.11230.1088](https://doi.org/10.22126/cbb.2024.11230.1088)



© The Author(s).
[10.22126/cbb.2024.11230.1088](https://doi.org/10.22126/cbb.2024.11230.1088)

Publisher: Razi University



بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و برآورد پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش برنج

حسین رحیم‌سروش^۱✉، مریم حسینی چالشتری^۲ و علیرضا حقیقی حسنعلیده^۱

^۱ استادیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

^۲ دانشیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

✉ نویسنده مسئول. رایانامه: rahimsouroush@yahoo.com

چکیده

مقدمه: برنج پس از گندم، مهم‌ترین غله در جهان است که بخش اعظمی از انرژی مورد نیاز جمعیت بشر را تأمین می‌کند و نقش مهمی در تغذیه جوامع انسانی دارد. بیشترین میزان تولید و مصرف برنج در دنیا مربوط به قاره آسیا است. برای مقابله با چالش‌های جمعیتی جهان و مقابله با اثرات تغییرات آب و هوایی، می‌توان تولید برنج را با ایجاد ارقام پرمحصول از طریق برنامه‌های به نژادی افزایش داد. اثرمتقابل ژنوتیپ و محیط در به‌نژادی محصولات و تولید آنها اجتناب ناپذیر است. در نظر گرفتن برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط از طریق مدل‌های تجزیه و تحلیل پایداری می‌تواند مکان‌یابی دقیق ارقام در مناطق مختلف را تسهیل کند. لذا، این پژوهش به منظور ارزیابی پایداری عملکرد در شش لاین امیدبخش برنج و دو رقم شیروودی و هاشمی به عنوان شاهد اجرا شد.

مواد و روش‌ها: شش ژنوتیپ امیدبخش برنج و دو رقم شیروودی و هاشمی به عنوان شاهد، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه (رشت و چپرس) از سال ۱۳۹۴ به مدت سه سال، کشت و ارزیابی شدند. تجزیه واریانس مرکب با فرض تصادفی بودن سال‌ها و ثابت بودن مکان‌ها و ژنوتیپ‌ها و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی انجام شد. با معنی‌دار شدن اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط برای صفات مورد بررسی، تجزیه پایداری به روش‌های لین و بینز، AMMI و GGE‌ای پلات انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثرات ژنوتیپ، مکان، سال × مکان، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان معنی‌دار بود. نتایج تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های برنج به روش لین و بینز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۱ و ۱۹۴۰۳ دارای رتبه اول و دوم در پایداری عملکرد بودند. ارزیابی پارامترهای مدل AMMI نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۱، ۱۹۴۰۲، ۱۹۴۰۴، ۱۹۴۰۳ و ۱۹۴۰۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا بودند. بر اساس آماره *ASV* و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۱ و ۱۹۴۰۲ به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. همچنین، نتایج حاصل از روش GGE‌ای پلات نشان داد که ژنوتیپ ۱۹۴۰۱ بیشترین پایداری را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشت و از عملکرد دانه مناسبی برخوردار بود.

نتیجه‌گیری: در کل نتایج حاصل از ارزیابی پایداری لاین‌های امیدبخش برنج با استفاده از روش‌های لین و بینز، AMMI و GGE‌ای پلات نشان داد که ژنوتیپ ۱۹۴۰۱، پایدارترین لاین امید بخش بود که با میانگین تولید ۶/۳ تن در هکتار شلتوک در دو مکان و سه سال و بدون اختلاف معنی‌دار با رقم شاهد اصلاح شده شیروودی از ارقام پرمحصول محسوب شد.

واژه‌های کلیدی: اثرمتقابل ژنوتیپ و محیط، بای‌پلات، برنج، عملکرد دانه.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵ **اصلاح:** ۱۴۰۳/۰۲/۱۹ **پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۶/۱۵ **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

استناد: رحیم‌سروش، ع، حسینی چالشتری، م. و رحیم‌سروش، ح. (۱۴۰۳). بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و برآورد پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش

برنج. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۳(۳)، ۴۰۹-۴۲۴. DOI: [10.22126/cbb.2024.11230.1088](https://doi.org/10.22126/cbb.2024.11230.1088)



مقدمه

شدت تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد (Li et al., 2019).

به همین دلیل، آزمایش‌های چند محیطی (METs¹) برای شناسایی ژنوتیپ برتر با پتانسیل عملکرد پایدار و بالا و به عنوان بخشی از مراحل نهایی برای معرفی رقم مورد نیاز است.

برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط در اصلاح نباتات و تولید محصول اجتناب ناپذیر است (Yan et al., 2007). وجود برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط به پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها در میان طیف وسیعی از محیط‌ها اشاره دارد (Kang, 1997). در نظر گرفتن برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط از طریق مدل‌های تجزیه و تحلیل پایداری می‌تواند توصیه رقم دقیق را برای محیط هدف تسهیل کند (Huang et al., 2021). از آنجا که عملکرد دانه، به‌عنوان یک صفت کمی پیچیده، توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و محیط نیز بر روی آن تأثیر می‌گذارد، گزینش ژنوتیپ‌های برتر، تنها بر اساس میانگین عملکرد و بدون نگرش به پایداری آن چندان سودمند نیست (Sharifi et al., 2017). از این رو انجام پژوهش‌هایی برای یافتن ارقام اصلاح‌شده‌ای که علاوه بر با کیفیت و پتانسیل عملکرد بالا سازگاری و پایداری در شرایط گوناگون محیطی داشته باشند ضروری است.

روش‌های مختلفی برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به محیط‌های مختلف ارائه شده است که روش‌های پارامتری، ناپارامتری و روش

برنج، یکی از غذاهای اصلی مردم جهان با داستانی باورنکردنی است. این تک لپه مدل با کوچکترین ژنوم در بین غلات اصلی است که در مناطق مختلف و متنوع کشت می‌شود (International Rice Genome Sequencing Project and Sasaki, 2005; Muthayya et al., 2014). سالانه حدود ۱۶۵ میلیون هکتار از اراضی جهان تحت کشت برنج است که متوسط عملکرد آن به حدود ۴/۷ تن در هکتار می‌رسد (FAO, 2024). همچنین، در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲، حدود ۷۹۲ هزار هکتار از اراضی کشور تحت کشت برنج قرار گرفت و حدود ۳/۵ میلیون تن شلتوک با میانگین عملکرد ۴/۴ تن در هکتار تولید شد (Anonymous, 2024). ایجاد یک چشم انداز مورد اطمینان جهت در دسترس بودن برنج به پیش‌بینی‌های قابل قبول در مورد عملکرد برنج در آینده بستگی دارد. تغییرات جهانی در عملکرد، سیستم غذایی را با تغییر اولویت‌های تجاری تغییر می‌دهد و در نتیجه قیمت و در دسترس بودن برنج تغییر می‌کند. تغییرات اقلیمی نه تنها بر تغییرات تدریجی در عملکرد، بلکه بر تغییرات سال به سال تأثیر می‌گذارد، چیزی که اغلب در چشم‌اندازهای امنیت غذایی نادیده گرفته می‌شود (De Vos et al., 2023). برای مقابله با چالش‌های جمعیت روزافزون جهان و تغییرات آب و هوایی، تولید برنج باید از طریق برنامه‌های به‌نژادی که اهداف اصلی دستیابی به ارقام پرمحصول را دارند، افزایش داد. عملکرد نمونه‌ای از صفات کمی است که بیان آن به

¹ Multi-environment trials (METs)

2023) و محتشمی (Mohtashami, 2023) ارائه شده اشاره نمود. پژوهش‌های متعدد نشان داده است که در بیشتر آزمایش‌های تجزیه پایداری اثر اصلی محیط زیاد است، در حالی که تغییرات توجیه‌شده به وسیله اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط که قابل تفسیر می‌باشند، کم است. روش GGE بای‌پلات با بهره‌گیری از روش‌های چندمتغیره و رسم نمودارهای دو بعدی، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، کار تفسیر نتایج را هم تسهیل می‌نماید و از این رو یک روش مناسب برای تجزیه پایداری است (Yan *et al.*, 2000). این پژوهش به منظور ارزیابی پایداری عملکرد دانه در شش لاین امیدبخش برنج و دو رقم شیروودی و هاشمی به عنوان شاهد در دو منطقه و طی سه سال اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد آزمایشی این تحقیق شامل شش ژنوتیپ امیدبخش برنج به همراه دو رقم شیروودی و هاشمی به عنوان شاهد (در مجموع هشت ژنوتیپ) (جدول ۱)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه رشت و چپرسر (استان مازندران) از سال ۱۳۹۴ به مدت سه سال، کشت و ارزیابی شدند. آمار هواشناسی شامل میانگین دما و مجموع بارش در طی این پژوهش در جدول ۲ آورده شده است. بذریابی در نیمه دوم فروردین ماه درخانه جوی و پشته‌ای انجام شد. نشاکاری در مرحله ۳ تا ۴ برگی در زمین اصلی در کرت‌هایی ۱۲ مترمربعی به صورت 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

گرافیکی را در برمی‌گیرند. روش‌های پارامتری خود به روش‌های تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند. از مهم‌ترین روش‌های پارامتری چندمتغیره، روش لین و بینز (1988) و روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) (Gauch, 1988) است که پژوهشگران شاخص‌های مختلفی را بر پایه آن بنا نهاده‌اند. هنگام بررسی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون، نکته مهم، بزرگی اثر محیط در بیشتر آزمایش‌ها و عدم بهره‌برداری از این اثر است. در این راستا روش گرافیکی GGE (اثر اصلی ژنوتیپ + برهمکنش ژنوتیپ در محیط) بای‌پلات، برای حذف اثر محیط و بهره‌گیری از اثر ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GE)، پیشنهاد شده است (Yan *et al.*, 2000). در این روش به‌نژادگر می‌تواند همزمان به اطلاعات اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط دسترسی یابد. در این مدل، از ویژگی‌های نمودار بای‌پلات بهره گرفته می‌شود که بر پایه روش چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی است. از آنجا که محیط عاملی غیرقابل کنترل است، در روش GGE بای‌پلات از آن چشم‌پوشی می‌شود و تغییرات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط برای تجزیه‌ها به‌کار برده می‌شوند (Yan *et al.*, 2007).

پژوهش‌های متعددی جهت ارزیابی اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط در برنج صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به گزارش‌هایی که توسط شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2020)، عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2022)، رحیم‌سروش و همکاران (Rahim Soroush *et al.*,)

واریانس مرکب داده‌ها برای تعیین اثرات اصلی و اثرات متقابل دوجانبه و اثر متقابل سه جانبه سال × مکان × ژنوتیپ انجام شد. آزمون F با فرض تصادفی بودن اثر سال‌ها و ثابت بودن اثر مکان‌ها و اثر ژنوتیپ‌ها و براساس امید ریاضی میانگین‌مربعات و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی انجام شد. تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین صفات با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و SAS انجام گرفت. همچنین، با معنی‌دارشدن اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط برای صفات مورد بررسی، تجزیه پایداری به روش‌های لین و بینز، AMMI و GGE پای‌پلات انجام شد.

فسفات آمونیوم در هکتار در نظر گرفته شد. یک سوم اوره، یک دوم کود پتاس و تمام فسفات آمونیوم قبل از آخرین شخم به زمین اصلی داده شد. یک سوم اوره و یک دوم کود پتاس در هنگام حداکثر پنجه‌زنی و یک سوم دیگر اوره در مرحله آبستنی خوشه مصرف گردید. سایر مراقبت‌های زراعی در خزانه و زمین اصلی شامل مبارزه با علف‌های هرز، مبارزه با آفت کرم‌ساقه‌خوار برنج و آبیاری غرقابی طبق عرف منطقه و درهمه مکان‌ها و سال‌ها به صورت یکنواخت انجام شد. عملکرد دانه تیمارها در زمان رسیدن پس از حذف حاشیه‌ها از ۱۰ متر مربع از هر کرت برداشت و با رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد.

به منظور بررسی یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی، آزمون بارتلت با استفاده از روش مربع کای صورت گرفت. تجزیه

جدول ۱- کد و منشاء ژنوتیپ‌های برنج تحت بررسی.

Table 1- Code and origin of rice genotypes.

منشا Origin	ژنوتیپ Genotype	کد Code
Deylamani × Shiroodi	19401	G1
(Line 3 × Amol 3) × IR67015/22/6/2 × Shiroodi	19402	G2
(Line 3 × Amol 3) × IR67015/22/6/2 × Shiroodi	19403	G3
(Line 3 × Amol 3) × IR67015/22/6/2 × 843	19404	G4
IR67015/22/6/2 × IR192 × Deylamani	19405	G5
IR67015/22/6/2 × IR192 × Deylamani	19406	G5
Deylamani × Khazar	Shiroodi	G7
Local Cultivar	Hashemi	G8

جدول ۲- آماری هواشناسی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۳۹۶ در دوره کشت برنج در رشت و چپر سر.

Table 2- Meteorological statistics of Rasht and Chaparsar in the rice cultivation period during 2015 to 2017.

شهریور September	مرداد August	تیر July	خرداد June	اردیبهشت May	فروردین April	پارامتر Parameter	سال Year	منطقه Region
23.9	26.6	26.8	25.7	20.4	13.9	میانگین دما (سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	2015	رشت Rasht
69.3	89.4	80.9	0.0	6.4	118.6	مجموع بارش (میلی‌متر) Total precipitation (mm)		
23.5	27.6	25.6	24.8	20.9	15.6	میانگین دما (سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	2016	
234.7	0.0	154.4	36.0	11.1	55.5	مجموع بارش (میلی‌متر) Total precipitation (mm)		
24.9	28.4	27.0	24.7	21.4	14.2	میانگین دما (سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	2017	
211.1	0.0	5.0	33.6	7.5	59.5	مجموع بارش (میلی‌متر) Total precipitation (mm)		
24.7	27.3	27.2	25.7	19.7	13.3	میانگین دما (سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	2015	چپر سر Chaparsar
61.0	19.3	129.1	0.6	19.2	24.7	مجموع بارش (میلی‌متر) Total precipitation (mm)		
24.0	27.9	25.8	24.5	19.6	14.4	میانگین دما (سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	2016	
348.1	0.3	80.3	12.8	17.2	97.3	مجموع بارش (میلی‌متر) Total precipitation (mm)		
25.5	28.9	27.2	24.2	19.9	13.3	میانگین دما (سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	2017	
265.3	0.1	6.3	39.8	19.0	82.8	مجموع بارش (میلی‌متر) Total precipitation (mm)		

درون مکانی با تقسیم نمودن جذر واریانس درون مکانی به میانگین برحسب درصد به دست آمد.

در مدل AMMI (رابطه ۱) اثر متقابل شامل جمعی از آثار ضربی است و این اثر از تجزیه به مقادیر منفرد ماتریس اثر متقابل حاصل می‌شوند.

در روش لین و بینز (Lin and Binns, 1988)، برای برآورد واریانس درون مکانی ابتدا برای هر رقم واریانس مربوط به سال‌های داخل هر مکان را محاسبه نموده و پس از میانگین‌گیری از این واریانس‌ها در کل مکان‌ها برای هر رقم میانگین واریانس درون مکانی محاسبه گردید. ضریب تغییرات

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + e_j + \sum \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ijr} \quad \text{رابطه (۱)}$$

بردارهای مولفه اصلی برای k امین مولفه ژنوتیپ μ و محیط ρ_{ij} حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی، ρ_{ij} باقیمانده یا نویز و خطای مدل می‌باشد. برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها از آماره پایداری ASV (رابطه ۲) استفاده گردید.

که در آن Y_{ijk} ، عملکرد ژنوتیپ μ در محیط ρ_{ij} برای تکرار r ، g_i اثر اصلی ژنوتیپ (میانگین ژنوتیپ μ منهای میانگین کل)، e_j اثر اصلی محیط (میانگین محیط ρ_{ij} منهای میانگین کل)، λ_k مجذور مربعات مقادیر ویژه k ، α_{ik} و γ_{jk} به ترتیب

$$ASV = \sqrt{\left[\left(\frac{IPCA1_{sum\ of\ square}}{IPCA2_{sum\ of\ square}} \right) (IPCA1_{Score}) \right]^2 + (IPCA2_{Score})^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

مقادیر منفرد (Singular value decomposition) با استفاده از رابطه ۳ انجام شد.

تجزیه رگرسیون مکانی GGE بای پلات (Yan and Kang, 2002) بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد با استفاده از نرم‌افزار Genstat انجام شد. روش GGE بای پلات بر اساس تجزیه به

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \sum \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه (۳)}$$

منفرد استفاده می‌شود. داده‌های حاصل از ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به صورت یک ماتریس دو طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقادیر و بردارهای ویژه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استخراج می‌شوند. مقیاس‌بندی متقارن (Symmetrical scaling) بردارهای ویژه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها با استفاده از روابط (۴) و (۵) انجام شد.

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 (PCI, $l=1,2$ و برای بای پلات دو بعدی)، η_{1j} بردار ویژه محیط j برای PCI و ε_{ij} باقیمانده مدل است. این روش نوعی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای مجموع اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط است که در آن از راهبرد تجزیه به مقادیر

$$\xi_{i1}^* = \lambda_1^{1/2} \xi_{i1} = (\lambda_1 \xi_{ik}) \lambda_1^{1/2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\eta_{j1}^* = \lambda_1^{1/2} \eta_{j1} = \eta_{j1} \lambda_1^{1/2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\lambda_1^{1/2} = (X_1' n)^{1/2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه، X_1 مقدار منفرد برای مؤلفه اصلی l ام و n تعداد ژنوتیپ است. پس از مقیاس‌بندی متقارن، بردارهای ویژه

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 (۶) بدست می‌آید.

ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، مقادیر مورد نیاز برای رسم نمودارهای
بای‌پلات حاصل گردید (Yan and Kang, 2002).

نتایج حاصل از تجزیه مرکب (جدول ۳) نشان داد که
اثرات ساده ژنوتیپ و مکان معنی‌دار شدند. بدین معنی که
اختلافات ژنتیکی در عملکرد بین ژنوتیپ‌های مختلف و
در بین مکان‌های مورد مطالعه وجود داشت.

نتایج و بحث

ارزیابی یکنواختی اشتباهات آزمایشی با استفاده از آزمون
بارتلت ($\chi^2=4/79$) نشان داد که اشتباهات آزمایشی
یکنواخت بودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) عملکرد دانه ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی.

Table 3- Combined analysis of variance (mean squares) for grain yield of rice genotypes.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
S.O.V	df	Mean Square
سال	2	4038327.7 ^{ns}
Year		
مکان	1	74419377.8**
Location		
سال × مکان	2	3131154.7**
Year × Location		
تکرار (سال × مکان)	12	110910.5
Replication / (Year × Location)		
ژنوتیپ	7	17347407.6**
Genotype		
ژنوتیپ × سال	14	311289.7 ^{ns}
Genotype × Year		
ژنوتیپ × مکان	7	600074.7**
Genotype × Location		
ژنوتیپ × سال × مکان	14	531660.2**
Genotype × Year × Location		
خطا	84	41712.8
Error		

^{ns}, * and **: Non-Significant, Significant at the 5 % and 1 % probability level, respectively.

معنی‌دار ژنوتیپ، محیط، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و مؤلفه‌های اول تا چهارم اثر متقابل برای عملکرد دانه بود. مؤلفه اول و دوم به ترتیب ۵۳/۵۶ و ۲۵/۷۸ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالای اولین مؤلفه اصلی (مثبت یا منفی) اثر متقابل بالایی با محیط دارند در حالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل پایینی هستند (Fikre et al., 2018). بر این اساس ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۱، ۱۹۴۰۲، ۱۹۴۰۴، ۱۹۴۰۳ و ۱۹۴۰۳ دارای مقادیر کمتر مؤلفه اول اثر متقابل بودند و علاوه بر این میانگین عملکرد دانه مناسبی داشتند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی شدند. هر چقدر میزان آماره ASV به صفر نزدیک‌تر شود، آن ژنوتیپ پایدارتر است. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۶، ۱۹۴۰۱ و ۱۹۴۰۲ دارای کمترین مقادیر ارزش ASV بودند که در بین آن‌ها ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۱ و ۱۹۴۰۲ دارای عملکرد دانه بالاتر بوده و به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار، انتخاب شدند.

معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان، حاکی از وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط بود. بنابراین پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های لین و بینز، AMMI و GGE بای‌پلات ارزیابی گردید. نتایج تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های برنج به روش لین و بینز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۱ و ۱۹۴۰۳ با کمترین ضریب تغییرات درون مکانی به ترتیب به مقدار ۴/۴ و ۴/۶ درصد دارای رتبه اول و دوم پایداری عملکرد بودند. همچنین شاهد بومی هاشمی و ژنوتیپ ۱۹۴۰۱ به ترتیب دارای کمترین واریانس درون مکانی بودند. بدین معنی که تولید عملکرد ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۳، ۱۹۴۰۱ و هاشمی در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای نوسانات کمتری از سالی به سال دیگر بوده است و بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند (جدول ۵). به‌علاوه، بر اساس آزمون توکی ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۱ و ۱۹۴۰۳ با تولید میانگین کل عملکرد به ترتیب به مقدار ۶۳۷۱ و ۶۲۸۸ کیلوگرم در هکتار بعد از ژنوتیپ ۱۹۴۰۵ در گروه دوم و بدون اختلاف معنی‌دار با شاهد شیرودی قرار گرفتند.

همچنین، به منظور مطالعه ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ و محیط از روش AMMI استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس مدل AMMI برای اثرات محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (جدول ۴) حاکی از اختلاف

جدول ۴- تجزیه واریانس AMMI عملکرد دانه ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی.

Table 4- AMMI analysis of variance for grain yield of rice genotypes.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	سهم از مجموع مربعات (درصد)
S.O.V	df	Mean Squares	Share of Sum of Squares (%)
تیمار	47	4812541**	97.91
Treatments			
ژنوتیپ	7	17347162**	52.56
Genotypes			
محیط	5	17751443**	38.42
Environments			
بلوک	12	110912**	0.58
Block			
اثرات متقابل	35	457202**	6.93
Interactions			
IPCA1	11	779130**	53.56
IPCA2	9	458311**	25.78
IPCA3	7	279958**	12.25
IPCA4	5	244040**	7.63
باقیمانده	3	42310 ^{ns}	
Residuals			
خطا	84	41709	
Error			

^{ns}, * and **: Non-Significant, Significant at the 5 % and 1 % probability level, respectively.

بای پلات رسم شد. در این شکل، ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ بای پلات دارند، توسط خطوط مستقیمی به یکدیگر وصل شده و یک چند ضلعی حاصل شده است. سپس از مبدأ مختصات، خطوطی عمود بر اضلاع این چند ضلعی رسم شده و محیط‌های بزرگ مشخص شدند. ژنوتیپ‌های واقع در رأس چند ضلعی، ارقام برتر آن محیط هستند (Yan *et al.*, 2000).

نتایج حاصل از روش GGE بای پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول (معرف اثر اصلی ژنوتیپ) و دوم (معرف اثر متقابل ژنوتیپ × محیط) به ترتیب ۹۰/۶۴ و ۵/۶۸ درصد و در مجموع ۹۶/۳۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند (شکل ۱). چلوبی و همکاران (Cheloei *et al.*, 2020) نیز در تحقیقی مشابه بیان کردند که دو جزء اول در مجموع توانستند ۹۲/۵۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمایند. برای شناسایی محیط‌های بزرگ و ژنوتیپ‌های برتر، نمودار چند ضلعی GGE

جدول ۵- پارامترهای پایداری لین و بینز و AMMI برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های تحت بررسی.

Table 5- Lin and Binns and AMMI stability parameters for grain yield of rice genotypes.

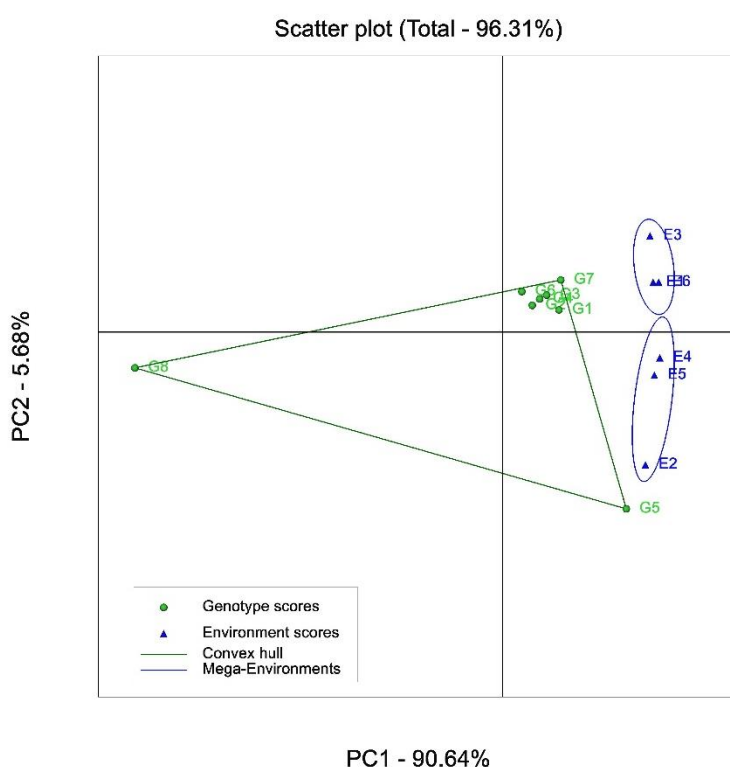
			میانگین عملکرد						
			رتبه	ضریب تغییرات	رتبه	وارانس درون	رتبه	دانه	
ASV	IPCA2	IPCA1	ضریب تغییرات	درون مکانی	وارانس	مکانی	عملکرد	(کیلوگرم درهکتار)	ژنوتیپ
			Intra-Location CV Rank	Intra-Location CV	Variance Rank	Intra-Location variance	Yield Rank	Average of Grain Yield (kg/ha)	Genotype
6.01	-16.66	5.36	1	4.4	2	77448.72	3	6371.1 ^b	19401
6.08	-2.73	7.84	3	5.4	4	111193.65	6	6219.9 ^{bc}	19402
7.22	-17.93	7.95	2	4.6	3	82990.64	4	6287.7 ^{bc}	19403
7.72	3.31	7.85	5	7.8	5	240233.33	5	6253.8 ^{bc}	19404
71.09	3.64	-32.28	6	9.6	6	425741.17	1	6795.6 ^a	19405
5.90	13.12	8.22	8	10.2	7	540117.80	7	6127.0 ^c	19406
8.69	19.14	10.83	7	10.2	8	544822.23	2	6379.3 ^b	Shiroodi
58.65	-1.88	-15.77	4	7.1	1	66935.83	8	3629.2 ^d	Hashemi

دایره و فلش نشان‌دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک باشد پایدارتر است. در عین حال خط عمودی نشان‌دهنده متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها است و ژنوتیپ‌های موجود در سمت چپ این خط دارای عملکرد پایین‌تر و ژنوتیپ‌های موجود در سمت راست این خط دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل می‌باشند (Yan *et al.*, 2000). بر این اساس، ژنوتیپ ۱۹۴۰۱ بیشترین پایداری را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشت و از 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 بای‌پلات استفاده کردند و لاین‌های امیدبخش پایدار را شناسایی نمودند که در نهایت منجر به معرفی رقم کیان شد.

در شکل ۱ نمایش بای‌پلات عملکرد دانه هشت ژنوتیپ در شش محیط (دو مکان و سه سال) نشان داده شده است. در این شکل ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۵، هاشمی و شیروودی که رهوس چند ضلعی را تشکیل می‌دهند، با بیشترین فاصله از مرکز بای‌پلات از نظر عملکرد دانه، بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در برخی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها بودند. به طوری که ژنوتیپ ۱۹۴۰۵ و شیروودی با دارا بودن بیشترین عملکرد دانه، به عنوان ژنوتیپ برتر و هاشمی به عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ شناخته شد، زیرا دارای بیشترین فاصله از مرکز بای‌پلات بودند. از نمودار محور پایداری یا دوبعدی مختصات تستر متوسط (Average tester coordinate) برای بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. محور با

به طوری که در نمودار، ژنوتیپ ایده‌آل فرضی به صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داده می‌شود و هر ژنوتیپی که نزدیک‌ترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی داشته باشد به عنوان یک ژنوتیپ برتر محسوب می‌گردد (Yan and Kang, 2002).

نمودار ژنوتیپ ایده‌آل بر اساس تعیین فاصله ژنوتیپ‌ها از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی است. این ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بر اساس پایدارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ تعریف می‌شود. چنین ژنوتیپی بر اساس بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط تعریف شده است.

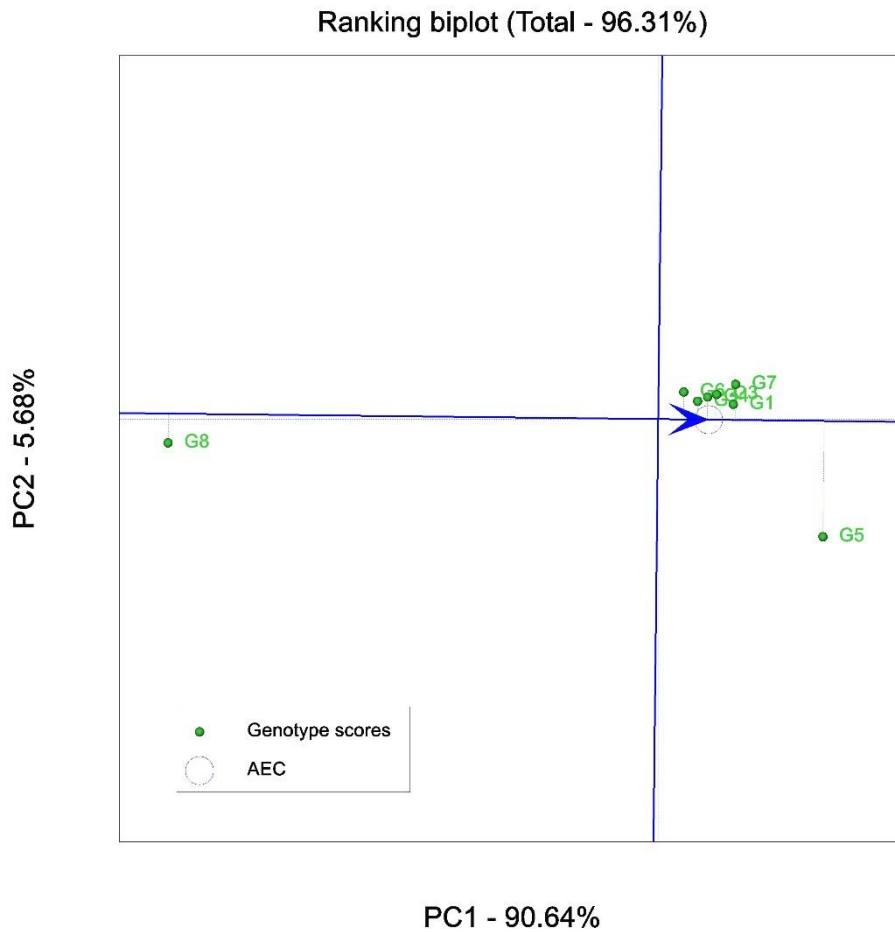


شکل ۱- نمودار بای پلات برای شناسایی محیط‌های بزرگ و ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف.

(E1: چپرسر سال اول، E2: رشت سال اول، E3: چپرسر سال دوم، E4: رشت سال دوم، E5: چپرسر سال سوم و E6: رشت سال سوم)

Fig. 1- Biplot polygon diagram to identify mega environments and superior genotypes in different environments.

(E1: Chaparsar first year, E2: Rasht first year, E3: Chaparsar second year, E4: Rasht second year, E5: Chaparsar third year and E6: Rasht third year)



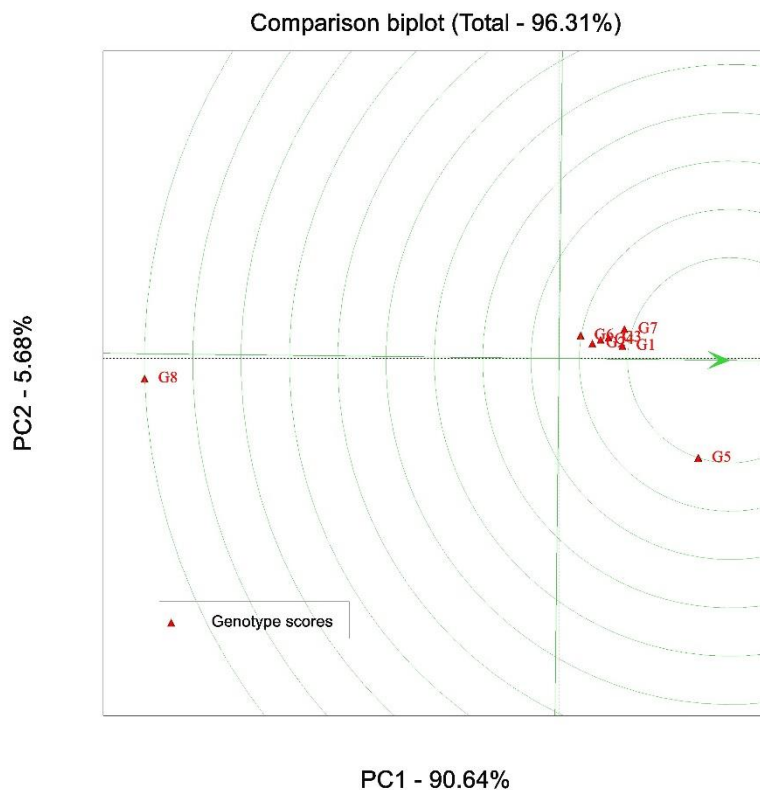
شکل ۲ - نمودار دو بعدی مختصات تستر متوسط بای پلات برای بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها.

Fig. 2- Two-dimensional graph of average tester coordination (ATC) of the GGE-biplot for simultaneous evaluation of stability and yield of genotypes.

در شکل ۳، ژنوتیپ‌های ۱۹۴۰۵ و ۱۹۴۰۱ کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی داشتند، بنابراین برترین ژنوتیپ هستند. در مقابل، ژنوتیپ هاشمی بیشترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی داشت و به عنوان نامناسب‌ترین ژنوتیپ در این پژوهش بود. محتشمی و همکاران (Mohtashami *et al.*, 2022) نیز ژنوتیپ‌های مختلف برنج را از لحاظ پایداری مورد ارزیابی قرار دادند که لاین

برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم‌مرکزی در بای پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۳). هر ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها بوده و یا نزدیک‌ترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی داشته باشد، به عنوان یک ژنوتیپ برتر با عملکرد و پایداری بالا محسوب می‌شود (Yan and Kang, 2002).

۵۳ با دارا بودن عملکرد بالا، بالاترین پایداری عملکرد در مناسب دانه، در سال ۱۴۰۰ به عنوان رقم ستایش به مناطق مورد بررسی و ویژگی‌های کمی و کیفی بسیار جامعه کشاورزی معرفی شد.



شکل ۳- نمودار بای پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد بررسی با ژنوتیپ ایده‌آل.

Fig. 3- Biplot diagram for comparing the examined genotypes with the ideal genotype.

نتیجه‌گیری

لاین امید بخش بود که با میانگین تولید ۶/۳ تن در هکتار شلتوک در دو مکان و سه سال و بدون اختلاف معنی‌دار با رقم شاهد اصلاح شده شیروودی جزو لاین‌های پرمحصول بود.

در کل نتایج حاصل از ارزیابی پایداری لاین‌های امیدبخش برنج با استفاده از روش‌های لین و بینز، AMMI و GGE بای پلات نشان داد که ژنوتیپ ۱۹۴۰۱، پایدارترین

References

- Anonymous. 2024. Agricultural statistics of the cropping year 2022-23, Crop and Horticulture Plants: Vol. I: Crop Plants. Information and Communication Technology Center, Department of Economy and Planning Publication, Ministry of Agriculture-jahad. [In Persian]
- Cheloei, G., Ranjbar, G., Babaeian Jelodar, N., Bagheri, N., and Noori, M. 2020. Using AMMI model and its parameters for yield stability analysis of rice (*Oryza sativa* L.) advanced mutant genotypes of Tarrom-Mahalli. Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding, 9(1), 70-83. <https://doi.org/10.30479/ijgpb.2020.13219.1271>. [In Persian]
- De Vos, K., Janssens, C., Jacobs, L., Campforts, B., Boere, E., Kozicka, M., & Govers, G. 2023. Rice availability and stability in Africa under future socio-economic development and climatic change. Nature food, 4(6), 518-527. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00770-5>
- Ebadi, A. 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. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.45415.2668>. [In Persian]
- Ebadi, A., Sharifi, P. and 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. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.45415.2668>. [In Persian]
- FAO. 2024. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved September 24, 2024. From <http://fao.org/crop/statistics>.
- Fikre, A., Funga, A., Korbu, L., Eshete, M., Girma, N., Zewdie, A., ... & Ojiewo, C. O. 2018. Stability analysis in chickpea genotype sets as tool for breeding germplasm structuring strategy and adaptability scoping. Ethiopian Journal of Crop Science, 6(2), 19-37. <http://oar.icrisat.org/id/eprint/10654>.
- Gauch, Jr, H. G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. Biometrics, 705-715. <https://doi.org/10.2307/2531585>.
- Huang, X., Jang, S., Kim, B., Piao, Z., Redona, E., & Koh, H. J. 2021. Evaluating genotype× environment interactions of yield traits and adaptability in rice cultivars grown under temperate, subtropical and tropical environments. Agriculture, 11(6), 558. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060558>.
- International Rice Genome Sequencing Project, and Sasaki, T. 2005. The map-based sequence of the rice genome. Nature, 436, 793–800. <https://doi.org/10.1038/nature03895>.
- Kang, M. S. 1997. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. Advances in agronomy, 62, 199-252. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60569-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60569-6).
- Li, R., Li, M., Ashraf, U., Liu, S., & Zhang, J. 2019. Exploring the relationships between yield and yield-related traits for rice varieties released in China from 1978 to 2017. Frontiers in plant science, 10, 543. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00543>.
- Lin, C. S., & Binns, M. R. 1988. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. Theoretical and applied genetics, 76, 425-430. <https://doi.org/10.1007/BF00265344>.
- Mohtashami, R. 2023. Genotype × Environment Interaction and Grain Yield Stability Analysis of Rice Genotypes (*Oryza sativa* L.). Journal of Crop Breeding, 15(47), 113-122. <http://dx.doi.org/10.61186/jcb.15.47.113>. [In Persian]

- Mohtashami, R. Chakerolhoseini, M., Keshavarz, K., Rouzbehi, F. and 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. <https://doi.org/10.22092/aj.2023.358343.1599>. [In Persian]
- Muthayya, S., Sugimoto, J. D., Montgomery, S., & Maberly, G. F. 2014. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1324(1), 7-14. <https://doi.org/10.1111/nyas.12540>.
- Rahim Soroush, H., Hoseini Chaleshtori, M., Ebadi, A. A., Haghghi Hasanalideh, A. R., & Mohadesi, A. 2023. Assessing agronomic traits, grain quality and yield stability of promising rice lines using Lin and Binns and GGE-biplot methods. *Cereal Research*, 13(3), 215-229. <https://doi.org/10.22124/cr.2023.25478.1792>. [In Persian]
- Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., & Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype× environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Science*, 24(3), 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001>.
- 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. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.17883.2315>. [In Persian]
- Yan, W. and Kang, M. S. 2002. *GGE-biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 271 p. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>.
- Yan, W., Hunt, L. A. Sheng, Q. and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40, 597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>.
- Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S. & Cornelius, P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 643-653. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>