Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 2, 2025 p: 152-169 OPEN ACCESS

Research Paper

Investigating the Stability of Seed Yield in Promising Barley Lines Using Parametric and Non-parametric Methods in Cold Dryland Climate Regions of the Country

Farhad Ahakpaz[1], Ali Akbar Asadi[2], Abdolvahab Abdulahi[3], Elyas Neyestani[4], Fereshteh seif[5], Mohamad Sharif Khaledian[6], Saber Seif Amiri[7], Behrooz Mohammadi[8] and Teymor Dolatpanah[9]

1- Assistant Professor, Department of Cereal Research, Rainfed Agricultural Research Institute, Maragheh, Iran
2- Assistant Professor, Department of Crop and Horticultural Science Research, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran, (Corresponding author: asadipm@gmail.com)
3- Assistant Professor, Department of Cereal Research, Rainfed Agricultural Research Institute, Sararoud, Iran
4- Assistant Professor, Department of Crop and Horticultural Science Research, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bojnurd, Iran
5- Expert, Department of Crop and Horticultural Science Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
6- Expert, Department of Crop and Horticultural Science Research, Kordestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran
7- Instructor, Department of Crop and Horticultural Science Research, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran
8- Expert, Department of Crop and Horticultural Science Research, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran
9- Expert, Department of Cereal Research, Rainfed Agricultural Research Institute, Maragheh, Iran

Received: 15 September, 2024 Revised: 10 November, 2024 Accepted: 2 February, 2025

Extended Abstract

Background: Considering the diversity in climatic conditions, agricultural management, the extent of barley cultivation areas in Iran, and observing the different reactions of different cultivars to environmental conditions, it is of particular importance to introduce high-yielding cultivars with wide adaptability to different conditions. Due to the genotype × environment interaction effect, it is difficult to identify cultivars that have good stability and acceptable yield in various environmental conditions. Therefore, cultivars should be studied in a wide range of environmental changes in different locations and years so that the information obtained from the estimation of compatibility and yield stability of genotypes is a more reliable criterion for recommending cultivars and their efficiency. The methods for determining the genotype × environment interaction effect are divided into two groups: single variable (parametric and non-parametric) and multivariable. Each of these methods shows different aspects of the stability of genotypes, and one method alone cannot investigate the yield of a genotype in different environments from different aspects of stability. This research aimed to select promising barley genotypes with high yield and suitable stability in dry conditions in the cold climate of Iran using parametric and non-parametric univariate stability analysis methods.

Methods: In this study, 25 advanced and promising lines of barley, along with Ansar, Abider, and Sararoud1 (check cultivars), were studied in dry conditions in a completely randomized block design with four replications in research stations of Maragheh, Kurdistan (Qamlo), Zanjan (Qidar), Ardabil, Kermanshah (Sararoud), Shirvan, and Hamedan for three crop seasons from 2016 to 2019. The stability of the genotypes was explored using parametric and non-parametric univariate methods. Parametric and non-parametric univariate methods were integrated using the selection ideal index genotype (SIIG) method. Finally, the correlation of the parameters with yield and the SIIG was also calculated in this research.

Results: Separate analysis of variance in each of the environments showed that the genotype effect was significant in 12 out of 19 environments, which indicated the fluctuation of the yield of each genotype from one environment to another. Combined variance analysis showed that the interaction effects of year × location and genotype × year × location were significant at 1%, the year effect at 5%, and the location and genotype effects were significant at 10% probability levels. The main effect of the environment and the genotype × environment interaction effect had the largest share in the total sum of squares observed in the experiments, with 69.98% and 10.83%,

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

Copyright ©2025 Ahakpaz et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

respectively. Eberhart and Russel's analysis identified genotypes G1, G4, G5, G8, G9, G10, and G26 as the most stable genotypes due to having the lowest deviation from regression and a regression coefficient close to one. Considering the yield, G9 and G10 genotypes were introduced as stable genotypes with high yields. According to Finley and Wilkinson's linear regression coefficient, genotypes G4, G6, G9, G11, G12, G15, G17, G20, G27, and G28 had a regression coefficient close to one, which shows that these genotypes have general adaptability to environments. Based on Wrick's equivalence index and Shukla's stability variance, genotypes G8, G19, G10, G20, G9, G4, G26, and G1 were identified as stable genotypes. Based on the coefficient of environmental variation, genotypes G10, G1, G8, G23, G13, G2, and G5 had the lowest coefficient of variation. Based on the Plasted and Peterson method, genotypes G10, G20, G19, and G9 were selected as stable genotypes with high yields. In the Plaisted method, genotypes G10, G20, G19, and G9 with the least contribution in creating interaction and having the desired yields were introduced as stable and high-yielding genotypes. Based on Lin and Bains, genotypes G15, G6, G21, G19, G20, G7, and G9 had the least amount of this statistic and were introduced as the most stable genotypes. Based on Kang's total rank method, G20, G19, G10, G9, and G22 genotypes with the lowest total rank were selected as stable genotypes. Based on the parameters of Nassar and Huhn, genotypes G8, G9, G10, G1, G20, G19, and G21, and based on the parameters of Thenarasu, genotypes G8, G9, G10, G1, G19, and G22 with the lowest rank were selected as stable genotypes. Finally, based on the SIIG, genotypes G10, G9, G19, G22, and G20 had the closest value to one and produced higher yields than the overall average; therefore, they were selected as the most stable genotypes.

Conclusion: Based on the SIIG, genotypes G10, G9, G19, G22, and G20 had the closest value to one and produced yields above the average; therefore, they were selected as the most stable genotypes. Moreover, the use of the SIIG is recommended due to its high correlation with all the indices used to summarize the results of parametric and non-parametric stability indices.

Keywords: Compatibility, Dryland conditions, Eberhart and Russel, Ideal selection index

How to Cite This Article: Ahakpaz, F., Asadi, A. A., Abdulahi, A., Neyestani, E., seif, F., Khaledian, M., Seif Amiri, S., Mohammadi, B., & Dolatpanah, T. (2025). Investigating the Stability of Seed Yield in Promising Barley Lines Using Parametric and Non-parametric Methods in Cold Dryland Climate Regions of the Country. *J Crop Breed,* 17(2), 152-169. DOI: 10.61882/jcb.2024.1567

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

مقاله پژوهشی

بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری در مناطق دیم اقلیم سرد کشور

فرهاد آهک‌پز[۱]، علی اکبر اسدی[۲]، عبدالوهاب عبدالهی[۳]، الیاس نیستانی[۴]، فرشته سیف[۵]، محمد شریف خالدیان[۶]، صابر سیف امیری[۷]، بهروز محمدی[۸] و تیمور دولت پناه[۹]

۱- استادیار، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ایران
۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، (نویسنده مسوول: asadipm@gmail.com)
۳- استادیار، بخش تحقیقات غلات، معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سرارود، ایران
۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بجنورد، ایران
۵- کارشناس، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۶- کارشناس، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
۷- مربی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
۸- کارشناس، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
۹- کارشناس، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴
صفحه: ۱۵۲ تا ۱۶۹

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: با توجه به تنوع موجود در شرایط اقلیمی، مدیریت زراعی و وسعت مناطق کشت جو در کشور و مشاهده عکس‌العمل‌های متفاوت ارقام مختلف به شرایط محیطی، معرفی ارقام پرمحصولی که سازگاری وسیع با شرایط متفاوت داشته باشند، دارای اهمیت خاصی است. به دلیل وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، شناسایی ارقامی که در شرایط متنوع و مختلف محیطی دارای پایداری مطلوب و عملکرد قابل قبول باشند مشکل است. در این شرایط، بررسی ارقام باید در دامنهٔ وسیعی از تغییرات محیطی در مکان‌ها و سال‌های متفاوت انجام گیرد تا اطلاعات حاصل از برآورد سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها، معیار مطمئن‌تری جهت توصیه ارقام و کارایی آن‌ها باشد. روش‌های تعیین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به دو گروه تک‌متغیره (پارامتری و ناپارامتری) و چندمتغیره تقسیم می‌شوند. هر یک از این روش‌ها جنبه‌های مختلفی از پایداری ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهند و یک روش به تنهایی نمی‌تواند عملکرد یک ژنوتیپ را در محیط‌های مختلف از جنبه‌های مختلف پایداری بررسی کند. هدف از این تحقیق، انتخاب ژنوتیپ‌های امیدبخش جو با عملکرد بالا و پایداری مناسب در شرایط دیم در اقلیم سرد کشور با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری تک متغیره پارامتری و ناپارامتری بود.

مواد و روش‌ها: ۲۵ لاین پیشرفته و امیدبخش جو به همراه ارقام شاهد انصار، آبیدر و سرارود ۱ در شرایط دیم و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه‌های تحقیقاتی دیم مناطق سردسیر و سرد معتدل مراغه، کردستان (قاملو)، زنجان (قیدار)، اردبیل، کرمانشاه (سرارود)، شیروان و همدان به‌مدت سه سال زراعی از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها، از روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری استفاده شد. همچنین، به‌منظور ادغام روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب SIIG استفاده شد. در نهایت، همبستگی پارامترها با عملکرد و شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب نیز محاسبه شد.

یافته‌ها: تجزیه واریانس جداگانه در هرکدام از محیط‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ در ۱۲ محیط از ۱۹ محیط مطالعه شده معنی‌دار بود که نشان‌دهنده نوسان عملکرد هر ژنوتیپ از محیطی به محیط دیگر بود. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که برهمکنش سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سال در سطح احتمال ۵ درصد و اثر مکان و اثر ژنوتیپ در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌ترتیب با ۶۹/۹۸ و ۱۰/۸۳ درصد بیشترین سهم را در مجموع مربعات کل واریانس مشاهده شده در آزمایشات داشتند. تجزیه ابرهارت و راسل ژنوتیپ‌های G1، G4، G5، G8، G9، G10 و G26 را به‌دلیل برخورداری از کمترین مقدار انحراف از رگرسیون و ضریب رگرسیون نزدیک به یک، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی نمود؛ در نهایت با در نظر گرفتن عملکرد، ژنوتیپ‌های G9 و G10، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا معرفی شدند. بر اساس ضریب رگرسیون خطی فینلی و ویلکینسون ژنوتیپ‌های G4، G6، G9، G11، G12، G15، G17، G20، G27 و G28 دارای ضریب رگرسیون نزدیک به یک بودند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری عمومی به محیط‌ها هستند. بر اساس شاخص‌های اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا، ژنوتیپ‌های G8، G19، G10، G20، G9، G4، G26 و G1 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. بر اساس ضریب تغییرات محیطی ژنوتیپ‌های G10، G1، G8، G23، G13، G2 و G5 دارای کمترین مقدار ضریب تغییرات بودند. بر اساس روش پلاستد و پترسون، ژنوتیپ‌های G10، G20، G19 و G9 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا انتخاب شدند. در روش پلاستد، ژنوتیپ‌های G10، G20، G19 و G9 با کمترین سهم در ایجاد اثر متقابل و دارا بودن عملکرد مطلوب به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول معرفی شدند. بر اساس روش لین و بینز، ژنوتیپ‌های G15، G6، G21، G19، G20، G7 و G9 دارای کمترین مقادیر این آماره بودند و به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. بر اساس روش مجموع رتبه کانگ، ژنوتیپ‌های G20، G19، G10، G9 و G22 با کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار انتخاب شدند. بر اساس پارامترهای ناصار و هیون، ژنوتیپ‌های G8، G9، G10، G1، G20، G19 و G21 و بر اساس پارامترهای تنارازو، ژنوتیپ‌های G8، G9، G10، G1، G19 و G22 با کمترین میزان رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار انتخاب شدند. در نهایت براساس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال، ژنوتیپ‌های G10، G9، G19، G22 و G20 دارای نزدیک‌ترین مقادیر به عدد یک بودند و عملکردی بالاتر از میانگین کل داشتند؛ بنابراین، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری: بر اساس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال (شاخص SIIG)، ژنوتیپ‌های G10، G9، G19، G22 و G20 دارای نزدیکترین مقادیر به عدد یک بودند و نیز عملکردی بالاتر از میانگین داشتند؛ بنابراین، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. همچنین، استفاده از شاخص SIIG با توجه به همبستگی بالا با تمامی شاخص‌های مورد استفاده، جهت جمع‌بندی نتایج حاصل از شاخص‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ابرهارت و راسل، سازگاری، شاخص گزینش ایده‌آل، شرایط دیم

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

مقدمه

اهمیت و ضرورت تهیه ارقام جدید دیم که پرمحصول و مقاوم به تنش‌های محیطی و غیر محیطی باشند، با توجه به باصرفه بودن جو با توقعات آبی و خاکی نسبتاً کم در اراضی دیم، به‌روشنی مشخص می‌شود. با در نظر گرفتن وسعت و تنوع شرایط اقلیمی و زراعی مناطق مورد کشت جو در کشور و این که ارقام مختلف عکس‌العمل‌های متفاوتی را در شرایط محیطی مختلف از خود نشان می‌دهند، معرفی ارقام پرمحصولی که سازگاری وسیع با شرایط زراعی متفاوت داشته باشند، دارای اهمیت خاصی است. ارقامی که پایداری عملکرد داشته باشند، کمتر تحت تاثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند و در سال‌هایی که شرایط اقلیمی نامساعد هستند، عملکرد قابل قبولی خواهند داشت. تعیین ارقام متناسب با هر محیط زمانی که برهمکنش ژنوتیپ × محیط وجود دارد، مشکل است زیرا عملکرد قابل پیش‌بینی نیست و نمی‌توان تنها براساس میانگین‌های ژنوتیپ و خطا نتایج را تفسیر نمود (Ebdon & Gauch, 2002). برای رفع این مشکل باید یک رقم خاص برای یک منطقه خاص معرفی گردد. ولی از آنجائی‌که تهیه رقم اصلاح‌شده، سازگار و با عملکرد بالا برای هر محیط به‌لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه نیست، لذا باید واریته‌هایی را تهیه کرد که در بیشتر از یک منطقه و یا برای چند ناحیه قابل توصیه باشند. یعنی ارقامی را که در کلیه مناطق عملکرد مشابه و یا حداقل در اغلب مناطق عملکرد مناسبی دارند، انتخاب و توصیه کرد (Sadeghzadeh Ahari *et al.,* 2005).

در اراضی دیم، به‌دلیل ناپایداری شرایط محیطی، ارقام معرفی‌شده علاوه‌بر عملکرد بالا باید دارای ثبات عملکرد نیز باشند. به تغییری که در عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پدید می‌آید، برهمکنش ژنوتیپ × محیط گفته می‌شود که دلیل عمده آن تفاوت سازگاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است (Peterson *et al.,* 1997; Clevland, 2001). این اثر شامل کلیه فعل و انفعالات بین ژنوتیپ‌ها و اثرات محیطی است و ممکن است باعث کاهش همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی (ارزش اصلاحی) و فنوتیپی شود و کارایی گزینش را کاهش دهد (Brandle & Mcverty, 1994; Ebdon & Gauch, 2002). بررسی ارقام بای در دامنهٔ وسیعی از تغییرات محیطی در مکان‌ها و سال‌های متفاوت انجام گیرد تا اطلاعات حاصل از برآورد سازگاری و ثبات عملکرد ژنوتیپ‌ها معیار مطمئن‌تری در توصیه ارقام و توسعهٔ کشت آن‌ها ارائه و کارایی گزینش و معرفی را افزایش دهد. در چنین آزمایشات چندمحیطی، برهمکنش ژنوتیپ × محیط اجتناب‌ناپذیر است (Ceccarelli *et al.,* 2006). روش تجزیه واریانس مرکب معمول‌ترین روش برای شناسایی وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط در آزمایشات چندمحیطی است. ژنوتیپ‌هایی که این اثر در آن‌ها معنی‌دار است، از ثبات عملکرد دانهٔ کمتری برخوردار هستند. از آنجایی‌که عملکرد ارقام از محیطی به محیط دیگر در حال تغییر است، انتخاب یک رقم برای چند محیط به‌منظور افزایش عملکرد در واحد سطح به‌نظر صحیح نیست و در اغلب موارد می‌توان با محاسبه سازگاری خصوصی، لاین را برای منطقه مورد نظر معرفی کرد (Bhutta, 2007). اگر واریته‌ای در اغلب محیط‌های متفاوت رشد دارای عملکرد مناسبی باشد ولی در محیط‌های دیگر چندان مطلوب نباشد، رابطه بین واریته و محیط رشد مناسب را سازگاری خصوصی (Specific adaptation) گویند. اگر واریته‌ای در اغلب محیط‌ها دارای عملکرد مناسبی باشد ولی لزوماً در هیچ‌کدام از محیط‌ها دارای عملکرد بسیار مناسبی نباشد، در این‌صورت رابطه بین واریته و محیط را سازگاری عمومی (General adaptation) گویند. در اصلاح نباتات، هدف نباید به سازگاری خصوصی و یا عمومی محدود شود بلکه باید سعی شود حد واسط بین این دو نوع سازگاری به‌وجود آید (Eberhart & Russel, 1966).

روش‌های مختلفی برای بررسی پایداری پیشنهاد شده‌اند. استفاده از برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای هر ژنوتیپ به‌عنوان پارامتر پایداری توسط ریک (Wricks, 1962) پیشنهاد شد. این پارامتر پایداری با نام اکووالانس ریک (Wi)، مستقیماً به برهمکنش ژنوتیپ و محیط مربوط می‌شود و جهت تعیین سهم هر ژنوتیپ درمجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط محاسبه می‌گردد. شوکلا (Shukla, 1972) برآورد واریانس ژنوتیپ iام در محیط‌های مختلف را بر اساس باقیمانده حاصل از طبقه‌بندی دوطرفه ژنوتیپ و محیط پیشنهاد نمود. وی این پارامتر را واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) نام‌گذاری کرد. نتایج این روش شباهت زیادی به‌روش اکووالانس ریک دارند. ابرهارت و راسل (Eberhart & Russel, 1966)، میانگین عملکرد، ضریب رگرسیون فنیلی و ویلکینسون (Finlay & Wilkinson, 1963) (b_i) و میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون (Sd^2_i) را برای تشخیص ارقام پایدار به‌کار بردند. به‌نظر آن‌ها، ژنوتیپی پایدار بود که اولاً میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون آن کوچک بوده، ثانیاً ضریب خط رگرسیونی آن معادل یک باشد. با توجه به این که انحراف از خط رگرسیون مربوط به بخش غیر قابل پیش‌بینی تنوع مربوط به هر ژنوتیپ است و ضریب رگرسیون نیز پاسخ ویژه ژنوتیپ‌ها به اثرات محیطی را نشان می‌دهد، بنابراین، به‌ترتیب به‌عنوان پارامترهای پایداری و پاسخ در نظر گرفته می‌شوند. بنابر اعتقاد لین و بینز (Lin & Binns, 1988)، مکان عاملی است که قابل کنترل است و نیازی نیست که یک واریته برای چندین منطقه توصیه شود. بنابراین، آن را به‌عنوان یک عامل ثابت در نظر گرفتند و عامل سال را به‌دلیل غیرقابل کنترل و پیش‌بینی بودن، عامل تصادفی شمردند. آنها اظهار داشتند واریته‌ای پایدار است که در طول سال‌های مورد آزمایش نوسان کمتری داشته باشد و به همین خاطر میانگین واریانس بین سال‌های درون مکان‌ها را به‌عنوان پارامتر پایداری پیشنهاد دادند. برای محاسبه مقدار این پارامتر که به‌روش محاسبه واریانس درون مکانی (MSY/L) نیز معروف است، واریانس عملکرد بین سال‌های درون هر مکان برای هر ژنوتیپ محاسبه می‌شود و پس از محاسبه این واریانس‌ها در کلیه مناطق برای هر ژنوتیپ، میانگین آن‌ها به‌عنوان واریانس درون مکانی محاسبه می‌گردد. هر واریته‌ای که واریانس درون مکانی کمتری داشته باشد، پایدارتر خواهد بود. فرانسیس و کاننبرگ (Francis & Kannenberg, 1978) جهت رفع مشکل همبستگی بین شاخص‌های پایداری و عملکرد کم، شاخص ضریب تنوع محیطی را به‌عنوان معیار

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

پایداری معرفی کردند که حاصل قسمت جذر واریانس محیطی هر لاین (Si^2) بر میانگین عملکرد همان لاین در کلیه مکان‌ها است. پایین بودن مقدار CV% محیطی نشان‌دهنده نوسانات کمتر عملکرد آن رقم در طی سال‌ها و محیط‌های مختلف و نهایتاً پایداری آن رقم است. باید دانست که رتبه ژنوتیپ در یک محیط خاص نباید بر اساس ارزش فنوتیپی آن باشد چراکه پایداری باید مستقل از اثر ژنوتیپی به‌دست آید (Thennarasu, 1995). تنارازو (Thennarasu, 1995) بیان داشت که به‌منظور حذف اثر ژنوتیپی عملکرد، عملکرد هر رقم ابتدا تصحیح شود و سپس هر ژنوتیپ بر حسب عملکرد تصحیح‌شده خود رتبه‌بندی شود. در این حالت، رتبه‌های به‌دست آمده فقط بر اساس برهمکنش ژنوتیپ × محیط و نیز خطای آزمایشی خواهند بود. بر این اساس، چهار پارامتر پایداری توسط وی ارائه شد. به اعتقاد هیون و لئون (Huhn & Leon, 1995)، پیشرفت سریع روش‌های ناپارامتری در سال‌های اخیر سبب افزایش استفاده از آن‌ها در طرح‌های آزمایشی مهم شده است به‌طوری که روش‌های ناپارامتری بیشتر برای داده‌های دوطرفه که شامل ردیف و ستون باشند استفاده می‌شوند که ردیف‌ها، ارقام و ستون‌ها، محیط‌ها را تشکیل می‌دهند. همچنین، در این روش‌ها بهتر است که ارقام در هر محیط با تعداد تکرار ثابت آزمون شوند. استفاده از روش‌های ناپارامتری به‌ویژه وقتی‌که روش‌های پارامتری به خاطر برهمکنش غیر خطی ژنوتیپ × محیط قابل توضیح و تفسیر نباشند لازم است (Kubinger, 1986).

استفاده از آماره‌های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار جو توسط محققین متعددی گزارش شده است (Ramzi *et al.,* 2020; Taherian *et al.,* 2019; Barati *et al.,* 2019; Khalili & Pour-Aboghadareh, 2016; Karimizadeh *et al.,* 2013). واعظی و احمدی (Vaezi & Ahmadi, 2010) با بررسی پایداری ۱۸ ژنوتیپ جو با استفاده از مدل‌های رگرسیونی فینلی و ویلکینسون و ابرهارت- راسل ژنوتیپ‌های مغان، گچساران و ایذه را به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی کردند. همچنین در مطالعه آن‌ها، روش ابرهارت و راسل با در نظر گرفتن چند آماره جهت انتخاب بهترین ژنوتیپ و نیز روش لین و بینز به‌دلیل وراثت‌پذیر بودن به‌عنوان روش‌های کارآمدتر برای تجزیه پایداری معرفی شدند. بدوئی و همکاران (Badooei Delfard *et al.,* 2016) به‌منظور بررسی پایداری ارقام جو زمستانه از پارامترهای پایداری شوکلا، اکووالانس ریک و آماره لین و بینز استفاده کردند. بهرامی و همکاران (Bahrami *et al.,* 2008) پایداری و سازگاری ۲۰ ژنوتیپ جو را در شش منطقه طی دو سال مورد ارزیابی قرار دادند و از تمام پارامترهای پایداری در شناسایی ارقام پایدار استفاده کردند. نتایج نشان دادند که ضریب رگرسیون ابزار مناسبی برای گزینش واریته‌های پایدار با عملکرد بالا بود و مفیدترین شاخص پایداری بود که می‌توانست برای گزینش ژنوتیپ‌های جو سازگار با دامنه وسیعی از محیط‌ها یا سازگار برای نواحی خاص مورد استفاده قرار گیرد. انصاری ملکی و همکاران (Ansari Maleki *et al.,* 2007) به‌منظور انتخاب و معرفی ارقام سازگار و پرمحصول جو برای مناطق سردسیر کشور، ۲۴ ژنوتیپ جو دیم انتخاب شده از آزمایشات مقایسات عملکرد مقدماتی را با استفاده از آماره‌های تک متغیره و تجزیه کلاستر مورد بررسی قرار دادند و چهار ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا را معرفی نمودند. حاتمی ملکی و همکاران (Hatami Maleki *et al.,* 2020) در بررسی ۱۶ لاین اصلاحی پیشرفته جو به‌همراه دو رقم شاهد در پنج منطقه از آماره‌های پارامتری، مانند مجموع مربعات GE، ضریب شیب خط رگرسیون، واریانس باقیمانده رگرسیون خطی معمول و تعدیل شده، ضریب تغییرات و رگرسیون دینامیکی، استفاده کردند و لاین‌های برتر با عملکرد بالا و پایدار را با استفاده از این روش‌ها معرفی نمودند.

هدف از این پژوهش، مطالعه پایداری عملکرد ارقام و لاین‌های پیشرفته جو در مناطق سردسیر و معتدل سرد دیم و در نهایت شناسایی و معرفی لاین‌های برتر با پتانسیل عملکرد دانه بالا و با پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف به‌منظور معرفی به‌عنوان رقم و رفع نیاز بذری این مناطق است.

مواد و روش‌ها

در این بررسی، ۲۵ رقم و لاین پیشرفته و امیدبخش جو (انتخابی از آزمایشات مقایسهٔ عملکرد مشترک پیشرفته) به‌همراه ارقام شاهد انصار، آبیدر و سرارود ۱ (جدول ۱) در شرایط دیم و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه‌های تحقیقاتی دیم مناطق سردسیر و سرد معتدل مراغه، کردستان (قاملو)، زنجان (قیدار)، اردبیل، کرمانشاه (سرارود)، شیروان و همدان به‌مدت سه سال زراعی از سال ۹۷-۱۳۹۶ تا ۹۹-۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۲). مشخصات مناطق اجرای آزمایش در جدول ۳ و اطلاعات هواشناسی این مناطق در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. عملیات آماده‌سازی زمین در ایستگاه‌های مورد بررسی تا حد امکان یکسان انجام شد به‌صورتی‌که برای آماده‌سازی زمین آزمایش در هر ایستگاه، در پاییز سال قبل به عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر شخم زده شد و در بهار قبل از گل‌دهی علف‌های هرز از پنجه‌غازی و در پاییز قبل از کشت از دیسک استفاده گردید. نیاز به عناصر کودی بر اساس آزمون خاک در هر ایستگاه تأمین شد. کرت‌های آزمایشی شامل شش خط به طول ۶ متر با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر بودند. میزان بذر مصرفی برای کشت براساس ۴۰۰ دانه در مترمربع با توجه به وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها تعیین شد. جهت کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ از سموم علف‌کش استفاده گردید. بقیه عملیات‌های زراعی در ایستگاه‌های مختلف تا حدود زیادی یکسان بود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

جدول ۱- شجره¬های ارقام و لاین‌های امیدبخش جو در محیط‌های مورد مطالعه
Table 1. Pedigrees of promising varieties and lines of barley in the studied environments

کد Code	شجره ژنوتیپ Genotype pedigree	منشأ ژنوتیپ Genotype origin
Gen1	Ansar	DARI
Gen2	Abider	DARI
Gen3	Sararood-1	DARI
Gen4	B-c-74-2/Abidar 114-0MH-0MH-0MH-0MH-1MH	DARI
Gen5	VA92-44-275//Tokak/Demir-2 IRB-008-242-0MH-0MH-0MH-0MH-4MH	DARI
Gen6	BAŞGUL -	DARI
Gen7	EFES30 -	DARI
Gen8	GkOmega/CWB117-5-9-5//Sararood	DARI
Gen9	Roho/Masurka//ICB-103020/3/Kc/MullersHeydla//Sls/4/Sararood/5/GaraArpa/6/1142/Gumhuriyet//Radical IRB-008-54-0MH-0MH-0MH-0MH-2MH	DARI
Gen10	Obruk-86/3/Alpha//Sul/Nacta/4/Sadik-05/5/Icb-100059 IRB-008-238-0MH-0MH-0MH-0MH-2MH	DARI
Gen11	Reihan-03//Tokak/Demir-2 IRB-008-252-0MH-0MH-0MH-0MH-5MH	DARI
Gen12	MB-90-3(Beecher/1-BC-80411//1-BC-80593)	DARI
Gen13	Beecher-Sel//Gloria"S"/Copal"S"/4/Deir Alla 106//Hem/Bc/3/Rihane"S"	DARI
Gen14	Unknown	DARI
Gen15	GkOmega/4/Arr/Esp//Alger/Ceres362-1-1/3/ICB-100175	DARI
Gen16	ChiCm/An57//Albert/3/ICB-102379/4/GkOmega	DARI
Gen17	AYDANHANIM	DARI
Gen18	ZEYNELAGA	DARI
Gen19	G.B.71530	DARI
Gen20	G.B.71530	DARI
Gen21	G.B.71538	DARI
Gen22	G.B.71557	DARI
Gen23	G.B.72566	DARI
Gen24	G.B.72581	DARI
Gen25	G.B.72650	DARI
Gen26	G.B.72655	DARI
Gen27	G.B.72665	DARI
Gen28	G.B.72680	DARI

DARI: Dryland Agricultural Research Institute

جدول ۲- محیط‌های مورد مطالعه در آزمایش یکنواخت سراسری
Table 2. Studied environments in the nationwide uniform test

کد Code	محیط Environment	کد Code	محیط Environment	کد Code	محیط Environment	کد Code	محیط Environment
Mara1	Maragheh-1th year	Shir2	Shirvan-2th year	Sara1	Sararood-1th year	Hame3	Hamedan -3th year
Mara2	Maragheh-2th year	Shir3	Shirvan-3th year	Sara2	Sararood -2th year	Arde1	Ardebil-1th year
Qam1	Qamlu-1th year	Zan1	Zanjan-1th year	Sara3	Sararood -1th year	Arde2	Ardebil -2th year
Qam2	Qamlu-2th year	Zan2	Zanjan-2th year	Hame1	Hamedan-1th year	Arde3	Ardebil -3th year
Qam3	Qamlu-3th year	Zan3	Zanjan-3th year	Hame2	Hamedan -2th year		

جدول ۳- مشخصات جغرافیایی و نوع خاک ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی مورد بررسی
Table 3. Geographical characteristics and soil type of the investigated agricultural research stations

Station	Longitude (degrees east)	Latitude (degrees north)	Height above sea level (meters)	Soil texture
Maragheh	46 ', 15 °	37 ', 15 °	1720	Clay-Loam
Qamlu	47 ', 00 °	35 ', 20 °	1500	Clay-Loam
Zanjan	48 ', 49 °	36 ', 58 °	1875	Loam-Silt
Ardabil	48 ', 17 °	38 ', 15 °	1342	Clay-Loam
Sararod	57 ', 55 °	37 ', 23 °	1351	Silt-Clay-Loam
Hamedan	48 ', 32 °	34 ', 53 °	1733	Sand-Loam
Shirvan	58 ', 07 °	37 ', 19 °	1086	Clay-Loam

جدول ۴- مقایسه میانگین بارندگی و دمای سالانه ایستگاه¬های تحقیقات کشاورزی در سه سال مورد بررسی در این تحقیق
Table 4. Comparison of the average annual rainfall and temperature of the agricultural research stations investigated in the three years of this research

Cropping Years	Variables	Ardebil	Maragheh	Sararod	Shirvan	Zanjan	Qamlu	Hamedan
2017-2018	Rain	226.4	326.8	518.8	252.7	426.3	396.3	389.2
	Temperature	8.06	5.2	11.7	9.3	7.5	6.9	8.4
2018-2019	Rain	274.2	494.6	782.5	337.8	430	444.5	506.8
	Temperature	8.1	5.6	11.1	9.8	7.6	7.4	8.4
2019-2020	Rain	255.4	423.3	521.2	141.3	390	339.5	307.9
	Temperature	8.3	5.1	11	9.1	7.4	7.1	8.2
Long-term	Rain	251.9	356.1	413.9	247.1	349.2	339.4	285.3
	Temperature	7.5	5.3	11.4	10	7.5	6.5	8.5

پس از تعیین عملکرد دانه هر ژنوتیپ، تجزیه واریانس ساده در هر سال و هر مکان انجام گردید. با استفاده از واریانس خطاهای آزمایشی و استفاده از آزمون F max Hartley و اثبات یکنواختی واریانس خطاها، تجزیه واریانس مرکب به‌منظور بررسی اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و همچنین برهمکنش ژنوتیپ × محیط انجام پذیرفت. آزمون F منابع تغییر بر اساس امید ریاضی و با فرض تصادفی بودن سال‌ها و مکان‌ها و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها انجام گردید.

با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط، برای تعیین سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها از روش‌های مختلف (جدول ۵) استفاده شد. در معادلات ۱ تا ۹، X_{ij}، میانگین عملکرد ژنوتیپ i در محیط j؛ $\bar{X}_{i.}$ میانگین ژنوتیپ i در تمام محیط‌ها؛ $\bar{X}_{.j}$ میانگین همه ژنوتیپ‌ها در محیط j و $\bar{X}_{..}$ میانگین همه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها هستند. همچنین، E تعداد محیط، G تعداد ژنوتیپ در آزمایش، و MsGE واریانس برهمکنش ژنوتیپ × محیط هستند. در مدل فینلی و ویلکینسون، M میانگین کل آزمایش، Pi اثر اصلی ژنوتیپ iام، β_i ضریب رگرسیون خطی برای ژنوتیپ iام، V_i اثر اصلی محیط، δ_{ij} اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و ε_{ijk} اثر خطا هستند. در این مدل، معیار پایداری را با bi نشان می‌دهند که رگرسیون خطی عملکرد ژنوتیپ i در محیط j روی عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط jام است. در شاخص پلاستد، p تعداد ژنوتیپ، q تعداد

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

محیط و SSGE مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط هستند. در روش‌های ناپارامتری، در معادلات ۱۰ تا ۱۷ r_{ij} و $\acute{r_{ij}}$ رتبه تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ iام در محیط jام، $\bar{r}_{i.}$ و $\bar{\acute{r}}_{i.}$ به ترتیب میانگین رتبه تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ iام، M_{di} و M^{*}_{di} میانه رتبه تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ iام و N تعداد محیط هستند.

برای آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و تجزیه مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS، برای برآورد پارامترهای پارامتری و ناپارامتری پایداری از برنامه اینترنتی آنلاین STABILITYSOFT (Pour-Aboughadareh *et al.,* 2019) و بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی با نام Metan (Multi environmenttrail analysis) در نرم‌افزار Rstudio استفاده شد (Olivoto, 2019).

جدول ۵- شاخص‌های تجزیه پایداری مورد استفاده در بررسی پایداری ارقام جو
Table 5. The stability analysis indices used in the study of the stability of barley cultivars

معادله	فرمول	آماره
۱	$S^2_{Xi}=\frac{\sum(X_{ij}-\bar{X}_{i.})^2}{(E-1)}$	واریانس محیطی
۲	$W_i^2=\sum_{i=1}^{n}(X_{ij}-\bar{X}_{i.}-\bar{X}_{.j}+\bar{X}_{..})^2$	اکووالانس ریک
۳	$\delta_i^2=\frac{G}{(E-2)(G-2)}W_i-\frac{MsGE}{G-2}$	واریانس پایداری شوکلا
۴	$bi=1+\frac{\sum_i(X_{ij}-\bar{X}_{i.}-\bar{X}_{.j}+\bar{X}_{..})(X_{.j}-\bar{X}_{..})}{\sum_i(\bar{\bar{X}}_{.i}+X_{..})}$	ضریب رگرسیون خطی
۶	$S^2_{di}=\frac{1}{E-2}\left[\sum_i(X_{ij}-\bar{X}_{i.}-\bar{X}_{.j}+\bar{X}_{..})-(b_i-1)^2.\sum_i(\bar{X}_{.j}-\bar{X}_{..})^2\right]$	واریانس انحراف از رگرسیون
۵	$Y_{ijk}=M+P_i+(1+\beta_i)V_i+\delta_{ij}+\varepsilon_{ijk}$	ضریب فینلی و ویلکینسون
۷	$CV_i=\frac{\sqrt{S_i^2}}{V_i}$	ضریب تغییرات محیطی
۸	$SSGE=\sum\sum\left[(X_{ij}-\bar{X}_{..})-(X_{i.}-\bar{X}_{..})-(X_{.j}-\bar{X}_{..})\right]^2$	شاخص پلاستد و پترسون
۹	$\theta_i=\frac{p}{2(p-1)(q-1)}\sum_{i=1}^{q}(X_{ij}-\bar{X}_{i.}-\bar{X}_{.j}+\bar{X}_{..})^2+\frac{SSGE}{2(p-2)(q-2)}$	شاخص پلاستد
۱۰	$S_i^{(1)}=2\sum_{i}^{n-1}\frac{\sum_{j=j+1}^{n}\lvert r_{ij}-\acute{r_{ij}}\rvert}{\lceil N(N-1)\rceil}$	پارامترهای ناصار و هیون
۱۱	$S_i^{(2)}=\sum_{i=1}^{n}\frac{(r_{ij}-\bar{r}_{i.})^2}{(N-1)}$	
۱۲	$S_i^{(3)}=\sum_{i=1}^{n}\frac{(r_{ij}-\bar{r}_{i.})^2}{\bar{r}_{i.}}$	
۱۳	$S_i^{(6)}=\sum_{i=1}^{n}\frac{\lvert r_{ij}-\bar{r}_{i.}\rvert^2}{\bar{r}_{i.}}$	
۱۴	$NP_i^{(1)}=\frac{1}{N}\lvert r_{ij}^{*}-M_{di}^{*}\rvert$	پارامترهای تنارازو
۱۵	$NP_i^{(2)}=\frac{1}{N}\left[\sum_{i=1}^{n}\lvert r_{ij}^{*}-M_{di}^{*}\rvert/M_{di}\right]$	
۱۶	$NP_i^{(3)}=\frac{\sqrt{\sum(r_{ij}-\bar{\acute{r}}_{i.})/N}}{\bar{r}_i}$	
۱۷	$NP_i^{(4)}=\frac{2}{N(N-1)}\left[\sum_{j=1}^{n-1}\sum_{[j=j+1]}^{n}\lvert r_{ij}-\bar{r}_{i.}\rvert/\bar{r}_{ij}\right]$	

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

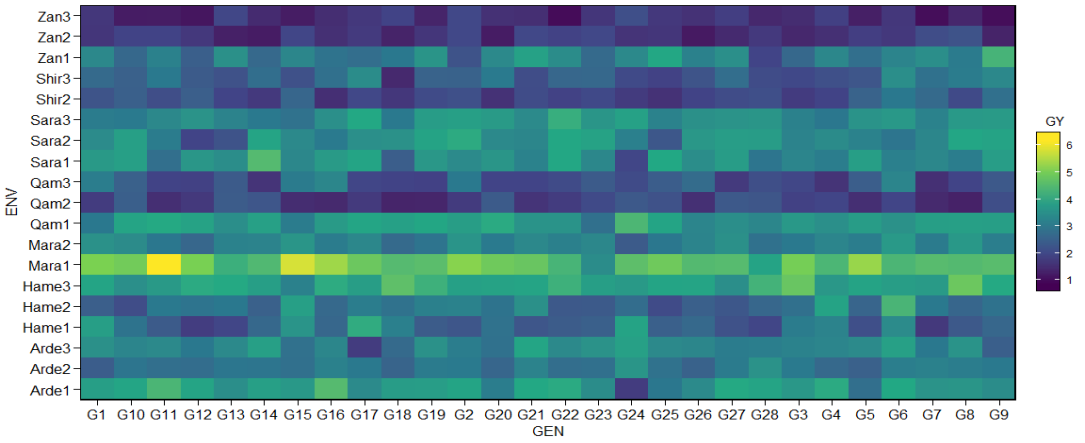
تجزیه واریانس جداگانه در هرکدام از محیط‌ها (جدول ۶) نشان داد که اثر ژنوتیپ در ۱۲ محیط از ۱۹ محیط مطالعه‌شده معنی‌دار بود (البته داده‌های مکان‌های شیروان سال اول و مراغه سال سوم به دلیل مخدوش بودن از آزمایش حذف شدند)؛ بنابراین، ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی دارای تنوع کافی بودند و برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط نیاز به تجزیه پایداری بود. یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی توسط آزمون F max Hartly با استفاده از واریانس خطاهای آزمایشی محاسبه شده برای عملکرد در سه سال و در ایستگاه‌های مورد مطالعه آزمون شد. با توجه به غیر معنی‌دار بودن آماره F max Hartly، می‌توان یکنواختی واریانس‌های درون تیماری را استنباط کرد. اثر ژنوتیپ در ۱۲ محیط از ۱۹ محیط مورد مطالعه معنی‌دار بود. این معنی‌دار بودن نشان‌دهنده نوسان عملکرد هر ژنوتیپ از محیطی به محیط دیگر و نیز نشان‌دهنده پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت بود. این وضعیت در شکل ۱ نیز نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که بیشترین میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط مراغه سال اول و کمترین میانگین در محیط‌های قاملو سال دوم و زنجان سال دوم و سوم بودند؛ بنابراین، جهت بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط تجزیه واریانس مرکب انجام گرفت.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

جدول ۶- واریانس خطای آزمایشی در مکان‌های مورد بررسی در سه سال زراعی و آزمون Fmax Hartley برای ارزیابی یکنواختی واریانس‌ها
Table 6. The variance of experimental errors in different separate locations in three cropping seasons and the Fmax Hartley test to evaluate the uniformity of variances

Croping Season	S.O.V.	Df	میانگین مربعات (Mean of Squares)						
			اردبیل Ardabil	مراغه Maragheh	سرارود Sararod	زنجان Zanjan	همدان Hamedan	قاملو Qamlu	شیروان Shirvan
2017-2018	Block	3	0.2986	5.9677**	0.287	0.6604**	0.5352*	1.4809**	
	Genotype	27	0.5612**	0.3465**	0.2981*	0.3872**	0.7548**	0.1755	
	Error	181	0.1206	0.1725	0.1706	0.1478	0.1796	0.1801	
	CV%		9.4	9.94	12.17	13	14.73	10.65	
2018-2019	Block	3	1.0099**	6.4241**	0.3812*	0.9174**	0.2381	1.844**	0.1414
	Genotype	27	0.2734*	0.1368	0.9687**	0.1054	1.4064**	0.2152*	0.184
	Error	181	0.1761	0.1129	0.1377	0.1043	0.2006	0.1380	0.130
	CV%		13.27	13.53	11.41	19.55	15.58	18.22	16.62
2019-2020	Block	3	0.3297*		0.419*	0.0477	0.7839	1.356**	0.3123
	Genotype	27	0.4382**		0.2623**	0.0781	0.2471	0.0801	0.236*
	Error	181	0.1222		0.1119	0.1404	0.1760	0.17	0.1459
	CV%		10.67		9.85	25.09	11.21	16.62	15.23
$F_{max\ Hartley} = 1.92^{ns}$									

** and *: significant at the probability levels of 1 and 5%, respectively.



شکل ۱- نمودار گرمایی پراکنش ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد دانه در محیط‌های مورد بررسی
Figure 1. The heat diagram for the distribution of genotypes based on seed yields in the investigated environments

تجزیه واریانس مرکب بر روی داده‌های حاصل از هفت مکان در ۳ سال انجام شد. اثرات متقابل سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال ۱ درصد، اثر سال در سطح احتمال ۵ درصد و اثر مکان و اثر ژنوتیپ در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار بودند. این امر دلیل بر وجود اختلاف شرایط محیطی در مناطق و سال‌های مورد آزمایش بود (جدول ۷). معنی‌دار شدن برهمکنش سال × مکان تاثیر زیاد این اثر را در معنی‌دار شدن برهمکنش سه‌گانه نشان می‌دهد. معنی‌دار شدن اثر سه‌گانه ژنوتیپ × مکان × سال (ژنوتیپ× محیط) نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت پاسخ‌های متفاوتی نشان دادند و به‌عبارت‌دیگر، اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر متفاوت بود و پایداری عملکرد دانه می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به‌طور معمول به‌دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (Jafari & Farshadfar, 2018). اثر اصلی محیط (مجموع اثرات اصلی و متقابل) و برهمکنش ژنوتیپ × محیط (مجموع اثرات دوگانه و سه‌گانه) به‌ترتیب با ۶۹/۹۸ و ۱۰/۸۳ درصد بیشترین سهم را درمجموع مربعات کل واریانس مشاهده شده در آزمایشات داشتند (جدول ۷). در کل، وقتی اثر محیط زیاد و برهمکنش ژنوتیپ × محیط کم باشد می‌توان این‌گونه استنباط کرد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای پایداری خوبی هستند. احیایی و همکاران (Ehyaei *et al.*, 2022) و کانونی و همکاران (Kanouni *et al.*, 2007) نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که محیط بیشترین مقدار از مجموع مربعات را به‌خود اختصاص داد که نشان‌دهنده متنوع بودن محیط‌های آزمایش است. تفاوت بین محیط‌های مورد بررسی می‌تواند به‌دلیل تفاوت‌های اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی طی سال‌ها و مکان‌های انجام آزمایش در طی دوره رشدی گیاه باشد. با توجه به معنی‌دار بودن اثر اصلی ژنوتیپ، سهم اندک ژنوتیپ در مجموع مربعات کل (نزدیک ۱ درصد) را می‌توان به انتخاب مؤثر این ژنوتیپ‌ها در آزمایشات مقدماتی در برنامه‌های اصلاحی انجام‌شده نسبت داد (Golkari *et al.*, 2021). ژنوتیپ‌های G6، G15، G21، G7 و G22 به‌ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های G12، G25، G28، G27 و G23 کمترین مقدار عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بودند (جدول ۹). در ارتباط با معنی‌دار شدن برهمکنش دوگانه و سه‌گانه علاوه‌بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، تفاوت واکنش آن‌ها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم مؤثر بود؛ بنابراین، صرفاً بر اساس مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها نمی‌توان ژنوتیپ با عملکرد بیشتر را به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب پایدار تعیین کرد، بلکه باید تجزیه پایداری انجام شود تا ژنوتیپ‌های سازگار با

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

شرایط منطقه که ضمن داشتن عملکرد دانه بالا، نوسانات عملکرد آن‌ها نیز در سال‌های مختلف کمتر باشند، شناسایی شوند.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد لاین‌های امیدبخش جو در ایستگاه‌های مورد بررسی طی سه سال در اقلیم سرد کشور
Table 7. The composite variance analysis results for the yields of promising barley lines in the studied stations during 3 years in the cold climate of the country

Percentage of Sum of Squares درصد مجموع مربعات	Mean of Squares میانگین مربعات	Sum of Squares مجموع مربعات	dF درجه آزادی	Source of variation منابع تغییر	
22.50	185.01**	370.03	2	سال	Year
28.38	77.77*	466.61	6	مکان	Location
19.10	31.41***	314.1	10	سال × مکان	Year × location
4.28	1.23	70.3	57	بلوک (سال × مکان)	Block (year × location)
0.93	0.57*	15.32	27	ژنوتیپ	Genotype
1.21	0.37	19.87	54	ژنوتیپ × سال	Year× Genotype
3.42	0.35	56.28	162	ژنوتیپ × مکان	Location × Genotype
6.20	0.38***	101.93	270	ژنوتیپ × سال × مکان	Year × location× genotype
13.98	0.149	229.79	588	خطا	Error
		1644.24	2127	کل	Total
	13.2%			ضریب تغییرات٪	CV%

***، ** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد
,*and *: significant at the probability levels of 1, 5, and 10%, respectively

تجزیه پایداری

یکی از رایج‌ترین روش‌های تجزیه پایداری روش رگرسیونی است. تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بر اساس روش ابرهارت و راسل (Eberahrt & Russel, 1966) انجام و مشاهده شد که منابع تغییر ژنوتیپ و محیط معنی‌دار بودند (جدول ۸). با توجه به نتایج، واریانس محیط (خطی) و واریانس ژنوتیپ × محیط (خطی) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. معنی‌دار شدن محیط (خطی) نشان‌دهنده رابطه خطی معنی‌دار بین عملکرد در محیط‌های اجرای آزمایش با شاخص محیطی است، یعنی تغییرات عملکرد در محیط‌ها از روند خطی برخوردار است. واریانس ژنوتیپ × محیط (خطی) نیز معنی‌دار شد که نشان می‌دهد بین ضرایب اختلاف معنی‌دار وجود دارد. واریانس انحراف از خط رگرسیون نیز معنی‌دار شد که نشان می‌دهد در برخی از ژنوتیپ‌ها انحرافات از خط رگرسیونی معنی‌دار هستند. ژنوتیپ‌های G2، G3، G6، G7، G11، G12، G13، G14، G15، G17، G18، G23، G24، G25، G27 و G28 دارای انحراف از رگرسیون خطی معنی‌داری در سطوح ۱ و ۵ درصد بودند که نشان می‌دهد عملکرد این ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیطی دارای نوسان است و این پراکندگی‌ها در اطراف خط رگرسیون بین آن‌ها معنی‌دار بود؛ در نتیجه، این ژنوتیپ‌ها از پایداری عملکرد مناسبی برخوردار نیستند. در مقابل، ژنوتیپ‌های G1، G4، G5، G8، G9، G10، G19، G20، G21، G22 و G26 انحراف از رگرسیون غیر معنی‌دار داشتند، به این معنی که ضمن وجود اختلاف خطی معنی‌دار و قابل توجه بین عملکرد این ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیطی، نوسانات عملکرد آن‌ها در اطراف خط رگرسیون معنی‌دار نبودند. از بین این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های G1، G4، G5، G8، G9، G10 و G26 با برخورداری از کمترین مقدار انحراف از رگرسیون و ضریب رگرسیون نزدیک به یک، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. از نظر عملکرد نیز از بین ژنوتیپ‌های منتخب، ژنوتیپ‌های G26، G8، G4 و G1 عملکرد کمتری از میانگین کل داشتند؛ بنا بر این، در انتها ژنوتیپ‌های G9 و G10 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا با استفاده از این روش معرفی شدند. واعظی و احمدی (Vaezi & Ahmadi, 2010) با بررسی ۱۸ ژنوتیپ جو در چهار مکان و سه سال با استفاده از پارامترهای پایداری مختلف از بین ده پارامتر اندازه‌گیری شده، کفایت مدل رگرسیونی ابرهارت و راسل را در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار گزارش کردند. آبای و بجرنستاد (Abay & Bjornstad, 2009) پایداری عملکرد ۱۰ رقم جو را در ۲۱ محیط با استفاده از روش رگرسیون و GGE-Biplot (Yan, 2001) مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که نتایج به‌دست آمده از روش رگرسیون ابرهارت و راسل مطابقت بالایی با روش چندمتغیره GGE-Biplot داشتند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

جدول ۸- تجزیه واریانس پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو به روش ابرهارت و راسل
Table 8. Variance analysis of grain yield stability of barley genotypes by the Eberhart and Russell method

SOV		df	Mean of Squares
Genotype	ژنوتیپ	27	0.465**
Genotype+(Genotype×Environment)	محیط+(محیط × ژنوتیپ)	504	2.6**
Environment (Linear)	محیط (خطی)	1	1153**
Genotype × Environment (Linear)	ژنوتیپ ×محیط (خطی)	27	0.307**
Pooled deviation	انحرافات از خط رگرسیونی	476	0.318**
Total	کل	531	
G1		18	0.164
G2		18	0.271*
G3		18	0.502**
G4		18	0.158
G5		18	0.233
G6		18	0.446**
G7		18	0.271*
G8		18	0.0679
G9		18	0.125
G10		18	0.0803
G11		18	0.25*
G12		18	0.638**
G13		18	0.269*
G14		18	0.254*
G15		18	0.344**
G16		18	0.159
G17		18	0.581**
G18		18	0.299**
G19		18	0.0814
G20		18	0.126
G21		18	0.210
G22		18	0.169
G23		18	0.352**
G24		18	1.07**
G25		18	0.798**
G26		18	0.144
G27		18	0.411**
G28		18	0.425**
Pooled error	خطای متوسط	1539	0.146

** و *: معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد به ترتیب
**and *: significant at the probability levels of 1 and 5%, respectively

براساس ضریب رگرسیون خطی فینلی و ویلکینسون، ژنوتیپ‌های G4، G6، G9، G11، G12، G15، G17، G20، G27 و G28 دارای ضرایب رگرسیون نزدیک به یک بودند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری عمومی به محیط‌ها هستند (جدول ۹). مزیت استفاده از ضریب رگرسیون به‌عنوان پارامتر تیپ یک آن است که مستقل از واحد اندازه‌گیری است (Soughi *et al.,* 2009). هر چقدر عملکرد ژنوتیپ بالا باشد و ضریب رگرسیون آن نیز از یک بیشتر باشد در این حالت این ژنوتیپ مناسب مناطق و محیط‌های مطلوب است (Sial *et al.,* 2000) و همچنین هر چقدر ضریب رگرسیون کمتر از یک باشد (البته معنی‌دار) و دارای عملکرد بالایی نیز باشد مناسب مناطق نامطلوب است (Ahmadi *et al.,* 2016). به‌طور کلی، ژنوتیپ‌هایی که به‌طور معنی‌داری دارای شیب کمتر از یک هستند حساسیت کمتری نسبت به تغییرات محیطی دارند، بنابراین، دارای سازگاری خصوصی به محیط‌هایی هستند که از عملکرد پایین برخوردارند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G7، G14، G16، G19، G21، G27 و G22 با دارا بودن بیشترین ضرایب رگرسیون و میانگین‌های عملکرد بالاتر نسبت به میانگین عملکرد کل (۲/۹۲۶) مناسب مناطق و محیط‌های مطلوب هستند. واریانس انحراف از خط رگرسیون S^2_{di} سهم هر ژنوتیپ را در برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان می‌دهد. بر این اساس، اگر ژنوتیپی دارای انحراف از خط رگرسیون صفر یا حداقل باشد، آن رقم پایدار است (Soughi *et al.,* 2009). پژوهشگران دیگری نیز از روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بهره گرفته‌اند (karimizadeh *et al.,* 2021; Mohammadi *et al.,* 2014; Najafi Mirak *et al.,* 2018a and 2018b). فینلی و ویلکینسون (Finlay & Wilkinson, 1963) اظهار داشتند که ضریب رگرسیون هر ژنوتیپ وابسته به ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش است، بنابراین، ضریب رگرسیون به‌تنهایی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نیست و نمی‌تواند به‌عنوان یک معیار پایداری عمومی در نظر گرفته شود. دشتکی و همکاران (Dashtaki *et al.,* 2004) در بررسی پایداری ۲۰ ژنوتیپ گندم در سه سال و هفت منطقه با استفاده از تجزیه رگرسیون بیان داشتند که به‌علت معنی‌دار نبودن واریانس انحرافات از خط رگرسیون و قرارگیری اکثر ژنوتیپ‌ها در حول خط رگرسیون، استفاده از این دو پارامتر برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار مفید نیست.

بر اساس شاخص‌های اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا، ژنوتیپ‌های G8، G19، G10، G20، G9، G4، G26 و G1 در محیط‌های مورد بررسی دارای اکووالانس و واریانس کمتری بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. در این ژنوتیپ‌ها، مجموع مربعات برهمکنش با محیط کم بود و می‌توان این ژنوتیپ‌ها را دارای سازگاری عمومی مطلوبی دانست و برای بیشتر مناطق توصیه کرد. این دو روش بیشتر تأکید بر برهمکنش ژنوتیپ × محیط دارند و به همین دلیل منجر به انتخاب ارقام پایدار و پرمحصول می‌شوند. یکسان بودن نتایج حاصل از این دو روش به دلیل این است که واریانس پایداری شوکلا ترکیبی خطی از اکووالانس است، بنا بر این، این دو شاخص از نظر رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها دارای ارزش یکسان

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

هستند. روستایی و همکاران (Roustaie *et al.,* 1996) با مقایسه روش‌های مختلف پایداری برای انتخاب ارقام پایدار و پرمحصول جو در شرایط دیم نشان دادند که این دو شاخص جهت انتخاب ارقام پرمحصول بسیار مناسب بودند. زالی و همکاران (Zali *et al.,* 2009) نیز نشان دادند که نتایج حاصل از رتبه‌بندی واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک همانند یکدیگر بودند و می‌توان یکی از این دو پارامتر را برای تجزیه پارامتری به‌کار برد. دلیل این همانندی آن است که واریانس پایداری، یک ترکیب خطی از اکووالانس است و بنابراین، اکووالانس و واریانس پایداری از نظر درجه‌بندی ژنوتیپ‌ها ارزش یکسانی دارند. پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از شاخص‌های پایداری اکووالانس ریک و واریانس شوکلا، ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند (Najafi Mirak *et al.,* 2018a & b; Haji Mohammad Ali Jahromi *et al.,* 2011). بر اساس ضریب تغییرات محیطی نیز ژنوتیپ‌های G10، G1، G8، G23، G13، G2 و G5 دارای کمترین مقادیر ضریب تغییرات بودند. برخی محققین در بررسی‌های خود در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از ضریب تغییرات محیطی و واریانس درون مکانی استفاده کردند و اظهار داشتند که این دو روش بیانگر پایداری بیولوژیک هستند و به‌دلیل وراثت‌پذیر بودن می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسب برای انتخاب ارقام پایدار مورد استفاده قرار گیرند (Vaezi & Ahmadi, 2010; Soughi *et al.,* 2009). در روش پلاستد و پترسون (Plasted & Peterson, 1959)، ژنوتیپ‌های G8، G10، G20، G19، G9، G4 و G26 به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری انتخاب شدند زیرا از مقادیر پایین θi برخوردار بودند، به این معنی که این ژنوتیپ‌ها سهم کمتری در برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند. ولی به‌دلیل پایین بودن عملکرد ژنوتیپ‌های G8، G4 و G26 از میانگین عملکرد کل، فقط ژنوتیپ‌های G10، G20، G19 و G9 که دارای میانگین‌های عملکرد بالاتری بودند، با توجه به این آماره در این بررسی انتخاب شدند. در روش پلاستد (Plaisted, 1960)، ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بزرگ‌تر برای این آماره هستند از پایداری بیشتری برخوردارند؛ بنابراین، ژنوتیپ‌های G8، G10، G20، G19، G9، G4 و G26 به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی انتخاب شدند که سهم کمتری در برهمکنش داشتند؛ اما فقط ژنوتیپ‌های G10، G20، G19 و G9 که دارای عملکردهای مطلوبی بودند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول معرفی شدند. در شاخص برتری لین و بینز (lin & Binns, 1988)، علاوه بر بررسی پایداری، عملکرد بالای ژنوتیپ‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود. در این روش، ژنوتیپ‌های پرمحصول پایدار معرفی می‌شوند و به‌عبارت دیگر، این روش بیشتر بر پایداری دینامیک یا زراعی گرایش دارد (Mohammadi & Amri, 2008). در این روش، مدل خاصی برای تعیین ژنوتیپ پایدار معرفی نمی‌شود بلکه هر ژنوتیپ نسبت به ژنوتیپ برتر هر محیط سنجیده می‌شود. بنابر اعتقاد این محققین، مکان عاملی است کـه قابل کنترل است و نیازی نیست که یک واریته برای چندین منطقه توصیه شود. بنابراین، آن را به‌عنوان یک عامل ثابت در نظر گرفتند و در مقابل، عامل سال را غیرقابل پیش‌بینی و کنترل گزارش کردند. لذا آن را عامل تصادفی شمردند و اظهار داشتند واریته‌ای پایدار است که در طول سال‌های مورد آزمایش نوسان کمتری داشته باشد و به‌همین خاطر میانگین واریانس بین سال‌های درون مکان‌ها را به‌عنوان پارامتر پایداری پیشنهاد دادند. به‌نظر آن‌ها، واریته‌ای که واریانس درون مکانی کمتری داشته باشد پایدارتر خواهد بود؛ بنابراین، مقادیر کمتر این آماره نشان‌دهنده پایداری بیشتر است؛ بر این اساس، ژنوتیپ‌های G15، G6، G21، G19، G20، G7 و G9 به ترتیب دارای کمترین مقادیر این آماره بودند و به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. ژنوتیپ‌های G25، G12، G24، G28، G27 و G23 نیز ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

آماره‌های ناپارامتری پایداری مورد مطالعه برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار جو بر اساس معیارهای پیشنهادی هیون (Huehn, 1990) و ناصار و هیون (Nasar & Huhn, 1987)، تنارازو (Thenarasu, 1995) و مجموع رتبه کانگ (Kang, 1988) در جدول ۹ ارائه شده‌اند. بر اساس روش مجموع رتبه کانگ، ژنوتیپ‌های دارای کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب شناسایی می‌شوند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G20، G19، G10، G9 و G22 به‌ترتیب با کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. روستایی و همکاران (Roustaie *et al.,* 2003) با استفاده از روش مجموع رتبه کانگ پایدارترین رقم گندم را در بررسی خود معرفی کردند و نشان دادند که این روش در شرایط دیم بهتر از سایر روش‌ها در گزینش ارقام پایدار و پر محصول به‌نژادگران را کمک می‌کند. صباغ‌نیا و همکاران (Sabaghnia *et al.,* 2006) به‌منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و پایداری عملکرد ۱۱ ژنوتیپ عدس در ۲۰ محیط مختلف از روش‌های ناپارامتری استفاده و روش مجموع مربعات کانگ را به‌عنوان بهترین روش ناپارامتری در تعیین ژنوتیپ‌های برخوردار از عملکرد بالا و پایدار معرفی کردند. هیون (Huehn, 1990) و ناصار و هیون (Nasar & Huhn, 1987) چهار آمار ناپارامتریک را پیشنهاد کردند: $S_i^{(1)}$ یا میانگین اختلاف رتبه مطلق یک ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایش‌شده، $S_i^{(2)}$ یا واریانس بین رتبه‌های کلی محیط‌های آزمایش‌شده، $S_i^{(3)}$ یا مجموع انحرافات مطلق برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها و $S_i^{(6)}$ یا مجموع مجذورات رتبه برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها. برای محاسبه این آماره‌ها، داده‌های میانگین عملکرد باید به رتبه‌هایی برای هر ژنوتیپ و محیط تبدیل شوند و اگر رتبه‌های آن‌ها در بین محیط‌ها مشابه باشند، ژنوتیپ‌ها پایدار در نظر گرفته می‌شوند. کمترین مقدار برای هریک از این آماره‌ها نشان‌دهنده پایداری بالا برای یک ژنوتیپ خاص است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G8، G9، G10، G1، G20، G19 و G21 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند؛ بنابراین، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. NP_1 تا NP_4 مجموعه‌ای از آماره‌های پایداری ناپارامتری جایگزین هستند که توسط تنارازو (Thenarasu, 1995) تعریف شده‌اند. این پارامترها بر اساس رتبه میانگین‌های تعدیل‌شده ژنوتیپ‌ها در هر محیط محاسبه می‌شوند. مقادیر پایین این آماره‌ها نیز نشان‌دهنده ثبات بالای ژنوتیپ‌ها هستند؛

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

بر اساس این آماره‌ها نیز ژنوتیپ‌های G8، G9، G10، G1، G19 و G22 دارای کمترین مقادیر رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند؛ بنابراین، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. روش‌های ناپارامتری به‌منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار از نظر عملکرد در گندم دوروم (Mohammadi *et al.,* 2007)، جو (Vaezi *et al.,* 2019) و گندم نان (Zarei *et al.,* 2012) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در نهایت، با توجه به مجموع رتبه‌های کسب شده توسط ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های مختلف مورد بررسی به‌ترتیب ژنوتیپ‌های G10، G8، G9، G19، G1، G20 و G22 دارای کمترین مجموع رتبه بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار می‌توانند معرفی شوند.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از پارامترهای پایداری، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های مطلوب را افزایش می‌دهد. شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب یا SIIG یکی از روش‌های آماری چندمتغیره است که بر اساس مجموعه‌ای از صفات یا شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های مطلوب را شناسایی می‌کند (Zali *et al.,* 2015). به‌کمک این روش، تمام شاخص‌ها و صفات به‌صورت یک شاخص درآمده، در نتیجه رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش این است کـه پارامتر یا پارامترهای به‌کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده، طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (Najafi Mirak *et al.,* 2018a). با توجه به شاخص SIIG اندازه‌گیری شده برمبنای عملکرد و روش‌های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری، ژنوتیپ‌های G10، G9، G8، G19، G22، G20، G1 و G4 دارای نزدیک‌ترین مقادیر به عدد یک بودند. از بین این ژنوتیپ‌ها نیز ژنوتیپ‌های G10، G9، G19، G22 و G20 عملکردهایی بالاتر از میانگین کل داشتند؛ بنابراین، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند (جدول ۹). ژنوتیپ‌های G24، G25، G6 و G28 دارای کمترین میزان شاخص SIIG بودند و با داشتن عملکرد کمتر از میانگین، به‌عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب و ناپایدار شناخته شدند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

جدول ۹- میانگین عملکردهای دانه و پارامترهای پایداری در ژنوتیپ‌های جو با استفاده از روش‌های مختلف

Table 9. Average grain yields and stability parameters in barley genotypes using different methods

SIIG	مجموع رتبه‌ها	ضریب رگرسیون	مجموع رتبه کانگ		روش پالستد و پترسون		روش پالستد		ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانینرگ		روش لین و بینز		انحراف از رگرسیون		واریانس پایداری شوکلا		اکووالانس ریک		
		bi	R	*KR*	R	θ_i	R	$\theta_{(i)}$	R	CVi	R	Lin, Bin	R	s^2d_i	R	σ^2_i	R	W_i^2	Genotype
0.857	103	0.932	9	22	8	0.069	8	0.0935	2	25.060	17	0.195	8	0.097	8	0.040	8	0.729	G1
0.709	243	0.928	14	28	13	0.082	13	0.0925	6	25.596	16	0.194	13	0.164	13	0.068	13	1.203	G2
0.538	355	0.946	23	43	22	0.108	22	0.0905	11	27.619	20	0.205	22	0.296	22	0.122	22	2.101	G3
0.809	160	0.995	6	19	6	0.066	6	0.0937	9	26.548	9	0.148	6	0.090	6	0.034	6	0.632	G4
0.710	251	0.932	17	30	11	0.078	11	0.0928	7	25.717	19	0.205	11	0.142	11	0.059	11	1.039	G5
0.384	294	0.978	14	28	27	0.172	27	0.0855	18	28.358	2	0.106	27	0.618	27	0.256	27	4.329	G6
0.781	181	1.102	7	20	16	0.086	16	0.0922	22	28.882	6	0.133	16	0.175	16	0.076	16	1.332	G7
0.891	65	0.938	8	21	1	0.058	1	0.0943	3	25.171	18	0.196	1	0.048	1	0.019	1	0.377	G8
0.923	69	1.038	4	13	5	0.064	5	0.0939	10	26.961	7	0.136	5	0.080	5	0.031	5	0.578	G9
0.927	40	0.942	2	12	2	0.060	2	0.0942	1	24.576	10	0.151	3	0.058	2	0.023	2	0.441	G10
0.736	237	1.047	16	29	12	0.079	12	0.0928	20	28.523	15	0.187	12	0.150	12	0.061	12	1.074	G11
0.483	335	1.008	27	53	25	0.125	25	0.0892	28	30.681	27	0.317	25	0.382	25	0.157	25	2.678	G12
0.713	246	0.916	19	32	14	0.084	14	0.0924	5	25.557	22	0.216	15	0.168	14	0.071	14	1.249	G13
0.715	254	1.101	12	26	15	0.084	15	0.0923	24	29.456	13	0.176	14	0.166	15	0.072	15	1.266	G14
0.669	232	1.041	11	23	21	0.104	21	0.0908	12	27.668	1	0.092	21	0.277	21	0.114	21	1.959	G15
0.788	200	1.143	9	22	10	0.075	10	0.0930	27	30.117	12	0.169	10	0.106	10	0.053	10	0.953	G16
0.603	250	1.003	17	30	24	0.118	24	0.0897	16	28.157	11	0.153	24	0.351	24	0.143	24	2.457	G17
0.608	338	1.092	21	33	17	0.087	17	0.0921	26	29.852	14	0.184	17	0.183	17	0.078	17	1.366	G18
0.876	99	1.149	1	11	4	0.064	4	0.0939	23	29.396	4	0.117	2	0.050	4	0.031	4	0.578	G19
0.864	104	1.023	2	12	3	0.062	3	0.0940	8	26.506	5	0.12	4	0.069	3	0.026	3	0.491	G20
0.663	220	1.116	12	26	23	0.112	23	0.0902	25	29.743	3	0.11	23	0.301	23	0.131	23	2.242	G21
0.865	108	1.097	5	14	9	0.071	9	0.0934	17	28.316	8	0.14	9	0.101	9	0.045	9	0.803	G22
0.574	324	0.864	22	41	18	0.098	18	0.0912	4	25.177	23	0.258	18	0.225	18	0.102	18	1.761	G23
0.154	414	0.815	26	50	28	0.191	28	0.0841	13	27.920	26	0.308	28	0.661	28	0.294	28	4.979	G24
0.319	375	0.881	27	53	26	0.148	26	0.0874	19	28.460	28	0.33	26	0.478	26	0.205	26	3.493	G25
0.718	236	1.051	19	32	7	0.067	7	0.0936	21	28.790	21	0.207	7	0.093	7	0.037	7	0.676	G26
0.516	361	0.968	23	43	19	0.101	19	0.0910	15	28.051	24	0.26	19	0.264	19	0.108	19	1.860	G27
0.454	386	0.957	25	46	20	0.102	20	0.0910	14	27.974	25	0.265	20	0.265	20	0.109	20	1.874	G28

آماره‌های ناپارامتری تنارازو							آماره‌های ناپارامتری ناصار و هیون								عملکرد		
R	$NP^{(4)}$	R	$NP^{(3)}$	R	$NP^{(2)}$	R	$NP^{(1)}$	R	$S^{(6)}$	R	$S^{(3)}$	R	$S^{(2)}$	R	$S^{(1)}$	R	Y	Genotype
8	0.527	7	0.455	2	0.316	3	5.105	4	6.847	4	54.270	4	43.480	4	7.602	14	2.914	G1
17	0.669	15	0.548	13	0.418	19	7.211	19	9.055	22	89.738	22	76.094	23	10.211	15	2.912	G2
25	0.850	24	0.715	20	0.579	25	8.053	24	12.634	23	115.753	23	76.830	22	10.152	21	2.863	G3
15	0.651	14	0.548	16	0.466	7	6.263	13	9.100	10	74.120	10	54.398	11	8.596	13	2.917	G4
19	0.710	19	0.602	19	0.519	21	7.316	20	9.811	17	90.955	17	70.211	18	9.860	19	2.886	G5
12	0.567	12	0.518	11	0.404	23	7.947	14	8.136	20	76.366	20	75.696	21	10.117	1	3.126	G6
4	0.481	6	0.454	6	0.345	15	6.842	8	6.222	13	59.444	13	59.444	12	8.655	4	3.021	G7
5	0.499	5	0.437	10	0.399	1	4.474	1	6.470	1	39.139	1	26.322	1	6.035	20	2.867	G8
1	0.435	3	0.396	5	0.342	5	5.368	2	5.909	2	39.889	2	35.807	2	7.029	8	2.983	G9
2	0.436	1	0.344	1	0.287	2	4.947	3	5.854	3	41.392	3	38.246	3	7.251	10	2.961	G10
18	0.688	17	0.561	14	0.444	8	6.421	18	9.348	16	85.629	16	66.099	16	9.556	17	2.900	G11
20	0.724	21	0.694	23	0.700	11	6.526	15	9.354	9	81.767	9	53.316	10	8.503	28	2.783	G12
16	0.664	16	0.550	17	0.474	19	7.211	16	9.468	15	82.472	15	64.386	15	9.333	18	2.887	G13
14	0.642	18	0.562	14	0.444	18	7.158	17	8.701	19	85.224	19	73.263	19	9.930	11	2.952	G14
10	0.552	9	0.463	12	0.411	14	6.789	12	7.833	18	72.054	18	70.579	17	9.731	2	3.080	G15
13	0.606	13	0.532	18	0.482	10	6.474	11	8.051	12	71.190	12	57.035	13	8.737	12	2.945	G16
11	0.553	11	0.482	7	0.360	15	6.842	10	7.547	14	68.572	14	63.760	14	9.251	6	2.995	G17
24	0.847	20	0.689	24	0.727	22	7.421	25	11.975	26	121.755	26	84.374	25	10.561	16	2.904	G18
7	0.523	4	0.427	4	0.325	6	5.947	7	6.879	8	58.951	8	52.918	7	8.456	7	2.991	G19
9	0.537	10	0.481	8	0.378	12	6.684	9	7.897	5	59.500	5	50.801	5	8.257	9	2.981	G20
6	0.502	8	0.459	9	0.384	13	6.737	6	6.978	6	55.389	6	51.988	9	8.480	3	3.058	G21
3	0.464	2	0.372	3	0.318	3	5.105	5	6.165	11	54.976	11	54.655	6	8.304	5	3.008	G22
21	0.781	22	0.706	21	0.646	26	8.368	22	10.738	25	108.746	25	82.673	26	10.690	23	2.847	G23
26	0.861	26	0.738	25	0.777	28	9.368	27	12.317	28	134.571	28	101.912	28	11.731	22	2.857	G24
23	0.826	23	0.708	26	0.828	15	6.842	23	10.725	21	113.581	21	76.053	20	9.953	27	2.786	G25
22	0.821	25	0.716	22	0.658	8	6.421	21	11.143	7	92.296	7	52.895	8	8.468	25	2.835	G26
27	0.867	27	0.754	27	0.868	23	7.947	26	12.500	24	123.000	24	82.000	24	10.409	24	2.846	G27
28	0.943	28	0.834	28	1.230	27	9.000	28	13.936	27	146.511	27	93.819	27	10.865	26	2.828	G28

S (۱): میانگین اختلاف رتبه مطلق یک ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایش‌شده، S(۲): واریانس بین رتبه‌های کلی محیط‌های آزمایش‌شده، S (۳): مجموع انحرافات مطلق برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها و S (۶): مجموع مجذورات رتبه برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها، NP1 تا NP4: آماره‌های پایداری ناپارامتری تنارازو

S(1): Average absolute rank difference of a genotype across all environments tested, S(2): Variance between overall ranks of the environments tested, S(3): Sum of absolute deviations for each genotype from the mean of the ranks, and S(6): Sum of squares of the rank for each genotype from the mean of the ranks; NP1 to NP4: Tenarazu nonparametric stability statistics

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

وجود همبستگی‌های معنی‌دار بین پارامترهای مختلف پایداری در بررسی‌های متعددی اثبات شده است (Zeinalzadeh-Tabrizi *et al.,* 2021; Vaezi *et al.,* 2019; Changizi *et al.,* 2014). به‌طوری‌که برخی از پارامترها از روند مشابهی را برای بررسی پایداری ارقام استفاده می‌کنند و می‌توانند به‌جای همدیگر مورد استفاده قرار گیرند. تجزیه همبستگی بین آماره‌های مختلف نشان داد که از آماره‌های پارامتری پایداری و ضریب رگرسیون دارای همبستگی مثبت و آماره لین و بینز دارای همبستگی منفی و از بین آماره‌های ناپارامتری، آماره‌های سوم و چهارم ناصار و هیون و دوم، سوم و چهارم تنارازو با عملکرد همبستگی منفی معنی‌دار داشتند (جدول ۱۰)؛ بنابراین، ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شده با این آماره‌ها از اعتبار بیشتری می‌توانند برخوردار باشند. تمامی آماره‌های ناپارامتری محاسبه شده دارای همبستگی مثبت معنی‌دار با آماره‌های اکووالانس ریک، واریانس شوکلا، ضریب انحراف از رگرسیون، ضریب پلاستد و پترسون، ضریب رتبه کانگ و شاخص مجموع رتبه‌ها و همبستگی منفی با آماره پلاستد بودند. کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.,* 2009) در بررسی پایداری ۱۸ ژنوتیپ جو گزارش نمودند که آماره‌های واریانس شوکلا و اکووالانس ریک همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با هم داشتند. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.,* 2007) و کایا و تورکوز (Kaya & Turkoz, 2016) همبستگی بالایی را بین آماره‌های ناپارامتری چهارگانه ناصار و هیون گزارش کردند. در مقابل اکورا و کایا (Akcura & Kaya, 2008) این همبستگی را تنها در بین دو آماره اول گزارش کردند. مطابق با کانگ (Kang, 1994)، که همبستگی رتبه‌های بین آماره‌ها در داخل یک گروه بالا است، درحالی‌که آماره‌های بین گروه‌های مختلف احتمالاً غیر همبسته هستند. شاخص SIIG محاسبه شده با تمامی آماره‌های محاسبه شده نیز دارای همبستگی منفی معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد بود (به‌جز روش پلاستد که همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح یک درصد نشان داد)؛ همبستگی این شاخص با عملکرد نیز مثبت بود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- همبستگی بین آماره‌های پایداری تک¬متغیره با عملکرد و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال
Table 10- Correlations between univariate stability statistics with yields and the ideal genotype selection index

	Yield	$S^{(1)}$	$S^{(2)}$	$S^{(3)}$	$S^{(6)}$	$NP^{(1)}$	$NP^{(2)}$	$NP^{(3)}$	$NP^{(4)}$	W_i^2	σ^2_i	s^2d_i	Lin, Bin	CVi	$\theta_{(i)}$	θ_i	*K*R	bi	Sum
$S^{(1)}$	-0.22	1																	
$S^{(2)}$	-0.24	0.99**	1																
$S^{(3)}$	-0.58**	0.88**	0.9**	1															
$S^{(6)}$	-0.66**	0.78**	0.79**	0.97**	1														
$NP^{(1)}$	-0.23	0.92**	0.93**	0.86**	0.79**	1													
$NP^{(2)}$	-0.68**	0.62**	0.67**	0.88**	0.89**	0.67**	1												
$NP^{(3)}$	-0.72**	0.72**	0.74**	0.94**	0.96**	0.77**	0.92**	1											
$NP^{(4)}$	-0.73**	0.75**	0.77**	0.96**	0.99**	0.75**	0.89**	0.98**	1										
W_i^2	-0.04	0.63**	0.64**	0.51**	0.41*	0.65**	0.41*	0.45*	0.41*	1									
σ^2_i	-0.04	0.63**	0.64**	0.51**	0.41*	0.65**	0.41*	0.45*	0.41*	1**	1								
s^2d_i	-0.03	0.62**	0.63**	0.51**	0.41*	0.65**	0.41*	0.45*	0.41*	1**	0.99**	1							
Lin	-0.9**	0.42*	0.45*	0.68**	0.68**	0.42*	0.75**	0.77**	0.75**	0.41*	0.41*	0.4*	1						
CVi	0.1	0.22	0.22	0.2	0.15	0.19	0.23	0.23	0.18	0.31	0.31	0.3	0.01	1					
$\theta_{(i)}$	0.04	-0.63**	-0.64**	-0.52**	-0.41*	-0.66**	-0.41*	-0.46*	-0.41*	-1**	-1**	-1**	-0.41*	-0.31	1				
θ_i	-0.04	0.63**	0.64**	0.52**	0.41*	0.66**	0.41*	0.46*	0.41*	1**	1**	1**	0.41*	0.31	-1**	1			
*K*R	-0.7**	0.67**	0.68**	0.820**	0.81**	0.69**	0.81**	0.88**	0.85**	0.68**	0.68**	0.69**	0.87**	0.23	-0.68**	0.68**	1		
bi	0.51**	-0.32	-0.34	-0.410*	-0.41*	-0.36	-0.36	-0.4*	-0.41*	-0.41*	-0.41*	-0.42*	-0.63**	0.65**	0.41*	-0.41*	-0.54**	1	
Sum	-.46*	0.88**	0.88**	0.910**	0.86**	0.87**	0.79**	0.89**	0.87**	0.73**	0.73**	0.73**	0.66**	0.36	-0.73**	0.73**	0.92**	-0.37	1
SIIG	0.33	-0.78**	-0.8**	-0.78**	-0.71**	-0.8**	-0.7**	-0.75**	-0.71**	-0.93**	-0.93**	-0.93**	-0.64**	-0.31	0.93**	-0.93**	-0.88**	0.49**	-0.92**

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد

**and *: significant at the probability levels of 1 and 5%, respectively.

S(۱): میانگین اختلاف رتبه مطلق یک ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایش‌شده، S(۲): واریانس بین رتبه‌های کلی محیط‌های آزمایش‌شده، S(۳): مجموع انحرافات مطلق برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها و S(۶): مجموع مجذورات رتبه برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها؛ NP1 تا NP4: آماره‌های پایداری ناپارامتری تنارازو

S(1): Average absolute rank difference of a genotype across all environments tested, S(2): Variance between overall ranks of the environments tested, S(3): Sum of absolute deviations for each genotype from the mean of the ranks, and S(6): Sum of squares of the rank for each genotype from the mean of the ranks; NP1 to NP4: Tenarazu nonparametric stability statistics

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

نتیجه‌گیری کلی

برمبنای روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری مورد بررسی در این تحقیق، ژنوتیپ‌های متعددی توسط هر روش به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی شدند که این وضعیت کار انتخاب را مشکل می‌کرد. در این حالت براساس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال (شاخص SIIG)، ژنوتیپ‌های G10، G9، G19، G22 و G20 دارای نزدیکترین مقادیر به عدد یک بودند و نیز عملکردهای بالاتر از میانگین داشتند؛ بنابراین، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. همچنین، با توجه به همبستگی شاخص SIIG محاسبه شده با تمامی آماره‌های پارامتری و ناپارامتری محاسبه شده در سطوح یک و پنج درصد، صرف استفاده از چند روش در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و انتخاب بر اساس آنها چندان منطقی به‌نظر نمی‌رسد و بهتر است که از یک شاخص کلی که در بر گیرنده تمامی اطلاعات حاصل از روش‌های مختلف باشد استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از پروژه تحقیقاتی موسسه کشاورزی دیم کشور با شماره مصوب ۹۶۱۶۲۵-۱۴۳-۱۵-۱۵-۰ استخراج شده است. به این وسیله از مساعدت همکاران ایستگاه‌های تحقیقاتی مراغه، کردستان (قاملو)، زنجان (قیدار)، اردبیل، کرمانشاه (سرارود)، شیروان و همدان تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

Abay, F., & Bjørnstad, A. (2009). Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia. *Euphytica,* 167, 181-195. DOI: 10.1007/s10681-008-9858-3

Ahmadi, J., Vaezi, B., & Pour-Aboughadareh, A. R. (2016). Evaluation of forage yield stability of advanced lines of Grass pea (*Lathyrus sativa* L.) by parametric and non- parametric methods. *Journal of Crop Breeding,* 8(17), 149-159. DOI: 10.18869/acadpub.jcb.8.17.159. [In Persian]

Akcura, M., & Kaya, Y. (2008). Nonparametric stability methods for interpreting G × E interaction of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Genetic and Molecular Biology,* 31(4), 906-913. DOI: 10.1590/S1415-47572008000500018

Ansari Maleki, Y., Rajabi, R., Azimzadeh, S. M., Hessami, A., Soleimani, K., & Abedi Asl, G. R. (2007). Study of the compatibility and stability of grain yield of barley genotypes in cold, dry-season regions of the country. *Seedlings and Seeds,* 23(3), 387-402. DOI: 10.22092/spij.2017.110737

Badooei Delfard, R., Mostafavi, K. H., & Mohammadi, A. (2016). Genotype-environment interaction and yield stability of winter barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Breeding,* 20, 99-106. [In Persian]

Bahrami, Sh., Bihamta, M. R., & Salari, M. (2008). Yield stability analysis in hulless barley. *Asian Journal of Plant Science,* 7(6), 589-593. DOI: 10.3923/ajps.2008.589.593

Barati, A., Tabatabaee, S. A., Mahlooji, M. & Saberi, M. H. (2019). Evaluation of grain yield and it's stability in barley promising lines in saline areas. *Agricultural Science and Sustainable Production,* 29(1), 1-13. [In Persian]

Bhutta, W. M. (2007). The effect of cultivar on the variation spring wheat grain quality under drought condition. *Cereal Research Communication,* 35, 1609-1619. DOI: 10.1556/CRC.35.2007.4.8

Brandle, J. E., & Mcverty, P. B. E. (1994). Genotype × environment interaction and stability of seed yield of oil rapeseed corn-in Manitoba. *Canadian Journal of Plant Science,* 21, 233-240. DOI: 10.4141/cjps88-049

Ceccarelli, S., Grando, S., & Booth, R. H. (2006). International breeding programme and resource-poor farmers: Crop improvement in difficult environments. Available online at www. Icarda.cgigr.org

Changizi, M., Choukan, R., Heravan, E. M., Bihamta, M. R., & Darvish, F. (2014). Evaluation of genotype× environment interaction and stability of corn hybrids and relationship among univariate parametric methods. *Canadian Journal of Plant Science,* 94, 1255-1267. DOI: 10.4141/cjps2013-386

Clevland, D. A. (2001). Is plant breeding science objective truth or social construction? The case of yield stability. *Agriculture and Human Values,* 18, 251-270. DOI: 10.1023/A:1011923222493

Dashtaki, M., YazdanSepas, A., Najafi Mirak, T., Ghanadha, M. R., Joukar, R., Islampour, M. R., Moayedi, A. A., Nazeri, M., Abedi Oskooie, M. S., Aminzadeh, G., Soltani, R., Ashouri, S., & Kouchaki, A. R. (2004). Stability of grain yield and harvest index in winter and facultative bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Seed and Plant Improvement Journal,* 20(3), 263-280. DOI: 10.22092/spij.2017.110583 [In Persian]

Eberhart, S. A., & Russel, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science,* 6, 36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

Ebdon, J. S., & Gauch, H. G. (2002). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national. Turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype-environment interaction. *Crop Science,* 42, 489-496. DOI: 10.2135/cropsci2002.4890

Ehyaei, M., Mostafavi, K., Bakhtiar, F., & Mohammadi, A. (2022). Yield stability of bread wheat genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. *Cereal Research,* 12(2), 147-165 DOI:10.22124/cr.2023.23333.1746 [In Persian]

Finlay, K. W., & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research,* 14, 752-754, DOI: 10.1071/AR9630742

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

Francis, T. R., & Kannenberg, L. W. (1978). Yield stability studies in short-season maize: I - A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science,* 58, 1029-1034, DOI: 10.4141/cjps78-157

Golkari, S., Haghparast, R., Roohi, E., Mobasser, S., Ahmadi, M. M., Soleimani, K., Khalilzadeh, G., Abedi-Asl, G., & Babaei, T. (2016). Multi-environment evaluation of winter bread wheat genotypes under rainfed conditions of Iran-using AMMI model. *Crop Breeding Journal,* 4, 5 and 6 (2; 1 and 2), 17-31. DOI: 10.22092/cbj.2016.107104

Haji Mohammad Ali Jahromi, M., Khodarahmi, M., Mohammadi, A. R. & Mohammadi, A. (2011). Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 13, 565-579 [In Persian]

Hatami Maleki, H., Vaezi, B., Mohammadi, R., Mehraban, A., Ahmadi, A., Sabzi, Z. & … Sabgahnia, N. (2020). Stability analysis and genotype×environment interaction study for grain yield of some barley genotypes. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding,* 9(2), 134-143. DOI: 10.30479/ijgpb.2022.15164.1291

Hühn, M., & Léon, J. (1995). Nonparametric analysis of cultivar performance trials: experimental results and comparison of different procedures based on ranks. *Agronomy Journal,* 87, 627-632, DOI: 10.2134/agronj1995.00021962008700040004x

Huehn, V. M. (1990). Non-parametric measures of phenotypic stability. Part I: Theory. Euphytica, 47, 189-194. DOI: 10.1007/BF00024241

Jafari, T., & Farshadfar, E. (2018). Stability analysis of bread wheat genotypes (Triticum aestivum L.) by GGE biplot. Cereal Research, 8(2), 199-208. DOI: 10.22124/C.2018.6232.1243 [In Persian]

Kang, M. S. (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications,* 16, 113-115.

Kang, M. S. (1994). Applied Quantitative Genetics. Kang Publication, Baton Rouge, LA, USA.

Kanouni, H., Taleei, A. R., & Khalily, M. (2007). Stability analysis of seed yield and one-hundred seeds weight in Desi type chickpea genotypes. *Seed and Plant Journal,* 23(3), 297-310. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110731 [In Persian]

Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Sharifi, P., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo, K., & Keshavarzi, k. (2021). Evaluation of grain yield stability of durum wheat genotypes using parametric and non-parametric methods. *Plant Genetic Researches,* 8(1), 115-131, DOI: 10.52547/pgr.8.1.8

Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., Mahmoodi, A. A., Roustami, B., Seyyedi F. & Akbari, F. (2013). GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. *Notulae Scientia Biologicae,* 5, 256-262. DOI: 10.15835/nsb529067

Karimizadeh, R., Vaezi, B., Hosein Pour, T., Mehraban, A., & Ghojagh, H. (2009). Study on correlation and repeatability of parametric and multivariate statistics of grain yield stability in rainfed barley. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources,* 48, 53-62. http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-994-en.html [In Persian]

Kaya, Y., & Turkoz, M. (2016). Evaluation of genotype by environment interaction for grain yield in durum wheat using non-parametric stability statistics. *Turkish Journal of Field Crops,* 21(1), 51-59, DOI: 10.17557/tjfc.48198

Khalili, M., & Pour-Aboghadareh. A. (2016). Parametric and non-parametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 18(3), 789-803. http://jast.modares.ac.ir/article-23-9234-en.html

Kubinger, K. D. (1986). A note on non-parametric tests for the interaction in two-way layouts. *Biometrical Journal,* 28, 67-72, DOI: 10.1002/bimj.4710280113

Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A method of analyzing cultivar×location×year experiments: A new stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics,* 76, 425-430. DOI: 10.1007/BF00265344

Mohammadi, R., & Amri, A. (2008). Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. *Euphytica,* 159, 419-432. DOI: 10.1007/s10681-007-9600-6

Mohammadi, R., Armion M., Zadhassan, E., & Eskandari, M. (2014). Analysis of genotype ×environment interaction for grain yield in rainfed durum wheat. *Iranian Journal of Dryland Agriculture,* 1(4), 1-16 DOI: 10.22092/IDAJ.2014.100185 [In Persian]

Mohammadi, R., Abdulahi, A., Haghparast, R., & Armion, M. (2007). Interpreting genotype × environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. *Euphytica,* 157, 239-251, DOI: 10.1007/s10681-007-9417-3

Mohammadi, R., Abdullahi, A., Haghparast, R., Aghaee, M., & Rostaii, M. (2007). Nonparametric methods for evaluating of winter wheat genotypes in multi-environment trials. *World Journal of Agricultural Sciences,* 3(2), 137-242, https://api.semanticscholar.org/Corpus ID: 18224626

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H. (2018a). Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Iranian Journal of Crop Sciences,* 19(2), 126-138. [In Persian]

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H. (2018b). Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production and Processing,* 8(2), 79-96. [In Persian]

Nassar, R., & Huehn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics,* 43, 45-53.

Olivoto, T. (2019). Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. https://github.com/TiagoOlivoto/metan (accessed 24 June 2019) DOI: 10.1101/2020.01.14.906750

Peterson, C. J., Moffatt, J. M., & Erickson, J. R. (1997). Yield stability of hybrid vs. pure line hard winter wheats in regional performance trials. *Crop Science,* 37, 116-120, DOI: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700010019x

Plasted, R. L., & Peterson, L. C. (1959). A technique for evaluation the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal,* 36, 281-285, https://api.semanticscholar.org/CorpusID:13436817

Plaisted, R. L. (1960). A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *American Potato Journal,* 37, 166-172. DOI: 10.1007/BF02855271

Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P., & Siddique, K. H. M. (2019). STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences,* 7(1), e1211. DOI: 10.1002/aps3.1211

Ramzi, E., Asghari, A., Sofalian, O., Mehraban, A., & Ebadi, A. (2020). Evaluation of grain yield stability and genotype- environment interaction of barley promising lines in warm and humid regions of the country. *Journal of Crop Breeding*. 12(36), 57-65. DOI: 10.52547/jcb.12.36.57 [In Persian]

Roustaie, M., Sadeghzadeh Ahari, D., Hesami, A., Soleymani, K., Pashapour, H., Nader-Mahmoudi, K., Pour Siahbidi, M. M., Ahmadi, M., Hassanpour Hosni, M., & Abedi-Asl, M. (2003). Study of adaptability and stability of grain yield of bread wheat genotypes in cold and moderate-cold dry land areas. Seed and Plant Improvement Journal, 19(2), 263-275. DOI: 10.22092/SPIJ.2017.110953 [In Persian]

Roustaie, M., Mogaddam, M., Mahfouzi, S., & Mohammadi, A. (1996). Comparison of stability analysis of grain yield in wheat and barley cultivars in dry lands. Proceedings of the 4th Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 252 pp. [In Persian]

Sabaghnia, N., Dehghani, H., & Sabaghpour, S. H. (2006). Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science,* 46, 1100-1106, DOI: 10.2135/cropsci2005.06-0122

Sadeghzadeh Ahari, D., Hosseini, S. K., Hosseinpour, T., Alt Jafar Bay, J., Khalilzadeh, G. H., & Alizadeh Dizaj, K. H. (2005). Study on Adaptability and Stability of Grain Yield in Durum Wheat Lines in Warm and Semi-Warm Dryland Areas, *Seed and Plant Journal,* 21(4), 561-576, DOI: 10.22092/spij.2017.110660

Sial, M. A., Arain, M. A., & Ahmad. M. (2000). Genotype × Environment interaction on bread wheat grown over multiple sites and years in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany,* 32, 85-91. DOI: 10.1038/s41598-024-53052-w

Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability, *Heredity,* 29, 237-245. DOI: 10.1038/hdy.1972.87

Soughi, H., Vahabzadeh, M., Kalateh-Arabi, M., Jafarby, J. A., Khavarinejad, S., Ghasemi, M., Fallahi, H. & Amini, A. (2009). Study on grain yield stability of some promising bread wheat lines in northern warm and humid climate of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal,* 25(1), 211-222 DOI: 10.22092/SPIJ.2017.111023 [In Persian]

Taherian, M., Bihamta, M. R., Peyghambari, S. A., Alizadeh, H., & Rasoulnia, A. (2019). Stability analysis and selection of salinity tolerant barley genotypes. *Journal of Crop Breedimg,* 11(29), 93-103. DOI: 10.29252/jcb.11.29.93.

Thennarasu, K. (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph.D. Thesis. P. J. School, IARI, New Delhi. India.

Vaezi, B., & Ahmadi, J. (2010). Assessment of genotype × environment interaction and stability of yield in advanced barley lines in rainfed conditions. Iranian Journal of Agricultural, 41, 395-402 DOI: 20.1001.1.20084811.1389.41.2.18.9 [In Persian]

Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H., & Siddique, K. H. (2019). Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica,* 215, 63. DOI: 10.1007/s10681-019-2386-5

Wricks, G. (1962). Uber eine method zur erfassung der okoiogschen streubreite in feldversuchen. Z. Pflanzenzuchtg, 47, 92-96.

Yan, W. (2001). GGEbiplot - a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal,* 93, 1111-1118. DOI: 10.2134/agronj2001.9351111x

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum – An International Journal,* 7(2), 703-711, DOI: 10.29252/jcb.11.29.117

Zali, H., Sabaghpour, S.H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R., & Hashembeygi, A. (2009). Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter and its comparison with other methods. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 40(2): 21-29. DOI: 20.1001.1.20084811.1388.40.2.3.7 [In Persian]

Zarei, L., Farshadfar, E., Haghparast, R., Rajabi, R., Mohammadi Sarab Badieh, M., & Zali, H. (2012). Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. Electronic *Journal of Crop Breeding,* 5(3), 81-97 DOI: 20.1001.1.2008739.1391.5.3.5.8 [In Persian]

Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Mansouri, S., & Fallah-Toosi, A. (2021). Evaluation of seed yield stability of promising sesame lines using different parametric and nonparametric methods. *Plant Genetic Researches,* 8(1), 43-160. DOI: 10.52547/pgr.8.1.4

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jcb.2024.1567]