Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 3, 2026 p: 157-171 OPEN ACCESS

Research Paper

Assessment of Grain Yield Stability of Barley Cultivars under Rainfed Conditions Using Parametric and Non-Parametric Methods, and Multi-Trait Indices

Zeynab Mardani[1], Kianoosh Cheghamirza [2,3], Leila Zarei[3,4], Sohbat Bahraminejad[3,5], and Reza Amiri[6]

1- Ph.D. Graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran,
(Corresponding author: cheghamirza@yandex.ru)
3- Cereal Research Center, Razi University, Kermanshah, Iran
4- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
5- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
6- Assistant Professor, Agricultural and Horticultural Sciences Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Khorramabad, Iran

Received: 20 January,2026 Revised: 01 June, 2026 Accepted: 15 June, 2026

Extended Abstract

Background: As one of the oldest cultivated crops in the world, barley belongs to the genus *Hordeum* and the family Poaceae, with a chromosome number of 2n = 2x = 14. According to the latest statistics of the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, barley covered approximately 46 million hectares worldwide in 2023, with a total production of about 145.7 million tons, ranking fourth among cereal crops after wheat, maize, and rice. Population growth and the necessity of ensuring adequate food supply, and more importantly, achieving self-sufficiency in agricultural production in view of limited water resources and the reduction of cultivated areas, have made the development of high-yielding barley cultivars a major priority in agriculture. The genotype × environment (G × E) interaction reflects the differential response of genotypes to the environmental conditions, meaning that the best genotype in one environment is not necessarily the best in another environment. Researchers have employed various criteria to investigate the G × E interaction, identify stable cultivars, and recommend them, which generally include both univariate and multivariate methods. Recently, the Multitrait Genotype–Ideotype Distance Index (MGIDI) and the Factor Analysis and Ideotype-Design–Based Genotype–Ideotype Distance Index (FAI-BLUP) have been proposed as two effective models for selecting ideal genotypes based on a set of measured traits. Therefore, this study aimed to identify stable rainfed barley cultivars among Iranian and European genotypes under diverse climatic conditions of western Iran using a combination of parametric, non-parametric, and multi-trait selection indices (MGIDI and FAI-BLUP).

Methods: Nine genotypes, including six European cultivars and three Iranian cultivars, were evaluated to determine grain yield stability of barley cultivars in western Iran. The experiment was laid out over two cropping seasons (2020–2021 and 2021–2022) at three locations in three provinces—Kermanshah, Lorestan, and Ilam—using a randomized complete block design with three replications under rainfed conditions. Agronomic management practices were applied uniformly across all environments. Combined analysis of variance (ANOVA) was performed considering the genotype and the environment as a fixed and a random effect, respectively. A set of univariate parametric indices (including Shukla's stability variance, regression coefficient, deviation from regression, Wricke's ecovalence, superiority index, desirability index, environmental coefficient of variation, and environmental variance) and non-parametric methods (including Kang's rank-sum method and the Si and NPi statistics) were calculated for stability assessment. In addition, the two modern multi-trait indices, MGIDI and FAI-BLUP, were used to select superior genotypes based on a set of multi-trait indices related to grain yield and stability.

Copyright ©2026. Mardani 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.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

Spearman's rank correlation was used to assess relationships among stability indices and grain yield.

Results: The results of the combined ANOVA indicated that the effects of environment and the G × E interaction were highly significant for grain yield. The major proportion of yield variation was attributed to the environment, whereas the main effect of the genotype was not significant. This finding highlights the differential response of barley cultivars to variable environmental conditions and underscores the necessity of using stability indices. Consequently, selecting appropriate indicators without considering stability is not feasible. The cultivars ALCE, SFERA, NURE, and AIACE, in addition to having grain yields higher than the overall mean, exhibited desirable stability and, therefore, were identified as superior cultivars. Superior genotypes in terms of grain yield and stability were selected simultaneously using the multitrait selection indices, such as MGIDI and FAI-BLUP, and their results provided a more comprehensive perspective than single-trait approaches. The results of the MGIDI index indicated that the genotypes PANAKA and SFERA had the shortest distance from the defined ideotype and were, therefore, selected as desirable genotypes. In contrast, the results of the FAI-BLUP index showed that the genotypes ALCE and SFERA had the highest probability of similarity to the desired ideotype and were identified as superior genotypes. The selection overlap of genotype SFERA by both MGIDI and FAI-BLUP indices indicates its stable superiority from a multi-trait perspective. The difference in genotypes selected by these two indices also reflects their complementary nature, where MGIDI focuses more on trait balance, while FAI-BLUP, in addition to stability, places a greater emphasis on yield improvement. Correlation analysis among indices also indicated that the PV (genotypic superiority index), CV (environmental coefficient of variation), and EV (environmental variance) had the greatest ability to discriminate stable and high-yielding cultivars. A notable point was the presence of significant positive correlations between the parametric and non-parametric indices. The strong correlation indicated substantial overlap and consistency between the parametric and non-parametric indices in identifying stable genotypes, confirming their agreement.

Conclusion: Overall, the results of this study demonstrate that the simultaneous use of parametric and non-parametric methods, along with multi-trait indices, enables a more accurate and comprehensive selection of stable and superior barley cultivars for rainfed conditions in western Iran. The cultivars ALCE, SFERA, NURE, and AIACE were identified as genotypes with desirable stability and yield performance and can contribute effectively to breeding programs and to increasing the productivity of barley in rainfed regions. Multi-trait indices also proved to be highly practical complementary tools in the selection process, particularly when multiple traits are considered simultaneously.

Keywords: Genotype × environment interaction; Stability analysis; MGIDI index; FAI-BLUP index; *Hordeum vulgare* L.

How to Cite This Article: Mardani, Z., Cheghamirza, K., Zarei, L., Bahraminejad, S., & Amiri, R. (2026). Assessment of Grain Yield Stability of Barley Cultivars under Rainfed Conditions Using Parametric and Non-Parametric Methods, and Multi-Trait Indices. *J Crop Breed*, 18(3), 157 -171. DOI: 10.66224/jcb.2026.1661

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد دانه ارقام جو در شرایط دیم با استفاده از روش‌های پارامتری، ناپارامتری و شاخص‌های گزینشی چندصفتی

زینب مردانی[۱]، کیانوش چقامیرزا[۲و۳]، لیلا زارعی[۳و۴]، صحبت بهرامی‌نژاد[۳و۵] و رضا امیری[۶]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، (نویسنده مسوول: cheghamirza@yandex.ru)
۳- مرکز تحقیقات غلات، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۵- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۶- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۵
صفحه ۱۵۷ تا ۱۷۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین محصولات کشت‌شده در جهان، متعلق به جنس *Hordeum* و خانواده Poaceae و دارای عدد کروموزومی 2n = 2x = 14 است. طبق آخرین آمار سازمان خواربار و کشاورزی جهان، جو در سال ۲۰۲۳ با حدود ۴۶ میلیون هکتار سطح زیر کشت و میزان تولید ۱۴۵/۷ میلیون تن، رتبه چهارم را در میان غلات پس از گندم، ذرت و برنج داشت. افزایش جمعیت و ضرورت تأمین غذای کافی و مهم‌تر از همه، لزوم خودکفایی در تولیدات بخش کشاورزی با توجه بـه محدودیت منابع آب و کاهش سطح زیر کشت، موجب شده است تا دستیابی به ارقام جو با عملکرد بالا، از ضرورت‌های مهم بخش کشاورزی در نظر گرفته شود. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نشان‌دهنده واکنش متفاوت به شرایط محیطی است، به این معنی که بهترین ژنوتیپ در یک محیط، لزوماً در محیط دیگر نیز برترین ژنوتیپ نیست. محققین معیارهای متفاوتی را جهت بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، تشخیص پایداری ارقام و معرفی آن‌ها به‌کار برده‌اند که به‌طور کلی روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره را در بر می‌گیرند. شاخص فاصله ژنوتیپ–ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI) و شاخص فاصله ژنوتیپ–ایدئوتیپ چندصفتی مبتنی‌بر تحلیل عاملی و طراحی ایدئوتیپ (FAI-BLUP) اخیراً به‌عنوان دو مدل برای انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل محصول بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، پیشنهاد شده‌اند. هدف از این پژوهش، شناسایی ارقام پایدار جو دیم از میان ارقام ایرانی و اروپایی در شرایط مختلف اقلیمی غرب ایران با استفاده از ترکیب روش‌های پارامتری، ناپارامتری و شاخص‌های ترکیبی انتخاب چندگانه (MGIDI و FAI-BLUP) بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور تعیین پایداری عملکرد دانه در ارقام مختلف جو در منطقه غرب ایران، نه ژنوتیپ، شامل شش رقم اروپایی و سه رقم ایرانی طی دو سال زراعی (۱۴۰۱–۱۴۰۰ و ۱۴۰۲–۱۴۰۱) در سه مکان از سه استان کرمانشاه، لرستان و ایلام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط دیم مورد ارزیابی قرار گرفتند. مدیریت زراعی در تمامی محیط‌ها به‌صورت یکنواخت اعمال گردید. تجزیه واریانس مرکب با در نظر گرفتن اثر ثابت ژنوتیپ و اثر تصادفی محیط انجام شد. برای ارزیابی پایداری، مجموعه‌ای از شاخص‌های پارامتری تک‌متغیره (شامل واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون، انحراف از خط رگرسیون، اکووالانس ریک، شاخص برتری ژنوتیپی، شاخص مطلوبیت، ضریب تغییرات محیطی و واریانس محیطی) و ناپارامتری (شامل روش مجموع رتبه کانگ و آماره‌های Si و NPi) محاسبه شدند. همچنین، از دو شاخص چندصفتی نوین MGIDI و FAI-BLUP برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس مجموعه‌ای از شاخص‌های چندصفتی مرتبط با پایداری و عملکرد دانه استفاده شد. همبستگی بین شاخص‌های پایداری با عملکرد دانه با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای صفت عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بودند و سهم عمده تغییرات عملکرد ناشی از محیط بود، در حالی‌که اثر ژنوتیپ معنی‌دار نشد. این امر بیانگر واکنش متفاوت ارقام جو به شرایط متغیر محیطی و ضرورت استفاده از شاخص‌های پایداری بود. در نتیجه، انتخاب ارقام مناسب بدون در نظر گرفتن پایداری امکان‌پذیر نیست. نتایج تجزیه پایداری با روش‌های پارامتری و ناپارامتری نشان دادند که ارقام ALCE، SFERA، NURE و AIACE ضمن داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل، از پایداری مطلوبی برخوردار بودند و به‌عنوان ارقام برتر شناخته شدند. به‌منظور انتخاب همزمان ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری، شاخص‌های گزینشی چندصفتی MGIDI و FAI-BLUP مورد استفاده قرار گرفتند که نتایج آن‌ها دیدگاه جامع‌تری نسبت به روش‌های تک‌صفتی فراهم نمود. نتایج حاصل از شاخص MGIDI نشان دادند که ژنوتیپ‌های PANAKA و SFERA دارای کمترین فاصله از ایدئوتیپ تعریف شده بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب انتخاب شدند. در مقابل، نتایج شاخص FAI-BLUP نشان دادند که ژنوتیپ‌های ALCE و SFERA دارای بیشترین احتمال شباهت به ایدئوتیپ مطلوب بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند. همپوشانی انتخاب ژنوتیپ SFERA توسط هر دو شاخص MGIDI و FAI-BLUP می‌تواند بیانگر برتری پایدار این رقم از دیدگاه چند صفتی باشد. تفاوت در ژنوتیپ‌های منتخب توسط این دو شاخص نیز می‌تواند نشان‌دهنده ماهیت مکمل آن‌ها باشد؛ به‌طوری‌که MGIDI بیشتر بر تعادل صفات تمرکز دارد، در حالی‌که FAI-BLUP علاوه‌بر پایداری، وزن بیشتری به بهبود عملکرد می‌دهد. همبستگی بین شاخص‌ها نیز بیانگر آن بود که شاخص‌های PV (شاخص برتری ژنوتیپی)، CV (ضریب تغییرات محیطی) و EV (واریانس محیطی) بیشترین قابلیت تفکیک ارقام پایدار و پر محصول را داشتند. نکته قابل توجه، وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های پارامتری و ناپارامتری بود. این همبستگی‌های قوی بین روشی می‌تواند همپوشانی و سازگاری قابل توجهی را بین شاخص‌های پارامتری و ناپارامتری در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار تایید نماید.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان دادند که استفاده همزمان از روش‌های پارامتری، ناپارامتری و شاخص‌های چند صفتی می‌تواند انتخاب دقیق‌تر و جامع‌تری از ارقام پایدار و برتر جو برای شرایط دیم غرب ایران را امکان‌پذیر سازد. ارقام ALCE، SFERA، NURE و AIACE به‌عنوان ارقامی با پایداری و عملکرد مطلوب شناخته شدند که می‌تواند گامی مؤثر در برنامه‌های اصلاحی جو و افزایش بهره‌وری این محصول در مناطق دیم باشد. شاخص‌های چندصفتی نیز به‌عنوان ابزارهای مکمل در فرآیند انتخاب، به‌ویژه زمانی که همزمان چندین صفت مورد توجه هستند، قابلیت کاربردی بالایی دارند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری، شاخص MGIDI، شاخص FAI-BLUP، *Hordeum vulgare* L.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین محصولات کشت‌شده در جهان (Baik & Ullrich, 2008)، متعلق به جنس *Hordeum* و خانواده Poaceae و دارای عدد کروموزومی $2n = 2x = 14$ است (Jan *et al*., 2022). طبق آخرین آمار سازمان خواربار و کشاورزی جهان، جو در سال ۲۰۲۳ با حدود ۴۶ میلیون هکتار سطح زیر کشت و میزان تولید ۱۴۵/۷ میلیون تن، رتبه چهارم را در میان غلات پس از گندم، ذرت و برنج داشت (FAO, 2025). طبق آخرین آمار وزارت جهاد کشاورزی ایران، سطح برداشت جو در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در کشور مشتمل بر حدود ۷۲۱ هزار هکتار آبی و ۱/۰۳ میلیون هکتار دیم (مجموع ۱/۷۵ میلیون هکتار) و مقدار کل تولید برابر با ۳/۸۱ میلیون تن (حدود ۲/۴۵ میلیون تن آبی و ۱/۳۵ میلیون تن دیم) بود. میانگین عملکرد دانه در زراعت آبی ۳۴۰۳ و در زراعت دیم ۱۳۱۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بیشترین میزان تولید جو در زراعت دیم به‌ترتیب در استان‌های کرمانشاه (۱۴/۶۹ درصد)، همدان (۱۱/۱۲ درصد)، لرستان (۱۱/۰۶ درصد)، اردبیل (۹/۸۲ درصد) و آذربایجان شرقی (۸/۲۶ درصد) بوده است (Agricultural Statistics, 2025). افزایش جمعیت و ضرورت تأمین غذای کافی و مهم‌تر از همه، لزوم خودکفایی در تولیدات بخش کشاورزی با توجه بـه محدودیت منابع آب و کاهش سطح زیر کشت، موجب شده‌اند تا دستیابی به ارقام جو با عملکرد بالا از ضرورت‌های مهم بخش کشاورزی در نظر گرفته شود.

معرفی ارقام جو دیم با عملکرد بالاتر از ارقام موجود همراه با روش‌های به‌زراعی مناسب برای کاشت این ارقام جدید، نقش اساسی در افزایش تولید در دیم‌زارهای کشور و بهبود معیشت زارعین دارد. از طرفی، معرفی ارقام جدید جو دیم باعث تنوع ارقام مورد کشت می‌شود و می‌تواند از همه‌گیری بیماری‌ها و آفات مختلف نیز جلوگیری به‌عمل آورد. در مناطق دیم، به‌دلیل ناپایداری فراوان عوامل محیطی، ارقام جدید جو علاوه‌بر عملکرد بالا باید دارای ثبات عملکرد نیز باشند (Vaezi *et al*., 2012). اثر متقابل ژنوتیپ و محیط یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات است که در توسعه و گسترش ارقام اصلاح‌شده، دارای اهمیت فراوانی است. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نشان‌دهنده واکنش متفاوت به شرایط محیطی است، به این معنی که بهترین ژنوتیپ در یک محیط، لزوماً در محیط دیگر نیز برترین ژنوتیپ نیست (Farshadfar *et al*., 2012).

محققین معیارهای متفاوتی را جهت بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، تشخیص پایداری ارقام و معرفی آن‌ها به‌کار برده‌اند که به‌طور کلی روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره را در بر می‌گیرند (Temesgen *et al*., 2015). روش‌های تک‌متغیره به روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، ضریب رگرسیون (Finlay & Wilkinson, 1963)، انحراف از خط رگرسیون (Eberhart & Russell, 1966)، شاخص پایداری اکووالانس (Wricke, 1962)، شاخص برتری ژنوتیپی (Lin & Binns, 1988)، شاخص مطلوبیت ژنوتیپی (Hernandez, 1993)، ضریب تغییرات محیطی (Francis & Kannenberg, 1978) و واریانس محیطی (Roemer, 1917) از جمله روش‌های پارامتری تک‌متغیره هستند که توسط پژوهشگران زیادی برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شده‌اند. در روش‌های ناپارامتری، برقراری فرض‌های نرمال بودن داده‌ها، مستقل بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاها ضرورتی ندارد که از مزیت‌های این روش نسبت به روش‌های پارامتری تجزیه پایداری است (Helms, 1993). از روش‌های ناپارامتری می‌توان به روش ناپارامتری رتبه (Kang, 1988)، آماره‌های نصار و هان شامل $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$ (Nassar & Huehn, 1987) و روش‌های تنارازو شامل $NPi^{(1)}$، $NPi^{(2)}$، $NPi^{(3)}$ و $NPi^{(4)}$ (Thennarasu, 1995) اشاره نمود. اما به‌نژادگران با مشکلاتی در ترکیب مجموعه داده‌های چندصفتی بدون مواجهه با هم‌خطی چندگانه در فرآیند غربالگری مواجه بوده‌اند. در نتیجه، روش‌های انتخاب پایداری مبتنی‌بر چندصفتی برای کمک به به‌نژادگران در حفظ دستاوردهای پایدار در صفات اصلی، مانند عملکرد دانه و در عین حال حفظ پیشرفت ژنتیکی در ویژگی‌های ثانویه طراحی شده‌اند (Rajesh-Kumar *et al*., 2025).

شاخص فاصله ژنوتیپ–ایدئوتیپ چندصفتی (MGIDI[1]) و شاخص فاصله ژنوتیپ–ایدئوتیپ چندصفتی مبتنی بر تحلیل عاملی و طراحی ایدئوتیپ (FAI-BLUP)[2] اخیراً به‌عنوان دو مدل برای انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل محصول بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده، پیشنهاد شده‌اند (Pour-Aboughadareh *et al*., 2025_a). استفاده همزمان از شاخص‌های چندصفتی نوین (مانند MGIDI، FAI-BLUP و Smith-Hazel) در کنار شاخص‌های تحمل خشکی مرسوم (مانند STI، GMP، MP) دقت و قابلیت اطمینان شناسایی ژنوتیپ‌های برتر جو را به‌طور چشمگیری افزایش داده است. این رویکرد تلفیقی، ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کند که نه‌تنها عملکرد بالایی در شرایط تنش و بدون تنش دارند، بلکه از پایداری عملکرد و ترکیب مطلوب چندین صفت مهم به‌صورت همزمان برخوردارند (Ghavidel *et al*., 2023). شاخص MGIDI منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های جو با عملکرد بسیار بالا نشد، بلکه ژنوتیپ‌هایی با ترکیب متوازن صفات را برگزید. این شاخص نشان می‌دهد که در تحلیل‌های چندصفتی، ترکیب بهینه چندین صفت مهم معیار نهایی انتخاب قرار می‌گیرد (Shirzad *et al*., 2022). با وجود تفاوت در روش‌های MGIDI و FAI-BLUP، دو ژنوتیپ (G1 و G7) توسط هر دو شاخص به‌طور همزمان انتخاب شدند. این همپوشانی نشان‌دهنده برتری این ژنوتیپ‌ها از نظر چندین معیار چندصفتی است (Zali & Pour-Aboughadareh, 2023). در این راستا، هدف از اجرای این پژوهش، شناسایی ارقام پایدار جو دیم از میان ارقام ایرانی و اروپایی در شرایط مختلف اقلیمی غرب ایران با استفاده از ترکیب روش‌های پارامتری، ناپارامتری و شاخص‌های ترکیبی انتخاب چندگانه (MGIDI و FAI) بود.

[1] Multi-trait genotype-ideotype distance index

[2] Factor analysis and ideotype design via best linear unbiased prediction

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ارقام جو زراعی پوشینه‌دار شامل شش رقم اروپایی و سه رقم ایرانی با هدف تعیین پایداری عملکرد دانه مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۱). عملیات کاشت در طی دو سال زراعی متوالی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در سه مکان مختلف از سه استان شامل مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (کرمانشاه)، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان (خرم‌آباد) و ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان چرداول (چرداول-ایلام) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در شرایط دیم انجام شد (جدول ۲). سه استان کرمانشاه، لرستان و ایلام به‌عنوان نمایندگان اقلیم‌های متنوع منطقه غرب کشور انتخاب شدند که امکان ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها را در طیف وسیع‌تری از شرایط محیطی فراهم می‌ساختند. در ایستگاه‌های کرمانشاه و چرداول، هر کرت شامل شش خط کاشت ۶ متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و در خرم‌آباد هر کرت شامل هشت خط کاشت ۶ متری با فاصله کاشت ۱۵ سانتی‌متر بودند به طوری که در هر سه مکان، تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع بود. اراضی آزمایشی در سال زراعی پیش از اجرای آزمایش به‌صورت تناوب با محصولات غیر از غلات بودند. عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر بذر با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار برای انجام شخم و دیسک سنگین برای شکستن کلوخ‌ها انجام شد. در طول دوره رشد، آفت و بیماری در مزارع آزمایشی مشاهده نشد؛ از این‌رو، هیچ‌گونه عملیات مبارزه شیمیایی یا غیرشیمیایی علیه آفات و بیماری‌ها اعمال نگردید. مدیریت مزرعه در تمام محیط‌ها به‌صورت یکنواخت انجام شد تا اثر عوامل مدیریتی به حداقل برسد و تفاوت‌های مشاهده شده در صفات مورد بررسی، عمدتاً ناشی از تفاوت ژنوتیپ‌ها و شرایط محیطی باشد. در طول دوره اجرای طرح، از هیچ نوع کودی استفاده نشد و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. برای محاسبه عملکرد دانه در ایستگاه‌های تحقیقاتی چرداول و کرمانشاه، از هر کرت یک مترمربع برداشت گردید. وزن دانه‌ها پس از بوجاری ثبت و سپس به واحد تن در هکتار تبدیل شد و به‌عنوان عملکرد نهایی ارقام مورد استفاده قرار گرفت. در ایستگاه خرم‌آباد، کل کرت به‌صورت ماشینی برداشت شد و عملکرد دانه پس از محاسبه، به واحد تن در هکتار تبدیل گردید.

جدول ۱- مشخصات ارقام جو مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the studied barley cultivars

کد Code	نام Name	منشأ Origin	تیپ سنبله Spike type	شجره Pedigree
G1	زرجو Zarjo	ایرانی Iranian	شش ردیفه Six rows	1-28-9936
G2	یوسف yosef	ایرانی Iranian	شش ردیفه Six rows	Lignee527/chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//DI71/strain 205
G3	سرارود Sararud	ایرانی Iranian	دو ردیفه Two rows	Chicm/An57//Albert
G4	ALCE	اروپایی European	دو ردیفه Two rows	(Tipper x Igri3) × [(Tipper × Alpha)×(Sonja × Wb117/18)]
G5	PANAKA	اروپایی European	دو ردیفه Two rows	Amillis × Diadem
G6	PARIGLIA	اروپایی European	دو ردیفه Two rows	Airone × Arco
G7	SFERA	اروپایی European	دو ردیفه Two rows	((Katy × HJ54/30) × Igri ×Arda) × (Tipper x Sonja)) ×Amillis
G8	NURE	اروپایی European	دو ردیفه Two rows	(FIOR 40 × Alpha2) × Baraka
G9	AIACE	اروپایی European	دو ردیفه Two rows	FO 1078 x FO 1638

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographical characteristics of the experimental areas

مکان Location	عرض جغرافیایی (شمالی) Latitude (North)	طول جغرافیایی (شرقی) Longitude (East)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	متوسط بارندگی (میلی‌متر) Average rainfall (mm) ۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	متوسط بارندگی (میلی‌متر) Average rainfall (mm) ۱۴۰۱-۱۴۰۲ 2022-2023
چرداول Chardavol	33° 79′	46° 57′	1016	223.6	395
کرمانشاه Kermanshah	34° 21′	47° 9′	1319	285.7	402
خرم‌آباد Khorramabad	37° 28′	48° 21′	1147	307	462.7

تجزیه مرکب داده‌ها با فرض ثابت‌بودن اثر رقم و تصادفی بودن اثر سال و مکان توسط نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. پیش از تجزیه واریانس مرکب، یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی به‌کمک آزمون بارتلت مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های پارامتری تک‌متغیره شامل واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون فینلی و ویلکنسون، انحراف از خط رگرسیون ابرهارت و راسل، شاخص پایداری اکووالانس ریک، شاخص برتری ژنوتیپی لین و بینز، شاخص مطلوبیت ژنوتیپی هرناندز، ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ و واریانس محیطی رومر و روش‌های ناپارامتری نیز با استفاده از روش مجموع رتبه کانگ، آماره‌های نصار و هان شامل Si(1)، Si(2)، Si(3) و Si(6) و معیارهای تنارازو

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

$NPi^{(1)}$، $NPi^{(2)}$، $NPi^{(3)}$ و $NPi^{(4)}$ محاسبه شدند (جدول ۳). محاسبات مربوط به این روش‌ها با استفاده از محیط Excel انجام گرفتند. برای انتخاب همزمان ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس چندین صفت، شاخص‌های انتخاب چندگانه، شامل شاخص MGIDI و شاخص FAI-BLUP، نیز در محیط نرم‌افزار R و با استفاده از بسته تخصصی metan محاسبه گردیدند. به‌منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌های محاسبه شده، ضریب همبستگی اسپیرمن با استفاده از نرم‌افزار R محاسبه شد.

محاسبه شاخص MGIDI

مراحل محاسبه این شاخص (Olivoto & Nardino, 2020) بر مبنای داده‌های صفات مورد ارزیابی به شرح زیر هستند:

۱- تغییر مقیاس صفات: یک جدول دو طرفه Xij با i ردیف (ژنوتیپ) و j ستون (صفت) است. مقدار تغییر مقیاس یافته برای ردیف i و ستون j (rXij) از رابطه (۱) به‌دست آمد:

$$rXij=\frac{\eta nj-\varphi nj}{\eta 0j-\varphi 0j}\times(\theta ij-\eta 0j)+\eta nj \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، φoj و ηoj به‌ترتیب مقادیر اصلی حداقل و حداکثر برای صفت j پس از تغییر مقیاس[1] هستند و θ_{ij} مقدار اصلی برای صفت jام از ژنوتیپ iام است. برای تغیر مقیاس، مقادیر φnj و η_{nj} به‌صورت زیر محاسبه شدند: برای صفاتی که مقادیر بالاتر در آن‌ها مطلوب هستند، φnj برابر با صفر و ηnj برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته شدند، در حالی‌که برای صفاتی که در آن‌ها مقادیر پایین مطلوب بودند، φnj برابر با ۱۰۰ و ηnj برابر با صفر در نظر گرفته شدند.

۲- تجزیه به عامل‌ها: در مرحله بعد، تحلیل عاملی (FA) برای محاسبه کاهش ابعاد داده‌ها و ساختار روابط انجام شد. این تحلیل بر اساس رابطه ۲ انجام شد:

$$F=Z\,(A^{T}\,R^{-1})^{T} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن F یک ماتریس g×f با مقادیر عامل‌ها است. Z یک ماتریس g×p با میانگین استانداردشده (تغییر مقیاس یافته) است. A یک ماتریس p×f از بارگذاری متعارف[2] است و R یک ماتریس همبستگی p×p بین صفات است. علاوه بر این، g، f و p به‌ترتیب تعداد ژنوتیپ‌ها، عامل‌های باقیمانده (عامل‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها از یک بیشتر است) و شاخص‌های محاسبه‌شده را نشان می‌دهند.

۳- تعریف ایدئوتیپ: طبق تعریف رابطه ۱، ایدئوتیپ دارای بالاترین مقدار متغیر مقیاس (۱۰۰) برای تمامی صفات مورد بررسی است. بنا بر این، ایدئوتیپ را می‌توان با یک بردار I [1×p] تعریف کرد، به‌طوری که I برابر ۱۰۰، ۱۰۰، ...، ۱۰۰ باشد. نمرات I نیز بر اساس رابطه ۲ تخمین زده شدند.

۴- محاسبه شاخص MGIDI: در مرحله آخر، فاصله اقلیدسی بین نمرات ژنوتیپ‌ها و ایدئوتیپ به عنوان شاخص MGIDI با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$MGIDI=\sum_{i=1}^{f}[(\gamma ij-\gamma j)^{2}]^{0.5} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

γij امتیاز i امین ژنوتیپ در فاکتور j ام است (i=1, 2, …, t; j=1, 2, ..., f) که t و f به‌ترتیب تعداد ژنوتیپ‌ها و عامل‌ها هستند، γj نمره jام ایدئوتیپ است. ژنوتیپ‌های با کم‌ترین مقدار MGIDI به ایدئوتیپ نزدیک‌تر هستند. دیفرانسیل گزینش برای همه صفات با در نظر گرفتن شدت گزینش ۱۵ درصد انجام شد.

محاسبه شاخص FAI

شاخص FAI-BLUP به‌عنوان یک شاخص چندصفتی جدید مبتنی‌بر تحلیل عاملی و طراحی ایدئوتیپ نخستین بار توسط روکا و همکاران (Rocha *et al*., 2018) معرفی شد. روش محاسبه این شاخص بر اساس تلفیق تحلیل عاملی اکتشافی و ایده طراحی ایدئوتیپ (که از مبانی نظری مدل‌سازی معادلات ساختاری الهام گرفته شده است) انجام گرفت. مراحل این روش به شرح زیر هستند:

شاخص FAI-BLUP یک شاخص چندصفتی مبتنی بر تحلیل عاملی و مفهوم طراحی ایدئوتیپ است که از مقادیر ژنتیکی پیش‌بینی‌شده (BLUP) بهره می‌گیرد. در این روش، ابتدا ماتریس همبستگی ژنتیکی صفات برآورد و تحلیل عاملی اکتشافی با استفاده از روش مؤلفه‌های اصلی انجام شد. تعداد عوامل معنی‌دار بر اساس معیار Kaiser تعیین و به‌منظور افزایش تفسیرپذیری، چرخش واریماکس روی بارهای عاملی اعمال گردید. نمرات عاملی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش بارتلت محاسبه شدند.

۱- تحلیل عاملی اکتشافی

ماتریس همبستگی ژنتیکی بین صفات از مقادیر ژنتیکی (BLUP) برآورد شد. برای استخراج بارهای عاملی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید. تعداد عوامل معنی‌دار با معیار Kaiser (عوامل با مقدار ویژه بزرگ‌تر یا مساوی یک) تعیین شد. برای بهبود تفسیرپذیری، چرخش واریماکس روی عوامل اعمال گردید (Kaiser, 1958). نمرات عاملی هر ژنوتیپ با استفاده از روش حداقل مربعات وزن‌دار بارتلت محاسبه شد (Bartlett, 1938).

۲- طراحی ایدئوتیپ‌ها (گام‌به‌گام)

تعداد ایدئوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عوامل مطلوب و نامطلوب تعریف می‌شود. تعداد ایدئوتیپ‌ها از الگوریتم زیر به‌دست می‌آید:

$$NI=2^{n}$$

که در آن NI تعداد ایدئوتیپ‌ها و n تعداد عوامل است.

تعداد عوامل (n) برای طراحی ایدئوتیپ‌ها باید برابر با تعداد مقادیر ویژه بزرگ‌تر یا مساوی یک باشد (Kaiser, 1958).

یک عامل مطلوب باید مقادیر ژنتیکی مطلوب (مانند حداکثر، حداقل، میانگین یا یک مقدار خاص) را برای تمام صفات تحت انتخاب داشته باشد. یک عامل نامطلوب باید مقادیر ژنتیکی نامطلوب را برای تمام صفات تحت انتخاب در برگیرد. بنا بر این، هر ایدئوتیپ و مختصات آن (نمرات عاملی) می‌تواند بر اساس این ترکیبات طراحی شود.

[1] Rescaling
[2] Canonical loadings

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

۳- شاخص چندصفتی مبتنی بر تحلیل عاملی و فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ (FAI-BLUP Index):

پس از تعیین ایدئوتیپ‌ها، فاصله هر ژنوتیپ تا هر ایدئوتیپ (بر اساس فاصله اقلیدسی استانداردشده) محاسبه گردید. این فاصله‌ها به احتمال فضایی تبدیل شدند تا رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها ممکن گردد. الگوریتم تبدیل به‌صورت زیر است:

$$P_{ij}=\frac{\frac{1}{dij}}{\sum_{i=1;j=1}^{i=n;j=m}\frac{1}{dij}}$$

که در آن P_{ij} احتمال شباهت ژنوتیپ i به ایدئوتیپ j، و d_{ij} فاصله ژنوتیپ- ایدئوتیپ بر اساس فاصله اقلیدسی استاندارد شده هستند. این شاخص ساختار همبستگی به‌دست آمده از داده‌ها را در نظر می‌گیرد و گزینش را به‌سمت ژنوتیپ‌های نزدیک‌تر به ایدئوتیپ موردنظر به‌نژادگر هدایت می‌کند (Rocha *et al*., 2018).

جدول ۳- شاخص‌های تجزیه پایداری مورد استفاده در ارزیابی پایداری نه رقم جو زراعی

Table 3. Stability analysis indices used in the stability assessment of nine barley cultivars

شماره Number	شاخص Index	فرمول Formula	منبع Source
1	واریانس پایداری شوکلا Shukla stability variance	$\sigma_i^2=\frac{P}{(P-1)P-2)}\sum(X_{ij}-\bar{x}_{i.}-\bar{x}^{2}._{.j}+\bar{X}_{..})^2 + \frac{SSGE=\sum\sum(X_{ij}-\bar{x}_{i.}-\bar{x}^{2}._{.j}+\bar{X}_{..})^2}{(P-1)(P-2)(q-1)}$	Shukla, 1972
2	ضریب رگرسیون Regression coefficient	$b_i=\frac{\sum(\bar{x}_{ij}-\bar{x}_{i.})(\bar{x}._j-\bar{x}_{..})}{\sum(\bar{x}._j-\bar{x}_{..})^2}$	Finlay & Wilkinson, 1963
3	انحراف از خط رگرسیون Deviations from regression	$s^2d_i=\frac{\sum(\bar{x}_{ij}-\bar{x}_{i.})^2-b^2\sum(\bar{x}._j-\bar{x}_{..})^2}{q-2}$	Eberhart & Russell, 1966
4	اکووالانس ریک Wricke ecovalence	$W_i^2=\sum(X_{ij}-\bar{x}_{i.}-\bar{x}^{2}._{.j}+\bar{X}_{..})^2$	Wricke, 1962
5	شاخص برتری ژنوتیپی Superiority index	$PI=\frac{\sum(x_{ij}-M_j)^2}{2q}$	Lin & Binns, 1988
6	شاخص مطلوبیت ژنوتیپی Desirability index	$DI=\bar{x}._i+(b_i)\ C_1$	Hernandez, 1993
7	ضریب تغییرات محیطی Coefficient of variation	$CV=\frac{\sqrt{EV}}{\bar{x}_{i.}}\times 100$	Francis & Kannenberg, 1978
8	واریانس محیطی Environmental Variance	$EV=\frac{\sum(X_{ij}-\bar{x}_{i.})^2}{q-1}$	Roemer, 1917
9	مجموع رتبه کانگ Kang's Rank-Sum	$KR=\mathrm{Rank}(GY)+\mathrm{Rank}(\sigma_i^2)$	Kang, 1988
$Si^{(1)}$	پارامتر اول نصار و هان	$S_i^{(1)}=2\sum_{j'=j+1}^{n-1}\sum_{j}^{n}\lvert r_{ij}-r_{ij'}\rvert/[n(n-1)]$	Nassar & Huehn, 1987
$Si^{(2)}$	پارامتر دوم نصار و هان	$S_i^{(2)}=\sum_{j=1}^{n}(r_{ij}-\bar{r}_{i.})^2/(n-1)$	Nassar & Huehn, 1987
$Si^{(3)}$	پارامتر سوم نصار و هان	$S_i^{(3)}=\frac{\sum_{j=1}^{n}(r_{ij}-\bar{r}_{i.})^2}{\bar{r}_{i.}}$	Nassar & Huehn, 1987
$Si^{(6)}$	پارامتر ششم نصار و هان	$S_i^{(6)}=\frac{\sum_{j=1}^{n}\lvert r_{ij}-\bar{r}_{i.}\rvert}{\bar{r}_{i.}}$	Nassar & Huehn, 1987
$NPi^{(1)}$	پارامتر اول تنارازو	$)=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\lvert r_{ij}^*-M_{di}^*\rvert NP_i^{(1)}$	Thennarasu, 1995
$NPi^{(2)}$	پارامتر دوم تنارازو	$NP_i^{(2)}=\frac{1}{n}\left[\sum_{j=1}^{n}\lvert r_{ij}^*-M_{di}^*\rvert\ /\ M_{di}\right]$	Thennarasu, 1995
$NPi^{(3)}$	پارامتر سوم تنارازو	$NP_i^{(3)}=\frac{\sqrt{\sum(r_{ij}^*-\bar{r}_{ij}^*)\ /\ n}}{\bar{r}_{i.}}$	Thennarasu, 1995
$NPi^{(4)}$	پارامتر چهارم تنارازو	$NP_i^{(4)}=\frac{2}{n(n-1)}\left[\sum_{j=1}^{n-1}\sum_{[j'=j+1]}^{n}\lvert r_{ij}^*-r_{ij'}^*\rvert\Big/\bar{r}_{i.}\right]$	Thennarasu, 1995

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب

تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه ارقام در دو سال و سه مکان (شش محیط) نشان داد که اثر محیط بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، که نشان‌دهنده تفاوت قابل توجه شرایط اقلیمی محیط‌های آزمایشی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد ارقام است (جدول ۴). به‌عبارت دیگر، بخش عمده تغییرات عملکرد دانه (۵۰/۸۷ درصد از کل مجموع مربعات آن) ناشی از اثر محیط بود. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید و ۱۵/۶۲ درصد از کل تغییرات را شامل شد (جدول ۴). اثر معنی‌دار محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در مورد صفت عملکرد دانه توسط مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Qazvini *et al*., 2023; Rahmati *et al*., 2023; Abdelghany *et al*., 2024). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده واکنش متفاوت ارقام به تغییر شرایط محیطی و احتمالاً تغییر رتبه عملکرد آن‌ها در محیط‌های مختلف است. به عبارت دیگر، پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی یکسان نبود و ارزیابی دقیق‌تر آن‌ها با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری ضروری است.

در مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (جدول ۵)، الگوهای متفاوتی از سازگاری مشاهده شدند. تجزیه و تحلیل این داده‌ها نشان داد که رقم‌های سرارود و AIACE در محیط ۴ (چرداول- سال دوم) و رقم‌های NURE، PARIGLIA، SFERA، ALCE و PANAKA در محیط ۶ (خرم‌آباد- سال دوم) به‌عنوان رقم‌هایی با بیشترین عملکرد در محیط‌های با پتانسیل بالا (محیط‌های دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل آزمایش) شناسایی شدند. در محیط ۵ (خرم‌آباد- سال اول)، که به‌نظر می‌رسد یک محیط تنش‌زا (محیط دارای عملکرد پایین‌تر از میانگین عملکرد کل آزمایش) باشد، رقم‌های NURE، ALCE، PANAKA و PARIGLIA نسبت به سایر ارقام برتری نسبی نشان دادند و به‌عنوان ارقام متحمل‌تر به شرایط نامساعد شناسایی شدند. رقم NURE در محیط ۶ (خرم‌آباد- سال دوم) با میانگین ۷/۸۳ و رقم سرارود در محیط ۴ (چرداول- سال دوم) با میانگین ۷/۹۷ تن در هکتار، بالاترین عملکردها را در این دو محیط به خود اختصاص دادند. در مقابل، رقم‌های یوسف و SFERA در محیط ۵ (خرم‌آباد- سال اول) کمترین عملکرد را داشتند که نشان از حساسیت بالای آن‌ها به شرایط خاص این محیط دارد.

این تفاوت واکنش‌ها نشان‌دهنده وجود پدیده سازگاری خصوصی در برخی رقم‌ها و اهمیت بررسی عملکرد آن‌ها در شرایط چندمحیطی است. بنا بر این، نتایج به‌روشنی نشان می‌دهند که معرفی یک ژنوتیپ به‌عنوان بهترین رقم در همه شرایط منطقی نیست و باید ارقام با توجه به شرایط خاص هر منطقه توصیه شوند.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ارقام جو

Table 4. Combined analysis of variance for grain yields of barley cultivars

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares	سهم در مجموع مربعات کل The ratio in TSS
محیط Environment	5	50.67**	50.87
بلوک/محیط Block /Environment	12	5.47	
ژنوتیپ Genotype	8	0.88^{ns}	1.42
ژنوتیپ × محیط Genotype × Environment	40	1.94**	15.62
خطای آزمایشی Experimental error	96	0.98	
ضریب تغییرات	–	20.17	

^{ns} و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: non-significant and significant at the 1% probability level, respectively.

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه (t/ha^{-1}) برای اثر متقابل محیط و ژنوتیپ در ارقام جو مورد بررسی

Table 5. Average grain yield (t/ha-1) for the interaction of environment and genotype in the studied barley cultivars

اسم ژنوتیپ Genotype name	محیط ۱ Environment 1	محیط ۲ Environment 2	محیط ۳ Environment 3	محیط ۴ Environment 4	محیط ۵ Environment 5	محیط ۶ Environment 6
زرجو (Zarjo)	4.57	6.25	3.91	6.66	2.92	4.82
یوسف (yosef)	4.63	5.51	4.53	6.56	2.61	4.36
سرارود (Sararud)	3.62	6.23	3.49	7.97	2.88	4.78
ALCE	3.49	5.95	5.25	5.96	3.92	7.13
PANAKA	3.52	5.09	4.63	5.24	3.92	6.87
PARIGLIA	3.47	5.50	4.10	6.55	3.83	7.61
SFERA	3.78	6.06	4.93	6.14	2.58	7.33
NURE	3.62	6.17	4.54	5.70	4.09	7.83
AIACE	3.78	6.21	4.33	7.19	2.70	6.46

میانگین کل: ۵/۰۳ تن در هکتار و ۲/۱۲=LSD 1%

Total average: 5.03 tons per hectare and 2.19 LSD = 1%

محیط ۱: کرمانشاه- سال اول، محیط ۲: کرمانشاه- سال دوم، محیط ۳: چرداول- سال اول، محیط ۴: چرداول- سال دوم، محیط ۵: خرم‌آباد- سال اول، محیط ۶: خرم‌آباد- سال دوم

Environment 1: Kermanshah - first year, Environment 2: Kermanshah - second year, Environment 3: Chardavol - first year, Environment 4: Chardavol - second year, Environment 5: Khorramabad - first year, Environment 6: Khorramabad - second year

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

تجزیه پایداری

از آن‌جایی که استفاده از یک یا تعداد کمی از روش‌ها برای ارزیابی پایداری ارقام ممکن است منجر به انتخاب نادرست ژنوتیپ‌ها شود، استفاده از روش‌های مختلف، احتمال یافتن ژنوتیپ پایدار در محیط‌ها را افزایش می‌دهد. در این پژوهش، از ترکیبی از روش‌های ارزیابی پایداری برای معرفی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا استفاده شد.

روش‌های پارامتری تک‌متغیره

بیشترین میزان میانگین عملکرد دانه مربوط به رقم NURE (۵/۳۲ تن در هکتار) و کمترین میزان آن مربوط به رقم یوسف (۴/۷۰ تن در هکتار) بودند (جدول ۶). بر اساس شاخص ضریب رگرسیون (b_i)، ارقام زرجو، یوسف، سرارود، SFERA و AIACE دارای ضریب رگرسیون بالاتر از یک و بنا بر این دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد بودند. از بین این ارقام، میانگین عملکرد دانه ارقام SFERA و AIACE بالاتر از میانگین کل بود. ارقام SFERA و AIACE کمترین شاخص میانگین مربعات انحراف از رگرسیون را داشتند و بر اساس این شاخص، به‌عنوان پایدارترین ارقام شناخته شدند. عملکرد این دو رقم نیز بالاتر از میانگین عملکرد کل بود (جدول ۶). پورابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh *et al*., 2022) نیز با استفاده از شاخص پارامتری ضریب رگرسیون و شاخص میانگین مربعات انحراف از رگرسیون، ژنوتیپ‌های پایدار جو را شناسایی کردند.

شاخص مطلوبیت (DI) که روشی بر پایه رگرسیون است، علاوه‌بر رگرسیون، از عملکرد ژنوتیپ‌ها نیز برای معرفی ژنوتیپ پایدار استفاده می‌کند. هر چه شاخص مطلوبیت در ژنوتیپی بالاتر باشد، نشان‌دهنده پایداری بالاتر آن ژنوتیپ است. ارقام زرجو، یوسف و PARIGLIA دارای بیشترین مقادیر برای شاخص مطلوبیت بودند و فقط رقم PARIGLIA عملکردی بالاتر از میانگین عملکرد کل داشت و به‌عنوان رقم پایدار شناخته شد (جدول ۶). کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al*., 2021) در پژوهش خود، ژنوتیپ‌های پایدار را با استفاده از روش DI شناسایی نمودند.

بر اساس شاخص واریانس محیطی (EV)، ارقام ALCE، PANAKA، PARIGLIA، SFERA، NURE و AIACE دارای کمترین واریانس محیطی بودند که از بین آن‌ها رقم‌های ALCE، PARIGLIA، SFERA، NURE و AIACE دارای میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل بودند و به‌عنوان پایدارترین رقم‌ها انتخاب شدند. شاخص‌های اکووالانس ریک (Wi^2) و واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) بر اساس میزان انحراف عملکرد از میانگین محیط‌ها محاسبه می‌شوند و مقادیر کمتر آن‌ها نشان‌دهنده پایداری بیشتر ژنوتیپ هستند (Shukla, 1972; Wricke, 1962). در این روش‌ها، ارقام SFERA و AIACE به‌عنوان رقم پایدار شناسایی شدند (جدول ۶) که بر اساس شاخص ضریب رگرسیون (bi) پایدار تشخیص داده شدند. عسکری و همکاران (Askari *et al*., 2020) پایدارترین ژنوتیپ‌های جو را بر اساس شاخص‌های اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا شناسایی نمودند.

ژنوتیپ‌های پایدار بر پایه‌ی شاخص برتری (PI) دارای کمترین مقدار برای این شاخص هستند که در سال‌های مورد آزمایش نوسان کمتری داشته باشند. ارقام ALCE و NURE دارای کمترین مقادیر شاخص برتری بودند و به‌عنوان رقم‌های پایدار در این روش معرفی شدند (جدول ۶). بر اساس شاخص واریانس محیطی (EV)، این ارقام پایدار شناخته شده بودند. مطالعه حاتمی ملکی و همکاران (Hatami Maleki *et al*., 2020) ژنوتیپ‌های جو با PI پایین را پایدار معرفی کرد.

ارقام ALCE و SFERA دارای کمترین مقادیر ضریب تغییرات و میانگین عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل بودند و بر اساس این شاخص به‌عنوان پایدارترین رقم‌ها شناخته شدند (جدول ۶) که بر اساس خیلی از روش‌های تعیین پایداری این دو رقم پایدار تشخیص داده شده بودند. براتی و همکاران (Barati *et al*., 2020) بر اساس روش ضریب تغییرات محیطی نشان دادند که ژنوتیپ‌های دارای کمترین مقدار برای این شاخص پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

جدول ۶- مقادیر آماره‌های پارامتری پایداری برای بررسی عملکرد دانه ارقام جو در شش محیط

Table 6. Values of parametric stability statistics for examining grain yields of barley cultivars in six environments

ارقام cultivars	روش Method								
	GY	b_i	S^2d_i	DI	EV	Wi^2	σ_i^2	PI	C.V
زرجو (Zarjo)	4.85	1.82	0.46	1.06	0.73	1.04	0.60	0.38	17.66
یوسف (Yosef)	4.70	1.40	1.09	1.50	1.26	2.22	1.36	0.57	23.85
سرارود (Sararud)	4.83	3.06	0.14	0.61	0.91	0.98	0.56	0.39	19.78
ALCE	5.28	0.66	0.20	0.79	0.24	0.42	0.20	0.06	9.25
PANAKA	4.88	-0.21	0.29	0.91	0.30	0.83	0.46	0.18	11.20
PARIGLIA	5.18	0.00	0.40	1.02	0.40	0.96	0.55	0.09	12.18
SFERA	5.14	1.17	0.01	0.41	0.12	0.02	-0.06	0.10	6.76
NURE	5.32	-0.98	0.24	0.85	0.31	1.11	0.65	0.06	10.53
AIACE	5.11	2.07	0.01	0.37	0.36	0.20	0.06	0.17	11.72

GY: عملکرد دانه، bi: ضریب رگرسیون، S^2d_i: انحراف از رگرسیون، DI: شاخص مطلوبیت، EV: واریانس محیطی، Wi^2: اکووالانس ریک، σ_i^2: واریانس پایداری شوکلا، PI: شاخص برتری و C.V: ضریب تغییرات محیطی.

GY: grain yield, bi: regression coefficient, S2di: deviation from regression, DI: suitability index, EV: environmental variance, Wi2: Rick's equivalence, σi2: Shukla stability variance, PI: superiority index and C.V: environmental coefficient of variation

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

روش‌های ناپارامتری

از برخی روش‌های ناپارامتری برای ارزیابی پایداری عملکرد دانه در رقم‌های مورد مطالعه استفاده شد (جدول ۷). بر اساس شاخص مجموع رتبه کانگ (RS)، رقم‌های AIACE و ALCE با کمترین مقادیر این شاخص به‌عنوان رقم‌های برتر شناخته شدند. این ارقام ضمن برخورداری از میانگین عملکرد بالا، از پایداری مناسبی نیز برخوردار بودند و می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های مطلوب برای کشت در شرایط متنوع محیطی معرفی شوند. در مطالعه تیانیکوف و همکاران (Tetyannikov *et al*., 2024)، پایدارترین ژنوتیپ‌های جو با استفاده از این روش شناسایی شدند.

ارقام ALCE و SFERA دارای کمترین مقدار برای شاخص $S_i^{(1)}$ بودند و بر پایه این روش، به‌عنوان ارقام پایدار تشخیص داده شدند. نتایج آماره $S_i^{(2)}$ نیز نشان دادند که ارقام ALCE و SFERA با کمترین مقدار برای این شاخص، پایدارترین ارقام در این روش بودند. رقم‌های PANAKA و SFERA بر اساس دو شاخص $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ با دارا بودن کمترین مقدار این شاخص، به‌عنوان پایدارترین ارقام شناسایی شدند. بر اساس آماره ناپارامتری $NP_i^{(1)}$، رقم‌های ALCE، SFERA و AIACE به‌عنوان پایدارترین ارقام معرفی شدند. در آماره $NP_i^{(2)}$، ارقام SFERA، PANAKA، زرجو و یوسف بیشترین ثبات را نشان دادند اما فقط ارقام SFERA و PANAKA عملکردی بالاتر از میانگین کل داشتند و به‌عنوان پایدارترین‌ها بر اساس این آماره انتخاب شدند. همچنین بر اساس آماره $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$، ارقام SFERA، PANAKA، ALCE و زرجو پایدارتر بودند؛ با این‌حال، تنها ارقام SFERA و ALCE عملکردی بالاتر از میانگین کل ارقام داشتند و بنا بر این، این دو رقم می‌توانند به‌عنوان پایدارترین و در عین حال پربازده‌ترین ارقام معرفی شوند. از بین این ارقام، رقم ALCE بر اساس روش‌های پارامتری واریانس محیطی، شاخص برتری، ضریب تغییرات و شاخص‌های ناپارامتری مجموع رتبه کانگ، $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$، $NPi^{(1)}$، $NPi^{(3)}$ و$NPi^{(4)}$ و رقم SFERA براساس روش‌های ضریب رگرسیون، انحراف از رگرسیون، واریانس محیطی، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا، ضریب تغییرات و شاخص‌های ناپارامتری $Si^{(1)}$، $Si^{(3)}$، $Si^{(6)}$، $NPi^{(1)}$، $NPi^{(2)}$، $NPi^{(3)}$ و $NPi^{(4)}$ به‌عنوان ارقام پایدار تشخیص داده شدند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از شاخص‌های ناپارامتری مبتنی‌بر رتبه، مانند روش‌های $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$ نصار و هان و روش‌های $NPi^{(1)}$، $NPi^{(2)}$، $NPi^{(3)}$ و $NPi^{(4)}$ تنارازو، مکمل مناسبی برای شاخص‌های پارامتری است و می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در جو موثر باشد (Elakhdar *et al*., 2025؛ Vaezi *et al*., 2019) که این تطابق در تحقیق حاضر نیز تا حدود زیادی ملاحظه شد. همچنین اسدی و همکاران (Asadi *et al.,* 2025) از این شاخص‌های ناپارامتری برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر گندم استفاده و کارایی آن‌ها را در تفکیک ژنوتیپ‌های پایدار و پرعملکرد گزارش کردند.

جدول ۷- مقادیر آماره‌های ناپارامتری برای بررسی پایداری عملکرد دانه ارقام جو در شش محیط

Table 7. Values of nonparametric statistics for examining the stability of grain yields of barley cultivars in six environments

ارقام Cultivars	روش Method								
	GY	RS	$Si^{(1)}$	$Si^{(2)}$	$Si^{(3)}$	$Si^{(6)}$	$NPi^{(1)}$	$NPi^{(2)}$	$NPi^{(3)}$
زرجو (Zarjo)	4.85	15	3.33	4.67	1.2	2.80	2	0.28	0.97
یوسف (Yosef)	4.70	19	5.33	14.22	1.68	6.74	3.56	0.30	1.50
سرارود (Sararud)	4.83	15	4	6.06	1.31	3.76	2.11	0.44	1.12
ALCE	5.28	13	2.67	3.56	1.23	2.46	1.78	0.44	0.91
PANAKA	4.88	21	3.33	4.67	0.86	2	2	0.21	0.82
PARIGLIA	5.18	15	4	6	1.2	3.60	2	0.40	1.10
SFERA	5.14	14	0.67	0.17	0.22	0.11	0.33	0.07	0.19
NURE	5.32	14	4	6.89	1.57	4.43	2.44	0.33	1.21
AIACE	5.11	10	3.33	4.22	1.60	3.80	1.78	0.56	1.13

GY: عملکرد دانه، RS: مجموع رتبه کانگ، $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$: آماره‌های ناپارامتری نصار و هان، $NPi^{(1)}$، $NPi^{(2)}$، $NPi^{(3)}$ و $NPi^{(4)}$: آماره‌های تنارازو.

GY: grain yield, RS: Kang's rank sum, Si(1), Si(2), Si(3) and Si(6): Nassar and Han's nonparametric statistics, NPi(1), NPi(2), NPi(3) and NPi(4): Tenarazu statistics.

ضرایب همبستگی بین شاخص‌های پایداری محاسبه شده

از آن‌جا که توزیع داده‌های مربوط به برخی از این شاخص‌ها ممکن است از شرایط نرمال بودن پیروی نکند، استفاده از روش‌های ناپارامتری مانند همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن به‌منظور بررسی همبستگی شاخص‌ها، می‌تواند دیدگاه قابل اعتمادتری ارائه دهد. از این‌رو همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین صفت عملکرد دانه و پارامترهای پایداری محاسبه شد (جدول ۸). قوی‌ترین رابطه، همبستگی منفی و معنی‌دار (r=-۰/۹۲) با شاخص برتری (PI) بود. این نتیجه مورد انتظار بود، زیرا این شاخص در واقع میانگین مربعات اختلاف عملکرد هر رقم را با بهترین رقم در هر محیط محاسبه می‌کند (Lin & Binns, 1988). بنا بر این، ارقامی که عملکرد بالاتری دارند، در بیشتر محیط‌ها به رقم برتر نزدیک‌تر هستند و مقدار PI آن‌ها کمتر است. به‌عبارت دیگر، ارقام پرمحصول معمولاً دارای مقادیر پایین‌تر PI هستند و از نظر پایداری و سازگاری نیز برتر محسوب می‌شوند.

ضریب تغییرات (CV) نیز با عملکرد همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (r=-۰/۸۲) که نشان‌دهنده آن است ارقام با عملکرد بالاتر، نوسان کمتری در محیط‌های مختلف دارند و از پایداری بیشتری برخوردارند. از سوی دیگر، شاخص واریانس محیطی (EV) همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد داشت

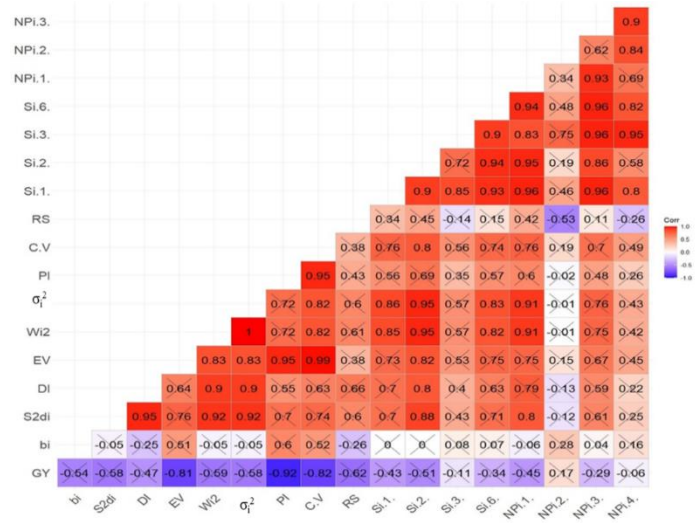
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

(r=-۰/۸۱) که نشان می‌دهد ارقام با واریانس محیطی کمتر از عملکرد بالاتری برخوردار بودند. همچنین، بین EV و CV همبستگی بسیار بالا و معنی‌داری مشاهده شد (r =۰/۹۹). این همبستگی نشان‌دهنده آن است که این دو شاخص اطلاعات مشابهی را درباره ثبات عملکرد ارقام ارائه می‌دهند و استفاده هم‌زمان از آن‌ها چندان ضرورتی ندارد. شاخص ضریب رگرسیون (bi) نیز با عملکرد همبستگی منفی و معنی‌دار (r=-۰/۶۴) و با PI همبستگی مثبت و معنی‌داری (r =۰/۶۰) نشان داد.

در مقابل، سایر شاخص‌ها از جمله S^2di، DI، Wi^2، σi^2 و شاخص‌های ناپارامتری (Si و NPi) همبستگی ضعیف یا غیرمعنی‌داری را با عملکرد نشان دادند. این نتایج بیانگر آن هستند که این شاخص‌ها بیشتر جنبه‌های خاصی از پایداری را می‌سنجند و به‌تنهایی نمی‌توانند شاخص مناسبی برای انتخاب ارقام برتر و پایدار از نظر عملکرد باشند.

در میان شاخص‌های پارامتری، واریانس محیطی (EV)، واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) و شاخص اکووالانس ریک (Wi^2) همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند ($P \leq 0.01$). این همبستگی بالا بیانگر آن است که این شاخص‌ها الگوی مشابهی از پایداری را ارزیابی نموده‌اند. با این حال، ارتباط دو شاخص واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) و شاخص اکووالانس ریک (Wi^2) با عملکرد چندان قوی نبود که می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که این شاخص‌ها بیشتر بر ثبات ارقام تمرکز دارند و در شناسایی ارقام پر محصول به‌تنهایی چندان مؤثر نیستند. به‌همین ترتیب، شاخص‌های انحراف از رگرسیون (S^2di) و شاخص مطلوبیت (DI) نیز همبستگی نزدیک به یک داشتند (r =۰/۹۹۶) که نشان می‌دهد این دو شاخص نیز نتایج بسیار نزدیکی در رتبه‌بندی ارقام ارائه می‌دهند. نکته قابل توجه، وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های پارامتری و ناپارامتری بود. به‌طور مشخص، شاخص EV با شاخص‌های ناپارامتری $Si^{(1)}$ و $Si^{(6)}$ (به‌ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۷۵) و شاخص CV با $Si^{(1)}$ (۰/۷۶) همبستگی داشت. همچنین، شاخص W_i^2 با شاخص‌های ناپارامتری $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$ و $NPi^{(1)}$ (۰/۸۵، ۰/۹۵ و ۰/۹۱) همبستگی قوی نشان داد. این همبستگی‌های بین روشی، همپوشانی و سازگاری قابل توجهی را بین شاخص‌های پارامتری و ناپارامتری در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار تایید می‌کنند.

در میان شاخص‌های ناپارامتری، $Si^{(1)}$، $Si^{(2)}$، $Si^{(6)}$ و $NPi^{(1)}$ دارای همبستگی بسیار بالا و معنی‌دار (۰/۹۰ تا ۰/۹۶) با یکدیگر بودند. این موضوع نشان می‌دهد که این شاخص‌ها رتبه‌بندی مشابهی از ارقام ارائه داده‌اند و توانسته‌اند ارقام پایدار را به‌خوبی شناسایی کنند. استفاده از این شاخص‌ها در کنار سایر روش‌هایی که همبستگی بالایی با عملکرد دارند، می‌تواند به شناسایی ارقام پایدار و پرمحصول کمک کند.



شکل ۱- نمودار حرارتی ترسیم شده مبتنی‌بر ضریب همبستگی اسپیرمن بین عملکرد دانه با آماره‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری
Figure 1. The heatmap drawn based on Spearman's correlation coefficient between grain yield and parametric and nonparametric stability statistics

نتایج شاخص‌های چندگانه MGIDI و FAI

شاخص MGIDI برای انتخاب ژنوتیپ‌ها با در نظر گرفتن تمام پارامترهای محاسبه شده به‌دست آمد. نتایج حاصل از شاخص MGIDI در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. در این شکل، ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده بر اساس این شاخص با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. ژنوتیپ‌های G7 (SFERA) و G5 (PANAKA) به‌ترتیب با پایین‌ترین مقادیر MGIDI به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب و پایدار معرفی شدند. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهند که در اغلب صفات، میانگین ارقام انتخابی نسبت به میانگین کل کاهش یا افزایش مطلوب داشته است و این موضوع نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل MGIDI در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر است. عملکرد دانه (GY) با هدف افزایش تعریف شده است، اما دیفرانسیل انتخاب آن اندک و منفی است؛ این موضوع نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های انتخابی عملکردی تقریبا مشابه میانگین کل دارند. MGIDI معمولاً به‌دلیل در نظر گرفتن همزمان چند صفت، ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کند که بین عملکرد و پایداری تعادل ایجاد کنند، نه صرفاً بیشترین عملکرد را داشته باشند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

شاخص FAI- BLUP نیز یک شاخص چندصفتی است که نتایج حاصل از این شاخص در شکل ۳ نشان داده شده است. ژنوتیپ‌های G7 (SFERA) و G4 (ALCE) به‌ترتیب با بیشترین مقادیر FAI-BLUP به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب و پایدار معرفی شدند. نتایج جدول ۹ نشان می‌دهند که در اغلب صفات مرتبط با پایداری، کاهش‌های بسیار چشم‌گیر مشاهده شدند. این کاهش‌ها نشان‌دهنده موفقیت بالای شاخص در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار، یکنواخت و کم‌نوسان هستند. همچنین، شاخص توانست عملکرد را اندکی افزایش دهد. این نتیجه نشان می‌دهد که FAI-BLUP توانسته است ضمن افزایش پایداری، عملکرد را اندکی افزایش دهد. بنا بر این، FAI-BLUP توانست تعادل مطلوبی را بین پایداری بالا و عملکرد مناسب ایجاد و ژنوتیپ‌های برتر را شناسایی کند. پور ابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh *et al*., 2025b) و زارع و همکاران (Zare *et al*., 2025) نیز از شاخص‌های MGIDI و FAI-BLUP برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر جو در آزمون‌های چندمحیطی استفاده کرده‌اند.

همپوشانی انتخاب ژنوتیپ SFERA توسط هر دو شاخص MGIDI و FAI-BLUP بیانگر برتری پایدار این رقم از دیدگاه چندصفتی است. تفاوت در ژنوتیپ‌های منتخب توسط این دو شاخص می‌تواند نشان‌دهنده ماهیت مکمل آن‌ها باشد، به‌طوری‌که MGIDI بیشتر بر تعادل صفات تمرکز دارد، در حالی‌که FAI-BLUP علاوه‌بر پایداری، وزن بیشتری به بهبود عملکرد می‌دهد.

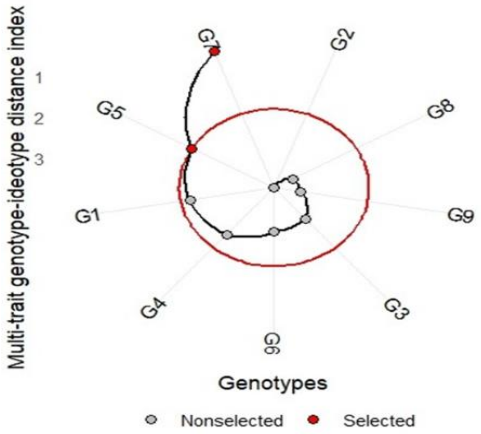
جدول ۸- نتایج دیفرانسیل گزینش شاخص MGIDI برای صفات مورد مطالعه در ارقام جو
Table 8. Selection differential of the MGIDI index for the studied traits in barley

متغیر Variable	عامل Factor	میانگین کل Total average	میانگین ارقام انتخابی Average of selected Cultivar	دیفرانسیل انتخاب Differential selection	درصد دیفرانسیل انتخاب Selection differential percentage	هدف Goal
S^2di	1	0.31	0.15	-0.16	-52.46	کاهش (decrease)
DI	1	0.83	0.66	-0.17	-21.01	افزایش (Increase)
Wi2	1	0.86	0.42	-0.43	-50.83	کاهش (decrease)
σ_i^2	1	0.48	0.20	-0.28	-58.90	کاهش (decrease)
RS	1	15.11	17.50	2.38	15.80	کاهش (decrease)
$Si^{(2)}$	1	5.60	2.42	-3.18	-56.83	کاهش (decrease)
$NPi^{(1)}$	1	2	1.16	-0.83	-41.75	کاهش (decrease)
$Si^{(1)}$	2	3.40	2	-1.40	-41.29	کاهش (decrease)
$Si^{(3)}$	2	1.20	0.54	-0.66	-55.28	کاهش (decrease)
$Si^{(6)}$	2	3.30	1.05	-2.24	-68.03	کاهش (decrease)
$NPi^{(2)}$	2	0.33	0.14	-0.19	-58.41	کاهش (decrease)
$NPi^{(3)}$	2	0.99	0.50	-0.48	-49.21	کاهش (decrease)
$NPi^{(4)}$	2	0.69	0.31	-0.37	-54.64	کاهش (decrease)
GY	3	5.03	5.01	-0.02	-0.44	افزایش (Increase)
bi	3	0.99	0.48	-0.51	-51.94	افزایش (Increase)
EV	3	0.51	0.21	-0.30	-59.17	کاهش (decrease)
PI	3	0.22	0.14	-0.08	-35.71	کاهش (decrease)
C.V	3	13.65	8.98	-4.67	-34.25	کاهش (decrease)

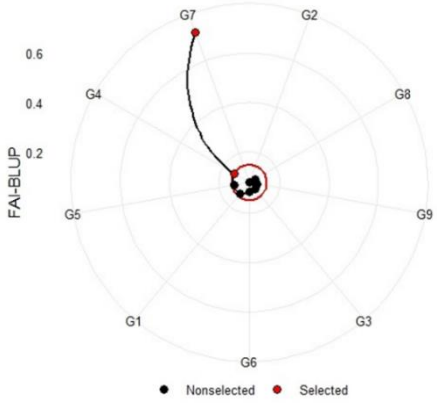
جدول ۹- دیفرانسیل گزینش شاخص FAI- BLUP برای صفات مورد مطالعه در ارقام جو
Table 9. Selection differential of the FAI-BLUP index for the studied traits in barley

متغیر Variable	عامل Factor	میانگین کل Total average	میانگین ارقام انتخابی Average of selected Cultivar	دیفرانسیل انتخاب Differential selection	درصد دیفرانسیل انتخاب Selection differential percentage	هدف Goal
S^2di	1	0.31	0.10	-0.21	-66.72	کاهش (decrease)
DI	1	0.83	0.60	-0.23	-28.19	افزایش (Increase)
Wi2	1	0.86	0.22	-0.64	-74.55	کاهش (decrease)
σ_i^2	1	0.48	0.07	-0.41	-85.61	کاهش (decrease)
RS	1	15.11	13.50	-1.61	-10.66	کاهش (decrease)
$Si^{(2)}$	1	5.60	1.86	-3.74	-66.73	کاهش (decrease)
$NPi^{(1)}$	1	2	1.05	-0.94	-47.25	کاهش (decrease)
$Si^{(1)}$	1	3.40	1.67	-1.73	-50.97	کاهش (decrease)
$Si^{(3)}$	1	1.20	0.72	-0.48	-39.97	کاهش (decrease)
$Si^{(6)}$	2	3.30	1.28	-2.01	-61.06	کاهش (decrease)
$NPi^{(2)}$	2	0.33	0.25	-0.08	-24.25	کاهش (decrease)
$NPi^{(3)}$	2	0.99	0.55	-0.44	-44.69	کاهش (decrease)
$NPi^{(4)}$	2	0.69	0.38	-0.30	-44.56	کاهش (decrease)
GY	3	5.03	5.21	0.17	3.53	افزایش (Increase)
bi	3	0.99	0.91	-0.08	-8.39	افزایش (Increase)
EV	3	0.51	0.18	-0.33	-65.01	کاهش (decrease)
PI	3	0.22	0.08	-0.14	-62.31	کاهش (decrease)
C.V	3	13.65	8	-5.65	-41.39	کاهش (decrease)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]



شکل ۲- الگوی رتبه‌بندی و ارقام جو انتخاب شده بر اساس شاخص MGIDI
Figure 2. Ranking patterns and selected barley varieties based on the MGIDI index



شکل ۳- الگوی رتبه‌بندی و ارقام جو انتخاب شده بر اساس شاخص FAI- BLUP
Figure 3. Ranking patterns and selected barley varieties based on the FAI-BLUP index

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، نتایج حاصل از روش‌های پارامتری و ناپارامتری نشان دادند که ارقام ALCE، SFERA، NURE و AIACE علاوه بر داشتن عملکردی بالاتر از میانگین کل، از پایداری مطلوبی نیز برخوردار بودند. از میان این ارقام، SFERA و AIACE با مقادیر پایین‌تر شاخص‌های واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک، به عنوان ارقام پایدارتر معرفی شدند. همچنین، ارقام ALCE و NURE ضمن برخورداری از پایداری مناسب، بالاترین مقادیر عملکرد دانه را داشتند و به‌عنوان ارقام پرمحصول شناخته شدند. کاربرد شاخص‌های چندصفتی MGIDI و FAI-BLUP نیز امکان انتخاب ژنوتیپ‌های متعادل از نظر چندین صفت مرتبط با پایداری و عملکرد را فراهم کرد. شاخص MGIDI ارقام PANAKA و SFERA را به‌عنوان ژنوتیپ‌های با تعادل مناسب بین صفات مختلف معرفی نمود، در حالی‌که شاخص FAI-BLUP ارقام ALCE و SFERA را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد مطلوب برگزید. این نتایج نشان می‌دهند که شاخص‌های چندصفتی می‌توانند به‌عنوان ابزار مکمل در فرآیند انتخاب، به‌ویژه در شرایطی که هم‌زمان چندین صفت مورد توجه هستند، مورد استفاده قرار گیرند. همبستگی منفی شاخص‌هایی مانند PI، CV و EV با عملکرد نشان می‌دهد که این شاخص‌ها ابزار مناسبی برای شناسایی ارقام برتر هستند، زیرا ارقام با عملکرد بالاتر معمولا از ثبات بیشتری برخوردار بودند.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که استفاده همزمان از روش‌های پارامتری، ناپارامتری و شاخص‌های چندصفتی می‌تواند انتخاب دقیق‌تر و جامع‌تری از ارقام پایدار و برتر جو برای شرایط دیم غرب ایران را امکان‌پذیر سازد. ارقام ALCE، SFERA، NURE و AIACE به‌عنوان ارقامی با پایداری و عملکرد مطلوب شناخته شدند که می‌توانند گامی مؤثر در برنامه‌های اصلاحی و افزایش بهره‌وری این محصول در مناطق دیم باشند.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از حمایت‌های علمی و امکانات ارائه‌شده توسط دانشگاه رازی (دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی)، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام (چرداول-ایلام) و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان (خرم‌آباد) در طول انجام این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌شود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

References

Abdelghany, A. M., Lamlom, S. F., & Naser, M. (2024). Dissecting the resilience of barley genotypes under multiple adverse environmental conditions. *BMC Plant Biology*, 24(1), 16. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04704-y

Agricultural Statistics. (2025). The Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Office. Volume 1, *Field Crops*. 120pp. [In Persian]

Asadi, A. A., Amini, A., Rezaei Morad Ali, M., Mohammadi Pirahani, A. A., Babaei, T., & Ghadiri, A. (2025). Investigation of genotype × environment interaction under terminal water deficit stress conditions in promising bread wheat genotypes using the selection index of ideal genotype (SIIG). *Journal of Crop Breeding*, 17(1), 88-103. http://dx.doi.org/10.61186/jcb.17.1.88. [In Persian]

Askari, H., Kazemitabar, S. K., Najafi-Zarini, H., and Saberi, M. H. (2020). Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under salinity stress using stability analysis methods. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), 36–42. http://dx.doi.org/10.29252/jcb.12.34.36. [In Persian]

Baik, B. K., and Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 233-242. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.002.

Barati, A., Lakzadeh, A., Jabbari, M., Poudineh, A., Alt Jafarbay, J., Khanzadeh Qareh Aghajlou Sofla, H., & Kheirgoo, M. (2020). Selection of barley genotypes for warm regions of Iran using stability statistics and AMMI analysis. *Seed and Plant Journal*, 36(2), 223–240. https://doi.org/10.30479/ijgpb.2024.20254.1370. [In Persian]

Bartlett, M. S. (1938). Methods of estimating mental factors. *Nature*. https://doi.org/10.1038/141246a

Eberhart, S. T., and Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40. https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

Elakhdar, A., El-Naggar, A. A., El-Wakeell, S., & Ahmed, A. H. (2025). Integrating univariate and multivariate stability indices for breeding clime-resilient barley cultivars. *BMC Plant Biology*, 25(1), 76. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05530-6

FAO. (2025). https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

Farshadfar, E., Sabaghpour, SH., & Zali, H. (2012). Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. *Australian Journal of Crop Science*, 6, 514-524.

Finlay, K.W., & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in plant-breeding programs. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, 742-754. https://doi.org/10.1071/AR9630742

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(4), 1029-1034. https://doi.org/10.4141/cjps78-157

Ghavidel, S., Pour-Aboughadareh, A., & Moustafavi, K. (2023). Identification of drought-tolerant genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) based on selection indices. *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(3), 671–687. https://doi.org/10.22034/csrar.2024.371176.1294. [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. https://doi.org/10.30479/ijgpb.2022.15164.1291. [In Persian]

Helms, T. C. (1993). Selection for yield and stability among oat lines. *Crop Science*, 33(3), 423-426. https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300030012x

Hernandez, C. M., Crossa, J., & Castillo, A. (1993). The area under the function: an index for selecting desirable genotypes. *Theoretical and Applied Genetics*, 87, 409-415. https://doi.org/10.1007/BF00215085

Jan, S., Khan, M. N., Bhat, M. A., Wani, M. A., Bhat, F. A., & Kanth, R. H. (2022). Barley (*Hordeum vulgare* L.) classification, diversity and health benefits: A Review. *European Journal of Experimental Biology*, 12, 1-6. https://doi.org/1-6. 10.36648/2248-9215.12.1.118

Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23(3), 187-200. https://doi.org/10.1007/BF02289233

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

Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Sharifi, P., Alt Jafarbay, J., Shahbazi Houmonlou, J., & Keshavarzi, K. (2021). Stability assessment of durum wheat genotypes using parametric and non-parametric methods. *Journal of Plant Genetic Research*, 8(1), 115–132. https://doi.org/10.52547/Pgr.8.1.8. [In Persian]

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

Nassar, R., & Huehn, M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 43, 45-53. https://doi.org/10.2307/2531947

Olivoto, T., & Nardino, M. (2020). MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *Bioinformatics*, 1-22. https://doi.org/10.1016/j.cropd.2024.100074

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]

Pour-Aboughadareh, A., Barati, A., Koohkan, S. A., Jabari, M., Marzoghian, A., Gholipoor, A., Shahbazi-Homonloo, k., zali, H., Poodineh, O., & Kheirgo, M. (2022). Dissection of genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in barley using AMMI model and stability statistics. *Bulletin of the National Research Centre*, 46(1), 19. https://doi.org/10.1186/s42269-022-00703-5

Pour-Aboughadareh, A., Jadidi, O., Jamshidi, B., Bocianowski, J., & Niemann, J. (2025b). Cross-talk between stability parameters and selection models: a new procedure for improving the identification of the superior genotypes in multi-environment trials. *BMC Research Notes*, 18(1), 306. https://doi.org/10.1186/s13104-025-07366-1

Pour-Aboughadareh, A., Jadidi, O., Jamshidi, B., Bocianowski, J., & Niemann, J. (2025) a. Dataset for unrevealing the application of multi-trait genotype-ideotype distance index and multi-trait index based on factor analysis and ideotype-design models in the identification of high-yielding and stable barley genotypes. *Data in Brief*, 59, 111383. https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111383

Qazvini, H. A., Asadi, A. A., Mohammadi, S., Razavi, S. A., & Ghasemi Kolkhoran, M. (2023). Grain yield stability analysis of barley genotypes in cold regions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 34(3), 217–234. https://doi.org/10.22034/saps.2023.56901.3056. [In Persian]

Rahmati, S., Azizi-Nejad, R., Pouraboghaddareh, A., Eteminan, A., & Shoushtari, L. (2023). Evaluation of genotype × environment interaction on grain yield and stability of promising barley lines using the AMMI model and stability statistics. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 25(4), 325–341. [In Persian]

Rajesh-Kumar, S., Anand, G., Narayanan, S. L., Subramanian, E., & Mini, M. L. (2025). Delineation of genotype× environment interaction and identifying superior red sorghum [*Sorghum bicolor* L. Moench] genotypes via multi-trait-based stability selection methods. *BMC Plant Biology*, 25(1), 283. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06188-4

Rocha, J. R. D. A. S. D. C., Machado, J. C., & Carneiro, P. C. S. (2018). Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: Proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. *GCB Bioenergy*, 10(1), 52-60. https://doi.org/10.1111/gcbb.12443

Roemer, J. (1917). Sinde die ertagdreichen Sorten ertagissicherer. *Mitt DLG*, 32(1), 87-89.

Shirzad, A., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. (2022). Application of the Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index (MGIDI) in the selection of top barley genotypes in the warm and dry region of Darab. *Journal of Crop Breeding*. 14(44), 65-76. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.14.44.65. [In Persian]

Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29(2), 237-245. https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87

Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T., & Jarso, M. (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3, 258-268. https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.03.004

Tetyannikov, N. V., Bome, N. A., & Bazyuk, D. A. (2024). Yield stability analysis of barley mutants using parametric and nonparametric statistics. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 56(2), 463–475. http://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.2.2.

Thennarasu, K. (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. *Indian Journal of Genetics*. 60, 433-43.

Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H., & Siddique, K. H. M. (2019). Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*, 215(4),1–18. https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5

Vaezi, B., Roustaii, M., Hosseinpour, T., Ghojigh, H., Mehraban, A., Mohammadi, R., Nourinia, A. A., Fallahi, H. A., Khanzadeh, H., Ghasemi, M., Dehghan, M. A., Hasanpour Hosni, M., Torabi, M., Daryaei, A., Patpour, M., & Khalilzadeh, G. R. (2012). Khorram, A New Barley Cultivar for Semi-Tropical Rainfed Areas in Iran. *Seed and Plant Production Journa*, 28(2), 257–259.

Wricke, G. (1962). On a method of understanding the biological diversity in field research. Z. *Pflanzenzucht,* 47(1), 92-96.

Zali, H., & Pour-Aboughadareh, A. (2023). Identification of superior genotypes of barley for cultivation in the south regions of Fars province using MGIDI, FAI-BLUP indices. *Plant Production*, 46(3), 335–351. https://doi.org/10.22055/ppd.2024.45295.2134. [In Persian]

Zare, M. J., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., & Pour-Aboughadareh, A. (2025). Comparison of Multiple-Trait Selection Indices for Promising Barley Genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 17(3), 1-15. http://dx.doi.org/10.61882/jcb.2024.1552 [In Persian]

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1661]