Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 1, 2025 p: 88-103

OPEN ACCESS

Research Paper

The Genotype × Environment Interaction Effect in Water Deficit in Promising Bread Wheat Genotypes Using the Selection Index Ideal Genotype (SIIG)

Ali Akbar Asadi[1], Ashkboos Amini[2], Mohammad Rezaei Murad Alaa[3], Ali Akbar Mahmoodi Pirahani[4], Taghi Babaei[5] and Adel Ghadiri[6]

1- Assistant Professor, Department of Seed and Plant Improvement Research, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran, (Corresponding author: asadipm@gmail.com)
2- Associate Professor, Institute of Seed and Plant Improvement, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Iran
3- Assistant Professor, Department of Seed and Plant Improvement Research, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran
4- Scientific Member, Department of Seed and Plant Improvement, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
5- Researcher, Department of Seed and Plant Improvement, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran
6- Assistant professor, Department of Seed and Plant Improvement, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran

Received:11 April, 2024 Revised: 17 August, 2024 Accepted: 30 September, 2024

Extended Abstract

Background: Considering that a major part of Iran is part of arid and semi-arid regions, obtaining stable genotypes with good yield stability is one of the ways to deal with drought stress. Due to the genotype × environment interaction effect, however, it is difficult to identify cultivars and genotypes that have good stability and acceptable yields in various environmental conditions. Many methods are known to determine the genotype × environment interaction effect to identify stable cultivars, which are divided into two univariate (parametric and non-parametric) and multivariate groups. 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 bread wheat genotypes with high yields and suitable stability in the water deficit conditions in the cold climate of Iran using various univariate and multivariate stability analysis methods.

Methods: Fourteen wheat genotypes along with Mihan, Heydari, Zarineh, and Zare cultivars (18 genotypes) were investigated under water deficit conditions in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in the research stations of Karaj, Mashhad, Miandoab, Arak, and Zanjan in crop years 2020-2022. The stability of genotypes was examined using some parametric and non-parametric univariate methods, AMMI multivariate analysis, and AMMI analysis parameters. Moreover, parametric and non-parametric univariate methods and AMMI stability parameters were integrated using the selection index ideal genotype (SIIG).

Results: The location, genotype, year × place, and genotype × year × place interaction effect at 1% and the genotype × place interaction effect were significant at a 5% probability level. The main effect of the environment, the genotype × environment the interaction effect, and the main effect of the genotype explained 43.61%, 22.92%, and 8.03% of the sum of squares of the experiment, respectively. In parametric methods, G17, G5, G13, and G1 genotypes based on the regression coefficient of Finley and Wilkinson, G9, G7, and G1 genotypes based on the variance of deviation from the regression line, G9, G1, G7, G17, and G4 genotypes based on Wrick's equivalence indices and Shokla stability variance, G9, G1, G17, G4, and G7 genotypes based on Plaisted and Peterson's method, G9, G1, G17, and G4 genotypes based on Plaisted's method, and G9, G1, G7, and G4 genotypes based on Kang's total rank method were known as stable genotypes. In non-parametric methods, G9, G15, and G7 genotypes based on Si(1) and Si(2), G9 and G1 genotypes based on Si(3) nd Si(6), G9, G1, and G7genotypes based on NP(1), G3, G9, G17, and G1 genotypes based on NP(2) statistics, and G9 and G1 genotypes based on NP(3) and NP(4) statistics were regarded as stable genotypes. In AMMI analysis, the first and second components showed the largest contribution (57.8%) in explaining the genotype × environment interaction effect according to the significance of the six main components from the first to the sixth. Based on the AMMI1 biplot, G9 and G17 genotypes, and Zanjan1 and Arak2 environments were recognized as the most stable genotypes and environments due to higher than average grain

Copyright ©2025 Asadi 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 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

yield and very low value of the first component. Based on the AMMI2 biplot, a specific genotype cannot be introduced as a genotype with high general compatibility due to its lack of proximity to the coordinate origin. However, G9 and G17 genotypes showed somewhat better general compatibility than the others, and they could be recommended because of their higher yields than the average. Genotypes G18, G17, G15, G9, and G16 based on ASV, G9, G1, G7, G4, and G17 genotypes based on WAAS, G9, 33, G1, and G17 genotypes based on SIPC, G9, G15, and G17 genotypes based on ZA, G9, G1, G3, and G7 genotypes based on EV, G9 and G1 genotypes based on ASTB, G17, G18, G15, G9, and G16 genotypes based on ASI, G9, G1, G17, and G7 genotypes based on FA, G9, G3, G1, and G7 genotypes based on DZ, G9, G1, and G7 genotypes based on DA, G9, G17, G18, and G16 genotypes based on MASI, G9, G1, and G4 genotypes based on MASV, and G9, G1, and G7 genotypes based on the AVAMGE index were selected as the most stable genotypes.

Conclusion: Based on the SIIG index in both univariate and multivariate methods, genotypes G9, G1, and G17 have the closest value to one, and these genotypes produced yields above the average; therefore, they were selected as the most stable genotypes. Furthermore, the use of the SIIG index in both univariate and multivariate methods showed somewhat the same results; therefore, it is better to use this general index to summarize all the information obtained from different methods.

Keywords: Drought stress, SIIG selection index, Stability

How to Cite This Article: Asadi, A., Ashkboos, A., Mohammad Rezaei, M., Mahmoodi Pirahani, A., Babaei, T., & Ghadiri, A. (2025). The Genotype × Environment Interaction Effect in Water Deficit in Promising Bread Wheat Genotypes Using the Selection Index Ideal Genotype (SIIG). *J Crop Breed,* 17(1), 88-103. DOI: 10.61186/jcb.17.1.88

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در شرایط تنش کمبود آب انتهای فصل در ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل SIIG[1]

علی اکبر اسدی[۱]، اشکبوس امینی[۲]، محمد رضایی مراد اعلی[۳]، علی اکبر محمودی پیراهنی[۴]، تقی بابایی[۵] و عادل غدیری[۶]

۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، (نویسنده مسوول: asadipm@gmail.com)

۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۴- عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۵- محقق، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

۶- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۳ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

صفحه ۸۸ تا ۱۰۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد دستیابی به ژنوتیپ‌های پایدار دارای ثبات عملکردی خوب یکی از روش‌های مقابله با تنش خشکی می‌باشد. با این‌حال به‌دلیل وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، شناسایی ارقام و ژنوتیپ‌هایی که در شرایط متنوع و مختلف محیطی دارای پایداری مطلوب و عملکرد قابل قبول باشند امر پیچیده‌ای است. روش‌های زیادی جهت تعیین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای شناسایی ارقام پایدار شناخته شده است که به دو گروه تک متغیره (پارامتری و ناپارامتری) و چند متغیره تقسیم می‌شوند. هر یک از این روش‌ها جنبه‌های مختلفی از پایداری ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهند و یک روش به‌تنهایی نمی‌تواند عملکرد یک ژنوتیپ را در محیط‌های مختلف از جنبه‌های مختلف پایداری بررسی کند. هدف از این تحقیق، انتخاب ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان با عملکرد بالا و پایداری مناسب در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم سرد کشور با استفاده از روش‌های گوناگون تجزیه پایداری تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و چند متغیره بود.

مواد و روش‌ها: ۱۴ ژنوتیپ گندم آبی به همراه ارقام شاهد میهن، حیدری، زرینه و زارع (۱۸ ژنوتیپ) در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، مشهد، میاندوآب، اراک و زنجان در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها، از روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری، تجزیه چند متغیره AMMI و پارامترهای تجزیه AMMI استفاده شد. همچنین به منظور ادغام روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری و پارامترهای پایداری AMMI از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب SIIG استفاده شد.

یافته‌ها: اثر مکان، اثر متقابل سال × مکان، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل سه‌گانه ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند. اثر اصلی محیط ۶۱/۴۳ درصد، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۲۲/۹۲ درصد و اثر اصلی ژنوتیپ ۸/۰۳ درصد، از مجموع مربعات کل آزمایش را تبیین کردند. در روش‌های پارامتری، براساس ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون ژنوتیپ‌های G17، G5، G13 و G1، براساس واریانس انحراف از خط رگرسیون ژنوتیپ‌های G9، G7، G1، براساس دو شاخص اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا ژنوتیپ‌های G9، G1، G7، G17 و G4، براساس روش پلستد و پترسون ژنوتیپ‌های G9، G1، G17، G4 و G7، براساس روش پلستد ژنوتیپ‌های G9، G1، G17 و G4 و براساس روش مجموع رتبه کانگ ژنوتیپ‌های G9، G1، G7 و G4 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. در روش‌های ناپارامتری، بر اساس آماره‌های Si(1) و Si(2) ژنوتیپ‌های G9، G15 و G7 و بر اساس آماره‌های Si(3) و Si(6) ژنوتیپ‌های G9، G1، براساس آماره NP(1) ژنوتیپ‌های G9، G1 و G7، براساس آماره NP(2) ژنوتیپ‌های G3، G9، G17 و G1 و براساس آماره‌های NP(3) و NP(4) نیز ژنوتیپ‌های G9 و G1 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. در تجزیه AMMI، با توجه به معنی‌دار شدن شش مؤلفه اصلی اول تا ششم ،دو مؤلفه اول و دوم بیشترین سهم (۵۷/۸٪) را در تبیین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان دادند. براساس بای‌پلات AMMI1، ژنوتیپ‌های G9 و G17 و در بین محیط‌ها، محیط‌های زنجان ۱ و اراک ۲ به‌دلیل داشتن عملکرد دانه بالاتر از میانگین و مقدار بسیار پایین مؤلفه اول به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها شناخته شدند. براساس بای‌پلات AMMI2 ژنوتیپ خاصی را به‌دلیل عدم نزدیکی به مبدأ مختصات نمی‌توان به‌عنوان ژنوتیپی با سازگاری عمومی بالا معرفی کرد. بااین‌حال ژنوتیپ‌های G9 و G17 تا حدودی نسبت به بقیه سازگاری عمومی بهتری را نشان دادند و چون عملکرد بالاتری نسبت به میانگین داشتند قابل توصیه بودند. برمبنای شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های G18، G17، G15، G9 و G16، برمبنای شاخص WAAS ژنوتیپ‌های G9، G1، G7، G4 و G17، براساس شاخص SIPC ژنوتیپ‌های G9، 33، G1 و G17، براساس شاخص ZA ژنوتیپ‌های G9، G15 و G17، براساس شاخص EV ژنوتیپ‌های G9، G1، G3 و G7، براساس شاخص ASTB ژنوتیپ‌های G9 و G1، براساس شاخص ASI ژنوتیپ‌های G17، G18، G15، G9 و G16، براساس شاخص FA ژنوتیپ‌های G9، G1، G17 و G7، براساس شاخص DZ ژنوتیپ‌های G9، G3، G1 و G7، براساس شاخص DA ژنوتیپ‌های G9، G1 و G7، براساس شاخص MASI ژنوتیپ‌های G9، G17، G18 و G16، براساس شاخص MASV ژنوتیپ‌های G9، G1 و G4 و براساس شاخص AVAMGE ژنوتیپ‌های G9، G1 و G7 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری براساس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال (شاخص SIIG) در هر دو روش تک متغیره و چند متغیره، ژنوتیپ‌های G9، G1 و G17 دارای نزدیک‌ترین مقدار به عدد یک بوده و هرسه این ژنوتیپ‌ها نیز عملکردی بالاتر از میانگین داشتند؛ بنابراین به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. همچنین استفاده از شاخص SIIG در هر دو روش تک‌متغیره و چند متغیره تا حدودی نتایج یکسانی را نشان داد؛ بنابراین بهتر است که از این شاخص کلی جهت جمع‌بندی تمامی اطلاعات حاصل از روش‌های مختلف استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، تنش خشکی، شاخص گزینش SIIG

1- Selection Index Ideal Genotype

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

مقدمه

تولید و اصلاح ارقام جدید با عملکرد بالا و پایدار و دارای ویژگی‌های زراعی مهم مانند زودرسی، تحمل به خوابیدگی و مقاوم به بیماری‌های مهم ضروری است. یک ژنوتیپ معمولاً در محیط‌های مختلف از لحاظ عملکرد واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهد به‌طوری‌که رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر تغییر می‌کند. این تغییرات که در نتیجه اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط ایجاد می‌شود تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط شناخته می‌شود (Najafi Mirak *et al*., 2018). با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد دستیابی به ژنوتیپ‌های پایدار دارای ثبات عملکردی خوب یکی از روش‌های مقابله با تنش خشکی می‌باشد ولی به‌دلیل وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، شناسایی ارقام و لاین‌هایی که در شرایط متنوع و مختلف محیطی دارای پایداری مطلوب و عملکرد قابل قبول باشند امر پیچیده‌ای است (Najafi Mirak *et al*., 2019).

روش‌های زیادی به‌منظور تعیین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای شناسایی ارقام پایدار شناخته شده است. هریک از این روش‌ها جنبه‌های مختلفی از پایداری ارقام را نشان می‌دهند و یک روش به‌تنهایی نمی‌تواند عملکرد یک ژنوتیپ را در محیط‌های مختلف از جنبه‌های مختلف پایداری بررسی کند. گاهی این تنوع روش‌ها باعث ابهام در استفاده از روش‌های تعیین پایداری می‌شود، ولی هنوز روشی که مورد توافق همه محققان باشد، گزارش نشده است. با افزایش تعداد روش‌های آماری، مشکل انتخاب بهترین آن‌ها به‌منظور تجزیه پایداری ارقام پیش می‌آید. انتخاب یک مدل آماری صحیح برای یک آزمایش خاص، مانند تجزیه پایداری باید بر اساس مهارت در روش‌های آماری، نوع گیاه، شرایط اقلیمی و نیز موضوع آزمایش انجام گیرد و اطلاع کامل از هریک از موضوعات مذکور به‌تنهایی کافی نیست. از طرف دیگر وقت و هزینه نسبتاً زیادی که در جریان اصلاح یک رقم صرف می‌شود ایجاب می‌کند که به‌نژادگر ضمن آشنایی با روش‌های مختلف تجزیه پایداری و اطلاع کامل از معایب و محاسن هرکدام، بهترین روش را به‌کار گیرد تا رقم یا ارقامی که کمترین اثر متقابل با محیط را دارا هستند و در عین‌حال دارای عملکرد بالایی می‌باشند، انتخاب و در صورت وجود سازگاری خصوصی ارقام معینی را برای مناطق مشخص، معرفی نماید.

روش‌های تجزیه پایداری به دو گروه تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند. در روش‌های تک متغیره پاسخ ژنوتیپ به محیط از طریق محاسبه یک شاخص پایداری توجیه می‌شود و خود به دو زیرگروه روش‌های پارامتری و ناپارامتری قابل تفکیک است. روش‌های پارامتری، روش‌های آماری مرسومی هستند که با مشخص بودن توزیع احتمال یک متغیر تصادفی در مورد ویژگی‌های جامعه مورد بررسی، برآوردهایی مانند میانگین، واریانس، انحراف معیار، دامنه تغییرات و چندین برآورد دیگر را انجام می‌دهند. در کل وقتی که توزیع متغیرهای مورد مطالعه مشخص باشد می‌توان پارامترهای جامعه را استنباط کرد (Karimizadeh *et al*., 2019). از معایب این روش‌ها می‌توان به داشتن مفروضات اولیه‌ای مانند نرمال بودن داده‌ها، همگنی واریانس باقیمانده‌ها، عدم وجود داده‌های پرت و جمع‌پذیر بودن اثرات اصلی اشاره کرد که در صورت نبود هریک از این شرایط تفسیر این روش‌ها از نظر آماری معتبر نبوده و بنابراین نمی‌توان از این روش‌ها برای هر سری از داده‌ها استفاده کرد (Karimizadeh *et al*., 2019). روش‌های پارامتری پایداری خود به دو روش تجزیه پایداری مبتنی بر تجزیه واریانس و تجزیه پایداری مبتنی بر تجزیه رگرسیون تقسیم می‌شوند (Farshadfar, 1998). از جمله روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس می‌توان به دو روش اکووالانس ریک (Wricke, 1962) و روش واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) و از روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون می‌توان به فینلی و ویلکینسون (Finlay & Wilkinson, 1963)، ابرهارت و راسل (Eberhart & Russell, 1966) و پرکینز و جینکز (Perkins & Jinks, 1968) اشاره کرد. در روش‌های ناپارامتری عملکرد ژنوتیپ‌ها و ارقام در هر محیط، رتبه‌بندی شده و ژنوتیپی پایدار محسوب می‌شود که در کلیه محیط‌ها رتبه پایینی داشته باشد. از محاسن روش‌های ناپارامتری در مقایسه با روش‌های پارامتری می‌توان به عدم نیاز به توزیع نرمال داده‌ها و مستقل بودن داده‌ها یا یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی اشاره کرد، همچنین این روش‌ها حساسیت کمتری در مقایسه با روش‌های پارامتری نسبت به خطا یا داده‌های پرت دارند، اضافه یا حذف نمودن یک یا تعداد کمی از ژنوتیپ‌ها بر شاخص پایداری بی‌تاثیر است، همچنین تفسیر معیارهای ناپارامتری راحت‌تر از معیارهای پارامتری است (Helms, 1993). از معایب این روش‌ها می‌توان به مشخص نشدن اختلافات نسبی عملکرد ژنوتیپ‌ها اشاره کرد (Abyar *et al*., 2021). از روش‌های پارامتری و ناپارامتری جهت مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در گندم نان (Abyar *et al*., 2021; Zarei *et al*., 2012; Akcura *et al*., 2006)، گندم دوروم (Mohammadi *et al*., 2009; Jahromi *et al*., 2011; Karimizade *et al*., 2019) و جو (Khalili & Pour Aboghadareh, 2016; Vaezi *et al*., 2017) اشاره کرد. از روش‌های چند متغیره پارامتری می‌توان به‌روش AMMI اشاره کرد که آثار جمع‌پذیر ژنوتیپ، محیط و آثار ضرب پذیر ژنوتیپ× محیط را توجیه نموده و تفسیر خوبی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ارائه می‌نماید (Ebdon & Gauch, 2002). در مدل AMMI ابتدا با استفاده از تجزیه واریانس معمولی آثار اصلی ژنوتیپ و محیط برآورد می‌شود که به آن‌ها اثرات اصلی جمع‌پذیر یا افزایشی گفته می‌شود. سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط که به اثرات متقابل ضرب‌پذیر معروف است، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (Gauch, 1992). محققین مختلفی از تجزیه AMMI در مطالعات پایداری و سازگاری گندم نان (Karimizadeh *et al*., 2011; Najafian *et al*., 2010; Amini *et al*., 2023)، گندم دوروم (Karimizadeh *et al*., 2012; Mohammadi *et al*., 2009) و جو (Mortazavian *et al*., 2014; Vaezi *et al*., 2017) استفاده کرده‌اند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

در آزمایش‌های بررسی ارقام در چند مکان و چند زمان، هدف اصلی، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با میانگین عملکرد بالاتر از ارقام موجود است که علاوه بر عملکرد بالا از پایداری مناسبی نیز برخوردار باشند. نتایج روش‌های مختلف تجزیه پایداری، متفاوت و گاهی در تضاد با یکدیگر هستند که موجب پیچیده شدن فرآیند گزینش ژنوتیپ‌های برتر می‌شود. به‌همین دلیل، شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌ال (SIIG) معرفی شده است که از تجمیع نتایج سایر شاخص‌ها و پارامترها به‌دست می‌آید. مقدار این شاخص در محدوده صفر و یک متغیر است به‌طوری‌که ژنوتیپ‌هایی با شاخص نزدیک به یک، برتر در نظر گرفته می‌شوند (Zali *et al*., 2015). از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال در گندم نان (Tahmasebi *et al*., 2018)، گندم دوروم (Karimizadeh *et al*., 2021) و جو (Zali & Barati, 2020) استفاده شده است. با در نظر گرفتن اینکه شناسایی ارقام اصلاح شده با پایداری مناسب و عملکرد بالا، نیازمند صرف زمان و بودجه زیادی می‌باشد، باید دقت زیادی در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر صرف شود. هدف اصلی این بررسی، غربالگری ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان جهت شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و همزمان با پایداری مناسب در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم سرد کشور بود. در این راستا، از روش‌های گوناگون تجزیه پایداری تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و چند متغیره AMMI جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تحقیقاتی که در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ به اجرا درآمد، تعداد ۱۴ لاین گندم آبی (منتخب آزمایشات مقایسه عملکرد پیشرفته سراسری اجرا شده در موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ که دارای تیپ رشد زمستانه و بینابین (Facultative) بودند، به‌همراه ارقام شاهد میهن، حیدری، زرینه و زارع (جمعاً به تعداد ۱۸ ژنوتیپ) در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، مشهد، میاندوآب، اراک و زنجان مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، دو بار ماله عمود بر هم، کودپاشی و ایجاد فارو (عرض ۶۰ سانتی‌متر) بود. کود پتاس از منبع سولفات پتاس، کود فسفره از منبع فسفات آمونیم به‌صورت پایه و کود ازته از منبع اوره در دو نوبت پایه و سرک به مصرف رسید. هر ژنوتیپ در یک کرت به مساحت ۶ مترمربع کشت گردید. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در مترمربع و با در نظر گرفتن وزن هزاردانه برای هر ژنوتیپ تعیین گردید. بذور آزمایشی قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت ۲ در هزار ضدعفونی گردیدند. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک برگ مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر به‌ترتیب به‌مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه رفتن استفاده گردید. بقیه عملیات زراعی در ایستگاه‌های مختلف تا حدود زیادی یکسان انجام شد.

پس از تعیین عملکرد دانه هر ژنوتیپ، تجزیه واریانس ساده در هر سال و هر مکان انجام شد. پس از انجام آزمون‌های بارتلت و $F_{max\ Hartlley}$ جهت بررسی همگنی واریانس‌ها و اثبات یکنواختی واریانس خطاها، تجزیه واریانس مرکب بر روی عملکرد دانه انجام گرفت. آزمون F منابع تغییر بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات و با فرض تصادفی بودن سال‌ها و مکان‌ها (محیط‌ها) و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها انجام شد. برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها، از برخی روش‌های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و تجزیه چند متغیره AMMI استفاده شد. برای تعیین سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها از روش‌های مختلف تک متغیره (روش‌های پارامتری و ناپارامتری) شامل واریانس محیطی رومر (Romer, 1917)، اکووالانس ریک (Wricke, 1962)، روش رگرسیون فینلی و ویلکینسون (Finlay & Wilkinson, 1963)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ (Francis & Kannenberg, 1978)، واریانس انحراف از رگرسیون ابرهارت و راسل (Eberhart & Russel, 1966)، مجموع رتبه کانگ (Kang, 1988)، آماره پلاستد و پترسون(Plaisted & Peterson, 1959)، آماره پلاستد (Plaisted, 1960)، آماره‌های ناپارامتریک تنارازو (Thennarasu, 1995)، آماره‌های ناپارامتریک هیون (Huehn, 1990) و در انتها از روش چند متغیره AMMI استفاده شد. ضمن انجام تجزیه واریانس AMMI، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط، استخراج و با ترسیم بای‌پلات‌های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین شد (Rodriguez *et al*., 2007). همچنین پس از انجام تجزیه AMMI، پارامترهای پایداری AMMI شامل آماره پایداری AMMI، (ASV) (Purchase *et al*., 2000)، شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS) (Olivoto & Lúcio, 2020)، مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه (SIPC) (Sneller *et al*., 1997)، مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI (EV) (Zobel *et al*., 1988)، قدر مطلق سهم نسبی IPC در اثر متقابل (ZA) (Zali *et al*., 2012) پارامتر پایداری مبتنی بر AMMI (ASTB) (Rao & Prabhakaran, 2005)، شاخص پایداری AMMI (ASI) (Jambhulkar *et al*., 2014)، مقیاس پایداری مبتنی بر مدل AMMI برازش شده (FA) (Raju, 2002)، پارامتر D ژانگ (DZ) ()، پارامتر D آنیچیاریکو (DA) (Annicchiarico, 1997)، شاخص پایداری AMMI تعدیل‌شده (MASI) (Ajay *et al*., 2018)، ارزش پایداری AMMI تعدیل‌شده (MASV) (Zali *et al*., 2012) و درنهایت مجموع محیط‌های GEI مطلق مدل‌سازی شده توسط AMMI (AVAMGE) (Zali *et al*., 2012) محاسبه شد. در نهایت جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار به‌منظور ادغام روش‌های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری از یک طرف و ادغام پارامترهای پایداری AMMI از طرف دیگر از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب SIIG استفاده شد (Zali *et al*., 2015). از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب برترین ژنوتیپ‌ها و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آنها استفاده نمود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

از ویژگی‌های این روش این است که برای محاسبه آن می‌توان از شاخص‌های مختلف، صفات مورفولوژیک، صفات فیزیولوژیک و ... استفاده نمود و کارایی انتخاب را افزایش داد. از آن‌جایی‌که ممکن است هر ژنوتیپی از نظر یک شاخص یا صفتی برتر باشد و در نهایت با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، ممکن است انتخاب ژنوتیپ مناسب دشوار شود، به‌کمک این روش، تمام شاخص‌ها و صفات به‌صورت یک شاخص واحد درآمده و رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به‌کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (Zali & Barati, 2020; Zali *et al*., 2016). برای تجزیه مرکب داده‌ها و آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی از نرم‌افزار SAS، برای برآورد پارامترهای پایداری از برنامه اینترنتی آنلاین STABILITYSOFT (Pour-Aboughadareh *et al*., 2019) و نرم‌افزار EXCEL و برای تجزیه AMMI از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی با نام Metan (Multi environmenttrail analysis) در نرم‌افزار R انجام شد (Olivoto & Lúcio, 2020).

جدول ۱- ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی و شجره آن‌ها در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور

Table 1. Wheat genotypes investigated and pedigrees in different cold climate regions of the country

Ent.no.	Pedigree
G1	Mihan
G2	Heydari
G3	Zarrineh
G4	Zareh
G5	Alvd/4/Ghk"s/"Bow"s۹۰//"Zhong87/3/Shiroodi
G6	Alvd/4/Ghk"s/"Bow"s۹۰//"Zhong87/3/Shiroodi
G7	Charger//CMH80A.768/3*Cno79/3/Zrn
G8	Charger//CMH80A.768/3*Cno79/3/Zrn
G9	Spb"s"//K1349/Go/3/Vee"s"/4/Bkt/90-Zhong 87
G10	Shahpasand/Norman
G11	Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi
G12	Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi
G13	Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi
G14	Spb"s"//K1349/Go/3/Vee"s"/4/Bkt/90-Zhong 87
G15	AU/3/MINN//HK/38MA/4/YMH/ERA/5/PMF//CNO/GLL/6/KAUZ//ALTAR 84/AOS/7/TAM 105/3/NE70654/BBY//BOW"S"/4/Century*3/TA2450
G16	GRK79/TUKURU
G17	MV NEMERE
G18	ARS97135-9/O3A-B4//KS06O3A~49

نتایج و بحث

جهت بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون‌های بارتلت و $F_{max\ Hartly}$ ارزیابی گردید (جدول ۲). این آماره‌ها با استفاده از واریانس خطاهای آزمایشی محاسبه شده برای عملکرد در دو سال و در ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. با توجه به معنی‌دار بودن آزمون بارتلت و غیر معنی‌دار بودن آزمون $F_{max\ Hartly}$ می‌توان یکنواختی واریانس‌های درون تیماری را استنباط کرد. لازم به ذکر است که جهت آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی بهتر است از چند آزمون برای تست غیریکنواختی واریانس‌ها استفاده کرد و در صورت معنی‌دار نبودن حتی یکی از روش‌ها، یکنواختی واریانس‌های خطاهای آزمایشی مورد قبول واقع شود (Valizadeh & Moghadam, 2010).

جدول ۲- واریانس خطای آزمایشی در مکانهای مورد بررسی در دو سال زراعی و آزمون‌های Fmax هارتلی و بارتلت برای ارزیابی یکنواختی واریانس‌ها

Table 2. Variance of experimental errors in different place in two crop years and Fmax Hartley and Bartlett's tests to evaluate the uniformity of variances

	میانگین مربعات خطای آزمایشی				
	کرج	زنجان	اراک	میاندوآب	مشهد
سال اول	0.2286	0.2309	0.2178	0.2679	0.1554
سال دوم	0.182	0.1311	0.2622	0.1719	0.1629
	$F_{max\ Hartley} = 2.043^{ns}$ Bartlets test= 58.82**				

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

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

تجزیه واریانس

تجزیه واریانس مرکب بر روی داده‌های حاصل از ۵ مکان در دو سال انجام شد. تجزیه واریانس و آزمون F براساس امید ریاضی میانگین مربعات با فرض تصادفی بودن سال و مکان و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها انجام شد. اثر مکان، اثر متقابل سال × مکان، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل سه‌گانه ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. این امر دلیل بر وجود اختلاف شرایط محیطی در مناطق و سال‌های مورد آزمایش بود (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر متقابل سال × مکان تأثیر زیاد این اثر را در معنی‌دار شدن اثر متقابل سه‌گانه نشان می‌دهد. معنی‌دار شدن اثر سه‌گانه ژنوتیپ × مکان × سال (محیط) نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به‌عبارت دیگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر متفاوت بوده و پایداری عملکرد دانه می‌تواند مورد ارزیابی قرارگیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

به‌طورمعمول 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 اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (مجموع اثرات دوگانه و سه‌گانه) به‌ترتیب با ۶۱/۴۳ و ۲۲/۹۲ درصد بیشترین سهم را در مجموع مربعات کل واریانس مشاهده شده در آزمایشات داشتند (جدول ۳). در کل وقتی اثر محیط زیاد و اثر متقابل 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 می‌دهد که نشان‌دهنده متنوع بودن محیط‌های آزمایش است. با توجه به معنی‌دار بودن اثر اصلی ژنوتیپ، سهم اندک ژنوتیپ درمجموع مربعات کل (۸/۰۳ درصد) را می‌توان به انتخاب مؤثر این ژنوتیپ‌ها در آزمایشات مقدماتی در برنامه‌های اصلاحی انجام شده نسبت داد (Golkari *et al*., 2016). ژنوتیپ‌های G5، G9، G1، G12 و G17 به‌ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های G14، G11، G13 و G15 کمترین مقدار عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بودند. 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. در ارتباط با معنی‌دار شدن اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه علاوه‌بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، تفاوت واکنش آن‌ها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم مؤثر بوده است؛ بنابراین صرفاً بر اساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نمی‌توان ژنوتیپ با عملکرد بیشتر را به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب پایدار تعیین کرد، بلکه باید تجزیه پایداری انجام شود تا ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط منطقه که ضمن داشتن عملکرد دانه بالا، نوسانات عملکرد آن‌ها نیز در سال‌های مختلف کمتر باشد، شناسایی شوند. بنابراین جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر تجزیه پایداری عملکرد دانه با روش‌های پارامتری و ناپارامتری و تجزیه AMMI انجام شد تا ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار شناسایی شوند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد لاین‌های امیدبخش گندم در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دو سال در اقلیم سرد کشور در شرایط خشکی انتهای فصل

Table 3. The results of composite variance analysis of yield of promising wheat lines in the studied stations during two years in the cold climate of the country in water deficit conditions.

Source منابع تغییر		DF درجه آزادی	Sum of Square مجموع مربعات	Mean Square میانگین مربعات	Percentage of Sum of Square درصد مجموع مربعات
year	سال	1	0.3	0.3	0.03
location	مکان	4	349.37	87.34**	36.69
year×location	سال ×مکان	4	235.28	58.82**	24.71
block(year×location)	بلوک (سال × مکان)	20	4.25	0.21	0.45
Genotype	ژنوتیپ	17	76.47	4.49**	8.03
Year× Genotype	ژنوتیپ ×سال	17	17.99	1.06	1.89
location× Genotype	ژنوتیپ ×مکان	68	124.09	1.82*	13.03
year×location× Genotype	ژنوتیپ ×سال ×مکان	68	76.17	1.12**	8.00
Error	خطا	340	68.38	0.2	7.18
Total	کل	539	952.31		
CV%	ضریب تغییرات٪			8.67%	

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

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

تجزیه پایداری

تجزیه پایداری براساس روش‌های پارامتری و ناپارمتری (جدول ۴) نشان داد که براساس ضریب رگرسیون خطی فینلی و ویلکینسون (Finaly & Wilkinson, 1963) ژنوتیپ‌های G17، G5، G13 و G1 دارای ضریب رگرسیون نزدیک به یک بودند که به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بیشترین و کمترین ضریب رگرسیون نیز به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G8 و G14 بود که به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها مطرح شدند. فینلی و ویلکینسون (Finaly & Wilkinson, 1963) اظهار داشتند که ضریب رگرسیون هر ژنوتیپ وابسته به سایر ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش است بنابراین ضریب رگرسیون به تنهایی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نیست و نمی‌تواند به عنوان یک معیار پایداری عمومی در نظر گرفته‌شود. واریانس انحراف از خط رگرسیون S_{di}^2 سهم هر ژنوتیپ را در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان می‌دهد. بنابراین اگر ژنوتیپی دارای انحراف از خط رگرسیون صفر یا حداقل باشد آن ژنوتیپ پایدار است (Soughi *et al*., 2009). براین اساس ژنوتیپ‌های G9، G7، G1 و تا حدودی G17 و G18 دارای کمترین میزان انحراف از خط رگرسیون بودند. بقیه ژنوتیپ‌ها انحراف از خط رگرسیون بالاتری را نشان دادند. دشتکی و همکاران (Dashtaki *et al*., 2004). در بررسی پایداری ۲۰ ژنوتیپ گندم با استفاده از تجزیه رگرسیون به علت معنی‌دار نبودن واریانس انحرافات از خط رگرسیون و قرارگیری اکثر ژنوتیپ‌ها در حول خط رگرسیون، از این دو پارامتر نتوانستند برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کنند. براساس دو شاخص اکووالانس ریک (Wricke, 1962) و واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) ژنوتیپ های G9، G1، G7، G17 و G4 در محیط‌های مورد بررسی دارای اکووالانس و واریانس کمتر بودند و به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. به دلیل این که واریانس پایداری شوکلا ترکیبی خطی از اکووالانس است این دو شاخص از نظر رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها دارای ارزش یکسان هستند بنابراین یکسان بودن نتایج حاصل از این دو روش دور از انتظار نیست. روستایی و همکاران (Roustaie *et al*., 1996) با مقایسه روش‌های مختلف پایداری برای انتخاب ارقام پایدار و

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

پرمحصول جو نشان دادند که دو شاخص واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک جهت انتخاب ارقام پرمحصول در شرایط دیم بسیار مناسب می‌باشند. این دو روش بیشتر تاکید بر اثرمتقابل ژنوتیپ×محیط دارند به همین دلیل منجر به انتخاب ارقام پایدار و پرمحصول می‌شوند. در بررسی خصوصیات زراعی و پایداری عملکرد یازده ژنوتیپ برنج با استفاده از روش واریانس پایداری شوکلا، سه ژنوتیپ پایدار و سازگار شناسایی و معرفی شد (Ramezani, 2012). ژنوتیپ‌های G7، G18 و G6 دارای کمترین مقدار ضریب تغییرات بودند. برخی پژوهش‌گران در بررسی‌های خود در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از ضریب تغییرات محیطی و واریانس درون مکانی استفاده کرده و اظهار داشتند که این دو روش بیانگر پایداری بیولوژیک بوده و به دلیل وراثت‌پذیر بودن می‌توانند به عنوان معیارهای مناسب برای انتخاب ارقام پایدار مورد استفاده قرار گیرند (Zaifizadeh *et al*., 1996; Soughi *et al*., 2009; Vaezi & Ahmadi, 2010). در روش پلستد و پترسون(Plaisted & Peterson, 1959)، ژنوتیپ های G9، G1، G17، G4 و G7 به عنوان ژنوتیپ های برتر از نظر پایداری انتخاب شدند؛ زیرا از مقادیر پایین θi برخوردار بودند. به‌دین معنی که این ژنوتیپ‌ها سهم کمتری در اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط داشتند. ولی به دلیل پایین بودن عملکرد ژنوتیپ G7 از میانگین کل عملکرد فقط ژنوتیپ‌های G9، G1، G17 و G4 که دارای میانگین عملکرد بالاتری بودند، به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. در روش پلستد (Plaisted, 1960)، اگر واریانس اثر متقابل باقیمانده $\theta_{(i)}$ در ژنوتیپی دارای مقادیر زیادی باشد نشان‌دهنده سهم اندک آن ژنوتیپ در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ در محیط است بنابراین این ژنوتیپ پایدار است، بنابراین ژنوتیپ‌های G9، G7، G1، G17 و G4 به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی که سهم کمتری در ایجاد اثر متقابل داشتند انتخاب شدند؛ اما به دلیل پایین بودن میانگین عملکرد ژنوتیپ G7 از میانگین کل عملکرد، ژنوتیپ‌های G9، G1، G17 و G4 که دارای عملکرد مطلوبی بودند به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. آماره‌های ناپارامتری پایداری مورد مطالعه برای انتخاب لاین‌های پایدار گندم براساس معیارهای پیشنهادی هیون (Huehn, 1990)، تنارازو (Thennarasu, 1995) و مجموع رتبه کانگ در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس روش مجموع رتبه کانگ (Kang, 1988)، ژنوتیپ‌های دارای کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته می‌شوند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G9، G1، G7 و G4 به‌ترتیب با کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. محققین مختلفی با استفاده از روش‌های ناپارامتری جهت تعیین ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا روش مجموع مربعات کانگ را به‌عنوان بهترین روش معرفی کردند (Sabaghnia *et al*., 2006; Roustaie *et al*., 2003; Ebadi Segherloo *et al*., 2008).

هیون (Huehn, 1990) و ناصار و هیون (Nassar & Huehn, 1987) چهار آمار ناپارامتریک را پیشنهاد کردند: Si(1) یا میانگین اختلاف رتبه مطلق یک ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایش شده، Si(2) یا واریانس بین رتبه‌های کلی محیط‌های آزمایش شده، Si(3) یا مجموع انحرافات مطلق برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها و Si(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 باشد، ژنوتیپ‌ها پایدار در نظر گرفته می‌شوند. کمترین مقدار برای هریک از این آماره‌ها نشان دهنده پایداری بالا برای یک ژنوتیپ خاص است. بر اساس آماره‌های Si(1) و Si(2) ژنوتیپ‌های G9، G15 و G7 و بر اساس آماره‌های Si(3) و Si(6) ژنوتیپ‌های G9، G1 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند و بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. NP(1) تا NP(4) مجموعه‌ای از آماره‌های پایداری ناپارامتری جایگزین هستند که توسط تنارازو (Thennarasu, 1995) تعریف شده‌اند. این پارامترها بر اساس رتبه میانگین‌های تعدیل شده ژنوتیپ‌ها در هر محیط محاسبه می‌شوند. مقادیر پایین این آماره‌ها نیز نشان دهنده ثبات بالای ژنوتیپ‌ها می‌باشد. براساس آماره NP(1) ژنوتیپ‌های G9، G1 و G7، براساس آماره NP(2) ژنوتیپ‌های G3، G9، G17 و G1 و براساس آماره‌های NP(3) و NP(4) نیز ژنوتیپ‌های G9 و G1 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. باید دقت کرد که انتخاب ژنوتیپ‌های برتر توسط برخی از آماره‌های ناپارامتری مانند تنارازو (Thennarasu, 1995) و ناصار و هیون (Nassar & Huehn, 1987) ممکن است منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین شود مانند انتخاب ژنوتیپ G7 توسط آماره های S(1)، S(2) و NP(1). این حالت در مطالعات محققین دیگر نیز مشاهده شده است (Soughi *et al*., 2016; Jamshidimoghadam & Pourdad, 2013). با این‌حال روش‌های ناپارامتری به‌منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار از نظر عملکرد در گندم دوروم (Mohammadi *et al*., 2007)، جو (Vaezi *et al*., 2015)، و گندم نان (Zarei *et al*., 2012) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از پارامترهای غیر پارامتری، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های مطلوب را افزایش می‌دهد. شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب یا SIIG یکی از روش‌های آماری چندمتغیره است که بر اساس مجموعه ای 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 و در نتیجه رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش این است که پارامتر یا پارامترهای‌به‌کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (Najafi Mirak *et al*., 2018). با توجه به شاخص SIIG اندازه‌گیری شده بر مبنای عملکرد و روش‌های تک‌متغیره، ژنوتیپ‌های G9، G1 و G17 دارای نزدیک‌ترین مقدار به عدد یک هستند. هرسه این ژنوتیپ ها نیز عملکردی بالاتر از میانگین داشتند. بنابراین به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

شدند؛ البته ژنوتیپ‌های G7، G3 و G4 نیز در مراحل بعدی قرار داشتند. قرارگیری ژنوتیپ‌های G1، G3 و G4 (ارقام شاهد مورد کشت در این مناطق) با بیشترین مقدار شاخص SIIG در بین ژنوتیپ‌های منتخب نشان از صحت بررسی‌های انجام شده دارد (جدول ۴). شاخص SIIG محاسبه شده با تمامی آماره‌های محاسبه شده در روش‌های تک متغیره دارای همبستگی منفی معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد بود (به‌جز روش پلستد یا واریانس اثر متقابل باقیمانده $\theta_{(i)}$ که همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح یک نشان داد)؛ البته همبستگی این شاخص با عملکرد نیز در سطح یک درصد مثبت بود (جدول ۵).

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه، شاخص‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری در ژنوتیپ‌های امید بخش گندم
Table 4. Average grain yield, parametric and non-parametric stability indices in promising wheat genotypes

Genotype	Y عملکرد	W_i^2 اکووالانس ریک	σ^2_i واریانس پایداری شوکلا	s^2d_i واریانس انحراف از خط رگرسیون	b_i ضریب رگرسیون	CVi ضریب تغییرات	$\theta_{(i)}$ روش پلستد	θ_i روش پلستد و پترسون	*K*R مجموع رتبه کانگ
G1	5.421	1.953	0.214	0.277	0.964	21.299	0.491	0.368	5
G2	5.207	3.648	0.426	0.518	1.048	25.218	0.478	0.467	22
G3	5.296	2.793	0.319	0.390	1.074	24.562	0.485	0.417	15
G4	5.296	2.266	0.254	0.320	0.953	21.871	0.489	0.386	14
G5	5.698	4.970	0.591	0.709	1.021	23.578	0.469	0.545	16
G6	5.394	9.541	1.163	1.091	0.581	20.766	0.435	0.814	23
G7	5.134	2.118	0.235	0.220	0.769	18.304	0.490	0.377	17
G8	5.317	4.003	0.471	0.290	1.426	30.762	0.476	0.488	19
G9	5.678	0.838	0.075	0.108	1.089	21.643	0.499	0.302	3
G10	5.112	2.961	0.340	0.375	1.176	27.355	0.483	0.427	22
G11	4.665	6.934	0.837	0.931	1.196	33.524	0.454	0.660	32
G12	5.408	4.472	0.529	0.568	1.215	27.533	0.472	0.516	18
G13	4.838	4.949	0.589	0.705	1.032	27.974	0.469	0.544	29
G14	4.207	10.221	1.248	1.185	0.578	27.355	0.430	0.854	36
G15	4.518	3.260	0.378	0.442	0.875	24.893	0.481	0.444	27
G16	5.259	3.044	0.351	0.334	1.255	27.917	0.483	0.432	19
G17	5.408	2.043	0.226	0.292	1.003	22.177	0.490	0.373	7
G18	5.159	2.737	0.312	0.291	0.746	18.347	0.485	0.414	18

Genotype	S(1)	S(2)	S(3)	S(6)	NP(1)	NP(2)	NP(3)	NP(4)	SIIG شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب
	آماره‌های ناصر و هیون				آماره‌های تنارازو				
G1	4.556	15.611	12.217	2.522	2.800	0.325	0.318	0.396	0.874
G2	5.622	24.722	23.421	4.316	4.000	0.355	0.522	0.592	0.695
G3	4.467	14.544	13.222	2.747	3.700	0.290	0.450	0.451	0.802
G4	5.133	19.122	16.709	3.786	3.400	0.411	0.360	0.498	0.801
G5	6.000	25.956	19.148	3.443	5.900	0.433	0.534	0.492	0.662
G6	6.889	37.556	28.167	4.000	4.600	0.357	0.488	0.574	0.515
G7	4.156	14.767	16.407	3.383	2.900	0.386	0.485	0.513	0.813
G8	7.089	34.544	30.782	4.851	4.800	0.490	0.533	0.702	0.650
G9	3.133	7.211	4.669	1.540	1.900	0.303	0.172	0.225	0.980
G10	5.956	26.667	26.667	4.222	4.200	0.471	0.543	0.662	0.696
G11	6.089	27.556	35.429	6.571	5.800	1.022	0.911	0.870	0.470
G12	6.844	34.044	26.414	4.379	5.100	0.356	0.505	0.590	0.650
G13	5.644	26.489	36.121	6.545	5.300	1.257	0.925	0.855	0.520
G14	5.778	30.400	57.000	9.083	5.900	4.867	1.374	1.204	0.056
G15	3.578	10.011	19.170	5.617	4.600	1.567	1.077	0.761	0.612
G16	6.111	26.722	25.316	4.211	4.600	0.506	0.592	0.643	0.700
G17	5.067	18.044	14.246	3.088	3.400	0.312	0.372	0.444	0.839
G18	5.844	24.233	25.069	4.552	4.500	0.456	0.600	0.672	0.717

جدول ۵- همبستگی بین آماره‌های پایداری تک متغیره با عملکرد و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال
Table 5. Correlation between univariate stability statistics with yield and ideal genotype selection index

	Y	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	CVi	$\theta_{(i)}$	θ_i	*K*R
Y	1															
S(1)	0.02	1														
S(2)	-0.09	0.98**	1													
S(3)	-0.72**	0. 6**	0.7**	1												
S(6)	-0.88**	0.38	0.48*	0.94**	1											
NP(1)	-0.48*	.68**	0.71**	0.79**	0.77**	1										
NP(2)	-0.81**	0.03	0.17	0.77**	0.83**	0.48*	1									
NP(3)	-0.93**	0.15	0.26	0.82**	0.94**	0.72**	0.85**	1								
NP(4)	-0.88**	0.41	0.5*	0.95**	0.99**	0.77**	0.81**	0.94**	1							
W_i^2	-0.5*	0.56*	0.7**	0.81**	0.7**	0.73**	0.63**	0.65**	0.71**	1						
σ^2_i	-0.5*	0.56*	0. 7**	0.81**	0.72**	0.731**	0.63**	0.65**	0.71**	1**	1					
s^2d_i	-0.55*	0.49*	0.62**	0.76**	0.7**	0.75**	0.61**	0.66**	0.68**	0.97**	0.97**	1				
CVi	-0.41	0.46	0.46	0.56*	0.56*	0.61**	0.29	0.48*	0.56*	0.36	0.36	0.37	1			
$\theta_{(i)}$	0.5*	-0.56*	-0.7**	-0.81**	-0.72**	-0.73**	-0.63**	-0.65**	-0.71**	-1**	-1**	-0.97**	-0.36	1		
θ_i	-0.5*	0.56*	0.7**	0.81**	0.72**	0.73**	0.63**	0.65**	0.71**	1**	1**	0.97**	0.36	-1**	1	
*K*R	-0.83**	0.41	0.51*	0.87**	0.92**	0.79**	0.66**	0.89**	0.92**	0.75**	0.75**	0.75**	0.56*	-0.75**	0.75**	1
SIIG	0.76**	-0.47*	-0.6**	-0.95**	-0.93**	-0.81**	-0.84**	-0.88**	-0.93**	-0.9**	-0.9**	-0.88**	-0.49*	0.9**	-0.9**	-0.89**

** و *: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد به ترتیب

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

طبق نتایج تجزیه واریانس AMMI (جدول ۶) شش مؤلفه اصلی اول تا ششم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند و درمجموع نزدیک به ۹۷/۴٪ از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اولین و دومین مؤلفه اصلی بیشترین سهم (۵۷/۸٪) را در تبیین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان دادند. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ترکیب خطی متغیرها برای تبیین بیشترین مقدار واریانس آن‌ها به‌نحوی برآورد می‌شود که اولین مؤلفه بیشترین مقدار واریانس مؤلفه‌ها را تبیین کند و مؤلفه دوم بیشترین مقدار واریانس باقیمانده را بعد از مؤلفه اول توضیح می‌دهد که توسط مؤلفه اول بیان نشده است (Karimizadeh *et al*., 2020). بزرگی درصد توجیه واریانس کل، توسط هریک از مؤلفه‌ها نشان دهنده قدرت تفکیک بهتر مؤلفه‌ها در تبیین اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و اعتبار روابط مشاهده‌شده است. آقایی سربزه و همکاران (Aghaee Sarbezeh *et al*., 2012). و کریم‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al*., 2020) نیز سهم پایین دو مؤلفه اصلی را در توجیه تغییرات اثر متقابل

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

ژنوتیپ در محیط را در گندم دوروم گزارش کردند که مطابق نتایج این تحقیق است. در مقابل سهم بالای مؤلفه اصلی اول در توجیه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط توسط محققین دیگری گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت نداشت (Najafi Mirak *et al*., 2019 & 2021).

جدول ۶- تجزیه AMMI برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان

Table 6. AMMI analysis for grain yield of promising bread wheat genotypes

Source منابع تغییر	DF درجه آزادی	Sum of Square مجموع مربعات	Mean Square میانگین مربعات	Percentage of Sum of Square درصد مجموع مربعات
محیط (Environment)	9	584.95	64.99**	
تکرار (محیط) ((Replication(Environment)	20	4.25	0.21	
ژنوتیپ (Genotype)	17	76.47	4.49**	
ژنوتیپ ×محیط (Genotype× Environment)	153	218.26	1.42	
مولفه اصلی اول (PC1)	25	70.69	2.83**	32.4
مولفه اصلی دوم (PC2)	23	55.48	2.41**	25.4
مولفه اصلی سوم (PC3)	21	34.35	1.63**	15.7
مولفه اصلی چهارم (PC4)	19	24.38	1.28**	11.2
مولفه اصلی پنجم (PC5)	17	19.66	1.15**	9
مولفه اصلی ششم (PC6)	15	8.12	0.54**	3.7
Noise	33	5.56	0.17	
باقیمانده (Residual)	340	68.38	0.2	
کل (Total)	692	1170.57	1.69	

ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) مؤلفه اصلی اول (IPC1) اثر متقابل بالایی با محیط هستند. در مقابل، ژنوتیپ‌های دارای مقادیر نزدیک به صفر اثر متقابل پایینی دارند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G13، G14، G3 و G6 دارای بیشترین مقادیر IPCA1 بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های G17 و G9 دارای مقادیر مؤلفه اصلی اول (IPCA1) نزدیک به صفر بودند و هر دو ژنوتیپ نیز دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل بودند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا برای تمامی محیط ها معرفی شوند (جدول ۷). از طرف دیگر، محیط‌های زنجان ۱، میاندوآب ۲ و اراک ۲ دارای کمترین مقدار (نزدیک به صفر) در اولین محور مؤلفه اصلی (IPCA1) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بودند و نسبت به محیط‌های دیگر پایداری عملکرد بهتری داشتند و از بین این محیط‌ها، تنها زنجان ۱ میانگین عملکرد بیشتری نسبت به میانگین کل داشت (جدول ۷). چون مؤلفه اصلی اول ۳۲/۴ درصد از مجموع مربعات کل را تبیین کرد از مؤلفه دوم با میزان تبیین ۲۵/۴ درصد نیز استفاده شد. ژنوتیپ‌های G15 و G5 کمترین و ژنوتیپ‌های G11 و G6 دارای بیشترین مقادیر مؤلفه اصلی دوم IPC2 بودند. بنابراین با توجه به عملکرد ژنوتیپ G15، تنها ژنوتیپ G5 را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در تمامی محیط ها معرفی کرد. از طرف دیگر، محیط‌های زنجان ۱ و اراک ۲ نیز دارای کمترین مقدار در دومین محور مؤلفه اصلی (IPCA2) و نسبت به محیط‌های دیگر پایداری عملکرد بهتری داشتند.

جدول ۷- عملکرد و مؤلفه‌های اصلی اول تا ششم، برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد بررسی

Table 7. Yield and main components from the first to the sixth, for the studied genotypes and environments

رقم	عملکرد	IPCA1	IPCA2	IPCA3	IPCA4	IPCA5	IPCA6
G1	5.421	0.37	-0.389	0.32	0.138	-0.164	0.052
G2	5.207	-0.253	-0.589	-0.019	0.609	-0.3	-0.499
G3	5.296	-0.697	0.179	-0.012	-0.035	-0.235	0.112
G4	5.296	-0.451	-0.306	-0.214	-0.288	0.021	-0.516
G5	5.698	-0.563	0.051	0.538	0.094	0.949	-0.089
G6	5.394	-0.696	-1.047	0.518	-0.0603	-0.2026	0.498
G7	5.134	0.428	-0.386	-0.011	0.255	0.278	0.273
G8	5.317	-0.288	0.658	0.474	0.401	0.333	-0.352
G9	5.678	-0.005	0.329	-0.05	0.059	0.118	0.215
G10	5.112	-0.434	0.363	-0.256	-0.327	-0.551	-0.251
G11	4.665	0.206	1.059	0.049	-0.784	0.053	0.197
G12	5.408	0.585	0.173	0.812	-0.294	-0.135	-0.174
G13	4.838	0.911	0.194	-0.001	0.459	0.029	0.198
G14	4.207	1.154	-0.647	-0.396	-0.594	0.261	-0.346
G15	4.518	-0.249	0.045	-0.882	0.019	0.219	-0.135
G16	5.259	0.237	0.163	0.306	0.531	-0.736	0.132
G17	5.408	-0.045	0.308	-0.614	0.013	-0.328	0.181
G18	5.159	-0.211	-0.158	-0.564	0.346	0.39	0.504

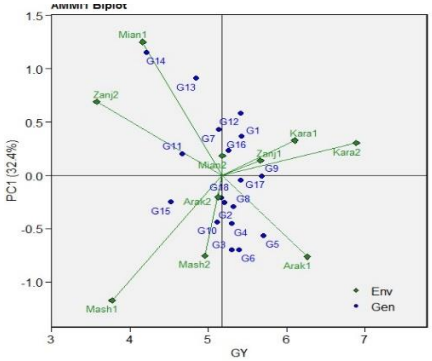
محیط	عملکرد	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5	PCA6
Arak1	6.261	-0.763	-0.274	1.159	0.147	-0.883	0.087
Arak2	5.125	-0.205	-0.056	-1.093	-0.12	-0.585	-0.126
Karaj1	6.101	0.327	1.531	0.296	0.429	0.267	0.485
Karaj2	6.888	0.303	0.486	0.397	0.729	-0.279	-0.669
Mashhad1	3.77	-1.172	-0.24	0.41	0.217	0.337	0.289
Mashhad2	4.956	-0.753	-0.441	-0.088	0.12	0.707	0.042
Miandoab1	4.16	1.25	-1.135	0.18	0.631	0.05	0.156
Miandoab2	5.178	0.183	0.271	0.031	-0.948	-0.391	-0.094
Zanjan1	5.663	0.139	0.024	0.573	-0.518	0.719	-0.719
Zanjan2	3.573	0.69	-0.166	-0.252	-0.686	0.057	0.549

بای‌پلات میانگین عملکرد دانه در مقابل اولین مؤلفه اصلی AMMI1 در(شکل ۱) نشان داده شده است. ژنوتیپ‌هایی که از ازنظر مؤلفه اول اثر متقابل IPCA1 کمترین مقدار و از لحاظ عملکرد دانه مقدار بیشتری را نشان دهند، ژنوتیپ مطلوب‌تری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها خواهند بود. براین اساس، ژنوتیپ‌های G9 و G17 و در بین محیط‌ها،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

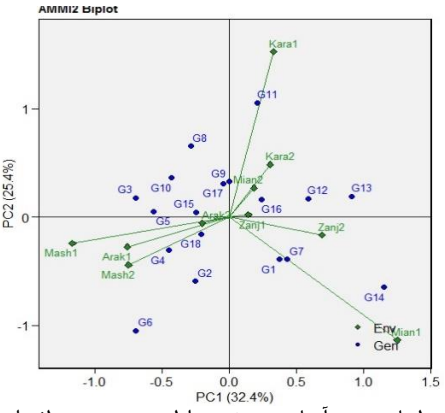
محیط‌های زنجان۱ و اراک۲ به دلیل داشتن عملکرد دانه بالاتر از میانگین و مقدار بسیار پایین مؤلفه اول تحت عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها شناخته شدند. اگر ژنوتیپ و محیطی از لحاظ مؤلفه اول اصلی اثر متقابل هم‌علامت باشند، دارای اثر متقابل مثبت و اگر از لحاظ مؤلفه نامبرده هم‌علامت نباشند، دارای اثر متقابل منفی خواهن‌دبود. براین اساس محیط‌های زنجان۱، کرج۱ و کرج۲ با عملکرد دانه‌ای بیش از میانگین کل دارای اثر متقابل مثبت با ژنوتیپ‌های G1، G12 وG16 از یک طرف و محیط اراک۱ با عملکرد دانه‌ای بیش از میانگین کل دارای اثر متقابل مثبت با ژنوتیپ‌های G4، G5، G6، G7 و G8 بودند.

شکل ۲ بای‌پلات مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثر متقابل (IPCA1 در مقابل IPCA2) را برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. این بای‌پلات در کل ۵۷/۸ درصد تغییرات مربوط به اثر متقابل را تبیین می‌کند. بر اساس این نمودار ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت یک مکان قرار داشته باشند، سازگاری خصوصی با آن محیط دارند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به مبدأ مختصات باشند از سازگاری عمومی برخوردارند. بنابر آنچه بیان شد، ژنوتیپ خاصی را به‌دلیل عدم نزدیکی به مبدأ مختصات نمی‌توان به‌عنوان ژنوتیپی با سازگاری عمومی بالا معرفی کرد. بااین‌حال ژنوتیپ‌های G9 و G17 تا حدودی نسبت به بقیه سازگاری عمومی بهتری را نشان دادند و چون عملکرد بالاتری نسبت به میانگین داشتند می‌توانند قابل توصیه باشند. محیط‌های اراک۱ و زنجان۱ دارای مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم نزدیک به مبدأ مختصات بودند که نشان می‌دهد این دو محیط تاثیر چندانی در ایجاد اثر متقابل ندارن و، باقی محیط‌های مورد مطالعه پتانسیل ایجاد اثر متقابل را دارا هستند. ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز بای‌پلات هستند از پایداری عملکرد ضعیفی برخوردار بوده ولی دارای سازگاری خصوصی با مکان‌هایی هستند که کمترین زاویه را با بردار آن‌ها در بای‌پلات دارند (Gauch & Zobel, 1997). بنابراین می‌توان به سازگاری ژنوتیپ‌های 1، G7 و G با محیط میاندواب۱، ژنوتیپ‌های G4 و تا حدودی G6، با محیط‌های مشهد۱، مشهد۲ و اراک۱ و ژنوتیپ G11 با محیط کرج۱ اشاره کرد.



شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش با استفاده از میانگین عملکرد و اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل براساس مدل AMMI1

Fig 1. Distribution chart of tested genotypes and environments using the average yield and the first principal component of interaction based on the AMMI1 model.



شکل ۲- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی اثر متقابل بر اساس مدل AMMI2

Fig 2. Distribution chart of tested genotypes and environments based on the first and second main interaction components based on the AMMI2 model

از پارامترهای پایداری AMMI به‌دلیل داشتن کارایی‌های لازم در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار در گندم دوروم (Mohammadi & Amri, 2013) و گندم (Chimdesa *et al*., 2019) استفاده شده است. برمبنای شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های G18، G17، G15، G9 و G16 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. پژوهشگران دیگری نیز از این شاخص برای تجزیه پایداری استفاده کرده‌اند (Chimdesa *et al*., 2019; Danyali, *et al*., 2012; Pouresmael *et*

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

al., 2018). ازآنجاکه در محاسبه شاخص WAAS همه مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار به‌کار گرفته می‌شوند این شاخص نسبت به دیگر شاخص‌های تجزیه AMMI برتر بوده و چنین نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی‌شده با این شاخص دارای اعتبار بیشتری است (Olivoto & Lúcio 2020). بر پایه این شاخص ژنوتیپ‌های G9، G1، G7، G4 و G17 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. براساس شاخص SIPC ژنوتیپ‌های G9، 33، G1 و G17، براساس شاخص ZA ژنوتیپ‌های G9، G15 و G17، براساس شاخص EV ژنوتیپ‌های G9، G1، G3 و G7، براساس شاخص ASTB ژنوتیپ‌های G9 و G1، براساس شاخص ASI ژنوتیپ‌های G17، G18، G15، G9 و G16، براساس شاخص FA ژنوتیپ‌های G9، G1، G17 و G7، براساس شاخص DZ ژنوتیپ‌های G9، G3، G1 و G7، براساس شاخص DA ژنوتیپ‌های G9، G1 و G7، براساس شاخص MASI ژنوتیپ‌های G9، G17، G18 و G16، براساس شاخص MASV ژنوتیپ‌های G9، G1 و G4 و براساس شاخص AVAMGE ژنوتیپ‌های G9، G1 و G7 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. تجزیه پایداری عملکرد ممکن است به‌تنهایی سودمند نباشد و در عمل ارقام پایدار در صورتی با استقبال کشاورزان مواجه می‌شوند که دارای عملکرد دانه بالایی نیز باشند. ازاین‌رو، به‌طورمعمول شاخص‌های پایداری در کنار عملکرد دانه سنجیده می‌شوند و درنهایت ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا گزینش می‌شوند. انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با هرکدام از شاخص‌های پایداری ذکر شده، فقط بر پایه جنبه پایداری ژنوتیپ‌ها و بدون در نظر گرفتن عملکرد دانه استوار است. با توجه به شاخص SIIG اندازه‌گیری شده بر مبنای عملکرد و پارامترهای AMMI، ژنوتیپ‌های G9، G17 و G1 دارای نزدیکترین مقدار به عدد یک هستند. هرسه این ژنوتیپ ها نیز عملکردی بالاتر از میانگین داشتند. بنابراین به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند البته ژنوتیپ‌های G7،G15، G3 و G4 نیز در مراحل بعدی قرار داشتند. در این شرایط نیز قرارگیری ژنوتیپ‌های G1، G3 و G4 با مقدار شاخص SIIG نزدیک به یک در بین ژنوتیپ‌های منتخب نشان از صحت بررسی‌های انجام شده دارد (جدول ۸). شاخص SIIG محاسبه شده با تمامی آماره‌های پایداری AMMI محاسبه شده دارای همبستگی منفی معنی‌دار در سطح یک درصد بود. البته همبستگی این شاخص با عملکرد نیز در سطح پنج درصد مثبت بود (جدول ۹).

جدول ۸- شاخص‌های پایداری مبتنی بر تجزیه AMMI محاسبه‌شده برای ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم

Table 8. Stability indices based on AMMI analysis calculated for promising wheat genotypes

ژنوتیپ	عملکرد	ASV	WAAS	SIPC	ZA	EV	ASTAB	ASI	FA	DZ	DA	MASI	MASV	AVAMGE	SIIG
G1	5.42	0.612	0.309	1.43	0.149	0.019	0.44	0.156	1.79	0.336	1.34	0.165	1.01	3.16	0.794
G2	5.21	0.671	0.358	2.27	0.183	0.068	1.12	0.171	3.5	0.641	1.87	0.187	1.54	5.37	0.588
G3	5.3	0.905	0.311	1.27	0.144	0.023	0.586	0.23	2.66	0.37	1.63	0.231	1.1	4.03	0.701
G4	5.3	0.65	0.319	1.8	0.157	0.045	0.692	0.165	2.22	0.518	1.49	0.173	1.03	3.85	0.717
G5	5.7	0.719	0.389	2.28	0.197	0.085	1.53	0.183	4.87	0.715	2.21	0.219	2.53	6.43	0.476
G6	5.39	1.37	0.695	3.56	0.341	0.121	2.5	0.349	9.52	0.853	3.09	0.365	2.29	7.29	0.108
G7	5.13	0.668	0.31	1.63	0.152	0.028	0.549	0.17	2.04	0.413	1.43	0.174	1.15	3.26	0.755
G8	5.32	0.753	0.434	2.51	0.219	0.06	1.14	0.191	3.97	0.599	1.99	0.213	1.65	5.43	0.548
G9	5.68	0.329	0.121	0.775	0.062	0.01	0.174	0.084	0.596	0.246	0.77	0.085	0.648	1.59	0.994
G10	5.11	0.661	0.378	2.18	0.19	0.047	0.858	0.166	2.89	0.532	1.7	0.184	1.67	4.16	0.647
G11	4.67	1.09	0.455	2.35	0.225	0.085	1.82	0.277	6.86	0.715	2.62	0.291	2	6.99	0.347
G12	5.41	0.765	0.424	2.17	0.209	0.054	1.17	0.195	4.36	0.573	2.09	0.235	1.49	5.89	0.550
G13	4.84	1.18	0.417	1.79	0.196	0.046	1.12	0.299	4.86	0.527	2.2	0.304	1.35	6.19	0.497
G14	4.21	1.61	0.722	3.4	0.347	0.107	2.45	0.408	10.2	0.801	3.19	0.419	2.15	8.6	0.046
G15	4.52	0.32	0.264	1.55	0.135	0.046	0.908	0.081	3.09	0.522	1.76	0.162	1.4	4.63	0.718
G16	5.26	0.343	0.305	2.11	0.161	0.061	1.02	0.087	2.93	0.606	1.71	0.134	1.99	4.8	0.659
G17	5.41	0.314	0.233	1.49	0.121	0.033	0.614	0.079	2.02	0.442	1.42	0.129	1.29	3.89	0.801
G18	5.16	0.312	0.297	2.17	0.158	0.061	0.913	0.079	2.55	0.604	1.6	0.131	1.45	4.11	0.693

ASV: آماره پایداری AMMI، WAAS: شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق، SIPC: مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه، EV: مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI، ZA: قدر مطلق سهم نسبی IPC در اثر متقابل، ASTB: پارامتر پایداری مبتنی بر AMMI، ASI: شاخص پایداری AMMI، FA: مقیاس پایداری مبتنی بر مدل AMMI برازش شده، DZ: پارامتر D ژانگ، DA: پارامتر D آنیچاریکو، MASI: شاخص پایداری AMMI تعدیل‌شده، MASV: ارزش پایداری AMMI تعدیل‌شده، AVAMGE: مجموع محیط‌های GEI مطلق مدل‌سازی شده توسط AMMI

جدول ۹- همبستگی بین آماره‌های پایداری AMMI با عملکرد و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال

Table 9. Correlation between AMMI statistics with yield and ideal genotype selection index

	Y	ASTAB	ASI	ASV	AVAMGE	DA	DZ	EV	FA	MASI	MASV	SIPC	ZA	WAAS
Y	1													
ASTAB	-0.44	1												
ASI	-0.44	0.78**	1											
ASV	-0.45	0.78**	1**	1										
AVAMGE	-0.5*	0.94**	0.79**	0.79**	1									
DA	-0.51*	0.98**	0.85**	0.85**	0.98**	1								
DZ	-0.36	0.94**	0.59*	0.59*	0.9**	0.9**	1							
EV	-0.33	0.97**	0.64**	0.64**	0.89**	0.91**	0.96**	1						
FA	-0.5*	0.98**	0.87**	0.87**	0.94**	0.98**	0.86**	0.9**	1					
MASI	-0.52*	0.87**	0.98**	0.98**	0.88**	0.93**	0. 7**	0.74**	0.94**	1				
MASV	-0.21	0.85**	0.48*	0.48*	0.83**	0.81**	0.91**	0.9**	0.76**	0.59*	1			
SIPC	-0.34	0.93**	0.68**	0.68**	0.86**	0.89**	0.94**	0.95**	0.88**	0.76**	0.82**	1		
ZA	-0.42	0.94**	0.86**	0.86**	0.89**	0.95**	0.86**	0.89**	0.95**	0.91**	0.75**	0.95**	1	
WAAS	-0.43	0.93**	0.89**	0.89**	0.89**	0.95**	0.83**	0.86**	0.96**	0.94**	0.71**	0.92**	0.99**	1
SIIG	0.48*	-0.98**	-0.87**	-0.87**	-0.96**	-0.99**	-0.9**	-0.92**	-0.99**	-0.94**	-0.8**	-0.92**	-0.97**	-0.97**

ASV: آماره پایداری AMMI، WAAS: شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق، SIPC: مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه، EV: مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI، ZA: قدر مطلق سهم نسبی IPC در اثر متقابل، ASTB: پارامتر پایداری مبتنی بر AMMI، ASI: شاخص پایداری AMMI، FA: مقیاس پایداری مبتنی بر مدل AMMI برازش شده، DZ: پارامتر D ژانگ، DA: پارامتر D آنیچاریکو، MASI: شاخص پایداری AMMI تعدیل‌شده، MASV: ارزش پایداری AMMI تعدیل‌شده، AVAMGE: مجموع محیط‌های GEI مطلق مدل‌سازی شده توسط AMMI

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

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

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

نتیجه‌گیری کلی

بر مبنای روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری مورد بررسی در این تحقیق ژنوتیپ‌های متعددی توسط هر روش به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی شد که این وضعیت کار انتخاب را مشکل می‌کرد، در این حالت براساس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال (شاخص SIIG) ژنوتیپ‌های G9، G1 و G17 دارای نزدیکترین مقدار به عدد یک بوده و هرسه این ژنوتیپ‌ها نیز عملکردی بالاتر از میانگین داشتند؛ بنابراین به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. برمبنای تجزیه AMMI ژنوتیپ‌های G9 و G17 ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا بودند. بر اساس پارامترهای پایداری مبتنی بر تجزیه AMMI نیز ژنوتیپ‌های مختلفی توسط هر کدام از این پارامترها به‌عنوان پایدار معرفی شدند که این وضعیت نیز کار انتخاب را دشوار می‌ساخت. ژنوتیپ‌های G9، G17 و G1 با توجه به عملکرد بالاتر از میانگین و دارا بودن شاخص SIIG نزدیک به عدد یک، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. استفاده از شاخص SIIG در هر دو روش تک‌متغیره و چند متغیره تا حدودی نتایج یکسانی را نشان داد؛ بنابراین صرف استفاده از چند روش محدود در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و انتخاب براساس چند روش محدود چندان منطقی به‌نظر نمی‌رسد و بهتر این است که از یک شاخص کلی که در بر گیرنده تمامی اطلاعات حاصل از روش‌های مختلف باشد استفاده کرد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل از نتایج پروژه پژوهشی با شماره مصوب ۹۸۰۶۸۳-۱۳۱-۰۳-۰۳-۰۰ اجرا شده در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد. از همه همکاران مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های البرز، زنجان، آذربایجان غربی، خراسان رضوی و مرکزی که در اجرای این پروژه همکاری مفید و موثری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abyar, S., Navabpour, S., Karimizadeh, R., Nasrollahnejad ghomi, A. A., Kiani, G., & Gholizadeh, A. (2021). Evaluation of genotype × environment interaction and grain yield stability of different bread wheat genotypes using non-parametric methods. *Cereal Research*, 11(2), 89-104. https://doi.org/10.22124/cr.2021.20461.1687

Aghaee-Sarbarzeh, M., Dastfal, M., Farzadi, H., Andarzian, B., Shahbazpour-Shahbazi, A., Bahari, M., & Rostami, H. (2012). Evaluation of durum wheat genotypes for yield and yield stability in warm and dry areas of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 2, 315-325. https://doi.org/10.22092/spij.2017.111110 [In Persian]

Ajay, B. C., Aravind, J., & Abdul Fiyaz, R. (2018). Ammistability: additive main effects and multiplicative interaction model stability parameters. https://cran. r-Project.org/src/contrib/Archive/ammistability/.

Akcura, M., Kaya, Y., Taner S., & Ayranici, R. (2006). Parametric stability analysis for grain yield of durum wheat. *Plant Soil Environment*, 52, 254-261. https://doi.org/10.17221/3438-pse

Amini, A., Asadi, A. A., Chaichi, M., Ezat-Ahmadi, M., Gasemi, M., Eivazi, A. R., babaee, T., & ghodsi, M. (2023). Investigating the stability of bread wheat genotypes under water deficit stress conditions in different cold climate regions of Iran using AMMI and GGE Biplot analysis. *Journal of Crop Breeding*, 15(48), 78-92. http://dx.doi.org/10.61186/jcb.15.48.78 [In Persian]

Annicchiarico, P. (1997). Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*, 94, 53-62, https://doi.org/10.1023/A:1002954824178.

Chimdesa, O., Asefa, K., Alemu, S., & Teshom, G. (2019). Evaluating agronomic performance and yield stability of improved bread wheat varieties across low moisture stress areas of Guji zone, Southern Oromia. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 6(5), 1-10, https://doi.org/10.19080/artoaj.2019.21.556183

Danyali, S. F., Razavi, F., Ebadi Segherloo, A., Dehghani, H., & Sabaghpour, S. H. (2012). Yield stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and study relationship among the univariate and multivariate stability parameters. *Research in Plant Biology*, 2(3), 46-61, https://core.ac.uk/download/pdf/236013706

Dashtaki, M., YazdanSepas, A., NajafiMirak, T., Ghanadha, M. R., Joukar, R., Islampour, M. R., Moayedi, A. A., Nazeri, M., AbediOskooie, 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. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110583 [In Persian]

Ebadi Segherloo, A., Sabaghpour, S. H., Dehghani, H., & Kamrani, M. (2008). Nonparametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica*, 162, 221-229. http://dx.doi.org/10.1007/s10681-007-9552-x.

Ebdon, J., & Gauch, H. (2002). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials. I. Interpretation of genotype × environment interaction. *Crop Sciences*, 42(2), 489-496. https://doi.org/10.2135/cropsci2002.4890

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

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. https://doi.org/10.22124/cr.2023.23333.1746 [In Persian]

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

Farshadfar, E. (1998). Application of biometrical genetics in plant breeding. Vol. 2. Razi University publications, Kermanshah, Iran. 396 pp. [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.
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. https://doi.org/10.4141/cjps78-157
Gauch, H.G., & Zobel, R.W. (1997). Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37(2), 311-326. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183x003700020002x
Gauch, H. G. (1992). Statistical Analysis of Regional Trials, AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier Pub. Amsterdam, Netherlands.
Golkari, S., Hagparast, R., Roohi, E., Mobasser, S., Ahmadi, M. M., Soleimani, K., ... & Babaei, T. (2016). Multi-environment evaluation of winter bread wheat genotypes under rainfed conditions of Iran-using AMMI model. *Crop Breeding Journal*, *6*(2), 17-31. http://dx.doi.org/10.22092/cbj.2016.107104
Helms, T. (1993). Selection for yield and stability among oat lines. *Crop Science*, 33(3), 423-426. https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300030001x
Huehn, V. M. (1990). Non-parametric measures of phenotypic stability. Part I: Theory. *Euphytica*, 47, 189-194. https://doi.org/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. [In Persian]
Jahromi, H. M. A., 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 Science*, 13(3), 565-579. http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1390.13.3.9.7 [In Persian]
Jambhulkar, N. N., Bose, L. K., & Singh, O. N. (2014). AMMI stability index for stability analysis. In: Mohapatra, T. (Eds.), Central Rice Research Institute, Cuttack, Orissa. 35, 15-15.
Jamshidimoghaddam, M., & Pourdad, S. S. (2013). Evaluation of seed yield adaptability of spring safflower genotypes using nonparametric parameters and GGE biplot method in rain-fed conditions. *Seed Plant Improvment Journal*, 19(1), 45-63. https://doi.org/10.22092/spij.2017.111142 [In Persian]
Kang, M. S., (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, 16, 113-115, https://www.jstor.org/stable/23782771
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, K., & Keshavarzi, K. (2021). Evaluation of grain yield stability of durum wheat genotypes using parametric and nonparametric methods. *Plant Genetic Researches*, 8: 115-132. https://doi.org/10.29252/PGR.8.1.8 [In Persian]
Karimzadeh, R., Hosseinpour, T., Sharifi, P., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo, K., & Keshavarzi, K. (2020). Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions. *Cereal Research*, 10(2), 135-147. https://doi.org/10.22124/cr.2020.16274.1589 [In Persian]
Karimizadeh, R., Asghari, A., Sofalian, O., Shahbazi, K., Hosseinpour, T., Ghojogh. H., & Armion, M. (2019). Identification of the most stable durum wheat genotypes using nonparametric yield stability statistics. *Journal of Crop Production and Processing*, 9(1), 189-203. http://dx.doi.org/10.29252/jcpp.9.1.189 [In Persian]
Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., & Shefazadeh, M. K. (2012). Using different aspects of stability concepts for interpreting genotype by environment interaction of some lentil genotypes. *Australian Journal of Crop Science*, 6(6), 1017-1023.
Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sheikh, M. M., Bavi, V., Hosseinpour T., Khanzadeh, H., Ghojogh, H., & Armioun, M. (2011). Application of multi-variate methods in determining grain yield stability of of durum wheat genotypes in semi-warm dry land areas of Iran. *Modern Genetics Journal*, 6, 33-48, [In Persian]
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.
Mohammadi, R., & Amri, A. (2013). Genotype × environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica*, 192(2), 227-249, https://hdl.handle.net/20.500.11766/66597
Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A., & Ceccarelli, S. (2009). Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop Pasture Science*, 6, 92-101, http://dx.doi.org/10.1071/CP09151
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, https://doi.org/10.1007/s10681-007-9417-3
Mortazavian, S. M. M., Nikkhah, H. R., Hassani, F. A., Sharif-al-hosseini, M., Taheri, M., & Mahloohi, M. (2014). GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3), 609-622.
Najafi Mirak, T., Agaee Sarbarzeh, M., Moayedi, A., Kaffashi, A., & Sayahfar, M. (2021). Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method. *Journal oF Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 17-28.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

Najafi Mirak, T., Moayedi, A. A., Sasani, Sh., & Ghandi, A. (2019). Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21, 127-138. http://dx.doi.org/10.29252/abj.21.2.127 [In Persian]

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. & Zali, H. (2018). Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20(2), 126-138. http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1397.20.2.3.8 [In Persian]

Najafian, G., Kaffashi, A. K., & Jafar-Nezhad, A. (2010). Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12, 213-222.

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., & Lúcio, A. D. C. (2020). Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, *11*(6), 783-789.

Perkins, J. M., & Jinks, J. L. 1968. Environment and genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 23, 339-356, https://doi.org/10.1038/hdy.1970.4

Plaisted, R. L. (1960). A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *American Potato Journal*, 37, 166-172. https://doi.org/10.1007/bf02855271

Plaisted, 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://doi.org/10.1007/bf02852735

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

Pouresmael, M., Kanouni, H., Hajihasani, M., Astraki, H., Mirakhorli, A., Nasrollahi, M., & Mozaffari, J. (2018). Stability of chickpea (Cicer arietinum L.) landraces in national plant gene bank of Iran for drylands, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20, 387-400. http://jast.modares.ac.ir/article-23-10515-en.html

Purchase, J. L., Hatting, H., & Van Deventer, C. S. (2000). Genotype× environment interaction of winter wheat in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South Africa Journal of Plant and Soil*, 17(3), 101-107. https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878

Raju, B. M. K. (2002). A study on AMMI model and its biplots. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 55, 297-322.

Ramazani, A. (2012). The study of yield stability of rice genotypes in Isfahan province. *Cereal Research*, 2(3), 181-192. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1391.2.3.2.6 [In Persian]

Rao, A. R. & Prabhakaran, V. T. (2005). Use of AMMI in simultaneous selection of genotypes for yield and stability. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 59, 76-82.

Rodriguez, M., Rau, D., & Papa, R. (2007). Genotype by environment interactions in barley (Hordeum vulgare L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. *Euphytica*, 163(2), 231-247. https://doi.org/10.1007/s10681-007-9635-8

Romer, T. (1917). Sind die ertragsreichen sorten ertragssichers? Milt. DLG. 32, 87-89

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, https://doi.org/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 Page. [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. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0122

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

Sneller, C.H., Kilgore-norquest, L., & Dombek, D. (1997). Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science*, 7, 383-390. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183x003700020013x

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]

Soughi, H. A., Babaeian Jelodar, N. A., Ranjbar, G. A., & Hadi Pahlevani, M. (2016). Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 8(18), 119-125. http://dx.doi.org/10.29252/jcb.8.18.119 [In Persian]

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. https://doi.org/10.22092/spij.2017.111023 [In Persian]

Tahmasebi, S., Dastfal, M., Zali, H., & Rajaie, M. (2018). Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south. *Cereal Research*, 8, 209-225. https://doi.org/10.22124/c.2018.10434.1398 [In Persian]

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., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hosseinpour, T. & Dorii, M. (2017). GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, 45, 500-511, https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.019

Vaezi, B., Ahmadi, J. & Pour-Aboughadareh, A. R. (2015). Stability analysis of barley advanced lines under Gachsaran tropical environment. *Cereal Research*, 5(3), 261-272, https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1394.5.3.5.0

Vaezi, B., & Ahmadi, J. (2010). Assessment of genotype × environment interaction and stability of yield in advanced barley lines in rain-fed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(2), 395-402, https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1389.41.2.18.9 [In Persian]

Vlizadeh, M., & Moghadam, M. (2010). Experimental Designs in Agriculture. Fourth edit. Privar Publishers, Iran.

Wricke, G. (1962). Evaluation method for recording ecological differences in field trials. Z. Pflanzenzucht, 47, 92-96.

Zaifizadeh, M., Mogaddam, M., Ghasemi, M., Mahfouzi, S., & Ahmadi, A. (1996). Stability analysis of grain yield of spring bread wheat cultivars in Caspian Sea regions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 7(1), 45-51

Zali, H., & Barati, A. (2020). Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. *Journal of Crop Breeding*, 12(34),93-104. doi:10.29252/jcb.12.34.93 [In Persian]

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., & Zeinalabedini M. 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, 78(20), 77-90. [In Persian]

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, 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.

Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H., & Karimizadeh, R. (2012). Evaluation of genotype×environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3, 3126-3136.

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. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.3.5.8 [In Persian]

Zhang, Z., Lu, C., & Xiang, Z. (1998). Analysis of variety stability based on AMMI model. *Acta Agronomica Sinica*, 24, 304-309, https://zwxb.chinacrops.org/EN/Y1998/V24/I03/304

Zobel, R. W., Wright, A. J., & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393, https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jcb.17.1.88]