

Evaluation of Grain Yield Stability in Lentil Genotypes Using Non-parametric Statistics and AMMI Analysis

Amin Namdari^{1*}, Payam Pezeshkpoor², Mohammad Barzali³, Asghar Mehraban⁴,
Amir Mirzaie⁵, Mostafa Haghpanah⁶

Received: 16-11-2024
Revised: 25-02-2025
Accepted: 01-03-2025
Available Online: 01-03-2025

Cite this article:

Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Barzali, M., Mehraban, A., Mirzaie, A., & Haghpanah, M. (?). Evaluation of grain yield stability in lentil genotypes using non-parametric statistics and AMMI analysis. *Iranian Journal of Pulses Research*, ?(?), (In Persian with English Abstract).
<https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.90778.1101>

Extended Abstract Introduction and Objective: To identify and introduce cultivars with high yield and stability, evaluating the genotype-by-environment interaction in multi-environment trials is of paramount importance. One of the most significant challenges for lentil breeders is selecting genotypes with high yield across diverse environments. Assessing genotypes in different environments can lead to the identification of genotype(s) with high yield potential and yield stability. Genotypes exhibiting lower responses to environmental effects typically have smaller genotype \times environment interactions and are desirable selections for breeders, especially if they demonstrate higher yield potential compared to checks. Various univariate and multivariate methods exist for evaluating genotype-environment interactions. This study evaluated the grain yield stability of advanced lentil genotypes in tropical climates using two methods: univariate (non-parametric statistics) and multivariate (additive main effects and multiplicative interaction, AMMI).

Materials and Methods

- 1- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran
- 2- Assistant Professor, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran
- 3- Assistant Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran
- 4- Assistant Professor, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
- 5- Assistant Professor, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran
- 6- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran

* Corresponding Author: Aminnamdari61@gmail.com



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

Fifteen selected genotypes along with two check cultivars, Gachsaran and Sephar, were evaluated in a randomized complete block design with three replications across eight environments (four warm and semi-warm regions: Gachsaran, Khorramabad, Moghan, and Ilam over two years). Each experimental plot consisted of four rows, 6 meters long, with a plant density of 200 plants per square meter. Grain yield was measured after harvest. To analyze the data, after ensuring the homogeneity of error variances across environments using Bartlett's test, a combined analysis of variance was performed for the eight studied environments. The METAN package in the Rver4.3.2 statistical software was used for AMMI analysis, calculation of non-parametric statistics, and plotting AMMI1 and AMMI2 biplots.

Findings:

The results of the combined analysis of variance for grain yield (based on the AMMI model) showed that the effects of environment, genotype and the interaction of genotype \times environment were significant at the statistical probability level of 1%. Considering the significance of the genotype \times environment interaction, it is possible to perform stability analyze on data in order to interpret this interaction. Stability analysis using the non-parametric TOP statistic, identified genotypes 12 and 10 as the most stable genotypes. The Kang statistic also ranked genotypes 12 and 13 as the best genotypes. Among the non-parametric statistics, TOP and Kang placed high-yielding genotypes at the top of the yield stability rankings, whereas the rankings based on Thennarasu, Nassar and Huehn statistics favored genotypes with lower mean yields. According to the Thennarasu statistic, genotypes 5, 6, and 2 were identified as the most stable, but all three had low mean yields. Similarly, genotypes with high yield stability based on the Nassar and Huehn statistics had low mean yields. By calculating the SIIG statistic and considering all non-parametric statistics, genotype 12 was found to have the best combination of yield and yield stability. In addition to this genotype, genotypes 13, 1, and 11 could also be considered desirable, considering both yield and stability.

One of the most widely used multivariate methods for stability analysis is the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. The results of the combined analysis of variance for grain yield based on the AMMI model showed that the first three principal components of the genotype \times environment interaction were significant, explaining approximately 40.4%, 26.5%, and 19.8% (a total of 86.7% for the first three components and 67.1% for the first two components) of the genotype \times environment interaction, respectively. The AMMI1 biplot, considering mean grain yield and the value of the first principal component, identified genotypes 10, 11, and 12 as superior genotypes. The AMMI2 biplot, considering the values of the first and second principal components, also identified genotype 12 as the most stable in terms of grain yield. The two check cultivars, Gachsaran and Sephar, showed lower yield stability than the superior genotypes based on both biplots. Genotypes located in the center of the biplot have general stability and are recommended for cultivation in most of the investigated environments. On the other hand, the genotypes that are distributed far from the center of the biplot and in the vicinity of special environments have private stability to those environments. In this regard, genotype 3 showed private adaptation to environment 4, and also genotypes 13 and 14 have private adaptation to environments 2 and 1.

Conclusion:

Based on the obtained results, it can be concluded that genotype 12 is by far the best genotype in terms of high yield and stability. Therefore, this genotype can be considered a promising candidate for release as a new cultivar in warm and semi-warm regions.

پس از آنکه

پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس با استفاده از آماره‌های ناپارامتری و روش چند متغیره تجزیه AMMI

امین نامداری^{۱*}، پیام پزشکپور^۲، محمد برزعلی^۳، اصغر مهربان^۴، امیر میرزایی^۵، مصطفی حق پناه^۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

چکیده

شناسایی ژنوتیپ‌هایی با میانگین و پایداری عملکرد بالا، یکی از هدف‌های عمده در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان زراعی می‌باشد. در این پژوهش، پایداری عملکرد دانه ۱۵ لاین پیشرفته عدس به همراه دو رقم شاهد گچساران و سپهر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در هشت محیط (چهار منطقه گچساران، خرم‌آباد، مغان و ایلام طی دو سال) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون همگنی واریانس‌ها توسط آزمون پارکلت انجام شد و با توجه به همگنی واریانس‌ها، تجزیه مرکب برای هشت محیط انجام پذیرفت. تجزیه واریانس مرکب، برهمکنش ژنوتیپ و محیط را بسیار معنی‌دار نشان داد و برای ارزیابی این برهم‌کنش از روش‌های تجزیه پایداری بهره‌گیری شد. آماره ناپارامتری TOP، ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۰ را به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها نشان داد و آماره کاتگ نیز ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۳ را در رتبه‌های برتر قرار داد. آماره‌های تنارزو، نصار و هیون، ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد پایین را در رتبه‌های برتر قرار دادند و عموماً ژنوتیپ‌های پرعملکرد در رتبه‌های بالایی قرار نداشتند. با محاسبه آماره SIIG و در نظر گرفتن همه آماره‌های ناپارامتری، ژنوتیپ ۱۲ در بهترین شرایط از نظر عملکرد و پایداری عملکرد قرار گرفت. همچنین نتایج تجزیه AMMI نشان داد که دو مؤلفه نخست در مجموع ۶۷ درصد برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط را توجیه می‌کنند. بای‌پلات AMMI ۱ ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ را به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی نمود و بای‌پلات AMMI 2 نیز ژنوتیپ ۱۲ را در بهترین شرایط از نظر پایداری عملکرد تشخیص داد. با در نظر گرفتن نتایج حاصل شده می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ ۱۲ با فاصله به عنوان بهترین ژنوتیپ از نظر پایداری و عملکرد دانه می‌باشد و می‌تواند به عنوان کاندید معرفی رقم زراعی جدید در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: *Lens culinaris* اقلیم گرم و نیمه‌گرم، آماره SIIG، ژنوتیپ پایدار، سازگاری

مقدمه

۱- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

۲- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران

سطح زیر کشت و میزان تولید عدس (سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰) در ایران به ترتیب ۷۵/۱۴۶ هکتار و ۴۰/۸۹۵ تن می‌باشد که سهم کشت دیم در سطح زیر کشت حدود ۹۳ درصد و در میزان تولید حدود ۸۲ درصد از کل است (Agricultural Statistics, 2022). پتانسیل عملکرد پایین ارقام محلی موجود سبب گردیده است که میزان عملکرد عدس در کشور مطلوب نباشد. محققین به‌نژادی گیاهی با اصلاح و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا سعی در معرفی و آزاد سازی ارقامی با عملکرد مطلوب‌تر دارند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت می‌تواند سبب شناسایی ژنوتیپ (هایی) شود که دارای پتانسیل عملکرد بالا و پایدار می‌باشند. یکی از مهم‌ترین چالش‌های به‌نژادگران عدس، گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در محیط‌های گوناگون است. ژنوتیپ‌هایی که واکنش کمتری نسبت به اثرات محیطی نشان می‌دهند معمولاً برهم‌کنش محیط \times ژنوتیپ کوچک‌تری دارند و انتخاب بهتری برای به‌نژادگران می‌باشند. به‌ویژه اگر پتانسیل عملکرد بالاتری نسبت به شاهد نشان دهند (Pour-Aboughadareh et al., 2022). روش‌ها و مدل‌های آماری برای تجزیه و تحلیل اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط استفاده می‌شود که به به‌نژادگران اجازه می‌دهد تا پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها را ارزیابی کنند (Amelework et al., 2023). در این خصوص روش‌های مختلف تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و روش‌های چند متغیره ارائه شده‌اند. روش‌های گوناگون ناپارامتری که اغلب بر اساس رتبه بندی عملکرد استوار می‌باشند در جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شده‌اند. ژنوتیپ‌هایی که کمترین تغییرات رتبه‌بندی عملکرد در محیط‌های مختلف را بروز می‌دهند پایدار می‌باشند (Sun et al., 2012). روش‌های ناپارامتری مزایای گوناگونی نسبت به روش‌های پارامتری دارند. این مزایا شامل عدم نیاز به فرضیات در مورد نرمال بودن، استقلال، یا یکنواختی واریانس داده‌ها است، که موجب می‌شود در مقایسه با روش‌های پارامتری، نسبت به انحرافات و خطاهای داده‌ها حساسیت کمتری داشته باشند (Whitley et al., 2002). علاوه بر این، روش‌های ناپارامتری تحت تاثیر مقادیر داده‌های پرت، افزوده یا حذف شدن ژنوتیپ‌ها در مدل قرار نمی‌گیرند و همچنین فرآیند تجزیه و تحلیل و تفسیر این روش‌ها در مقایسه با روش‌های پارامتری بسیار ساده‌تر است. به طور کلی، سهولت کاربرد، عدم حساسیت به مفروضات داده‌ها و تحلیل ساده، روش‌های ناپارامتری را به ابزاری ارزشمند برای به‌نژادگران تبدیل ساخته است (Zeinalzadeh-Tabrizi et al., 2021). جهت ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط آماره‌های ناپارامتری گوناگونی ارائه شده‌اند. در این زمینه چهار آماره‌ی ناپارامتری $Si^{(1)}$ ، $Si^{(2)}$ ، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$ برای ارزیابی پایداری فنوتیپی ارائه شده‌اند (Nassar and Huenhn, 1987). همچنین تنارزو چهار آماره جایگزین شامل $NP_1^{(1)}$ ، $NP_1^{(2)}$ ، $NP_1^{(3)}$ و $NP_1^{(4)}$ پیشنهاد کرد که این آماره‌ها بر رتبه‌های تصحیح شده استوار می‌باشند (Thennarasu, 1995). آماره مجموع رتبه کانگ، از جمع کردن

۴- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران

۵- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام ایران

۶- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

*- نویسنده مسئول:

Aminnamdari61@gmail.com

رتبه صفت مورد نظر (مانند عملکرد) با رتبه واریانس پایداری حاصل از تجزیه شوکلا حاصل می‌شود. با توجه به اینکه این آماره هم رتبه میانگین عملکرد و هم رتبه واریانس پایداری را در محاسبه لحاظ می‌کند، برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر کارآمد است (Kang, 1993). آماره‌های پایداری فاکس ژنوتیپ‌ها در سه بخش MID، TOP و LOW رتبه بندی می‌کنند و براساس درصد قرار گیری ژنوتیپ‌ها در این بخش‌ها، ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی می‌شوند (Fox et al., 1990). در برخی موارد نتایج آماره‌های مختلف پایداری در تضاد با یکدیگر می‌باشند و این امر موجب پیچیده شدن فرآیند انتخاب می‌شود. برای ارزیابی برهم کنش ژنوتیپ و محیط، شاخص گزینش ایده‌آل (SIIG) نیز آماره‌ای است که از تجمیع و استاندارد کردن نتایج آماره‌های ناپارامتری حاصل می‌شود و مقدار آن بین صفر تا یک است (Zali et al., 2011).

با توجه به اینکه در فرایند معرفی رقم زمان و هزینه زیادی صرف می‌شود، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و پایداری بسیار مهم است. از این رو استفاده از روش‌های چند متغیره در کنار روش‌های تک متغیره تجزیه پایداری می‌تواند در گزینش بهتر ژنوتیپ‌ها موثر باشد. یکی از روش‌های بسیار پرکاربرد چند متغیره تجزیه پایداری روش اثرات اصلی جمع پذیر و اثرات متقابل ضرب پذیر (AMMI) می‌باشد. روش AMMI یک ابزار آماری کارآمد جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر است که از آن برای تجزیه و تحلیل برهمکنش ژنوتیپ و محیط (GE) استفاده می‌شود (Namdari et al., 2022 a; Pezeshkpour et al., 2023). بطور کلی مدل AMMI تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) را با پارامترهای جمع پذیر و تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) با پارامترهای ضرب پذیر را در یک تجزیه و تحلیل واحد ترکیب می‌کند. مدل AMMI قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با میانگین عملکرد بالا و سازگاری قابل توجه می‌باشد. از تجزیه AMMI بطور گسترده در تجزیه پایداری عملکرد محصولات مهم زراعی مانند گندم (Omran et al., 2022; Singh et al., 2019)، ذرت (Katsenios et al., 2021)، سویا (Song et al., 2019)، برنج (Senguttuvel et al., 2021)، عدس (Subedi et al., 2021) و غیره استفاده شده است. باوجود اینکه بخش قابل توجهی از سطح زیر کشت عدس بصورت دیم کشت می‌شود، رقم‌های کم‌شماری برای کشت دیم در اقلیم گرمسیری معرفی شده‌اند که شامل رقم‌های گچساران، سپهر و بیله سوار می‌شوند. در این راستا، هدف این پژوهش، ارزیابی ژنوتیپ‌های عدس (۱۵ لاین‌های پیشرفته و دو رقم شاهد) بر اساس اثر متقابل محیط بر صفت عملکرد دانه در هشت محیط (چهار محیط در دو سال) با استفاده از آماره‌های تجزیه ناپارامتری و مدل AMMI است تا بدین وسیله امکان شناسایی لاین‌های برتر جهت معرفی به عنوان رقم‌های جدید فراهم شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ۱۵ لاین پیشرفت عدس و دو رقم سپهر و گچساران جهت بررسی پایداری عملکرد دانه استفاده شد (جدول ۱). ژنوتیپ‌های مذکور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) در چهار

منطقه گچساران، خرم آباد، ایلام و مغان بصورت دیم کشت شدند. شرایط آب و هوایی ایستگاه‌های تحقیقاتی شامل متوسط دمای و بارش باران ماهانه در جدول ۲ ارائه شده است. شماره محیط‌های آزمایشی به این ترتیب است: E1 و E2 (گچساران سال یک و سال دوم)، E3 و E4 (خرم آباد سال یک و دوم)، E5 و E6 (مغان سال یک و دو)، E7 و E8 (ایلام سال یک و دو). هر کرت آزمایشی دارای چهار خط کاشت به طول شش متر با تراکم ۲۰۰ بوته در متر مربع بود. پس از برداشت میزان عملکرد هر کرت اندازه‌گیری شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، پس از اطمینان از همگن بودن واریانس‌های خطا در محیط‌ها با استفاده از آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب برای هشت محیط مورد مطالعه انجام شد.

جدول ۱- نام/شجره و منشأ لاین (ژنوتیپ) های عدس دیم

Table 1- Name/Pedigree and Origin of dry lentil lines (genotypes)

شماره ژنوتیپ Genotype Number	منشا Origin	نام شجره Name/Pedigree	شماره ژنوتیپ Genotype Number	منشا Origin	نام شجره Name/Pedigree
G1	ICARDA	2009S 96575-1	G10	ICARDA	2009S 96501-5-X2007S61-ILL5883xILL6458
G2	ICARDA	08S 40111-01	G11	ICARDA	ILL 4605-2
G3	ICARDA	ILL 5988	G12	ICARDA	08S 41205-13-X2005S140-ILL5883 x ILL7620
G4	ICARDA	ILL 4605-1	G13	ICARDA	2009S 96101-4
G5	ICARDA	ILL 6183	G14	ICARDA	X2012S-154-X2012S-154-ILL6002xILWL118
G6	ICARDA	ILL 590	G15	ICARDA	X2012S-102-X2012S-102-(ILL7986 X ILWL74)x(ILL4605 X ILL5677)
G7	ICARDA	2009S 96505-2-X2007S67-ILL6434 x ILL8199	Gachsaran	IRAN	Gachsaran
G8	ICARDA	2009S 96518-1-X2007S107-ILL7940 x ILL5883	Sepehr	IRAN	Sepehr
G9	ICARDA	2009S 96501-1-X2007S61-ILL5883 x ILL6458			

به منظور بررسی پایداری عملکرد دانه از روشهای مختلف ناپارامتری استفاده شد. جهت محاسبه شاخص پایداری کانگ YSi ، ابتدا ژنوتیپها براساس عملکرد، رتبه بندی و امتیاز دهی شدند (بیشترین عملکرد رتبه یک و غیره). سپس مقدار واریانس شوکلا محاسبه و براساس میزان واریانس بدست آمده ژنوتیپها رتبه بندی شدند (به ژنوتیپهایی با واریانس کمتر رتبه کمتری تعلق گرفت). در نهایت از جمع این دو رتبه برای هر ژنوتیپ، شاخص YSi بدست آمد (Kang, 1993). آماره‌های پایداری ناپارامتری نصار و هان شامل $Si^{(1)}$ ، $Si^{(2)}$ ، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$ و آماره‌های پایداری ناپارامتری تناز او شامل $NPI^{(1)}$ ، $NPI^{(2)}$ ، $NPI^{(3)}$ و $NPI^{(4)}$ با استفاده از معادلات ارائه شده در این منابع محاسبه شدند (Nassar and Huehn 1987; Thennarasu, 1995). از شاخص ناپارامتری TOP ارائه شده توسط فاکس و همکاران نیز استفاده شد. طبق این شاخص ژنوتیپها بر اساس عملکرد و پایداری به سه گروه TOP، MID و LOW تفکیک می‌شوند. ژنوتیپها با بیشترین مقادیر TOP به عنوان پایدارترین و مطلوب‌ترین ژنوتیپها در نظر گرفته شدند (Fox et al., 1990). محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (شاخص SIIG) طبق معادله ارائه شده توسط زالی و همکاران (۲۰۱۰) در محیط EXCEL 2016 انجام شد (Zali et al., 2011).

محاسبه برهمکنش ژنوتیپ - محیط با استفاده از مدل AMMI و طبق معادله ذیل انجام شد.

$$Y_{ger} = \mu + \sigma_g + \beta_e + \sum \lambda_n Y_{gn} \delta_{ge} + P_{ge} + \epsilon_{ger}$$

در این معادله Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ g ام در محیط e ام در تکرار n ام، μ میانگین کل در آزمایش، σ_g و β_e اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n مقدار ویژه برای محور مولفه n ام، Y_{gn} بردار مقدار ویژه برای محور مولفه n ام، δ_{ge} بردار ویژه محیط برای محور مولفه g ام، P_{ge} مقدار نویز و ϵ_{ger} مقدار خطا است. از بسته ویژه آزمایش‌های چند محیطی METAN در بستر نرم‌افزار آماری R_{ver4.3.2} جهت محاسبه تجزیه واریانس مرکب، شاخص‌های ناپارامتری (به غیر از شاخص SIIG) و رسم نمودارهای AMMI1 و AMMI2 استفاده شد (Olivoto et al., 2020). رسم نمودار گرمایی نیز با استفاده از XLSTAT ver2018 انجام شد (Haghpanah et al., 2015).

جدول ۲- شرایط آب و هوایی ایستگاههای اجرای آزمایش در سالهای زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Table 2 - Climatic conditions at experimental stations during 2019-2020 and 2020-2021 cropping seasons

ایستگاه تحقیقات experimental station	سال year	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	فصل Season	متوسط دما (سانتی‌گراد) Average of Temperature (C)	حداکثر دما (سانتی‌گراد) Maximum of Temperature (C)	حداقل دما (سانتی‌گراد) Minimum of Temperature (C)
چچساران Gaacharan	1398-99	435.5	Autumn	20.17	27.8	13.6
			Winter	12.63	15.7	11
	2019-2020	591.5	Spring	20.85	24.1	17.6
			Autumn	20.27	26.3	14.5
	2020-2021			Spring	23.9	26.7

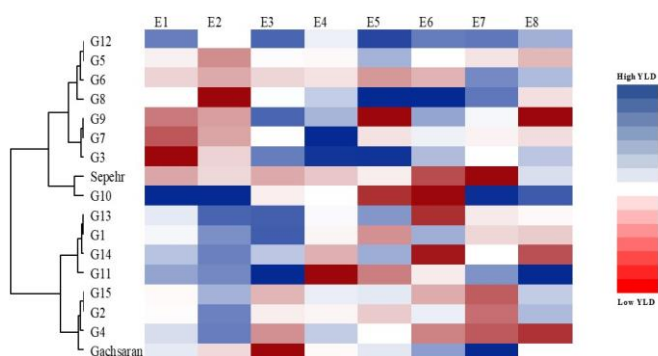
خرم آباد Khoramabad	524	1398-99	Autumn	14.53	22.9	7.7
		2019-2020	Winter	7.8	11.4	5.6
			Spring	15.9	18.8	13
	305	1399-1400	Autumn	15.13	21.6	9
		2020-2021	Winter	8.3	10	6.7
			Spring	19	22.1	15.9
ایلام Ilam	603.6	1398-99	Autumn	16.13	24.8	9.4
		2019-2020	Winter	8.43	11.8	6.4
			Spring	17.1	20.2	14
	302	1399-1400	Autumn	16.47	22.7	10
		2020-2021	Winter	9.43	11.8	7.5
			Spring	19.75	23.5	16
معان Moghan	160.2	1398-99	Autumn	12.73	19.1	7
		2019-2020	Winter	7.53	10.2	6.1
			Spring	14.1	17.1	11.1
	203	1399-1400	Autumn	12.83	18.5	6.2
		2020-2021	Winter	5.3	6	4.6
			Spring	16.7	19.7	13.7

Autumn پاییز، Winter زمستان، Spring بهار

نتایج و بحث

در این بررسی، پایداری عملکرد تعداد ۱۵ لاین و دو رقم عدس در هشت محیط مورد ارزیابی قرار گرفت. شجره نامه ژنوتیپ‌ها و ارقام شاهد مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است. آماره‌های هواشناسی محیط‌های مورد بررسی نیز در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هشت محیط مختلف در نمودار گرمایی (شکل ۱) ارائه شده است. در این نمودار شدت رنگ آبی نشان دهنده بالاتر بودن عملکرد ژنوتیپ در محیط و شدن رنگ قرمز نشان دهنده پایینتر بودن عملکرد ژنوتیپ می‌باشد.

آماره های تنارازو. چهار آماره پیشنهاد شده توسط تنارازو بر پایه رتبه تصحیح شده میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها می‌باشند، به این ترتیب که ژنوتیپ‌هایی که رتبه آنها در محیط‌های گوناگون، کمترین تغییر را داشته باشند رتبه بهتری خواهند داشت. بر این اساس، ژنوتیپ‌هایی با مقادیر کم $NPi(1)$ ، $NPi(2)$ ، $NPi(3)$ و $NPi(4)$ ژنوتیپ‌های پایدارتر در نظر گرفته می‌شوند. بر پایه این آماره‌ها، ژنوتیپ‌های ۵، ۶ و ۲ به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس آماره‌های ناپارامتری تنارازو، عموماً از عملکرد بالایی برخوردار نیستند (Jamshidmoghaddam et al., 2013). همبستگی منفی میان رتبه عملکرد ژنوتیپ‌ها و رتبه آماره‌های تنارازو در مطالعات فرشادفر و همکاران نیز اشاره شده است (Farshadfar et al., 2014).



شکل ۱- نمودار گرمایی اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط. G: ژنوتیپ، E: محیط

Fig 1 - The genotype-by-environment interactions heat map. G: Genotype, E: Environment

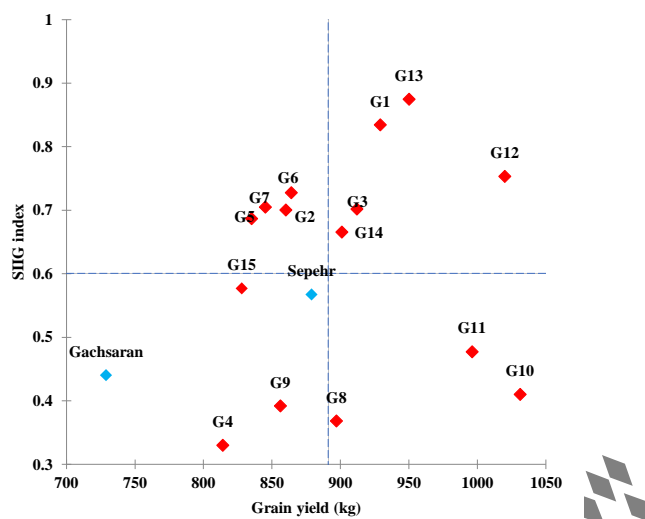
آماره های نزار و هیون. دو آماره $Si^{(1)}$ (میانگین تفاوت قدر مطلق ژنوتیپ در محیطها) و $Si^{(2)}$ (واریانس مشترک انحراف از رتبهها) بر پایه رتبه بندی ژنوتیپها در محیطها هستند و برای هر کدام از محیطها، وزن یکسانی را در نظر می گیرند. دو آماره $Si^{(3)}$ (واریانس بین رتبهها در محیطها) و $Si^{(6)}$ (برآیند انحراف مطلق) در واقع ترکیبی از عملکرد و پایداری بر اساس رتبه بندی ژنوتیپها در هر مکان می باشند و پایداری را بر اساس میانگین رتبه بندی هر ژنوتیپ اندازه گیری می کنند. بر پایه آماره های $Si^{(1)}$ ، $Si^{(2)}$ ، $Si^{(3)}$ و $Si^{(6)}$ ژنوتیپهایی که کمترین مقدار این آماره ها را داشته باشند، به عنوان پایدارترین ژنوتیپها در نظر گرفته میشوند. براساس آماره های $Si^{(1)}$ و $Si^{(2)}$ ژنوتیپهای ۶، ۵ و ۲ بیشترین پایداری عملکرد را نشان دادند. بر اساس آماره $Si^{(3)}$ ژنوتیپهای ۱۶، ۵ و ۱۵ و بر اساس آماره $Si^{(6)}$ ژنوتیپهای ۵، ۱۶ و ۶ به عنوان ژنوتیپهایی با بیشترین پایداری عملکرد، شناسایی شدند. همانگونه که در جدول ۳ نشان داده شده است ژنوتیپهای ۵، ۱۶، ۱۵ دارای پایبندترین میانگین های عملکرد می باشند و عملکرد آنها از شاهد برتر (رقم سهپهر) کمتر بود. در میان ژنوتیپهای با میانگین عملکرد بالا، تنها ژنوتیپ ۱۳ از نظر دو آماره $Si^{(1)}$ و $Si^{(2)}$ در رتبه خوبی قرار داشت (به ترتیب رتبه ۴ و ۵). ژنوتیپ ۱۲ با رتبه دوم از نظر عملکرد از نظر آماره $Si^{(3)}$ در رتبه ۵ قرار داشت و از نظر سایر آماره های نزار و هیون در رتبه های مناسبی قرار نگرفت. ژنوتیپهای ۱۰ و ۱۱ با رتبه های یک و سه از لحاظ میانگین عملکرد نیز براساس هیچ یک از آماره های ذکر شده در رتبه های مناسبی قرار نگرفتند.

آماره فاکس. ژنوتیپها را بر اساس عملکرد و پایداری در سه دسته بالا (TOP)، متوسط و پایین قرار می دهد. بالاتر بودن مقدار آماره TOP یک ژنوتیپ، به معنای پایداری بودن آن ژنوتیپ می باشد. بر اساس آماره TOP ژنوتیپهای ۱۲، ۱۰ به عنوان پایدارترین ژنوتیپها شناسایی شدند. این ژنوتیپها از نظر میانگین عملکرد نیز در بالاترین رتبهها قرار داشتند. گزارش شده است که در

بسیاری از موارد، همبستگی مثبت میان رتبه ژنوتیپ ها از نظر میانگین عملکرد و رتبه آماره TOP وجود دارد (Abdulahi et al., 2007). پیشتر به موثر بودن آماره TOP در شناسایی ژنوتیپ های پرمحصول و با پایداری بالای عدس اشاره شده است (Namdari et al., 2022b).

آماره کانگ. جمع رتبه واریانس شوکلا (از آماره های پارامتری) و میانگین عملکرد، مقدار آماره مجموع رتبه کانگ را بدست می دهد که در آن هر دو جزء عملکرد و پایداری عملکرد در نظر گرفته شده اند (Kang, 1993). بر پایه آماره کانگ (YSi) ژنوتیپ های ۱۲، ۱۳ و ۱ به عنوان پایدارترین ژنوتیپ ها شناسایی شدند. دو رقم شاهد بر اساس این آماره در رتبه های نامناسبی قرار گرفتند.

SIIG. به دلیل اینکه نتایج حاصل از تجزیه پایداری با استفاده از شاخص های مختلف ناپارامتری متفاوت و در برخی موارد متضاد است، در این تحقیق از شاخص SIIG به منظور ارزیابی جامع تر، استفاده شد. از روش SIIG می توان برای رتبه بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ های مختلف و گزینش برترین ژنوتیپ ها استفاده نمود. از ویژگی های این روش این است که برای محاسبه آن می توان از شاخص های گوناگون، صفات مورفولوژیک، صفات فیزیولوژیک و غیره استفاده نمود و کارایی انتخاب را افزایش داد. این شاخص، حاصل ادغام آماره های گوناگون ناپارامتری است و می تواند در انتخاب دقیق تر ژنوتیپ ها با پایداری عملکرد بالا مفید باشد. در شکل ۲ پراکنش ژنوتیپ ها بر اساس میزان عملکرد (محور X) و شاخص SIIG (محور Y) نشان داده شده است. براین اساس ژنوتیپ های ۱۲، ۱۳ و ۱ هم از لحاظ شاخص SIIG و هم از لحاظ میزان عملکرد وضعیت مطلوبی داشتند. ژنوتیپ های ۱۰ و ۱۱ با این حال که عملکرد مطلوبی داشتند از نظر شاخص SIIG، پایین تر از رقم سپهر بودند. رقم گچساران هم از میانگین عملکرد و هم از لحاظ شاخص SIIG جزء ضعیف ترین ژنوتیپ ها بود. از جمله مزیت های این روش آن است که معیارها یا شاخص های به کار رفته برای مقایسه می توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (Zali et al., 2020). از شاخص SIIG برای ادغام آماره های ناپارامتری در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ ها در گندم دوروم نیز استفاده شده است و با استفاده از شاخص SIIG و عملکرد در یک نمودار دو بعدی، ژنوتیپ های پایدار با عملکرد بالا، شناسایی شدند (Najafi et al., 2018).



شکل ۲ - نمودار دو بعدی پراکنش ژنوتیپ‌های عدس بر اساس عملکرد دانه و روش SIIG

Fig 2 - Two-dimensional distribution diagram of lentil genotypes based on seed yield and SIIG method

دانشگاه

جدول ۳ - برآورد آماره‌های ناپارامتری پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس

Table 3 - Estimation of non-parametric statistics for the grain yield stability of lentil genotypes

G	GY	Rank	Si ⁽¹⁾	Rank	Si ⁽²⁾	Rank	Si ⁽³⁾	Rank	Si ⁽⁶⁾	Rank	NPi ⁽¹⁾	Rank	NPi ⁽²⁾	Rank	NPi ⁽³⁾	Rank	NPi ⁽⁴⁾	Rank	TOP	Rank	YSi	Rank
1	929	5	4.89	5	17.84	4	14.65	8	3.24	7	3.13	7	0.31	6	0.43	7	0.53	7	25	5	14	3
2	860	11	4.36	3	13.43	1	10.58	6	2.68	6	2.75	3	0.25	3	0.36	3	0.45	3	25	5	6	9
3	912	6	5.68	11	22.98	10	24.03	13	4.08	13	3.63	10	0.60	13	0.60	13	0.76	13	25	5	9	6
4	814	16	7.21	14	37.36	14	22.20	12	3.90	11	5.50	15	0.50	11	0.56	10	0.70	10	37.5	3	-3	13
5	835	14	4.32	2	14.27	2	5.82	2	1.60	2	2.63	1	0.23	2	0.31	1	0.38	1	0	7	3	11
6	864	10	4.18	1	15.13	3	8.91	4	2.16	3	2.63	2	0.20	1	0.33	2	0.38	2	25	5	7	8
7	845	13	5.21	7	19.93	6	14.11	7	2.47	5	3.00	5	0.29	4	0.41	5	0.52	6	12.5	6	4	10
8	897	8	6.96	13	34.70	13	30.16	15	4.97	15	4.88	13	0.75	14	0.79	15	1.00	15	50	2	3	11
9	856	12	7.64	16	41.64	16	25.63	14	4.34	14	5.75	16	0.52	12	0.58	12	0.74	12	37.5	3	3	11
10	1031	1	8.43	17	54.21	17	43.64	17	6.37	17	6.75	17	1.23	17	0.93	16	1.14	16	50	2	11	5
11	996	3	7.39	15	38.98	15	35.51	16	5.39	16	5.13	14	0.85	15	0.79	14	1.00	14	37.5	4	8	7
12	1020	2	5.57	9	22.00	9	10.50	5	3.64	8	3.75	11	1.15	16	1.05	17	1.33	17	75	1	18	1
13	950	4	4.82	4	18.84	5	18.40	9	3.73	10	2.88	4	0.38	8	0.54	9	0.64	9	37.5	4	15	2
14	901	7	5.39	8	20.27	7	21.48	11	3.96	12	3.63	9	0.47	10	0.45	8	0.57	8	37.5	4	12	4
15	828	15	5.11	6	20.55	8	7.79	3	2.37	4	3.13	6	0.33	7	0.42	6	0.50	5	0	7	0	12
16,(Sepehr)	729	17	6.25	12	28.41	12	4.92	1	1.54	1	4.13	12	0.29	5	0.38	4	0.48	4	0	7	-9	14
17,(Gachsaran)	879	9	5.57	10	23.64	11	21.44	10	3.68	9	3.25	8	0.41	9	0.58	11	0.71	11	25	5	0	12

GY: Grain Yield, Si⁽¹⁾, Si⁽²⁾, Si⁽³⁾, Si⁽⁶⁾: Nasar and Huehn statistics, NPi⁽¹⁾, NPi⁽²⁾, NPi⁽³⁾, NPi⁽⁴⁾: Thenarasu statistics, TOP: Fox statistic, YSi: Kang statistic

GY: عملکرد دانه. Si⁽¹⁾, Si⁽²⁾, Si⁽³⁾, Si⁽⁶⁾: آماره های نصار و هیون، NPi⁽¹⁾, NPi⁽²⁾, NPi⁽³⁾, NPi⁽⁴⁾: تنارازو، TOP: آماره فاکس، YSi: آماره کانگ.

تجزیه AMMI. بطور کلی در روش‌های مختلف ناپارامتری به دلیل اینکه اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط بصورت تک متغیره و ساده مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، می‌توانند دارای اشتباهات قابل توجه باشند و از این رو استفاده از مدل‌های آماری چند متغیره می‌تواند در درک دقیق‌تر واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌ها مختلف موثر باشد. مدل‌های AMMI با تجزیه و تحلیل همزمان اثرات اصلی ژنوتیپ‌ها و برهم‌کنش آن‌ها با محیط‌ها، به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که روابط پیچیده‌تری را میان ژنوتیپ‌ها و عوامل محیطی شناسایی کنند. این مدل‌ها قادر به شناسایی و تفکیک برهم‌کنش‌ها به صورت نمودارهای تعاملی هستند که نمایانگر نحوه تغییر واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون می‌باشند. در این بررسی نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه (بر اساس مدل AMMI) نشان داد که اثرهای محیط، ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثر محیط و ژنوتیپ به ترتیب نشان دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها به محیط‌های گوناگون و تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است. با توجه به معنی‌دار بودن برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، امکان تجزیه پایداری بر روی داده‌ها جهت تفسیر این برهم‌کنش وجود دارد (Namdari et al., 2022a). نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه بر اساس مدل AMMI نشان داد که سه مؤلفه اول در برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بودند و مؤلفه‌های یکم، دوم و سوم به ترتیب حدود ۴۰/۴، ۲۶/۵ و ۱۹/۸ درصد (مجموع سه مؤلفه اول ۸۶/۷ درصد و مجموع دو مؤلفه اول ۶۷/۱ درصد) از برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کنند (جدول ۴). بهترین شرایط در تجزیه AMMI این است که دو مؤلفه یک و دو، معنی‌دار شوند و سایر مؤلفه‌ها درصد کمی از برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط را در برگیرند (Katsura et al., 2016) البته با توجه به اینکه دو مؤلفه یک و دو نزدیک به هفتاد درصد برهم‌کنش را توجیه می‌کنند، نتایج از اعتبار قابل قبولی برخوردار می‌باشند.

جدول ۴ تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه بر اساس مدل AMMI

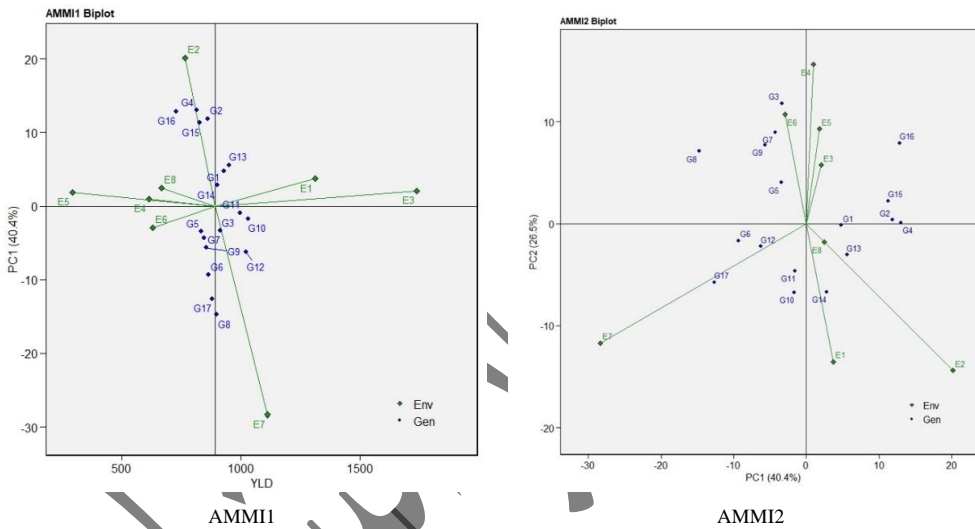
Table 4. The combined analysis of variance for grain yield based on the AMMI model

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد
Source	d.f	Mean of squares	Percentage
ENV	7	10985517.08**	
REP(ENV)	16	269469.81**	
GEN	16	146351.01**	
GEN×ENV	112	102881.2**	
PC1	22	211772.06**	40.4
PC2	20	152869.68**	26.5
PC3	18	126724.83**	19.8
PC4	16	45284.71	6.3
PC5	14	36755	4.5
PC6	12	12387.93	1.3
PC7	10	13748.83	1.2
Residuals	256		

در بای پلات AMMI1، محور افقی نشان دهنده اثرهای اصلی جمع پذیر و محور عمودی نشان دهنده اثرهای متقابل ضرب پذیر (مقدارهای نخستین مولفه اصلی) می باشند. ژنوتیپ‌هایی که مقدار نخستین مولفه اصلی آنها به صفر نزدیکتر باشد، برهمکنش کمتری با محیط دارند و بنابراین، پایدارتر می باشند. با توجه به اینکه در برنامه های به نژادی، هدف برگزیدن ژنوتیپ‌هایی با پایداری بالا و نیز عملکرد بالا می باشد، ژنوتیپ‌های برگزیده باید ترکیب مناسبی از هر دو جزء داشته باشند. کانون بای پلات AMMI1، میانگین عملکرد را نشان می دهد و ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست خط افقی قرار دارند، عملکرد بیشتری از میانگین دارند. در این بررسی دو ژنوتیپ ۱۱ و ۱۰، ضمن برخوردار بودن از پایداری عملکرد مناسب (قرار گرفتن نزدیک به محور افقی بای پلات)، از میانگین عملکرد مناسبی نیز برخوردار بودند. همچنین ژنوتیپ ۱۲ نیز در بالاترین رتبه‌های عملکرد قرار داشت و از نظر پایداری عملکرد نیز رتبه متوسط رو به بالا داشت و بویژه از هر دو رقم شاهد (ژنوتیپ های ۱۶ و ۱۷) شرایط بهتری داشت. دو رقم شاهد هم از نظر عملکرد و هم از نظر پایداری عملکرد در پایین ترین رتبه‌ها قرار داشتند (شکل ۳).

در بای پلات AMMI2، پایداری ژنوتیپ ها با در نظر گرفتن هر دو مولفه ی یک و دو، ارزیابی می شود. مولفه‌های یک و دو در مجموع، ۶۹ درصد از برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند. زاویه میان بردارها در بای پلات نشان دهنده همبستگی عملکرد در محیط‌ها می باشد. بدین ترتیب که زاویه حاده نشان دهنده همبستگی مثبت، زاویه عمودی نشان دهنده عدم همبستگی و زاویه باز، نشانگر

همبستگی منفی می‌باشد. در این بایپلات، ژنوتیپ‌هایی که به مرکز بایپلات نزدیکتر باشند، پایداری عملکرد بالاتری دارند (Aghaei Sarbarze et al., 2014) بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۲، ۵ و ۱۳ در بالاترین رتبه‌ها از نظر پایداری عملکرد قرار داشتند. ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۱ نیز در رده‌های بعدی قرار گرفتند. دو رقم شاهد گجساران و سپهر بر مبنای این بایپلات نیز در رتبه‌های پایینی قرار گرفتند و در کنار ژنوتیپ‌های ۳ و ۸، کمترین پایداری عملکرد را در محیط‌های هشت گانه نشان دادند (شکل ۳).



شکل ۳ - AMMI1) بایپلات مولفه اصلی اول (PC1) و عملکرد دانه (YLD کیلوگرم در هکتار)، AMMI2) بایپلات دو مولفه اول (PC1 و PC2) بر هم کنش ژنوتیپ×محیط برای عملکرد دانه ۱۷ ژنوتیپ عدس در هشت محیط

Fig 3 – AMMI1) Biplot showing the relationship between the first principal component (PC1) and grain yield (YLD kg/ha), AMMI2) Biplot illustrating the interaction between genotype and environment for the grain yield of 17 lentil genotypes across eight environments

طول بردارهای سبز نشان دهنده سهم هر محیط در برهم کنش بین ژنوتیپ و محیط است. محیط‌های ۱، ۷، ۲ و ۴ بیشترین نقش را در برهم کنش ژنوتیپ و محیط داشتند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بایپلات قرار دارند از پایداری عمومی برخوردار هستند و برای کشت در بیشتر محیط‌های بررسی شده، توصیه می‌شوند. از سوی دیگر ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز بایپلات و در مجاورت محیط‌های ویژه‌ای پراکنش یافته‌اند، دارای پایداری خصوصی به آن محیط‌ها می‌باشند. بر این اساس در شکل ۳ دیده می‌شود که ژنوتیپ ۳ فاقد سازگاری عمومی می‌باشد اما سازگاری خصوصی به محیط ۴ نشان می‌دهد و همچنین ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۴ به محیط‌های ۲ و ۱

سازگاری خصوصی دارند. با توجه به اینکه محیط‌های ۱ و ۲ مربوط به منطقه گچساران می‌باشند لذا این دو ژنوتیپ واجد سازگاری خصوصی به منطقه گچساران می‌باشند.

نتیجه‌گیری

آماره ناپارامتری TOP، ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۰ را به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها نشان داد و آماره کانگ نیز ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۳ را در رتبه‌های برتر قرار داد. با تجمیع آماره‌های ناپارامتری و محاسبه آماره SIIG، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۰ و ۱۲ در بهترین شرایط از نظر عملکرد و پایداری عملکرد قرار گرفتند. براساس نتایج تجزیه چند متغیره AMMI نیز بای‌پلات AMMI 1 ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ را به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی نمود و بای‌پلات AMMI 2 ژنوتیپ ۱۲ را در بهترین شرایط از نظر میانگین و پایداری عملکرد تشخیص داد. در مجموع با در نظر گرفتن نتایج تجزیه ناپارامتری و تجزیه AMMI، ژنوتیپ ۱۲ با برخورداری از میانگین عملکرد بالا و پایداری عملکرد بالا، به عنوان ژنوتیپ برتر شناسایی شد و در کنار این ژنوتیپ، ژنوتیپ ۱۰ نیز از شرایط مناسبی برخوردار بود و این ژنوتیپ‌ها به عنوان کاندیدهای معرفی به عنوان رقم جدید برای مناطق گرمسیری شناسایی شدند.

منابع

- Abdulahi, A., Mohammadi, R., & Pourdad, S. S. (2007). Evaluation of Safflower (*Carthamus spp.*) Genotypes in Multi-Environment Trials by Nonparametric Methods. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(5), 827-832. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.827.832>
- Aghaei-Sarbarze, M., Dastfal, M., Farzadi, H., Andarzian, B., Shahbazzpour-Shahbazi A, Bahari, M., & Rostami, H. (2014). Evaluation of yield and yield stability of durum wheat genotypes in tropical and dried region of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 28, 315-325. (In Persian).
- Agricultural Statistics. (2022). *Annual Report. Ministry of Agriculture Press*. [https://www.maj.ir/Index.aspx.\(InPersian\)](https://www.maj.ir/Index.aspx.(InPersian)).
- Amelework, A. B., Bairu, M. W., Marx, R., Laing, M., & Venter, S. L. (2023). Genotype \times Environment Interaction and Stability Analysis of Selected Cassava Cultivars in South Africa. *Plants*, 12(13), 2490. <https://doi.org/10.3390/plants12132490>
- Farshadfar, E., Mahmudi, N., & Shebanirad, A. (2014). Nonparametric methods for interpreting genotype \times environment interaction in bread wheat genotypes. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 55-62.
- Fox, P. N., Skovmand, B., Thompson, B. K., Braun, H.-J., & Cormier, R. (1990). Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica*, 47(1), 57-64. <https://doi.org/10.1007/BF00040364>
- Haghpanah, M., Kazemitabar, S. K., Hashemi, S. H., & Alavi, S. M. (2015). Evaluation of Mazandaran nettle (*Urtica Dioica*) population structure and genetic diversity by AFLP markers. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 22(2), 241-250. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2015.12227>

- Jamshidmoghaddam, M., & Pourdad, S. S. (2013). Genotype \times environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica*, 190(3), 357–369. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0776-z>
- Kang, M. S. (1993). Simultaneous Selection for Yield and Stability in Crop Performance Trials: Consequences for Growers. *Agronomy Journal*, 85(3), 754–757. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030042x>
- Katsenios, N., Sparangis, P., Leonidakis, D., Katsaros, G., Kakabouki, I., Vlachakis, D., & Efthimiadou, A. (2021). Effect of Genotype \times Environment Interaction on Yield of Maize Hybrids in Greece Using AMMI Analysis. *Agronomy*, 11(3), 479. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030479>
- Katsura, K., Tsujimoto, Y., Oda, M., Matsushima, K., Inusah, B., Dogbe, W., & Sakagami, J.-I. (2016). Genotype-by-environment interaction analysis of rice (*Oryza* spp.) yield in a floodplain ecosystem in West Africa. *European Journal of Agronomy*, 73, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.014>
- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H. (2018). Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(2), 79-96. (In Persian).
- Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Mehraban, A., Mirzaei, A., & Vaezi, B. (2022a). Evaluation of Grain Yield Stability of Advanced Rainfed Lentil Genotypes using Multivariate AMMI Method. *Journal of Crop Breeding*, 14(42), 169-176. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jcb.14.42.169>
- Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Mehraban, A., Naseri, A., Vaezi, B., & Nazarli, H. (2022b). Evaluation the grain yield stability of promising rainfed lentil genotypes using parametric and non-parametric statistics. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(3), 145-159. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.330502.654854>
- Nassar, R., & Huehn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 45–53.
- Olivoto, T., & Lúcio, A. D. (2020). metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783–789. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>
- Omrani, A., Omrani, S., Khodarahmi, M., Shojaei, S. H., Illés, Á., Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., & Nagy, J. (2022). Evaluation of Grain Yield Stability in Some Selected Wheat Genotypes Using AMMI and GGE Biplot Methods. *Agronomy*, 12(5), 1130. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051130>
- Pezeshkpoor, P., & Karimizadeh, R. (2023). Evaluation of the Mean Performance and Stability of Chickpea Genotypes by Integration AMMI and BLUP Models and Selection Based on Multi-Trait Stability Index (MTSI). *Journal of Crop Breeding*, 15(46), 73-83. (In Persian). <https://doi.org/10.61186/jcb.15.46.73>
- Pour-Aboughadareh, A., Khalili, M., Pocza, P., & Olivoto, T. (2022). Stability Indices to Deciphering the Genotype-by-Environment Interaction (GEI) Effect: An Applicable Review for Use in Plant Breeding Programs. *Plants*, 11(3), 414. <https://doi.org/10.3390/plants11030414>
- Senguttuvel, P., Sravanraju, N., Jaldhani, V., Divya, B., Beulah, P., Nagaraju, P., Manasa, Y., Prasad, A. S. H., Brajendra, P., Gireesh, C., Anantha, M. S., Suneetha, K., Sundaram, R. M., Madhav, M. S., Tuti, M. D., Subbarao, L. V., Neeraja, C. N., Bhadana, V. P., Rao, P. R., ... Subrahmanyam, D. (2021). Evaluation of genotype by environment

- interaction and adaptability in lowland irrigated rice hybrids for grain yield under high temperature. *Scientific Reports*, 11(1), 15825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95264-4>
- Singh, C., Gupta, A., Gupta, V., Kumar, P., Sendhil, R., Tyagi, B., Singh, G., Chatrath, R., & Singh, G. (2019). Genotype \times environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19(3), 309–318. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3a43>
- Song, W., Sun, S., Ibrahim, S. E., Xu, Z., Wu, H., Hu, X., Jia, H., Cheng, Y., Yang, Z., Jiang, S., Wu, T., Sinegovskii, M., Sapey, E., Nepomuceno, A., Jiang, B., Hou, W., Sinegovskaya, V., Wu, C., Gai, J., & Han, T. (2019). Standard Cultivar Selection and Digital Quantification for Precise Classification of Maturity Groups in Soybean. *Crop Science*, 59(5), 1997–2006. <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.02.0095>
- Subedi, M., Khazaei, H., Arganosa, G., Etukudo, E., & Vandenberg, A. (2021). Genetic stability and genotype \times environment interaction analysis for seed protein content and protein yield of lentil. *Crop Science*, 61(1), 342–356. <https://doi.org/10.1002/csc2.20282>
- Sun, X., Ma, P., & Mumm, R. H. (2012). Nonparametric Method for Genomics-Based Prediction of Performance of Quantitative Traits Involving Epistasis in Plant Breeding. *PLoS ONE*, 7(11), e50604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050604>
- Thennarasu, K. (1995). *On certain non-parametric procedures for studying genotype environment interactions and yield stability*. IARI, Division of Agricultural Statistics. New Delhi.
- Whitley, E., & Ball, J. (2002). Statistics review 6: Nonparametric methods. *Critical Care*, 6(6), 509. <https://doi.org/10.1186/cc1820>
- 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. (In Persian).
- Zali, H., Farshadfar, E., & Sabaghpour, S. H. (2011). Non-parametric analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in Iran. *Crop Breeding Journal*, 1, 89-100.(In Persian).
- Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Mansouri, S., & Fallah-Toosi, A. (2021). Evaluation of Seed Yield Stability of Promising Sesame Lines using Different Parametric and Nonparametric Methods. *Plant Genetic Reserches*, 8(1), 43-60. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/pgr.8.1.4>

پیش از دستیار