

## Studying the Genotype $\times$ Environment Interaction and Grain Yield Stability of Winter Oilseed Rape Mutant Lines Using Parametric, Non-Parametric and SIIG Index Methods

Hossein Mehripour Azbarmi<sup>1</sup>, Jalal Saba<sup>2</sup>, Bahram Alizadeh<sup>3,\*</sup>, Amir Gholizadeh<sup>4</sup> and Farid Shekari<sup>2</sup>

- 1- Ph.D. Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
- 2- Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
- 3- Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 4- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

\*Corresponding author ✉: [ba.alizadeh@areeo.ac.ir](mailto:ba.alizadeh@areeo.ac.ir)

**Citation:** Mehripour Azbarmi, H., Saba, J., Alizadeh, B., Gholizadeh, A. and Shekari, F. (2024). Studying the genotype  $\times$  environment interaction and grain yield stability of winter oilseed rape mutant lines using parametric, non-parametric and SIIG index methods. *Plant Genetic Researches*, 11(1): 103-120. <http://dx.doi.org/10.22034/PGR.11.1.7>

(Received: June 6, 2024; Final Revised: August 16, 2024; Accepted: August 26, 2024; Published online: September 21, 2024)

### Extended abstract

#### Introduction

Oilseeds are one of the most important sources of energy all over the world. Rapeseed is an important crop that its oil has nutritional and high economic value. Rapeseed is one of the most important sources of vegetable oil in the world, and its seed contains more than 40% of oil, and the meal obtained from oil extraction has more than 35% of protein, and currently it ranks third among oil plants after soybean and oil palm. in the world. Rapeseed is usually used throughout the world for food, livestock fodder and industrial applications such as bio-products and biofuel production, biodegradable plastics and hydraulic oils. Rapeseed seeds contain protein, minerals, vitamin and oil that are used in nutritional and pharmaceutical industries [6]. The oleic acid is the most important fatty acid in the oil of rapeseed. The oleic acid has industrial uses and plays a fundamental role in human nutrition. By using new and high-yield varieties, the economic performance of this product can be increased. Evaluating of promising advanced lines of soybean under different environmental conditions is essential in identifying and selecting superior lines with high and stable yield potential. Genotype  $\times$  environment interaction effect are important limiting factors in the introduction of new cultivars. The genotype  $\times$  environment interaction is a major challenge in the study of quantitative characters because it reduces yield stability in different environments and also it complicates the interpretation of genetic experiments and makes predictions difficult. Therefore, it is very important to know the type and nature of the interaction effect and reach the verities that have the least role in creating interaction effects. Various methods have been introduced to evaluate the interaction effect, each of which examines the nature of the interaction effect from a specific point of view. The purpose of this study was to investigate the interaction effect of genotype  $\times$  environment using the parametric, non-parametric and SIIG index methods to identify stable genotypes with high grain yield under different environmental conditions in rapeseed.



©2024 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.

## Material and methods

In this study, 9 lines and 6 cultivars were evaluated in a randomized complete block design with three replications in six experimental field stations (Karaj, Kermanshah, Isfahan, Hamadan, Zarghan and Qazvin) during two cropping seasons. In order to analysis the genotype  $\times$  environment interactions, the parametric, non-parametric and SIIG index methods were used. Plants were harvested at maturity and then the seed yield was recorded for each genotype at each test environment.

## Results and discussion

Results of combined analysis of variance indicated that the effects of environments (E), genotypes (G) and genotype  $\times$  environment (G $\times$ E) interaction were significant for seed yield. The results of combined analysis of variance indicated that 78, 4 and 18 percent of total variation were related to the environment, genotype and genotype  $\times$  environment interaction effects, respectively. The results showed that the average yield of genotypes ranged 2669 to 3398 with a total average of 3065 kg. ha<sup>-1</sup>. Genotypes G1 and G15 produced the lowest and the highest seed yield, respectively. Also, the average seed yield of genotypes G3, G4, G6, G7, G8 and G9 was higher than the average seed yield. According to the stability analysis results using the Eberhart and Russel method, the Talaye cultivar with higher grain yield than overall mean and regression coefficient equal to one ( $b_i=1$ ) was identified as the genotype with high general stability for all regions. Based on the simultaneous selection method for yield and stability (YSi), the lines Z-900-6, T-1200-1, and Talaye cultivar with the lowest values were stable, whereas Zarafam, Okapi and Express cultivars with the highest values were unstable. Also, based on the SIIG index, the lines Z-900-6, T-1200-1, and Talaye cultivar with having high SIIG values as well as higher grain yields that total average was recognized as superior genotypes from the point of stability and grain yield. According to the results of cluster analysis, Karaj, Zarghan, Kermanshah and Isfahan locations were located in a group that indicates these locations had high predictability and repeatability power.

## Conclusion

Based on the SIIG index, the lines Z-900-6, and T-1200-1 were better than the other genotypes for seed yield and stability and had the high general adaptation to all environments. These genotypes have the potential to be used in research-extension trials for introduction as a new cultivar. Generally, our results showed the efficiency of the SIIG index to investigate the G $\times$ E interaction effect and provides good information about the studied genotypes.

**Keywords:** Broad adaptability, Eberhart and Russel method, Simultaneous selection for yield and stability, Winter rapeseed



## بررسی برهم کنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه لاین‌های جهش‌یافته کلزای زمستانه با

## استفاده از روش‌های پارامتری، ناپارامتری و شاخص SIIG

حسین مهری‌پور ازبیری<sup>۱</sup>، جلال صبا<sup>۲</sup>، بهرام علیزاده<sup>۳\*</sup>، امیرقلی‌زاده<sup>۴</sup> و فرید شکاری<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

۳- استاد، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۷؛ تاریخ آخرین ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱)

## چکیده

اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مسئله‌ای مهم در مطالعه صفات کمی می‌باشد، زیرا پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را کاهش می‌دهد. در این راستا، به منظور تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین پایداری عملکرد دانه و سازگاری لاین‌های جهش‌یافته کلزای زمستانه، تعداد ۹ لاین و ۶ رقم در شش ایستگاه تحقیقاتی (اصفهان، همدان، کرج، کرمانشاه، قزوین و زرکان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثرات محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود و از این رو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. بر اساس نتایج تجزیه پایداری با روش ابرهارت و راسل، رقم طلایه با عملکرد بالاتر از میانگین و ضریب رگرسیون نزدیک به یک به عنوان ژنوتیپ با سازگاری عمومی بالا برای تمام مناطق شناخته شد. بر اساس روش گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری (YS<sub>i</sub>)، لاین‌های Z-900-6، T-1200-1 و رقم طلایه با کمترین مقادیر به عنوان پایدارترین و ارقام زرفام، اوکاپی و اکسپرس با بیشترین مقدار آماره مذکور به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین بر اساس شاخص SIIG، لاین‌های Z-900-6، T-1200-1 و رقم طلایه با داشتن مقدار SIIG بالا و همچنین عملکرد دانه بالاتر از میانگین به عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه شناخته شدند؛ بنابراین لاین‌های Z-900-6 و T-1200-1 قابلیت ورود به آزمایش‌های تحقیقی-ترویجی به منظور معرفی به عنوان رقم جدید را دارند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، هر دو سال آزمایش مکان‌های کرج، زرکان، کرمانشاه و اصفهان در یک گروه قرار گرفتند که نشان‌دهنده قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالای این مکان‌ها می‌باشد.

واژگان کلیدی: پایداری عمومی، روش ابرهارت و راسل، گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری، کلزای زمستانه

## مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات، مهم‌ترین منابع تأمین انرژی می‌باشند. کلزا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در سراسر جهان محسوب می‌شود که روغن آن به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع فراوان و فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (Dezfouli *et al.*, 2019). این گیاه زراعی به دلیل داشتن ارقام بهاره و پاییزه، سازگاری به شرایط متنوع آب و هوایی، تأمین کنجاله و سوخت‌های زیستی، ارزش تناوبی بالا، کنترل علف‌های هرز در تناوب زراعی و عملکرد روغن بالا، از اهمیت ویژه‌ای در میان دانه‌های روغنی برخوردار است (Alizadeh *et al.*, 2019). با توجه به این ویژگی‌های خاص، توسعه کشت و تولید کلزا ضروری می‌باشد. یکی از مهم‌ترین راهکارها برای افزایش سطح زیرکشت و تولید کلزا، معرفی ارقام جدید پربازده جهت کشت در نقاط مختلف ایران می‌باشد؛ بنابراین، به‌نژادگران کلزا باید به دنبال اصلاح و تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار باشند. یکی از مهم‌ترین مسائلی که هنگام معرفی و آزادسازی ارقام جدید از اهمیت بالایی برخوردار است، بحث اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد می‌باشد. پایداری عملکرد به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد خود و به حداقل رساندن خسارت ناشی از تغییرات آب‌وهوایی گفته می‌شود (Fooladvand *et al.*, 2013). برای تعیین و شناسایی ژنوتیپ‌های با اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کمتر و پایدار، ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف کشت و بررسی می‌شوند. وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باعث پیچیده شدن ارزیابی ژنوتیپ‌ها و کاهش کارایی روش‌های به‌نژادی شده و وسعت کشت ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده را کاهش می‌دهد (Alizadeh *et al.*, 2021a)؛ بنابراین، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در برنامه‌های به‌نژادی بسیار مهم و ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های مختلفی برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار به‌کار برده شده است که شامل روش‌های ناپارامتری و پارامتری تک‌متغیره و چندمتغیره می‌باشند. هرکدام از این روش‌ها جنبه‌ها و ابعاد

خاصی از داده‌های چندمحیطی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند (Mohammadi *et al.*, 2018; Vaezi *et al.*, 2019). در این میان، از روش‌های پارامتری و ناپارامتری برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در محصولات زراعی به‌طور گسترده توسط محققان مختلف استفاده شده است.

در میان روش‌های پارامتری، روش‌های رگرسیونی که از روش‌های تک‌متغیره می‌باشند، به‌عنوان روش‌های مناسب و کارا برای تجزیه و تحلیل برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط توسط محققان مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Becker and Leon, 1988; Wachira *et al.*, 2002; Akbarpour *et al.*, 2012). روش رگرسیون ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) یکی از پرکاربردترین روش‌های رگرسیونی می‌باشد که جهت تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های چندمحیطی در گیاهان مختلف از جمله گلرنگ (Jamshidmoghaddam and Pourdad, 2013)، خلر (Ahmadi *et al.*, 2016)، جو (Vaezi *et al.*, 2019)، پنبه (Alishah *et al.*, 2019)، آفتابگردان (Ahmadpour *et al.*, 2019) و کلزا (Alizadeh *et al.*, 2021b) مورد استفاده قرار گرفته است. ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) از پارامترهای آماری شیب‌خط رگرسیون و واریانس انحراف از خط رگرسیون برای بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کردند. بر مبنای این روش، ژنوتیپی پایدار محسوب می‌شود که دارای میانگین عملکرد بالا، ضریب رگرسیون نزدیک به یک و واریانس انحراف از خط رگرسیون کوچک باشد. از سایر روش‌های پارامتری مانند ضریب تغییرات، ضریب تشخیص، واریانس محیطی، واریانس پاداری شوکلا و اکوالانس ریک نیز برای بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است (Vaezi *et al.*, 2019; Alizadeh *et al.*, 2022; Akbari *et al.*, 2022).

روش‌های آماری ناپارامتری نیز به دلیل عدم نیاز به فرض نرمال بودن داده‌ها یا یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی و همچنین حساس نبودن به خطا و داده‌های پرت، اطلاعات

ذکر شده، هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار کلزای زمستانه با استفاده از روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری و شاخص SIIG برای ادغام روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری بود.

### مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، تعداد نه لاین جهش‌یافته کلزای زمستانه به‌همراه شش رقم، در شش ایستگاه تحقیقاتی (کرج، کرمانشاه، اصفهان، همدان، زرقان و قزوین) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ مورد ارزیابی قرار گرفتند. کد، نام و شجره ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ و برخی مشخصات اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۲ ذکر شده است. مشخصات فنی و زراعی دوازده آزمایش (محیط) این طرح در کلیه مناطق یکسان بود و ژنوتیپ‌ها به‌عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند. در تمام مناطق ژنوتیپ‌ها در ۴ خط ۵ متری به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از هم کشت شد. تراکم بوته در واحد سطح حدود ۶۰ بوته در مترمربع بود و این تراکم با توزین وزن بذر و نیز عمل تنک کردن ایجاد شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک (جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و مال‌ه (جهت تسطیح) بود و بر اساس نتایج آزمایش خاک اقدام به کود دهی شد. پس از آماده‌سازی زمین بر اساس نتایج آزمون خاک، مقدار پتاسیم و فسفر موردنیاز به‌ترتیب از منابع کودی سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت به زمین داده شد. کود ازته نیز به‌صورت سرک در سه مرحله کاشت، شروع ساقه رفتن و زمان پیدایش اولین غنچه‌های گل به میزان ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. کشت در تاریخ مناسب هر منطقه انجام شد. در مرحله شش برگی در صورت نیاز وجین به‌صورت دستی انجام شد. طی دوران رشد و در هنگام مشاهده شته از سم کنفیدور و دیمتوات به‌ترتیب به‌میزان ۰/۲۵ لیتر و یک لیتر در هکتار استفاده شد. آبیاری‌ها به‌صورت نشتی انجام گردید. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، برداشت محصول هر رقم از دو خط میانی با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت انجام شد و پس از تبدیل، عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) محاسبه گردید.

مفیدی را در مورد تغییرپذیری فنوتیپی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در اختیار به‌نژادگران قرار می‌دهند (Karimizadeh et al., 2008; Movahhedi et al., 2010; Pourdad et al., 2014; Moghaddaszadeh et al., 2018). روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های دیگر مزایای دیگری دارند که از آن جمله می‌توان به تجزیه و تحلیل و تفسیر آسان و همچنین عدم حساسیت این معیارها به حذف یا اضافه نمودن تعداد کمی از ژنوتیپ‌ها اشاره نمود. از روش‌های ناپارامتری در عدس (Ebadi et al., 2008)، نخود (Sabaghnia et al., 2006)، یونجه (Movahhedi et al., 2010)، کلزا (Pourdad et al., 2014; Alizadeh et al., 2021a)، جو (Vaezi et al., 2017)، سیب‌زمینی (Moghaddaszadeh et al., 2018)، گندم نان (Abyar et al., 2021) و آفتابگردان (Ghaffari et al., 2022) برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده شده است.

با توجه به تنوع زیاد روش‌های پارامتری و ناپارامتری، استفاده از یک روش به‌تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نشود. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از روش‌ها، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های پایدار را افزایش می‌دهد. شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (Selection index of ideal genotype; SIIG) یکی از روش‌های آماری چندمعیاره است که بر اساس مجموعه‌ای از پارامترها یا شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های پایدار مطلوب را شناسایی می‌کند (Zali et al., 2015, 2016). به کمک روش SIIG، تمام شاخص‌ها و پارامترها به‌صورت یک شاخص درآمده و در نتیجه رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار بسیار راحت‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که پارامترها یا شاخص‌های به‌کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (Najafi Mirak et al., 2018). از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) در گندم دوروم (Najafi Mirak et al., 2018)، جو (Ramzi et al., 2020)، باقلا (Sheikh et al., 2021) و کلزا (Alizadeh et al., 2021b) برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس مجموعه‌ای از پارامترها یا شاخص‌ها استفاده شده است. با توجه به مطالب

جدول ۱- شماره، کد و شجره ژنوتیپ‌های کلزا مورد بررسی

Table 1. Code, name and pedigree of the tested rapeseed genotypes.

شماره	کد	نام/شجره	منشأ	شرکت
No.	Code	Name/Pedigree	Origin	Company
1	G1	Zarfam	Iran	Seed and Plant Improvement Institute (SPII)
2	G2	Z-800-3	Iran	Nuclear Agriculture Research School
3	G3	Z-880-6	Iran	Nuclear Agriculture Research School
4	G4	Z-900-6	Iran	Nuclear Agriculture Research School
5	G5	Z-900-7	Iran	Nuclear Agriculture Research School
6	G6	Z-900-8	Iran	Nuclear Agriculture Research School
7	G7	Z-900-9	Iran	Nuclear Agriculture Research School
8	G8	Talaye	Germany	Seed and Plant Improvement Institute (SPII)
9	G9	T-1200-1	Iran	Nuclear Agriculture Research School
10	G10	Express	Germany	NPZ
11	G11	Exp-800-1	Iran	Nuclear Agriculture Research School
12	G12	Exp-800-2	Iran	Nuclear Agriculture Research School
13	G13	Okapi (Check)	France	Seed and Plant Improvement Institute (SPII)
14	G14	Ahmadi (Check)	Iran	Seed and Plant Improvement Institute (SPII)
15	G15	Nima (Check)	Iran	Seed and Plant Improvement Institute (SPII)

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی محیط‌های مورد مطالعه در این تحقیق

Table 2. Agro-climatic characteristics of the environments studied in this research

کد	مکان	فصل زراعی	طول جغرافیایی (درجه دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)
Code	Location	Cropping season	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)	Rainfall (mm)
Krj1	Karaj کرج	2021-2022	50° 54'	35° 56'	1312	300
Krj2	Karaj کرج	2022-2023				
Isf1	Isfahan اصفهان	2021-2022	51° 40'	32° 35'	1545	138
Isf2	Isfahan اصفهان	2022-2023				
Krm1	Kermanshah کرمانشاه	2021-2022	47° 26'	34° 08'	1346	468
Krm2	Kermanshah کرمانشاه	2022-2023				
Hmd1	Hamadan همدان	2021-2022	48° 40'	35° 12'	1758	308
Hmd2	Hamadan همدان	2022-2023				
Zrg1	Zarghan زرقان	2021-2022	52° 42'	29° 47'	1596	305
Zrg2	Zarghan زرقان	2022-2023				
Qaz1	Qazvin قزوین	2021-2022	49° 54'	36° 15'	1285	320
Qaz2	Qazvin قزوین	2022-2023				

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۱})$$

تبدیل ماتریس داده‌ها به ماتریس نرمال: از رابطه زیر برای نرمال کردن داده‌ها استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

ماتریس R به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۳})$$

پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف: در این مرحله برای هر شاخص یا صفت به‌طور جداگانه، بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ انتخاب می‌شود.

محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف: در این مرحله برای هر آماره یا شاخص، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و فاصله از ژنوتیپ ضعیف به ترتیب با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند. در این روابط  $r_{ij}$  مقدار نرمال شده شاخص (صفت)  $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) در رابطه با ژنوتیپ  $j$ ام ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) است.  $r_j^+$  و  $r_j^-$  به ترتیب مقدار نرمال شده ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف برای هر شاخص (صفت)  $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) همچنین  $d_i^+$  فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و  $d_i^-$  فاصله از ژنوتیپ ضعیف است.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2 \quad (\text{رابطه ۴})$$

$i = 1, \dots, n$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2 \quad (\text{رابطه ۵})$$

$i = 1, \dots, n$

محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل: در آخرین مرحله شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$0 \leq SIIG \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

مقدار SIIG بین صفر و یک تغییر می‌کند و هرچه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود (Zali et al., 2015, 2016). به عبارت

تجزیه و تحلیل آماری: ابتدا آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر سال و مکان (محیط) و آزمون F با توجه به امیدریاضی میانگین مربعات منابع تغییرات انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری انجام گردید. روش‌های پارامتری شامل ضریب رگرسیون و انحراف از خط رگرسیون (Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Francis and Russell, 1966)، ضریب تغییرات (Kannenberg, 1978; Pinthus, 1973)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، اکولانس ریک (Wricke, 1962) و واریانس محیطی (Plaisted and Peterson, 1959) و روش‌های ناپارامتری شامل آماره‌های هان  $S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}, S_i^{(6)}$  (Hühn, 1979;  $NP_i^{(1)}$  (Nassar and Hühn, 1987)، آماره‌های تنازوز  $NP_i^{(2)}, NP_i^{(3)}, NP_i^{(4)}$  (Thennarasu, 1995) و روش گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری (YS<sub>i</sub>) (Kang, 1988) توسط برنامه برخط STABILITYSOFT طراحی شده توسط پورابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh et al., 2019) محاسبه گردید.

در ادامه به منظور ادغام روش‌های پارامتری و ناپارامتری از شاخص SIIG (Zali et al., 2015, 2016) استفاده شد. نحوه محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) به شرح ذیل می‌باشد:

**تشکیل ماتریس داده‌ها:** با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و تعداد شاخص‌ها یا صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها به صورت رابطه ۱ تشکیل می‌شود. در این ماتریس  $x_{ij}$  مقدار شاخص (صفت)  $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) در رابطه با ژنوتیپ  $j$ ام ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) است.

دیگر، می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این روش استفاده کرد. بر اساس این روش، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ‌های ضعیف است. در اینجا منظور از ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که بیشترین پایداری عملکرد را داشته باشد، درحالی‌که ژنوتیپ ضعیف، ژنوتیپی فرضی است که کمترین پایداری عملکرد را داشته باشد (Zali *et al.*, 2015, 2016). به‌طور خلاصه، ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل هر یک از آماره‌های پایداری به‌دست می‌آید، درحالی‌که ژنوتیپ ضعیف از مجموع مقادیر ضعیف هر یک از آماره‌های پایداری حاصل می‌شود. به‌عنوان مثال در مورد عملکرد، حداکثر عملکرد یک ژنوتیپ، مقدار ایده‌آل و عملکرد پایین، به‌عنوان مقدار ضعیف در نظر گرفته می‌شود. همچنین در مورد واریانس پایداری شوکلا، مقدار ایده‌آل برابر کمترین مقدار واریانس پایداری شوکلا برای ژنوتیپ‌ها و مقدار ضعیف برابر با بیشترین مقدار واریانس پایداری شوکلا برای ژنوتیپ‌ها است. همچنین در ادامه به‌منظور گروه‌بندی محیط‌ها از نظر عملکرد دانه از تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد و معیار مجذور فاصله اقلیدسی استفاده شد. برای انجام محاسبات از نرم‌افزارهای آماری SAS (نسخه ۹/۱)، Minitab (نسخه ۱۴) و SPSS (نسخه ۱۹) استفاده شد.

## نتایج و بحث

**تجزیه واریانس مرکب:** قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، آزمون بارتلت به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد (مقدر آماره کای-دو غیرمعنی‌دار) و نتایج حاکی از این بود که واریانس محیط‌های مختلف یکسان بوده و از این‌رو امکان تجزیه مرکب داده‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود (جدول ۳). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به مجموع آن‌ها نشان داد که واریانس بین محیط‌ها ۷۸ درصد، واریانس بین

ژنوتیپ‌ها ۴ درصد و واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۱۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳)؛ بنابراین، عمده تغییرات موجود در داده‌ها به‌وسیله واریانس محیط‌ها توجیه شده است. با توجه به این‌که محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از عوامل محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی و نوع خاک) را دارا بود، بنابراین، اختصاص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها دور از انتظار نیست. نوساد و همکاران (Nowosad *et al.*, 2016) و علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2021a) نیز در کلزا گزارش کردند که عمده تغییرات موجود در داده‌ها را اثر محیط به خود اختصاص می‌دهد. همچنین سایر پژوهشگران در محصولات دیگر گزارش کردند که اثر محیط درصد قابل‌توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را در آزمایش‌های چندمحیطی به خود اختصاص داده است (Vaezi *et al.*, 2017; Ghaffari *et al.*, 2021; Gholizadeh *et al.*, 2022).

اثر معنی‌دار ژنوتیپ نیز بیانگر تنوع ژنتیکی بین مواد آزمایشی است. همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این مطالعه نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به‌عبارت دیگر عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه و تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باید مورد بررسی قرار گیرد. در یک برنامه اصلاحی هنگامی‌که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از نوع غیرمقاطع (Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت؛ اما اگر اثر متقابل از نوع مقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ را در نظر گرفت (Yan and Kang, 2003; Esmaeilzadeh Moghaddam *et al.*, 2018).



جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب و تجزیه واریانس به روش ابرهارت و راسل عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا

Table 3. Combined analysis of variance and Eberhart and Russell analysis of grain yield for rapeseed genotypes

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات کل (درصد) Total sum of squares (%)
محیط Environment (E)	11	422354040	38395822**	78
تکرار درون محیط Replication/E	24	15409066	642044	
ژنوتیپ Genotype (G)	14	21570225	1540730**	4
ژنوتیپ × محیط G × E	154	100619037	653370**	18
خطا Error	336	75457068	224575	
کل Total	539	635409436		
تجزیه ابرهارت و راسل Eberhart and Russell analysis				
کل Total	179	1.82E+08		
G	14	7190075	513576.8**	
E	11	1.41E+08	12798607**	
G × E	154	33539679	217790.1**	
E + [G × E]	168	1.74E+08	1037645**	
E [Linear]	1	1.41E+08	1.41E+08**	
G × E [Linear]	14	5412894	386635.3**	
انحراف از رگرسیون Deviation from regression	150	28126785	187511.9**	
G1	10	1297076	129707.6**	
G2	10	446094	44609.4**	
G3	10	2037849	203784.9**	
G4	10	1029196	102919.6**	
G5	10	1439307	143930.7**	
G6	10	1934877	193487.7**	
G7	10	2730406	273040.6**	
G8	10	2336550	233655**	
G9	10	1233077	123307.7**	
G10	10	2609412	260941.2**	
G11	10	909857.4	90985.74**	
G12	10	2006511	200651.1**	
G13	10	2957772	295777.2**	
G14	10	1264167	126416.7**	
G15	10	3894633	389463.3**	
خطا Error	336	75457068	224574.6**	

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

\*\* : Significant at 1% probability level

Kroon برای تشخیص اثر متقابل متقاطع کاربرد دارد (Hühn and Leon, 1995). نتایج تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده روش‌های ذکر شده در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به معنی‌دار شدن همه آزمون‌ها،

روش‌های ناپارامتری Hildebrand، Kubinger و Laan- Kroon قابلیت بالایی در تشخیص اثر متقابل غیرمتقاطع از متقاطع دارند. روش‌های Hildebrand و Kubinger برای تشخیص وجود اثر متقابل غیرمتقاطع و روش Laan-

می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع اثر متقابل (مقاطع و غیرمقاطع) در این پژوهش وجود دارد و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا باید مورد ارزیابی قرار گیرد. علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2020) نیز با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری (Kubinger, Hildebrand, Laan- Kroon) گزارش کردند که هر دو نوع اثر متقابل (مقاطع و غیرمقاطع) در کلزا وجود دارد. در بسیاری از تحقیقات در گیاهان مختلف نیز به‌منظور تشخیص اثر متقابل غیرمقاطع از مقاطع از آزمون‌های ناپارامتری (Kubinger, Hildebrand, Laan-Kroon) استفاده شده است (Sabaghnia *et al.*, 2006; Ebadi *et al.*, 2008; Karimzadeh *et al.*, 2013; Akbarpour *et al.*, 2016; Abyar *et al.*, 2021; Ghaffari *et al.*, 2022).

**تجزیه پایداری ناپارامتری:** نتایج بررسی میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها با استفاده از آماره ناپارامتری نشان داد که میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۲۶۶۹ تا ۳۳۹۸ با میانگین کل ۳۰۶۵ کیلوگرم در هکتار بود و ژنوتیپ‌های G1 و G15 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند (جدول ۵). علاوه بر ژنوتیپ G15، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های G3، G4، G6، G7، G8 و G9 نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیشتر بود. بر اساس آماره‌های ناپارامتری مورد بررسی در این تحقیق، ژنوتیپ‌های با کمترین مقادیر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس آماره‌های  $S_i^{(1)}$  و  $S_i^{(2)}$  ژنوتیپ‌های G1، G2، G11 و G12 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G6، G7، G15 و G1 بیشترین مقادیر آماره‌های مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین بر اساس آماره‌های  $S_i^{(3)}$  و  $S_i^{(6)}$  ژنوتیپ G8 به‌عنوان پایدارترین شناخته شد که دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۵). آماره  $NP_i^{(1)}$  ژنوتیپ‌های G2، G14، G9 و G12 را ژنوتیپ‌های پایدار معرفی کرد. بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها نشان داد که سه آماره  $NP_i^{(2)}$ ،  $NP_i^{(3)}$  و  $NP_i^{(4)}$  از نظر شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نتایج تقریباً مشابهی داشتند.

بر اساس این سه آماره، ژنوتیپ G8 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ معرفی شد (جدول ۵). روش‌گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری ( $YS_i$ ) به‌عنوان معیار دیگری جهت تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها توسط کنگ (Kang, 1988) ارائه شده است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار  $YS_i$  به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس این معیار، ژنوتیپ‌های G8، G9 و G4 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G13، G1 و G10 با بیشترین مقدار آماره مذکور به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۵). بیکر (Becker, 1981) دو نوع پایداری ژنوتیپی را تعریف کرده است. پایداری در مفهوم زیستی (بیولوژیک) به ژنوتیپی اشاره دارد که واریانس آن در میان محیط‌ها صفر است. این بدان معنا است که ژنوتیپ پایدار عملکرد غیرقابل‌تغییری در میان محیط‌ها دارد. این جنبه از پایداری در کشاورزی مطلوب نمی‌باشد. در حالی‌که بسیاری از به‌ژادگران مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری را جهت‌گزینش ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در شرایط محیطی مختلف ترجیح می‌دهند. بر طبق این مفهوم پایداری، یک پاسخ پیش‌بینی‌پذیر به عوامل محیطی وجود دارد یا به‌عبارت دیگر ژنوتیپ‌های گزینش شده دارای پتانسیل پاسخ به بهبود شرایط محیطی می‌باشند. در این آزمایش به‌نظر می‌رسد که معیار پایداری گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری ( $YS_i$ ) بیشتر از مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری بهره می‌برد و ژنوتیپ‌های پایدار (G8، G9 و G4) انتخاب شده توسط این پارامتر از عملکرد بالایی نیز برخوردار بودند؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که معیار  $YS_i$  دارای مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری می‌باشد و معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار در ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه می‌باشد. سایر محققان در گیاهان مختلف از قبیل یونجه (Movahhedi *et al.*, 2010)، جو (Vaezi *et al.*, 2019)، سیب‌زمینی (Moghaddaszadeh *et al.*, 2018)، کلزا (Alizadeh *et al.*, 2020)، گندم نان (Abyar *et al.*, 2021) و آفتابگردان (Ghaffari *et al.*, 2022) نیز معیار پایداری  $YS_i$  را دارای مفهوم دینامیک (زراعی) پایداری معرفی کردند.

جدول ۴- تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از آزمون‌های مختلف ناپارامتری برای ۱۵ ژنوتیپ کلزا مورد بررسی در ۱۲ محیط

Table 4. Analysis of genotype × environment interaction using different nonparametric tests on 15 rapeseed genotypes grown in 12 environments

آماره‌ها	درجه آزادی	آماره کای-دو
Statistics	df	$\chi^2$ statistic
Hildebrand	154	344.65**
Kubinger	154	281.39**
Laan-Kroon	154	205.80**

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

\*\* : Significant at 1% probability level

جدول ۵- آماره‌های پایداری ناپارامتری برای ۱۵ ژنوتیپ کلزا

Table 5. Non-parametric measures of stability for 15 rapeseed genotypes

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Mean yield (Kg.ha <sup>-1</sup> )	میانگین عملکرد								
		S <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	S <sub>i</sub> <sup>(6)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(1)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(2)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(3)</sup>	NP <sub>i</sub> <sup>(4)</sup>	YS <sub>i</sub>
1	2669	5.09	20.33	43.29	8.65	3.58	1.31	0.87	0.99	23
2	2785	4.08	12.39	28.68	6.95	2.17	0.85	0.59	0.86	15
3	3152	4.91	17.00	22.00	4.82	3.42	0.48	0.49	0.58	17
4	3190	4.35	13.66	17.17	4.06	3.50	0.41	0.46	0.50	11
5	3012	4.92	17.36	25.74	5.69	4.00	0.44	0.62	0.66	14
6	3208	5.17	19.90	27.65	5.41	3.33	0.63	0.60	0.65	17
7	3243	5.62	23.17	26.60	5.32	4.17	0.42	0.47	0.59	15
8	3369	4.15	13.82	13.82	3.27	4.00	0.26	0.43	0.38	11
9	3160	4.50	15.48	19.46	3.89	3.00	0.31	0.43	0.51	10
10	2964	4.77	16.08	24.98	5.79	3.58	0.54	0.59	0.67	22
11	2973	4.09	11.97	18.37	5.02	3.33	0.40	0.49	0.57	12
12	2940	4.15	13.61	20.88	4.28	3.08	0.52	0.54	0.58	19
13	3059	5.08	19.17	23.22	4.51	4.08	0.34	0.54	0.56	22
14	2859	3.95	11.72	21.19	4.82	2.75	0.54	0.57	0.65	16
15	3398	5.23	24.75	24.20	4.09	4.33	0.30	0.46	0.46	16

S<sub>i</sub><sup>(1)</sup>, S<sub>i</sub><sup>(2)</sup>, S<sub>i</sub><sup>(3)</sup> و S<sub>i</sub><sup>(6)</sup>: آماره‌های هان (Hühn's, 1979) و نصار و هان (Nassar and Hühn's, 1987), NP<sub>i</sub><sup>(1)</sup>, NP<sub>i</sub><sup>(2)</sup>, NP<sub>i</sub><sup>(3)</sup> و NP<sub>i</sub><sup>(4)</sup>

آماره‌های تنارازو (Thennarasu's, 1995), KR: آماره کانگ (Kang's, 1988).

S<sup>(i)</sup> Hühn's (1979) and Nassar and Hühn's (1987) nonparametric measures, NP<sup>(i)</sup> Thennarasu's non-parametric (1995) measures, KR Kang's (1988) rank-sum.

افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (خطی)، می‌توان نتیجه گرفت که شیب خط رگرسیونی ژنوتیپ‌ها یکسان نبوده و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی را نشان داده‌اند. معنی‌دار شدن میانگین مربعات انحرافات از خط رگرسیونی (انحراف مرکب) نیز نشان‌دهنده پراکندگی زیاد نقاط مربوط به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در اطراف خط رگرسیون می‌باشد و به بیان دیگر می‌توان گفت که واکنش یک ژنوتیپ در طول تغییرات خطی با محیط ممکن است دارای تغییرات زیادی باشد (Jafari et al., 2015).

تجزیه پایداری پارامتری: نتایج تجزیه واریانس به روش ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) در جدول ۳ نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که اثرات ژنوتیپ، محیط (خطی)، ژنوتیپ × محیط (خطی) و انحراف از رگرسیون معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ نشان‌دهنده این است که تنوع ژنتیکی وسیعی در بین ژنوتیپ‌ها وجود داشت. معنی‌دار شدن میانگین مربعات مربوط به محیط (خطی) بیانگر این است که بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر محیط با شاخص محیطی رابطه خطی وجود دارد، به گونه‌ای که با افزایش شاخص محیطی (بهبود شرایط کشت)، عملکرد ژنوتیپ‌ها نیز

میانگین کل آزمایش به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد یا مطلوب شناسایی شدند. همچنین ژنوتیپ‌های G5، G11، G12، G14، G2 و G1 با ضریب رگرسیون کمتر از یک و عملکرد دانه پایین‌تر از میانگین کل آزمایش به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد یا نامطلوب شناسایی شدند (جدول ۶). استفاده از ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی و خصوصی در سیستم‌های زراعی می‌تواند آثار منفی اثرات ژنوتیپ × محیط را خنثی کند و از این طریق می‌توان از شرایط آب و هوایی متفاوت استفاده کرد (Farshadfar and Sutka, 2006).

نتایج سایر آماره‌های پارامتری در جدول ۶ ذکر شده است. بر اساس آماره‌های اکوالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و واریانس محیطی ژنوتیپ‌های G11، G2 و G14 با کمترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین و ژنوتیپ‌های G15، G13 و G6 با بیشترین مقادیر ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. آماره ضریب تغییرات ژنوتیپ‌های G1، G15 و G13 را ژنوتیپ‌های پایدار معرفی کرد، در حالی که بر اساس آماره ضریب تشخیص که مقادیر بالای آن نشان‌دهنده پایداری است، ژنوتیپ‌های G2، G4 و G11 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶). از روش‌های پارامتری مانند ضریب تغییرات، ضریب تشخیص، واریانس محیطی، واریانس پایداری شوکلا و اکوالانس ریک برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است (Vaezi et al., 2019; Alizadeh et al., 2022; Akbari et al., 2022).

**شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG):** در این تحقیق به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف، علاوه‌بر استفاده از تک‌تک آماره‌های تجزیه پایداری ناپارامتری و پارامتری، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) نیز استفاده شد و همه آماره‌های تجزیه پایداری ناپارامتری و پارامتری ادغام شده و تبدیل به یک شاخص واحد یعنی SIIG شدند (جدول ۷).

بر مبنای روش تجزیه پایداری رگرسیونی ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) سه معیار عملکرد بالا، ضریب رگرسیونی برابر با یک و واریانس انحراف از خط رگرسیون غیرمعنی‌دار نشان‌دهنده پایداری یک ژنوتیپ می‌باشند. با توجه به معنی‌دار بودن انحراف از خط رگرسیون برای همه ژنوتیپ‌ها (جدول ۳)، از دو معیار دیگر ابرهارت و راسل (عملکرد بالا و ضریب رگرسیونی برابر یک) جهت تعیین میزان پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شد. معیارهای پایداری بر مبنای روش ابرهارت و راسل در جدول ۶ ارائه شده است. همچنین موقعیت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه و ضریب رگرسیون در شکل ۱ نمایش داده شده است. طبق تعریف ژنوتیپ‌هایی که دارای ضریب رگرسیون یک یا نزدیک به یک باشند و همچنین عملکرد آن‌ها از میانگین کل آزمایش بیشتر باشد، به‌عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی بالا برای تمام مناطق مورد بررسی شناخته می‌شوند. ژنوتیپ‌های با ضریب رگرسیون بالاتر از یک دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مطلوب و ژنوتیپ‌های با ضریب رگرسیون کمتر از یک دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های نامطلوب می‌باشند (Dorrani-Nejad and Mohammadi-Nejad, 2018). با توجه به نتایج جدول ۶ و شکل ۱ مشاهده می‌شود که در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ G8 با داشتن عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل آزمایش و ضریب رگرسیون معادل یک (۱/۰۲) به‌عنوان ژنوتیپی با سازگاری عمومی بالا برای تمام مناطق شناخته شد. ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی به‌دلیل اینکه از سازگاری و درجه تحمل بیشتری در مقابل تغییرات محیطی برخوردارند، در میانگینی از شرایط محیطی، عملکرد رضایت‌بخشی را تولید می‌کنند؛ بنابراین ژنوتیپ G8 (رقم طلایه) با میانگین عملکرد دانه ۳۳۶۹ کیلوگرم در هکتار بهترین سازگاری عمومی را در تمام مناطق مورد مطالعه داشت و می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ برتر در این مطالعه معرفی شود. ژنوتیپ‌های G9، G7، G3، G4 و G6 با ضریب رگرسیون بالاتر از یک و عملکرد دانه بالاتر از

جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری بودند (جدول ۷ و شکل ۲). از طرفی دیگر ژنوتیپ‌های G1، G10 و G13 با مقدار SIIG پایین و همچنین عملکرد دانه کمتر از میانگین کل، به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناسایی شدند (جدول ۷ و شکل ۲). شاخص SIIG به‌منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار از نظر آماره‌های مختلف پایداری در گندم دوروم نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Najafi Mirak et al., 2018).

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) یک مدل گزینش‌گر بوده و به‌منظور انتخاب ایده‌آل‌ترین ارقام و لاین‌ها از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به کار می‌رود. با استفاده از روش SIIG می‌توان آماره‌های مختلف را به‌صورت یک شاخص واحد درآورد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد. با توجه به نتایج، ژنوتیپ‌های G8، G4 و G9 با داشتن مقدار SIIG بالا و همچنین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل،

جدول ۶- آماره‌های پایداری پارامتری برای ۱۵ ژنوتیپ کلزا

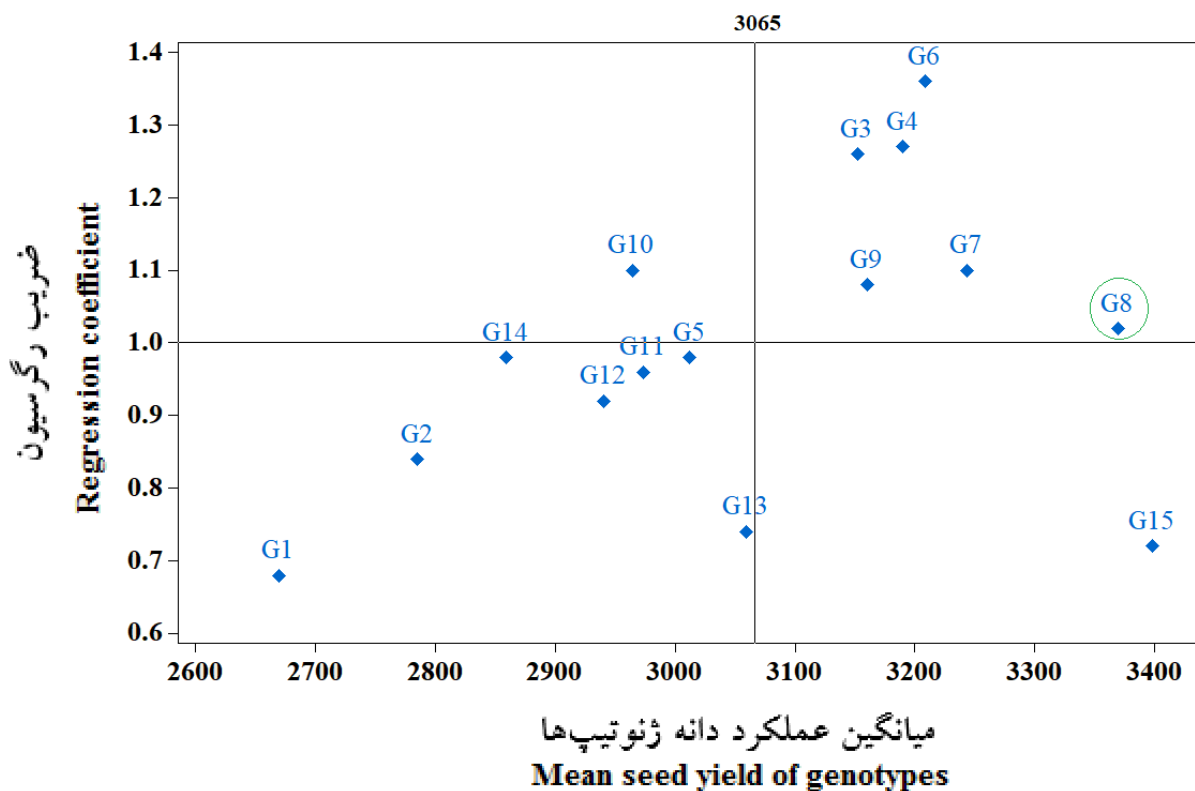
Table 6. parametric measures of stability for 15 rapeseed genotypes

ژنوتیپ Genotype	ضریب تغییرات Coefficient variance	ضریب رگرسیون Regression coefficient	انحراف از خط رگرسیون Variance of regression deviation	اکوالانس ریک Wricke's ecovalence	واریانس شوکلای Shukla's variance	واریانس محیطی Environmental variance	ضریب تشخیص Coefficient of determination
1	26.94	0.68	129708	2234415	217626	225635	0.77
2	28.66	0.84	44609	697513	56413	150747	0.94
3	39.30	1.26	203785	2661254	262400	246701	0.88
4	38.11	1.27	102920	1731729	164897	201599	0.94
5	32.28	0.98	143931	1444320	134749	187433	0.86
6	41.15	1.36	193488	3116286	310130	269096	0.90
7	34.81	1.10	273041	2818116	278854	254445	0.81
8	31.18	1.02	233655	2340289	228732	227822	0.81
9	33.40	1.08	123308	1298205	119422	180338	0.90
10	38.07	1.10	260941	2707361	267236	248939	0.81
11	31.39	0.96	90986	924159	80187	161960	0.91
12	32.26	0.92	200651	2071670	200555	217602	0.80
13	27.95	0.74	295777	3613718	362308	292899	0.63
14	33.74	0.98	126417	1268807	116339	178803	0.88
15	26.34	0.72	389463	4611837	467006	341681	0.56

جدول ۷- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل کلزا بر مبنای روش‌های تجزیه پایداری ناپارامتری و پارامتری و فواصل از ژنوتیپ مطلوب ( $d^+$ )، ژنوتیپ نامطلوب ( $d^-$ ) و عملکرد دانه

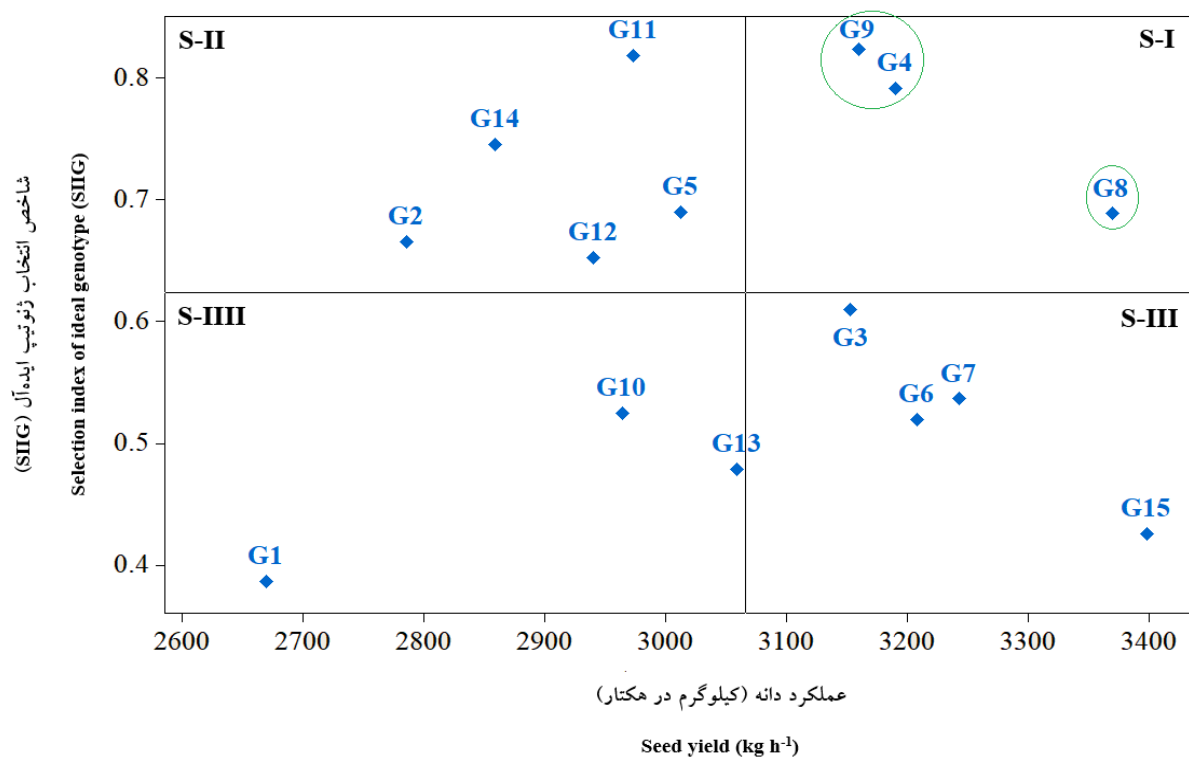
Table 7. Selection index of ideal rapeseed genotype based on non-parametric and parametric methods and distance from ideal genotype ( $d^+$ ), non-ideal genotype ( $d^-$ ) and grain yield

نام ژنوتیپ Genotypes name	$d^+$	$d^-$	شاخص SIIG SIIG index	عملکرد دانه Grain yield
G1	0.820	0.518	0.387	2669
G2	0.444	0.884	0.666	2785
G3	0.451	0.706	0.610	3152
G4	0.238	0.906	0.792	3190
G5	0.361	0.805	0.690	3012
G6	0.555	0.602	0.520	3208
G7	0.559	0.649	0.537	3243
G8	0.393	0.868	0.689	3369
G9	0.202	0.947	0.824	3160
G10	0.551	0.610	0.525	2964
G11	0.212	0.960	0.819	2973
G12	0.399	0.750	0.653	2940
G13	0.671	0.618	0.479	3059
G14	0.293	0.859	0.746	2859
G15	0.849	0.631	0.426	3398
Mean		میانگین		3065



شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌های کلزا بر اساس عملکرد دانه و ضریب رگرسیون

Figure 1. Distribution diagram of rapeseed genotypes based on grain yield and regression coefficient

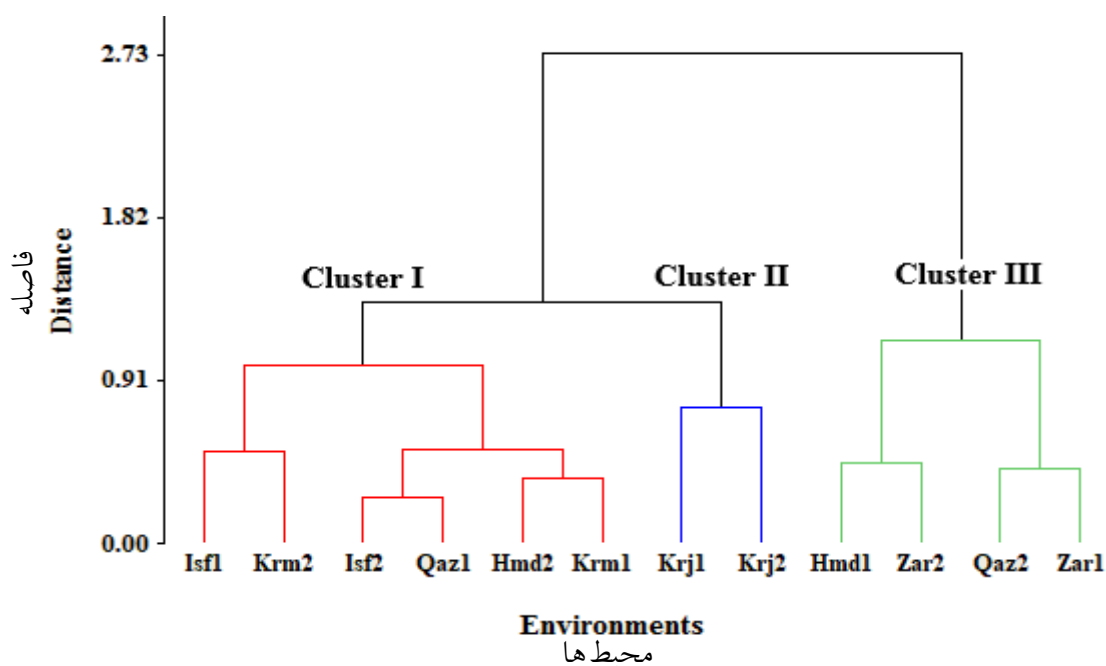


شکل ۲- نمودار دوبعدی پراکنش ۱۵ ژنوتیپ کلزا بر اساس عملکرد دانه و روش SIIG

Figure 2. Two-dimensional graph of distribution of 15 rapeseed genotypes based on grain yield and SIIG method.

کرمانشاه در یک گروه نیز بیانگر قابلیت پیش‌بینی و تکرارپذیری بالاتر این چهار ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های همدان و قزوین می‌باشد. به عبارت دیگر این امر نشان‌دهنده تغییرات اندک شرایط اقلیمی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود؛ بنابراین، با تکرار این آزمایش در سال‌های بعد در صورتی که نتایج آزمایش همچنان نزدیک به سال‌های قبل باشد، می‌توان گفت که تغییرات آب‌وهوایی این مناطق در طی چند سال روی عملکرد کلزا تأثیری نداشته و می‌توان آزمایش‌های بررسی ژنوتیپ‌های کلزا را با تعداد سال کمتری انجام داد. قرار گرفتن سال‌های اول و دوم ایستگاه‌های همدان و قزوین در گروه‌های جدا نشان‌دهنده عدم تکرارپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن این ایستگاه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، این امر نشان‌دهنده تغییرات زیاد شرایط آب و هوایی این مناطق در طول دو سال مورد بررسی بود (Alizadeh *et al.*, 2021a). تجزیه خوشه‌ای به منظور گروه‌بندی محیط‌ها از نظر عملکرد دانه در آزمایش‌های چندمحیطی در کلزا (Alizadeh *et al.*, 2020)، گندم نان (Abyar *et al.*, 2021) و آفتابگردان (Ghaffari *et al.*, 2022) نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

**تجزیه خوشه‌ای محیط‌ها:** گروه‌بندی محیط‌ها بر مبنای میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سه گروه از محیط‌ها را مشخص کرد (شکل ۳). گروه اول (Cluster I) شامل محیط‌های Isf1 (اصفهان سال اول)، Isf2 (اصفهان سال دوم)، Krm1 (کرمانشاه سال اول)، Krm2 (کرمانشاه سال دوم)، Qaz1 (قزوین سال اول) و Hmd2 (همدان سال دوم) بود. دو محیط Krj1 (کرج سال اول) و Krj2 (کرج سال دوم) در گروه دوم (Cluster II) قرار گرفتند. گروه سوم (Cluster III) نیز شامل محیط‌های Zar1 (زرقان سال اول)، Zar2 (زرقان سال دوم)، Hmd1 (همدان سال اول) و Qaz2 (قزوین سال دوم) بود (شکل ۳). محیط‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر مقادیر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نزدیک به هم هستند و دارای حداقل اثر متقاطع می‌باشند. در مقابل محیط‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند دارای اثر متقابل متقاطع یا کراس‌اوری نسبت به هم می‌باشند (Yan and Rajcan, 2002; Yan and Kang, 2003)؛ بنابراین، قرار گرفتن اصفهان و کرمانشاه در یک گروه نشان‌دهنده برهم‌کنش افزایشی یا غیرکراس‌اوری این دو مکان است. قرار گرفتن هر دو سال آزمایش زرقان، کرج، اصفهان و



شکل ۳- گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه بر اساس میانگین عملکرد دانه  
Figure 3. Classification of the studied environments based on mean grain yield

در اختیار قرار می‌دهند. بر اساس شاخص SIIG، لاین‌های Z-900-6، T-1200-1 و رقم طلایه با داشتن مقدار SIIG بالا و همچنین عملکرد دانه بالاتر از میانگین به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه شناخته شدند.

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری و ادغام این روش‌ها با استفاده از روش SIIG، ابزارهایی سودمند برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده و اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا

## References

- Abyar, S., Navabpour, S., Karimizadeh, R., Nasrollahnejad ghomi, A.A., Kiani, G.H. and 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 (In Persian).
- Ahmadi, J., Vaezi, B. and Pour-Aboughadareh, A. (2016). Evaluation of forage yield stability of advanced lines of grass pea (*Lathyrus sativa* L.) by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding*, **8**: 149-159 (In Persian).
- Ahmadvpour, S., Darvishzadeh, R., Sofalian, O. and Hatamzadeh, H. (2019). Evaluation of yield stability of sunflower inbred lines under salt stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, **11**: 1-10 (In Persian).
- Akbari, S., Akbarpour, O. and Pezeshkpour, P. (2022). Evaluation of grain yield stability of lentil genotypes using parametric methods in rainfed conditions of khorramabad. *Journal of Crop Breeding*, **14(44)**: 227-238 (In Persian).
- Akbarpour, O.A., Dehghani, H., Sorkhi-Lalelo, B. and Kang, M.S. (2016). A SAS macro for computing statistical tests for two-way table and stability indices of nonparametric method from genotype-by-environment interaction. *Acta Scientiarum. Agronomy*, **38**: 35-50
- Akbarpour, O., Dehghani, H. and Sorkhi-Lalehloo, B. (2012). Study of grain yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in cold regions of Iran using regression methods. *Iranian Journal of Crop Sciences*, **14**: 155-170 (In Persian).
- Alishah, O., MahmoodJanloo, H., Hekmat, M.H., Naderi Arefi, A., Sidmasoomi, S.Y. and Talat, F. (2019). Investigation of genotype × environment interaction and yield stability of hopeful cotton (*G. hirsutum* L.) genotypes. *Journal of Crop Breeding*, **11**: 226-236 (In Persian).
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R. and Gholizadeh, A. (2021a). Analysis of genotype × environment interaction for seed yield in winter rapeseed cultivars and lines using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Crop Production and Processing*, **11(1)**: 95-108 (In Persian).
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F. and Khademhamzeh, H.R. (2021b). Investigation of genotype × environment interaction and seed yield stability of rapeseed genotypes in cold and mild cold regions of Iran. *Plant Genetic Researches*, **7(2)**: 65-82 (In Persian).
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R. and Gholizadeh, A. (2022). Genotype × environment interactions and simultaneous selection for high seed yield and stability in winter rapeseed (*Brassica napus*) multi-environment trials. *Agricultural Research*, **11(2)**: 185-196.
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R. and Gholizadeh, A. (2020). Evaluation of seed yield stability of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding*, **12(35)**: 202-212 (In Persian).
- Alizadeh, B., Yazdandust Hamedani, M., Rezaei Zad, A., Azizinia, S., Khiyavi, M., Shirani Rad, A.H., Javidfar, F., Pasban Eslam, B., Mostafavi Rad, M., Shariati, F., Rahmanpour Ozan, S., Alem Khumaram, M.H., Majd Nasiri, B., Amiri Oghan, A. and Zareei Siabidi, A. (2019). Nima, new winter oilseed rape variety for cultivation in the cold and moderately cold regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, **8**: 61-76 (In Persian).
- Becker, H. (1981). Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, **30**: 835-840.



- Becker, H. and Leon, J.** (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, **101**: 1-23.
- Dezfooli, P.M., Sedghi, M., Shariatpanahi, M.E., Niazi, M. and Alizadeh, B.** (2019). Assessment of general and specific combining abilities in doubled haploid lines of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products*, **141**: 111754.
- Dorrani-Nejad, M. and Mohammadi-Nejad, G.** (2018). Stability analysis for seed yield in different fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) ecotypes using Eberhart-Russel regression and different univariate statistics methods. *Journal of Crop Breeding*, **10**: 19-27 (In Persian).
- Ebadi, A., Sabaghpour, S.H., Dehghani, H. and Kamrani, M.** (2008). Non-parametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica*, **162**: 221-229.
- Eberhart, S.T. and Russell, W.** (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*, **6**: 36-40.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Lotf Ali Ayeneh, G.A., Akbari Moghadam, H., Mahmoudi, M., Sayyahfar, M., Tabib Ghaffari, S.M. and Zali, H.** (2018). Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research*, **8**: 333-344 (In Persian).
- Farshadfar, E. and Sutka, J.** (2006). Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. *Acta Agronomica Hungarica*, **54**: 459-467.
- Finlay, K. and Wilkinson, G.** (1963) The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, **14**: 742-754.
- Fooladvand, M., Shahsavand, H., Mohamadinejad, G. and Parvizi, M.** (2013). Genotype by environment interaction and study of sugar yield stability in the sugarcane cultivars in Khuzestan locations by stability criteria. *Cereal Research*, **2**: 31-44 (In Persian).
- Francis, T. and Kannenberg, L.** (1978). Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, **58**: 1029-1034.
- Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Andarkhor, S.A., Zareei Siahbidi, A., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F. and Rezaeizad, A.** (2022). Evaluation of seed yield stability of sunflower genotypes using non-parametric statistics. *Journal of Crop Production and Processing*, **12**(1): 1-13 (In Persian).
- Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Andarkhor, S.A., Zareei Siahbidi, A., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F. and Rezaeizad, A.** (2021). Stability and genotype  $\times$  environment analysis of oil yield of sunflower single cross hybrids in diverse environments of Iran. *Euphytica*, **217**(10): 187.
- Gholizadeh, A., Khodadadi, M. and Sharifi-Zagheh, A.** (2022). Evaluation of genotype  $\times$  environment interaction for essential oil yield of coriander genotypes under different irrigation conditions using GGE biplot method. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, **15**(1): 43-52 (In Persian).
- Hühn, M.** (1979). Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat. *EDV Med Biol*, **10**: 112-117.
- Hühn, M. and Leon, J.** (1995). Nonparametric analysis of cultivar performance trials: experimental results and comparison of different procedures based on ranks. *Agronomy Journal*, **87**: 627-632.
- Jafari, M., Asghari, Z.R., Alizadeh, B., Sofalian, O. and Zare, N.** (2015). Study of seed yield stability in winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using Eberhart and Russell's method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **45**: 585-592 (In Persian).
- Jamshidmoghaddam, M. and Pourdard, S.S.** (2013). Genotype  $\times$  environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica*, **190**: 357-369.
- Kang, M.** (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communication*, **16**: 113-115.
- Karimizadeh, R., Safikhani Nasimi, M., Mohammadi, M., Seyyedi, F., Mahmoodi, A. and Rostami, B.** (2008). Determining Rank and Stability of Lentil Genotypes in Rainfed Condition by Nonparametric Statistics. *Journal of Crop Production and Processing*, **12**: 93-102 (In Persian).
- Moghaddaszadeh, M., Asghari Zakaria, R., Hassanpanah, D. and Zare, N.** (2018). Non-parametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotype. *Journal of Crop Breeding*, **28**: 50-63 (In Persian).
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Ghoghogh, H., Shahbazi, K. and Sharifi, P.** (2018). Use of parametric and non-parametric methods for genotype  $\times$  environment interaction analysis in bread wheat genotypes. *Plant Genetic Researches*, **4**: 75-88 (In Persian).

- Movahhedi, Z., Dehghani, H. and Mofidian, M.** (2010). A study of yield stability in cold region ecotypes of alfalfa (*Medicago sativa* L.) through non-parametric measures. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **40**: 103-111 (In Persian).
- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. and 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**: 126-138 (In Persian).
- Nassar, R. and Hühn, M.** (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, **43**: 45-53.
- Nowosad, K., Liersch, A., Popławska, W. and Bocianowski, J.** (2016). Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica*, **208**: 187-194.
- Pinthus, J.M.** (1973). Estimate of genotype value: a proposed method. *Euphytica*, **22**: 121-123.
- Plaisted, R. and Peterson, L.** (1959) A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Journal of Potato Research*, **36**: 381-385.
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P., Kadambot, H. and Siddique, M.** (2019). STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences*, **7(1)**: e01211.
- Pourdad, S., Moghaddam, M., Faraji, A. and Naraki, H.** (2014). Study on different non-parametric stability methods on seed yield of spring rapeseed varieties and hybrids. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **44**: 539-548 (In Persian).
- Ramzi, E., Asghari, A., Sofalian, O., Mehraban, A. and Ebadi, A.** (2020). Evaluation of grain yield stability and genotype-environment interaction of barley promising lines in warm and humid regions of the country. *Journal of Crop Breeding*, **12(36)**: 57-65 (In Persian).
- Sabaghnia, N., Dehghani, H. and Sabaghpour, S.H.** (2006). Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science*, **46**: 1100-1106.
- Sheikh, F., Sharifi, H., Asteraki, H., Miri, K. and Sekhavat, R.** (2021). Evaluation stability of seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by parametric and non-parametric methods. *Crop Production*, **14(3)**: 125-144 (In Persian).
- Shukla, G.** (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. *Heredity*, **29**: 237-245.
- Thennarasu, K.** (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Dissertation, University of New Delhi, IND.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hossein-Pour, T. and Dorii, M.** (2017). GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, **45**: 500-511.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H. and Siddique, K.H.** (2019). Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*, **215**: 63.
- Wachira, F., Ng'etich, W., Omolo, J. and Mamati, G.** (2002). Genotype × environment interactions for tea yields. *Euphytica*, **127**: 289-297.
- Wricke, G.** (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschr F Pflanzenz*, **47**: 92-96.
- Yan, W. and Kang, M.S.** (2003). *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Yan, W. and Rajcan, I.** (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, **42**: 11-20.
- Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A. and Zeinalabedini, M.** (2016). Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, **8(20)**: 77-90 (In Persian).
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A. and Hoseini, S.M.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.