

Studying the Grain Yield Stability of winter oilseed rape (WOSR) Mutant Lines in Several Years and Locations

Hossein Mehri pour Azbarmi¹, Jalal Saba², Bahram Alizadeh³, Amir Gholizadeh^{*4} , Farid Shekari²

Received: January 7, 2025

Accepted: March 10, 2025

1-Ph. D Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2-Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3-Prof., Oil Crops Research Dept. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

4-Assist. Prof., Crop and Horticultural Science Research Dept. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Gorgan, Iran.

Corresponding Author E-mail: a.gholizadeh@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Rapeseed is one of the most important oilseed crops worldwide and is considered a strategic crop for edible oil production and reducing dependence on imported vegetable oils and oilseed products. Grain yield in rapeseed is strongly influenced by genetic and environmental factors, and the genotype $\times$ environment interaction (GEI) may result in changes in the relative performance and ranking of genotypes across environments. Therefore, identifying genotypes with high yield, stable performance, and broad or specific adaptation to different environments is essential for breeding programs and the development of superior cultivars. The objective of this study was to evaluate grain yield performance and stability of 15 winter rapeseed genotypes across diverse environments in Iran and to identify genotypes with high yield and desirable adaptation using the GGE biplot methodology.

Materials and Methods: In this study, 9 winter oilseed rape (WOSR) mutant lines along with six 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 2021–2023 growing seasons. GGE biplot statistical method (genotype effect + genotype $\times$ environment interaction) was used to study stability of genotypes in the studied environments.

Results: Results of combined variance analysis indicated that the effects of environments (E), genotypes (G) and genotype $\times$ environment (G $\times$ E) interaction were significant, suggesting that the genotypes responded differently in the studied environment conditions. So, there was the possibility of stability analysis and the results of genotype $\times$ environment interaction analysis using GGE-biplot method showed that the two first and second principal components of the GGE-biplot explained 70.9% of the total seed yield variation. Based on the hypothetical ideal genotype biplot, the Talaye cultivar and Z-900-9 mutant line were better than the other genotypes for seed yield and stability and had the high general adaptation to all environments. Furthermore, the Nima and Talaye cultivars in Isfahan, Kermanshah and Karaj locations and Z-900-8 mutant line in Zarghan location were superior genotypes with the high specific adaptation. In addition to the results showed that all environments had high discriminating ability so that could able to show differences between genotypes. The Hamadan, Kermanshah, and Isfahan environments were the nearest environment to ideal environment that had the highest discriminating ability and representativeness.

Conclusion: Generally, the results demonstrated that the Talaye cultivar and Z-900-9 mutant line were better than the other genotypes for seed yield and stability and had the highest general adaptation to all environments.

Keywords: Biplot, General Adaptation, Genotype $\times$ Environment Interaction, Ideal Genotype, Rapeseed

مطالعه پایداری عملکرد دانه لاین‌های جهش‌یافته کلزای زمستانه در چند سال و مکان

حسین مهری‌پور از برمی^۱، جلال صبا^۲، بهرام علیزاده^۳، امیر قلی‌زاده^{۴*}، فرید شکاری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰
--------------------------	-------------------------

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

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

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

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، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه‌روغنی در جهان و از محصولات راهبردی برای تأمین روغن خوراکی و کاهش وابستگی به واردات روغن و کنجاله در کشور است. عملکرد دانه کلزا تحت تأثیر متقابل عوامل ژنتیکی و محیطی قرار داشته و وجود برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط می‌تواند موجب تغییر رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف شود. از این رو، شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا، پایداری مناسب و سازگاری گسترده یا اختصاصی با شرایط مختلف محیطی، از اهمیت زیادی در برنامه‌های اصلاحی و معرفی ارقام جدید برخوردار است. در این پژوهش، به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کلزای زمستانه، عملکرد دانه و پایداری ۱۵ ژنوتیپ در محیط‌های مختلف کشور با استفاده از روش GGE بای‌پلات ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، تعداد نه لاین جهش‌یافته کلزای زمستانه به همراه شش رقم در شش ایستگاه تحقیقاتی (کرج، کرمانشاه، اصفهان، همدان، زرقان و قزوین) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ارزیابی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی از روش آماری GGE بای‌پلات با مدل اثر ژنوتیپ به علاوه برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود و بنابراین، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با روش GGE-biplot نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم ۷۰/۹ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه کردند. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ فرضی ایده‌آل، رقم طلایه و لاین جهش یافته Z-900-9 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد دانه، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و سازگاری عمومی بالایی در همه محیط‌های مورد بررسی داشتند. علاوه بر آن، ارقام نیما و طلایه در مکان‌های اصفهان، کرمانشاه و کرج و لاین جهش یافته Z-900-8 در مکان زرقان ژنوتیپ‌های برتر و با سازگاری خصوصی بالا بودند. همچنین نتایج نشان داد که کلیه محیط‌ها دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و توانستند تفاوت‌های بین ژنوتیپ‌ها را به خوبی آشکار کنند. محیط‌های همدان، کرمانشاه و اصفهان نزدیک‌ترین محیط‌ها به محیط ایده‌آل بودند و بیشترین تمایز و بیانگری را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج نشان داد که رقم طلایه و لاین جهش یافته Z-900-9 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد دانه، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و سازگاری عمومی بالایی در همه محیط‌های مورد بررسی داشتند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بای‌پلات، ژنوتیپ ایده‌آل، سازگاری عمومی، کلزا

مقدمه

بهبود الگوی تغذیه مردم جهان و توجه آن‌ها به بهداشت، سلامتی و بالا بودن کیفیت روغن‌های گیاهی در مقایسه با روغن‌های حیوانی تقاضای جهانی را برای انواع روغن‌های گیاهی روز به روز افزایش می‌دهد. کلزا (*Brassica napus L.*) سومین گیاه مهم روغنی جهان می‌باشد (دزفولی و همکاران ۲۰۱۹). دانه کلزا حاوی بیش از ۴۰ درصد روغن و کنجاله باقیمانده نیز سرشار از پروتئین می‌باشد. ویژگی‌های خاص گیاه کلزا و سازگاری آن با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشور سبب شده است که تولید و توسعه کشت این گیاه به‌عنوان نقطه امیدی جهت تأمین روغن خام مورد نیاز کشور و رهایی از وابستگی به‌شمار رود (علیزاده و همکاران ۲۰۱۹). یکی از راه‌حل‌های مؤثر در افزایش تولید و توسعه کشت کلزا، افزایش عملکرد در واحد سطح با کشت ژنوتیپ‌های پرمحصول خواهد بود (علیزاده و همکاران ۲۰۲۱). بنابراین، به‌نژادگران کلزا باید به دنبال اصلاح و تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار باشند. از این‌رو، به‌نژادی و تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا از اهمیت زیادی برخوردار است. عملکرد دانه کلزا تحت تأثیر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهمکنش آن‌ها قرار می‌گیرد. شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در شرایط محیطی مختلف دارای عملکرد مطلوب و پایداری باشند، به‌دلیل اثر متقابل شدید ژنوتیپ × محیط، امر پیچیده‌ای به‌نظر می‌رسد. در برنامه‌های به‌نژادی به‌طور معمول، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (علیزاده و همکاران ۲۰۲۱).

روش‌های گوناگونی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توسط پژوهشگران در گیاهان مختلف بکار برده شده است. روش‌های بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط شامل روش‌های عددی و گرافیکی هستند که در این میان روش گرافیکی GGE-biplot روشی با کارایی مناسب برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده و اطلاعات خوبی در مورد

ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه به صورت گرافیکی در اختیار قرار می‌دهد (یان و کنگ ۲۰۰۳). از روش گرافیکی GGE-biplot در مطالعات مختلف بر روی گیاهان زراعی استفاده شده است. امیری اوغان و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در کلزای بهاره از روش GGE-biplot استفاده کرده و گزارش کردند که روش مذکور با رسم نمودارهای دوبعدی (تصاویر گرافیکی) ابزاری مناسب برای تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده و تفسیر نتایج را راحت‌تر می‌کند و با استفاده از این روش می‌توان روابط بین محیط را نیز مورد ارزیابی قرار داد. در پژوهش‌های دیگری دالو و همکاران (۲۰۱۹) و مجیدیان و همکاران (۲۰۲۴) به‌منظور شناسایی ارقام پایدار و با عملکرد بالا سویا از روش GGE-biplot استفاده و گزارش کردند که روش گرافیکی GGE-biplot، روشی فوق‌العاده مناسب جهت ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا سویا بود. غفاری و همکاران (۲۰۲۱) نیز با استفاده از روش گرافیکی GGE-biplot برای ارزیابی سازگاری و پایداری در آفتابگردان گزارش کردند که استفاده از روش GGE-biplot ابزاری قوی و کارا جهت معرفی و آزادسازی ارقام در مراحل نهایی آزمایشات ارزیابی عملکرد است و همچنین با استفاده از این روش می‌توان محیط‌های ایده‌آل و محیط‌های کلان را در آزمایشات آفتابگردان معرفی نمود.

از روش گرافیکی GGE-biplot برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها و محیط در آزمایشات چندمحیطی در گیاهان دیگر از قبیل فستوکا بلند (دهقانی و همکاران ۲۰۱۶)، ذرت (سروماگا و همکاران ۲۰۱۸)، سورگوم (حمیدو و همکاران ۲۰۱۹)، گندم زمستانه (گریش و همکاران ۲۰۱۹)، برنج (جیا و همکاران ۲۰۲۰)، لوبیا (دا کروز و همکاران ۲۰۲۰)، جو (قزویی و همکاران ۲۰۲۲)، چغندر قند (طالقانی و صارمی راد ۲۰۲۲) و گشنیز (قلی‌زاده و خدادادی ۲۰۲۳) نیز استفاده شده است.

هدف از اجرای این مطالعه، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش گرافیکی GGE-

biplot به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها، روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و در نهایت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا تحت شرایط محیطی مختلف در کلزای زمستانه بود.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر تعداد نه لاین جهش‌یافته کلزای زمستانه به همراه 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 به عنوان 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 متر مربع بود و این تراکم با توزین وزن بذر و نیز عمل تنک ایجاد شد. پس از شخم، دیسک (برای خرد شدن کلوخه‌ها) و ماله (جهت تسطیح)، بر اساس نتایج آزمایشات تجزیه خاک اقدام به کودپاشی (تمام پتاس و فسفر مورد نیاز و یک سوم کود نیتروژن لازم بر مبنای دستورالعمل تولید کلزا در اقالیم مختلف کشور) و پخش یکنواخت علف‌کش ترفلان (۲/۵ لیتر در هکتار) در سطح مزرعه شد و به وسیله دیسک سبک کود و علف‌کش با خاک مخلوط شدند. کشت در تاریخ مناسب هر منطقه انجام شد. در مرحله شش برگی در صورت نیاز وجین به صورت دستی انجام شد. باقیمانده کود نیتروژن در دو مرحله شروع ساقه رفتن بوته‌ها و نیز ظهور اولین غنچه‌های گل مصرف شد. طی دوران رشد در صورت مشاهده شته از سم کنفیدور و دیمیتوات به ترتیب به میزان ۰/۲۵ و یک لیتر در هکتار استفاده شد. آبیاری‌ها به صورت 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 در هکتار (کیلوگرم در هکتار) محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (2010) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام و در ادامه تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 (SAS Institute Inc, 2011) استفاده شد. انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط، تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات (یان و کنگ ۲۰۰۳) انجام گردید. به منظور رسم نمودارهای بای‌پلات، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به صورت یک ماتریس دو طرفه تنظیم و به نرم‌افزار GGE بای‌پلات معرفی گردید. رسم نمودارهای بای‌پلات براساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم صورت گرفت. مدل آماری این روش براساس رابطه زیر است.

$$y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + e_{ij}$$

در رابطه فوق y_{ij} ، ارزش میانگین ژنوتیپ i ام برای محیط j ام، μ ، میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j ، اثر اصلی محیط j ام، g_{i1} و e_{1j} به ترتیب مقادیر اولیه برای ژنوتیپ i ام و محیط j ام، g_{i2} و e_{2j} به ترتیب مقادیر ثانویه برای برای ژنوتیپ i ام و محیط j ام، و e_{ij} ، باقی‌مانده‌ای است که به وسیله آثار اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. در واقع یک بای‌پلات GGE از طریق رسم g_{i1} در مقابل g_{i2} و e_{1j} در مقابل e_{2j} یک نمودار پراکنش ایجاد می‌کند.

جدول ۱- کد و شجره ژنوتیپ های کلزای مورد بررسی در آزمایش پایداری عملکرد

شماره	کد	نام/شجره	منشا	شرکت
۱	G۱	زرفام	ایران	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
۲	G۲	Z-800-3	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۳	G۳	Z-880-6	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۴	G۴	Z-900-6	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۵	G۵	Z-900-7	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۶	G۶	Z-900-8	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۷	G۷	Z-900-9	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۸	G۸	طلایه	آلمان	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
۹	G۹	T-1200-1	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۱۰	G۱۰	Express	آلمان	NPZ
۱۱	G۱۱	Exp-800-1	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۱۲	G۱۲	Exp-800-2	ایران	پژوهشکده کشاورزی هسته ای
۱۳	G۱۳	اکاپی	فرانسه	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
۱۴	G۱۴	احمدی	ایران	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
۱۵	G۱۵	نیما	ایران	مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی محیط های مورد مطالعه در این تحقیق

کد	مکان	فصل زراعی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	متوسط بارندگی سالانه (mm)
Krj1	کرج	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۵۴° ۵۰'	۵۶° ۳۵'	۱۳۱۲	۳۰۰
Krj2	کرج	۱۴۰۱-۱۴۰۲				
Isf1	اصفهان	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۴۰° ۵۱'	۳۵° ۳۲'	۱۵۴۵	۱۳۸
Isf2	اصفهان	۱۴۰۱-۱۴۰۲				
Krm1	کرمانشاه	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۲۶° ۴۷'	۰۸° ۳۴'	۱۳۴۶	۴۶۸
Krm2	کرمانشاه	۱۴۰۱-۱۴۰۲				
Hmd1	همدان	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۴۰° ۴۸'	۱۲° ۳۵'	۱۷۵۸	۳۰۸
Hmd2	همدان	۱۴۰۱-۱۴۰۲				
Zrg1	زرقان	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۴۳° ۵۲'	۴۷° ۲۹'	۱۵۹۶	۳۰۵
Zrg2	زرقان	۱۴۰۱-۱۴۰۲				
Qaz1	قزوین	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۵۴° ۴۹'	۱۵° ۳۶'	۱۲۸۵	۳۲۰
Qaz2	قزوین	۱۴۰۱-۱۴۰۲				

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار بود (جدول ۳). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به مجموع آن ها نشان داد که واریانس بین محیط ها ۷۸ درصد، واریانس بین

ژنوتیپ ها ۴ درصد و واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۱۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص داده اند (جدول ۴). به عبارت دیگر، عمده تغییرات موجود در داده ها بوسیله واریانس محیط ها توجیه شده است. با توجه به این که محیط های آزمایش طیف وسیعی از فاکتورهای محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درجه حرارت، میزان بارندگی و نوع خاک) را دارا

بوده‌اند، بنابراین، اختصاص عمده تغییرات به واریانس محیط‌ها دور از انتظار نیست. نوساد و همکاران (نووساد و همکاران ۲۰۱۶) و علیزاده و همکاران (علیزاده و همکاران ۲۰۲۱) 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 قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را در آزمایش‌های چند محیطی به خود اختصاص داده است (واعظی و همکاران ۲۰۱۷؛ غفاری و همکاران ۲۰۲۱؛ قلی‌زاده و همکاران ۲۰۲۱).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا در محیط‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مجموع مربعات توجیه‌شده (%)
محیط	۱۱	۴۲۲۳۵۴.۴۰	۳۸۳۹۵۸۲۲**	۷۸
تکرار درون محیط	۲۴	۱۵۴۰۹۰۶۶	۶۴۲۰۴۴	
ژنوتیپ	۱۴	۲۱۵۷۰۲۲۵	۱۵۴۰۷۳۰**	۴
ژنوتیپ × محیط	۱۵۴	۱۰۰۶۱۹۰۳۷	۶۵۳۳۷۰**	۱۸
خطا	۳۳۶	۷۵۴۵۷۰۶۸	۲۲۴۵۷۵	
کل	۵۳۹	۶۳۵۴۰۹۴۳۶		

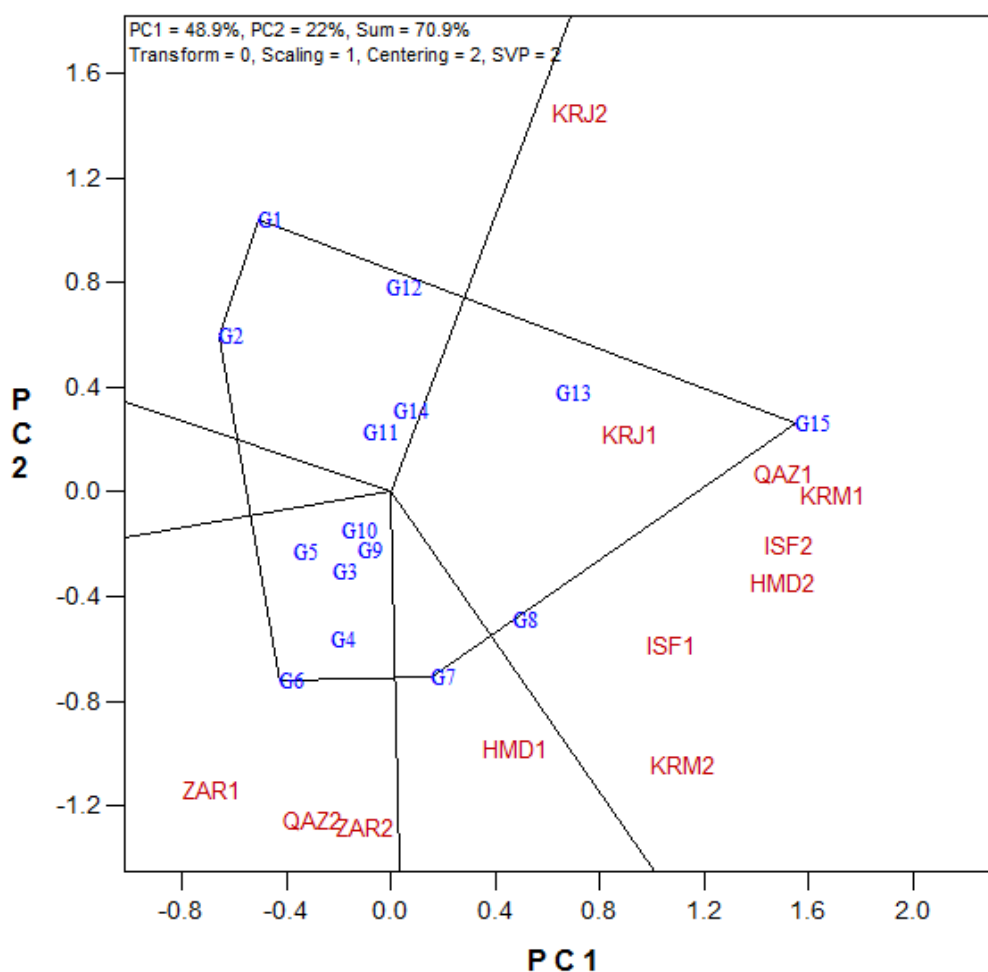
** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

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 به عبارت 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. بنابراین، در این پژوهش از روش گرافیکی GGE-biplot به منظور تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده شد. این روش برخلاف سایر روش‌ها، به طور همزمان اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را مورد استفاده قرار می‌دهد (یان و کنگ ۲۰۰۳). از آنجایی که محیط یک عامل غیرقابل کنترل است، بنابراین در روش GGE-biplot از منابع تغییر اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط که قابل توصیه و تفسیر هستند استفاده می‌شود تا نتایج قابل‌اعتمادتری حاصل شود (یان و همکاران ۲۰۰۰).

نتایج حاصل از روش گرافیکی GGE-biplot نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم در مجموع ۷۰/۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند که بیانگر اعتبار بالای بای‌پلات برای توجیه تغییرات مربوط به عملکرد دانه بود (شکل ۱). یکی از پرکاربردترین و مهمترین کاربردهای روش گرافیکی GGE-biplot، رسم نمودارهای چندضلعی (Polygon) می‌باشد. این نمودار متشکل از یک چندضلعی می‌باشد، خط‌هایی که از مبدأ نمودار بای‌پلات و عمود بر هر طرف چندضلعی رسم می‌شوند، نمودار بای‌پلات را به چند قسمت تقسیم می‌کنند. در درون هر قسمت (محیط کلان)، ژنوتیپی که در راس چندضلعی قرار می‌گیرد، از نظر محیط یا محیط‌هایی که در آن قسمت قرار گرفته‌اند دارای برتری و سازگاری خصوصی می‌باشد. علاوه بر ژنوتیپ قرار گرفته در راس چندضلعی، ژنوتیپ‌هایی که در آن قسمت قرار می‌گیرند، شباهت زیادی با ژنوتیپ قرار گرفته در راس چندضلعی دارند و از نظر محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت برتر می‌باشند. بنابراین، واریانس کم، درون هر قسمت (محیط کلان) و واریانس زیاد بین قسمت‌های (محیط‌های کلان) مختلف از ویژگی‌های

ژنوتیپ های G1 و G2 نیز که در رأس نمودار چندضلعی قرار گرفته بودند، در هیچ کدام از محیط های کلان قرار نگرفتند که بیانگر عدم تولید عملکرد دانه بالای این ژنوتیپ ها در کلیه محیط ها بود (شکل ۱). در محیط کلان سوم ژنوتیپ G8 علاوه بر ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی (ژنوتیپ G15) وجود داشت. این ژنوتیپ نیز شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی و سازگاری خصوصی بالایی با محیط های قرار گرفته در آن قسمت داشت. از نمودار چندضلعی برای مشخص نمودن محیط های کلان و نیز شناسایی ژنوتیپ های برتر در محیط های مختلف توسط سایر پژوهشگران نیز استفاده شده است (تمسگن و همکاران ۲۰۱۵؛ قلی زاده و همکاران ۲۰۲۲؛ مهدوی و همکاران ۲۰۲۲).

نمودار چندضلعی (Polygon) می باشد. طبق نتایج نمودار چندضلعی بای پلات پنج ژنوتیپ G1، G2، G6، G7 و G15 که در رأس های چندضلعی قرار گرفته و بیشترین فاصله را از مبدأ بای پلات داشته اند، به عنوان ژنوتیپ های برتر شناسایی شدند (شکل ۱). همچنین در این مطالعه سه محیط کلان مشخص گردید که محیط کلان اول شامل محیط همدان سال اول بود که ژنوتیپ G7 ژنوتیپ برتر این محیط بود. در محیط کلان دوم محیط های اصفهان سال اول و دوم، کرمانشاه سال اول و دوم، کرج سال اول و دوم، قزوین سال اول و همدان سال دوم قرار گرفتند که ژنوتیپ G15 ژنوتیپ برتر این محیط کلان بود. در محیط کلان سوم نیز محیط های زرقان سال اول و دوم و قزوین سال دوم قرار گرفتند که ژنوتیپ G6 ژنوتیپ برتر این محیط کلان بود.



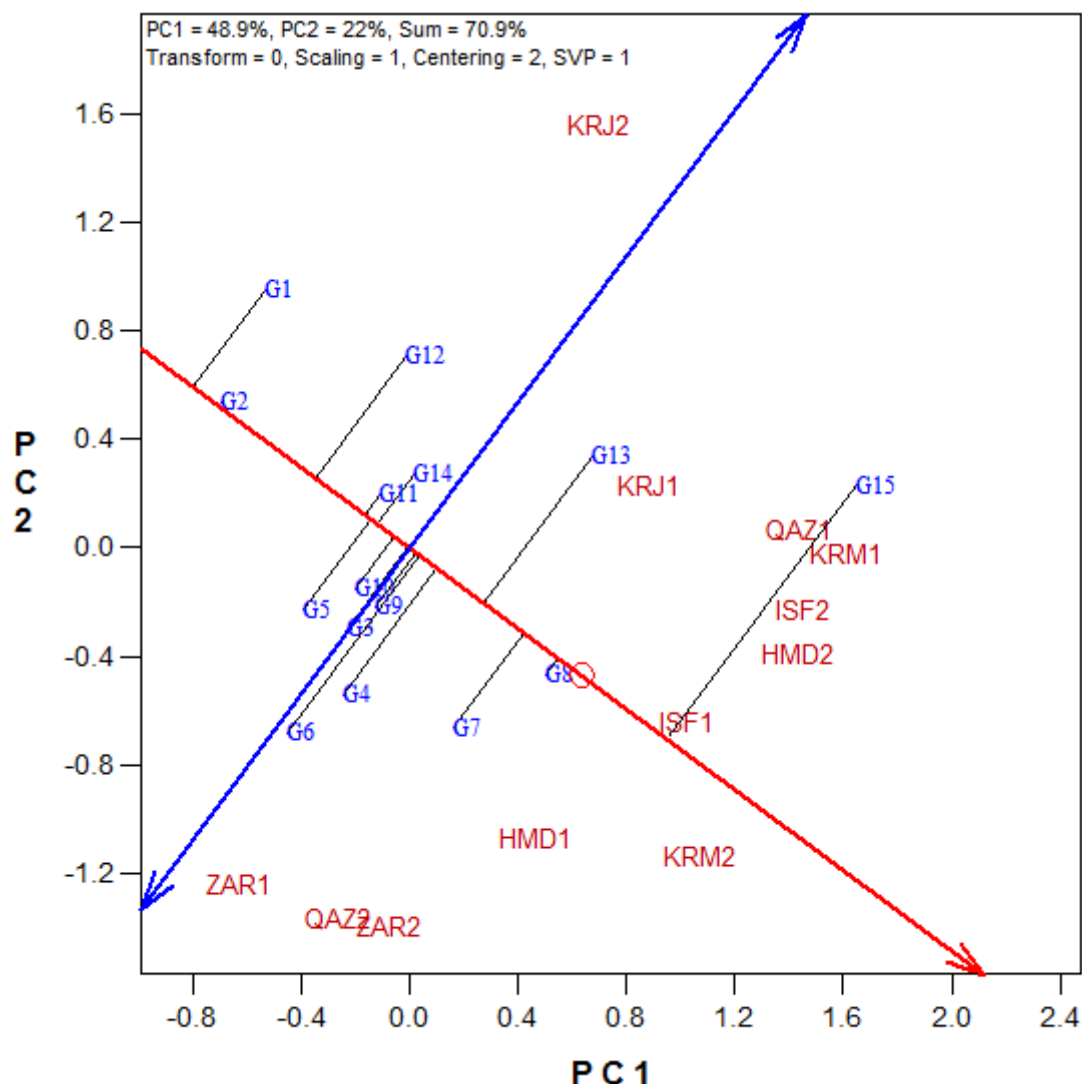
شکل ۱- نمایش چندضلعی بای پلات برای گروه بندی ژنوتیپ ها و محیط ها در کلزا؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم

محیط‌هایی که در یک محیط کلان قرار می‌گیرند، دارای حداقل اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط نسبت به هم بوده و به عبارت دیگر دارای اثر متقابل از نوع غیرمتقاطع (Non-crossover) نسبت به هم هستند. در مقابل محیط‌هایی که در محیط‌های کلان متفاوت قرار می‌گیرند دارای برهمکنش متقاطع یا کراس‌اوری نسبت به هم هستند (یان و کنگ ۲۰۰۳). با توجه به نتایج گروه‌بندی محیط‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع اثر متقابل (متقاطع و غیرمتقاطع) در آزمایش‌های چندمحیطی کلزا وجود دارد. در یک برنامه اصلاحی هنگامی که اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط از نوع غیرمتقاطع (Non-crossover) باشد، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و تنها بر پایه عملکرد تصمیم گرفت. اما اگر اثر متقابل از نوع متقاطع (Crossover interaction) باشد، باید اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط را به‌طور همزمان در نظر گرفت و نباید فقط اثر ژنوتیپ در نظر گرفته شود. در پژوهش علیزاده و همکاران (۲۰۲۱) نیز هر دو نوع اثر متقابل در کلزا گزارش گردیده است.

در پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها از نمودار مختصات محیط متوسط (Average Environment Coordinate; AEC) استفاده گردید (شکل ۲). این نمودار دارای دو محور افقی و عمودی است. ژنوتیپ‌ها در طول محور افقی AEC (محوری که با دایره و فلش مشخص شده است) براساس عملکرد رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان نشان‌دهنده میانگین عملکرد بالاتر است. همچنین محور افقی AEC بیانگر پایداری می‌باشد و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک باشد، پایدارتر است (یان و همکاران ۲۰۰۰). محور عمودی AEC که دارای دو فلش است که از مبدأ بای‌پلات می‌گذرد و بر محور افقی AEC عمود است، بیانگر متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها است. به‌طوری‌که ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست محور عمودی AEC قرار گرفته‌اند، دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این محور قرار گرفته‌اند، عملکردی کمتر از میانگین عملکرد کل را دارا می‌باشند. نتایج بای‌پلات مختصات محیط نشان داد که ژنوتیپ‌های G15، G8، G7 و G13 به‌ترتیب بیشترین

عملکرد دانه را دارا بودند و ژنوتیپ‌های G1، G2 و G12 به‌ترتیب با قرار گرفتن در انتهای محور افقی AEC کمترین مقدار عملکرد دانه را داشتند (شکل ۲). ژنوتیپ‌های G8 و G7 که با فاصله کمتری از محور افقی AEC قرار گرفته‌اند، دارای پایداری بالایی بودند که میانگین عملکرد آن‌ها نیز از میانگین عملکرد کل بالاتر بود. ژنوتیپ‌های G15 و G13 با وجود اینکه میانگین عملکرد آن‌ها نیز از میانگین عملکرد کل بالاتر بود ولی به‌دلیل داشتن فاصله بیشتر از محور افقی AEC پایداری کمتری برخوردار بودند (شکل ۲). از نمودار مختصات محیط متوسط AEC به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول در آفتابگردان (همتی و همکاران ۲۰۱۸)، گندم نان (جعفری و فرشادفر ۲۰۱۸)، کلزا (رودی و همکاران ۲۰۲۲) نیز استفاده شده است.

کاربرد دیگر روش گرافیکی GGE-biplot، مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با یک ژنوتیپ ایده‌آل است (شکل ۳). ژنوتیپ ایده‌آل فرضی ژنوتیپی است که از نظر مکانی به صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها قرار می‌گیرد و دارای بیشترین عملکرد و پایداری می‌باشد (یان و کنگ ۲۰۰۳). چنین ژنوتیپی دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا بوده و حداقل نقش را در اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط دارا می‌باشد. بنابراین، مبنای رتبه‌بندی بر مبنای میانگین عملکرد و پایداری است. بر اساس این نمودار ژنوتیپی با عملکرد بالا و پایدار شناخته می‌شود که فاصله کمتری را با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی دارد. در شکل ۳، ژنوتیپ‌های G8 و G7 کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی دارند و بنابراین به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در این پژوهش شناخته شدند. پورداد و جمشیدی مقدم (پورداد و جمشیدی مقدم ۲۰۱۳) و امیری اوغان و همکاران (امیری اوغان و همکاران ۲۰۲۰) نیز از نمودار ژنوتیپ ایده‌آل فرضی برای مقایسه ژنوتیپ‌های کلزا با ژنوتیپ ایده‌آل استفاده نموده و گزارش کردند که این روش، ابزاری قوی و کارا برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی است که دارای بیشترین عملکرد و پایداری می‌باشند.



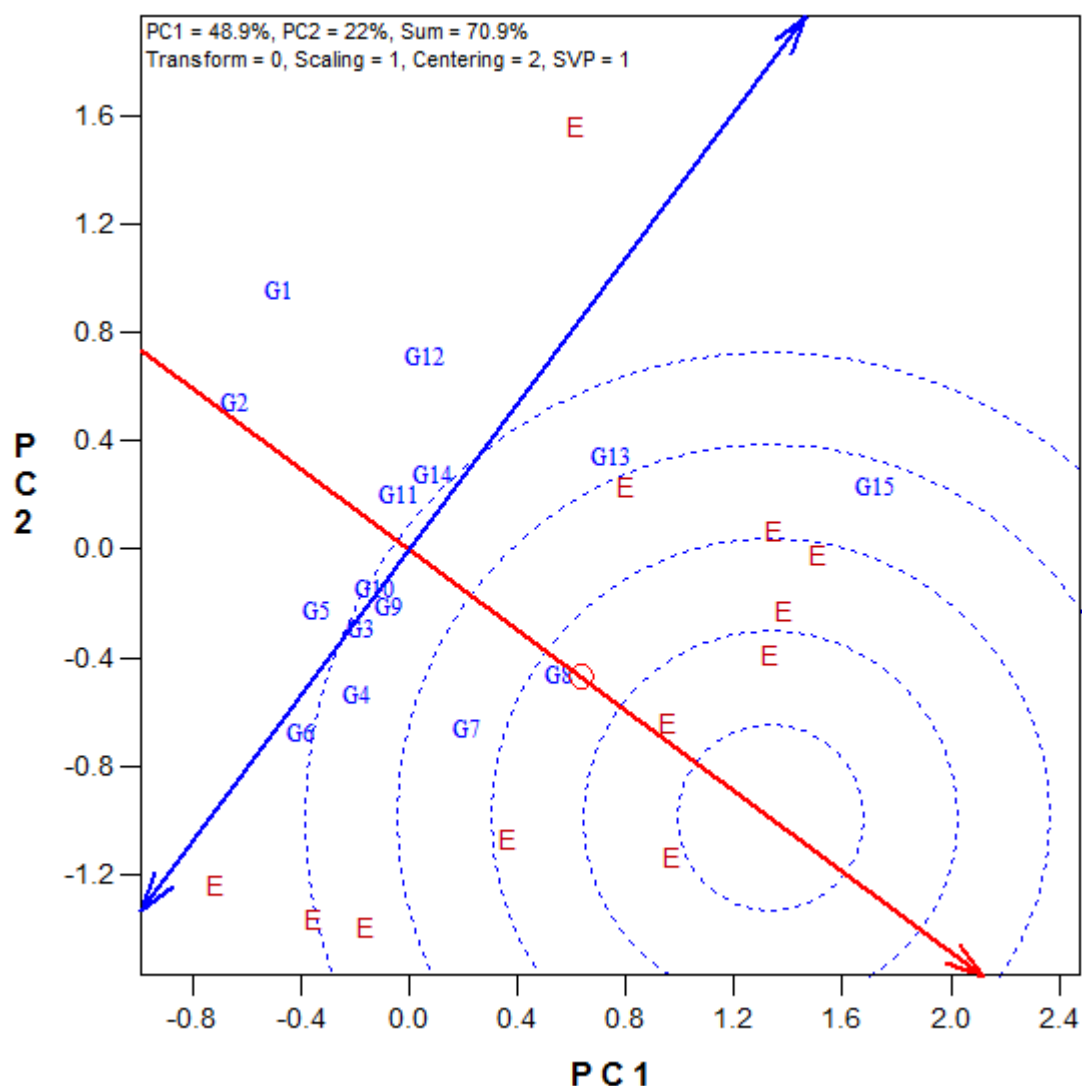
شکل ۲- نمایش بای پلات برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری در ژنوتیپ های مختلف کلزا؛
PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم

به منظور شناسایی رابطه بین محیط های مورد بررسی از روش گرافیکی GGE-biplot می توان استفاده کرد. در نمایش برداری (Vector view) محیط ها از طریق خط هایی به اسم بردار به مبدأ بای پلات وصل می شوند و برای برآورد همبستگی بین محیط ها از کسینوس زاویه بین بردارهای محیط ها استفاده می شود. اگر زاویه بین دو بردار محیط کمتر از ۹۰ درجه باشد، بین دو محیط همبستگی مثبت وجود دارد. زمانی که زاویه بین دو بردار محیط بیشتر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی

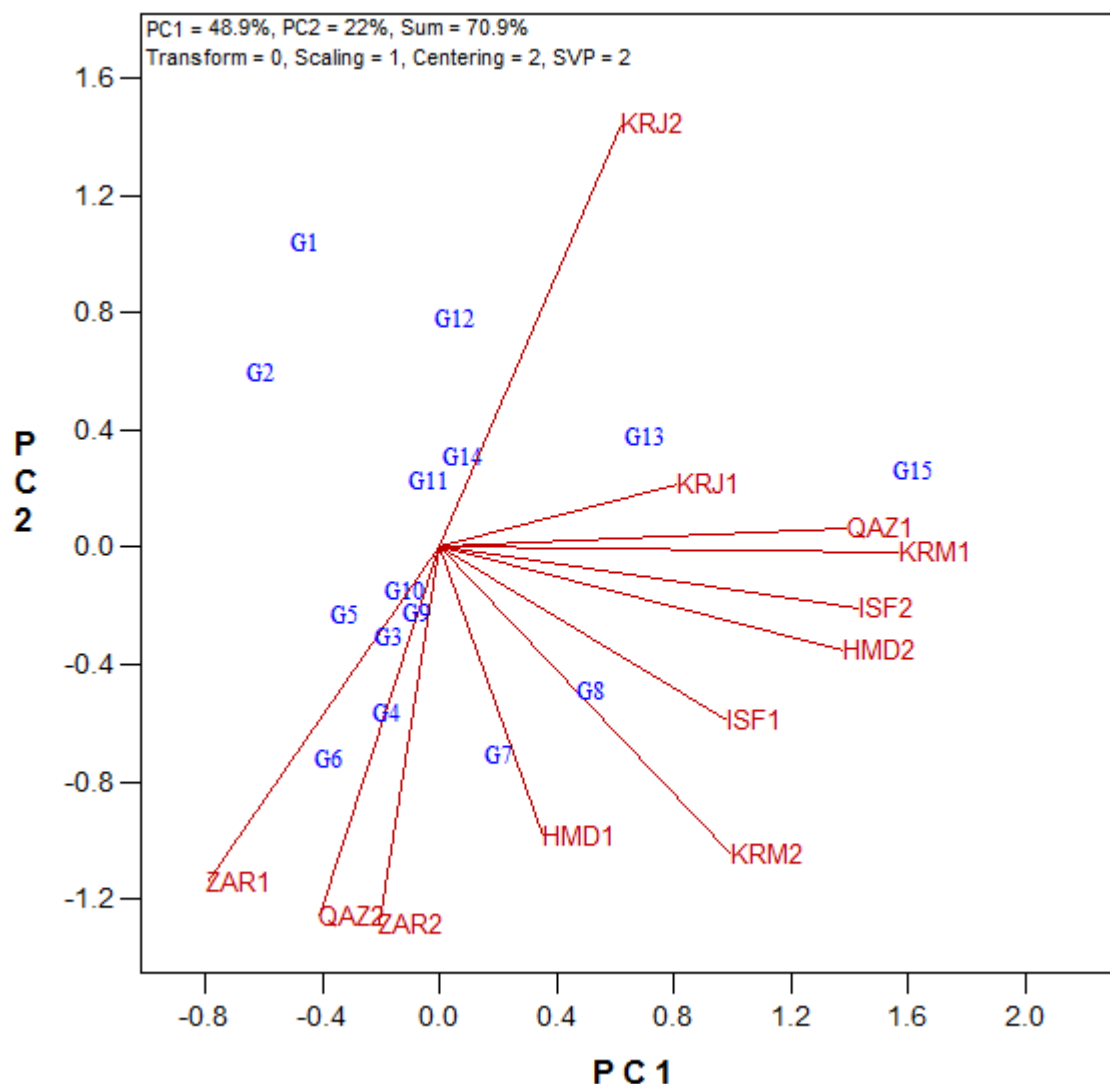
منفی و اگر زاویه بین دو بردار محیط ۹۰ درجه باشد، همبستگی وجود ندارد. بررسی همبستگی بین محیط ها نشان داد (شکل ۴) که زاویه بین بردارهای محیط های زرقان سال اول و زرقان سال دوم، محیط های اصفهان سال اول و اصفهان سال دوم و محیط های کرج سال اول و کرج سال دوم، کمتر از ۹۰ درجه بود که بیانگر همبستگی مثبت معنی دار بین این محیط ها بود. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که تغییرات شرایط محیطی در مکان های زرقان، اصفهان و کرج در دو سال اجرای

آزمایش کم بود و در صورت تکرار نتایج در آزمایشات کلزا و سایر محصولات در این مکان‌ها می‌توان آزمایشات را با تعداد سال کمتری انجام داد. همچنین زاویه بین بردارهای محیط‌های قزوین سال اول و

قزوین سال دوم بالاتر از ۹۰ درجه بود که بیانگر همبستگی منفی بین این محیط‌ها و تغییرات شرایط آب‌وهوایی در دو سال اجرای این آزمایش در این مکان بود.



شکل ۳- نمایش بای پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل در ارقام و لاین‌های مختلف کلزا: PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم



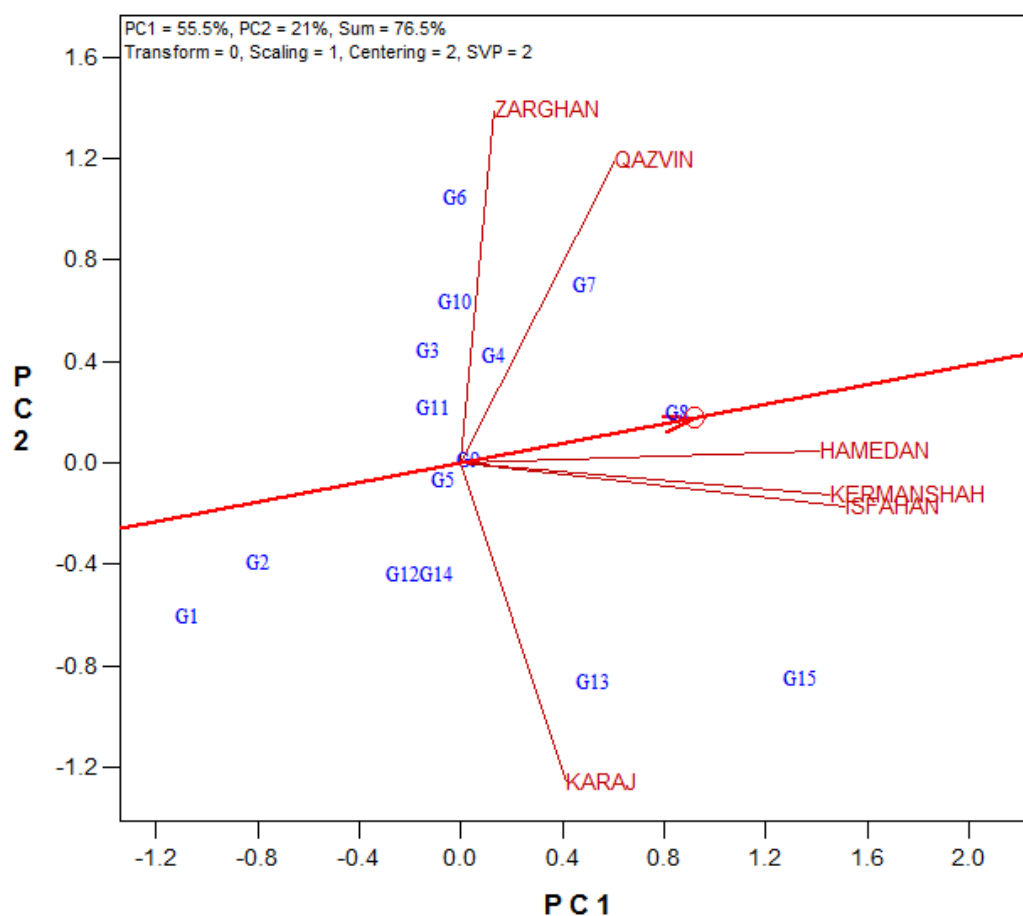
شکل ۴- نمایش بای پلات برای بررسی روابط بین محیط های مورد مطالعه در کلزا؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم

یک محیط است. هر چقدر این زاویه کوچکتر باشد میزان بیانگری بیشتر بوده و محیط مورد نظر نماینده بهتری از محیط کلان هدف خواهد بود. اگر محیط های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، ممکن است اطلاعات گمراه کننده ای درباره ژنوتیپ های مورد آزمایش ارائه دهند. بنابراین، یک محیط ایده آل محیطی است که می تواند به عنوان نماینده بقیه محیط های آزمایش باشد و نیز دارای بیشترین توانایی تمایز ژنوتیپ ها می باشد (جعفری و فرشادفر ۲۰۱۸). در این

یکی دیگر از ویژگی های مهم نمودار بای پلات محیط ها، میزان بیانگری یا نمایندگی محیط آزمایشی از محیط کلان است. محیط ها را بر مبنای فاصله آن ها از محیط ایده آل فرضی رتبه بندی می کنند. محیط ایده آل فرضی محیطی است که از نظر مکانی در مرکز دوائر هم مرکز بای پلات قرار دارد و دارای بیشترین قابلیت بیانگری و تمایز باشد (یان و کنگ ۲۰۰۳). زاویه بین بردار هر محیط و محور مختصات محیط متوسط (محور افقی) شاخصی برای تشخیص میزان بیانگری

پژوهش مکان همدان و در مرحله بعد مکان‌های کرمانشاه و اصفهان نزدیک‌ترین محیط‌ها به محیط ایده‌آل فرضی بودند (شکل ۵) و به‌عنوان محیط‌های مطلوب جهت گزینش لاین‌های برتر کلزا معرفی می‌شوند. از نمودار بای‌پلات محیط‌ها به‌منظور ارزیابی

قدرت تمایز و بیانگری محیط‌ها در کلزا (پورداد و جمشیدی مقدم)، جو (قزوینی و همکاران ۲۰۲۲)، و چغندر قند (طالقانی و صارمی‌راد ۲۰۲۲) نیز استفاده شده است.



شکل ۵- نمایش بای‌پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج نشان دادند که روش گرافیکی GGE-biplot روشی با کارایی مناسب برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در گیاه کلزا بوده و اطلاعات خوبی در مورد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه به صورت گرافیکی در اختیار قرار می‌دهد. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ فرضی ایده‌آل، رقم طلایه و لاین جهش یافته Z-900-9 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین

عملکرد دانه، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و سازگاری عمومی بالایی در همه محیط‌های مورد بررسی داشتند. علاوه بر آن، ارقام نیما و طلایه در مکان‌های اصفهان، کرمانشاه و کرج و لاین جهش یافته Z-900-8 در مکان زرقان ژنوتیپ‌های برتر و با سازگاری خصوصی بالا بودند. ژنوتیپ‌های منتخب قابلیت ورود به آزمایش‌های تحقیقی-ترویجی به‌منظور معرفی رقم مناسب برای کشت در مناطق مورد نظر را دارند. همچنین نتایج نشان

سیاسگزاری

بدین وسیله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و همچنین همکاران مراکز و ایستگاه های تحقیقاتی کرج، کرمانشاه، اصفهان، همدان، زرقان و قزوین که در اجرای آزمایش ها، جمع آوری داده ها و انجام این پژوهش همکاری و مساعدت نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می شود.

داد که مکان های همدان، کرمانشاه و اصفهان نزدیک ترین محیط ها به محیط ایده آل بودند و بیشترین تمایز و بیانگری را نشان دادند. بنابراین می توان از محیط های همدان، کرمانشاه و اصفهان به عنوان مکان های ارزیابی مناسب برای انتخاب ژنوتیپ های برتر کلزا استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

- Alizadeh B, Rezaizad A, Yazdandoost Hamedani M, Shiresmaeili G, Nasserghadimi F, Khademhamzeh HR and Gholizadeh A. 2021. Analysis of genotype $\times$ 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). DOI: 10.47176/jcpp.11.1.36131.
- Alizadeh B, Rezaizad A, Yazdandoost Hamedani M, Shiresmaeili G, Nasserghadimi F, Khademhamzeh HR and Gholizadeh A. 2022. Genotype $\times$ 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. DOI: 10.1007/s40003-021-00565-9.
- Alizadeh B, Yazdandust Hamedani M, Rezaei Zad A, Azizinia S, Khiyavi M, Shirani Rad AH, Javidfar F, Pasban Eslam B, Mostafavi Rad M, Shariati F, Rahmanpour Ozan S, Alem Khumaram MH, Majd Nasiri B, Amiri Oghan A and Zareei Siahbidi 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). DOI: 10.22092/rafhc.2019.114653.1102.
- Amiri Oghan H, Rameeh V, Faraji A, Fanaei H.R, Kazerani NK and Rahmanpour S. 2020. Evaluation of seed yield stability of spring rapeseed genotypes using GGE biplot analysis. *Seed and Plant Journal*, 36: 207-222. (In Persian). DOI: 10.22092/sppi.2020.123205.
- Da Cruz DP, de Amaral Gravina G, Vivas M, Entringer G.C, Rocha RS, da Costa Jaeggi MEP, Gravina LM, Pereira IM, do Amaral Junior AT, and de Moraes R. 2020. Analysis of the phenotypic adaptability and stability of strains of cowpea through the GGE Biplot approach. *Euphytica*, 216: 1-11. DOI: 10.1007/s10681-020-02693-9.
- Dallo SC, Zdziarski AD, Woyann LG, Milioli AS, Zanella R, Conte J and Benin G. 201). Across year and year-by-year GGE biplot analysis to evaluate soybean performance and stability in multi-environment trials. *Euphytica*, 215: 1-12. DOI: 10.1007/s10681-019-2438-x.
- Dehghani MR, Majidi MM, Mirlohi A and Saeidi G. 2016. Integrating parametric and non-parametric measures to investigate genotype $\times$ environment interactions in tall fescue. *Euphytica*, 208: 583-596. DOI: 10.1007/s10681-015-1611-0.
- Dezfouli PM, Sedghi M, Shariatpanahi ME, Niazian Mand 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. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111754.
- Gerrish BJ, Ibrahim AM, Rudd JC, Neely C and Subramanian NK. 2019. Identifying mega-environments for hard red winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Texas. *Euphytica*, 215: 1-9. DOI: 10.1007/s10681-019-2448-8.

- Ghaffari M, Gholizadeh A, Andarkhor SA, Zareei Siahbidi A, Kalantar Ahmadi SA, 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. DOI: 10.1007/s10681-021-02921-w.
- Ghazvini H, Bagherikia S, Pour-Aboughadareh A, Sharifalhossaini M, Razavi SA, Mohammadi S, GhasemiKalkhoran M, Fathihafshejani A and Khakizade G. 2022. GGE biplot analysis of promising barley lines in the cold regions of Iran. *Journal of Crop Improvement*, 36(4): 461-472. DOI: 10.1080/15427528.2021.1977448.
- Gholizadeh A and Khodadadi M. 2023. Graphic analysis of genotype, environment and genotype $\times$ environment interaction for oil yield in coriander. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(2): 277-289. (In Persian) DOI: 10.22077/escs.2022.4491.2029.
- 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) DOI: 10.22077/escs.2020.3574.1878.
- Hamidou M, Souleymane O, Ba MN, Danquah EY, Kapran I, Gracen V and Ofori K. 2019. Identification of stable genotypes and genotype by environment interaction for grain yield in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Plant Genetic Resources*, 17: 81-86. DOI: 10.1017/S1479262118000382.
- Hemmati I, Pourdad SS and Choukan R. 2018. Studying the genotype $\times$ environment interaction under different conditions of moisture stress using graphical GGE biplot analysis in synthetic varieties of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11: 471-480. (In Persian) DOI: 10.22077/escs.2017.633.1124.
- Jafari T and Farshadfar E. 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research*, 8: 199-208. (In Persian) DOI: 10.22124/c.2018.6232.1243.
- Jia C, Wang F, Yuan J, Zhang Y, Zhao Z, Abulizi B, Wen X, Kang M and Tang F. 2020. Screening and comprehensive evaluation of rice (*Oryza sativa* L. subsp. japonica Kato) germplasm resources for nitrogen efficiency in Xinjiang, China. *Plant Genetic Resources*, 18: 179-189. DOI: 10.1017/S1479262120000118.
- Mahdavi AM, Babaeian Jelodar N, Farshadfar E and Bagheri N. 2022. Study of grain yield stability of bread wheat genotypes using non-parametric method and GGE biplot. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(2): 287-298. (In Persian) DOI: 10.22077/escs.2020.3527.1871.
- Majidian P, Masoudi B, Hezarjeribi E, Razmi N, Peyghamzadeh K and Gholizadeh A. 2024. Deciphering genotype-by-environment interaction in new soybean lines based on multiple traits using different adaptability and stability methods. *Food Science and Nutrition*, 12(5): 3295-3308. DOI: 10.1002/fsn3.3996.
- 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. DOI: 10.1007/s10681-015-1620-z.
- Pourdad SS and Jamshidi Mohjadam M. 2013. Study on genotype $\times$ environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding*, 5: 1-13. (In Persian) DOI: 20.1001.1.22286128.1392.5.12.1.1.
- Roodi D, Ghodrati G, Kazerani N and Masoudi B. 2022. Investigation the yield stability of brassica genotypes (*Brassica* spp.) under drought dtress by using statistical parameters and GGE biplot graphical methods. *Journal of Crop Breeding*, 14(42): 138-147. (In Persian) DOI: 10.52547/jcb.14.42.138.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT user's guide, second edition. SAS institute Inc, cary, Nc.
- SPSS Inc. 2010. SPSS 20. Users Guied. Chicago, USA.

- Sserumaga JP, Oikeh SO, Mugo S, Asea G, Otim M, Beyene Y, Abalo G and Kikafunda J. 2016. Genotype by environment interactions and agronomic performance of doubled haploids testcross maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Euphytica*, 207: 353-365. DOI: 10.1007/s10681-015-1549-2.
- Taleghani D and Saremirad A. 2022. Investigation of genotype-environment interaction effect on sugar yield and determination of stability of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids. *Journal of Crop Breeding*, 14(44): 103-118. (In Persian) DOI: 10.52547/jcb.14.44.103.
- Temesgen M, Alamerew S and Eticha F. 2015. GGE biplot analysis of genotype by environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in south east Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences*, 11: 183-190. DOI: 197680673.
- 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. DOI: 10.1556/0806.45.2017.019.
- Yan W, Hunt L, Sheng Q and Szlavnics Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40: 597-605. DOI: 10.2135/cropsci2000.403597x.
- Yan W and Kang MS. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. DOI: 9780367454791.