

Research Article

Plant Prod., 2021, 44(3), 345-356
<http://plantproduction.scu.ac.ir/>

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

Evaluation of Adaptation and Sustainability of Winter Oilseed Rape Mutant Lines in Cold and Mild Cold Regions of Iran by GGE Biplot Method

Mehrzaad Ahmadi^{1*}, Mansoor Omid², Bahram Alizadeh³, Ali Akbar Shah Nejat Bushehri⁴

- 1- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (ahmadimehrzad@gmail.com)
2- Professor, University of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
4- Professor, University of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Citation: Ahmadi, M., Omid, M., Alizadeh, B., & Shah Nejat Bushehri, A. K. (2021). Evaluation of adaptation and sustainability of winter oilseed rape mutant lines in cold and mild cold regions of Iran by GGE biplot method. *Plant Productions*, 44(3), 345-356.

 10.22055/ppd.2021.33627.1912

Received: 6 January, 2020

Accepted: 6 January, 2021

Abstract

Introduction

Oilseed rape is the third most important oil crop in the world after oil palm and soybean. The world's oilseed rape production was 4.6 million tons in 2018-2019 and has the ability to compensate for the lack of edible oil in Iran (containing 40-45% oil). The production of this crop is mainly done by using two zero cultivars with a low level of glucosinolate in the feed and the absence of Erucic acid in the oil. Two types of oilseed rape are cultivated in Iran, spring and autumn. Spring type is cultivated in warm regions of the Caspian Sea coast and southern regions of the country and its autumn type is mostly cultivated in cold and mild cold regions.

Materials and Methods

In this study 16 rapeseed mutant lines obtained through Gamma radiation of three rapeseed cultivars Talaye, Zarfam and Express with 800, 900 and 1200 gray dose rates, followed by 7 selfing generation, are compared during two years for earliness, seed and oil yield and other important agronomic traits in four regions Karaj, Kermanshah, Esfahan and Zarghan with three check varieties. The oil content of rapeseed varieties and lines were determined by NMR (nuclear magnetic resonance) at chemical laboratory of Oilseed Crops Research Department of Seed and Plant Improvement Institute. Finally, the highest yield early maturity lines were defined. Each



treatment was sown in plot with four rows, four meters length and 30 cm between row distances. The experimental field was prepared in late summer and chemical fertilizer were given to it. The sowing experiment were planned for late week of September until the first week of October. At the end of each cropping year, the yield of each plot was harvested separately and the statistical calculations were carried out after the gathering of two years results by GGE biplot method.

Results and Discussion

Results of combined ANOVA showed that main effects of year and genotype, interaction of location $\times$ genotype; year $\times$ location, and interaction of year, location and genotype had significant effects on grain yield. The genotypes showed the highest and the lowest grain yield in Kermanshah 4016 kg/ha and Zarghan 2886 kg/ha stations, respectively. Line T-900-4 produced the highest grain yield 3840 kg/ha in all locations. To study the interaction of genotypes and environments, GGE biplot method was used. Based on the polygonal graphs related to genotypes, line Z-800-6, Z-900-7, Okapi and Z-800-3 produced the highest yield in Karaj, Zarghan, Kermanshah and Esfahan, respectively. Regarding the imaginary ideal genotype graph and biplot of genotypes and environments and seed yield ranking, line Z-900-7 were identified as the best genotypes due to its higher yield and stability.

Conclusion

In Iran, 70% of rapeseed production is done in warm regions and only 30% in cold regions. Therefore, breeding cold-tolerant cultivars by using mutations will increase rapeseed cultivation in the cold region of Iran.

Keywords: Combined ANOVA, Grain yield, Mutant, Oil crop

ارزیابی سازگاری و پایداری لاین‌های جهش‌یافته کلزای زمستانه در مناطق سرد و نیمه سردسیر ایران به روش GGE بای پلات

مهرزاد احمدی^{۱*} , منصور امیدی^۲, بهرام علیزاده^۳, علی اکبر شاه نجات بوشهری^۴

۱- *نویسنده مسئول: استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(ahmadimehrzad@ymail.com)

۲- استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

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

۴- استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۶

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی پایداری و سازگاری عملکرد دانه و شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول کلزا در ایستگاه‌های تحقیقاتی مناطق سرد و نیمه سردسیر شامل کرج، زرقان، اصفهان و کرمانشاه انجام گرفت. در این بررسی تعداد ۱۶ لاین جهش‌یافته کلزا به همراه والدین آن‌ها و سه رقم تجاری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی (۱۳۹۶-۱۳۹۷) در کرج مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه مرکب (دو سال و چهار مکان) نشان داد که اثرات ساده سال و ژنوتیپ، اثر متقابل سال در مکان، ژنوتیپ در مکان و اثر متقابل سال در مکان در ژنوتیپ برای عملکرد دانه از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به کرمانشاه با ۴۰۱۶ کیلوگرم در هکتار و زرقان با ۲۸۸۶ کیلوگرم در هکتار بوده و لاین T-900-4 با متوسط عملکرد دانه ۳۸۴۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را در بین ارقام و لاین‌ها مورد بررسی داشت. برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از روش GGE بای پلات استفاده شد. بر اساس نمودار چند ضلعی مربوط به ژنوتیپ‌ها، لاین‌های Z-800-6، Z-900-7، Z-800-3 و Okapi به ترتیب در کرج، زرقان، کرمانشاه و اصفهان بیشترین عملکرد را تولید نمودند. هم‌چنین براساس نمودار ژنوتیپ ایده‌آل فرضی و نمودار بای پلات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، لاین Z-900-7 با توجه به معیار پایداری در روش GGE و مقایسه رتبه‌بندی عملکرد دانه، پایداری مطلوب‌تری را نشان داد و به‌عنوان ژنوتیپ برتر از لحاظ تولید دانه و نیز پایداری عملکرد شناسایی شد.

کلیدواژه‌ها: تجزیه مرکب، عملکرد دانه، گیاه روغنی، موتانت

مقدمه

کانادا، هندوستان، اتحادیه اروپا به‌ویژه کشورهای فرانسه، آلمان و انگلستان عمده‌ترین تولیدکنندگان کلزا و کشور کانادا مهم‌ترین صادرکننده دانه و روغن کلزا می‌باشد (FAO, 2019). کلزا با داشتن حدود ۴۵-۴۰ درصد روغن،

کلزا سومین گیاه روغنی مهم در جهان بعد از نخل روغنی و سویا است. میزان تولید دانه کلزای جهان در سال زراعی ۲۰۱۷-۲۰۱۸ برابر ۴/۶ میلیون تن بوده و چین،

توانایی جبران کمبود روغن خوراکی را در ایران دارد (Malekshahi et al., 2012). تولید این گیاه عمدتاً با استفاده از ارقام دو صفر با سطح اندک گلوکوزینولات در کتاله و فقدان اسید چرب اروسیک در روغن صورت می‌گیرد. کلزا در ایران با بهره‌گیری از دو تیپ بهاره و پاییزه کشت می‌شود. تیپ بهاره در مناطق معتدل گرم سواحل دریای خزر و مناطق جنوبی کشور و تیپ پاییزه آن بیشتر در مناطق سرد و معتدل سرد کشت می‌گردد (Ahmadi et al., 2019).

گرچه عملکرد دانه کلزا در طول ۴ دهه گذشته در بیشتر کشورها افزایش یافته، ولی این افزایش عملکرد با پایداری بیشتر عملکرد همراه نبوده است (Rondanini et al., 2012). تجزیه و تحلیل پایداری و سازگاری ارقام با محیط‌های مختلف قبل از کشت آن‌ها در سطوح وسیع، به منظور اطمینان از پایداری عملکرد ضروری است. تلاش‌های چشمگیر در مناطق مختلف جهان به منظور شناسایی ارقام پرمحصول با پایداری بالا برای شناسایی سازگاری خصوصی (Zhang et al., 2013; Zhang et al., 2017; Zhang et al., 2016) و عمومی (Nowosad et al., 2017; Tahira et al., 2013) انجام شده است.

محیط مجموعه‌ای از شرایط خارجی مؤثر بر رشد و نمو ارقام است. بافت، pH، عمق و مواد آلی و حاصلخیزی خاک، هوا، رطوبت، بیماری و حشرات در شرایط محیطی تغییر ایجاد می‌کند (Roozeboom et al., 2008). اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ($E \times G$) ناشی از پاسخ هر رقم به تغییرات محیطی است (Cossa et al., 1991). اثر متقابل ژنوتیپ در محیط کار انتخاب و معرفی ارقام برتر را مشکل ساخته و سبب کندی روند انتخاب می‌شود (Rodriguez et al., 2002). در بسیاری از کشورها معمولاً قبل از توصیه کشت یک رقم، ارزیابی عملکرد رقم حداقل در بیش از دو سال زراعی و در محیط‌های مختلف انجام می‌گیرد. کاهش اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، به دو روش امکان‌پذیر می‌باشد. نخست تقسیم مناطق به مناطق نسبتاً همگن که در آن ارقام نیاز به تطبیق خاصی دارند و روش دیگر ایجاد مواد ژنتیکی با پایداری بالا و سازگار با طیف گسترده‌ای از محیط است.

رقم ایده‌آل، رقمی با عملکرد دانه و پایداری بالا در محیط‌های مختلف می‌باشد (Yan et al., 2007). Zobel et al. (1988) روش‌های آماری معمول را با هم مقایسه کردند و نشان دادند که روش ANOVA، PCA و رگرسیون خطی همیشه برای بررسی اطلاعات چند محیط مؤثر نمی‌باشند. ANOVA یک مدل افزایشی است که معنی‌دار بودن اثرات اصلی و اثر متقابل $E \times G$ را نشان می‌دهد اما در مورد دلایل آن بحث نمی‌کند (Escobar et al., 2010).

روش GGE Biplot ابزاری بسیار مفید جهت ارزیابی مشاهده‌ای و تفسیر پاسخ الگوی ژنوتیپ، محیط‌ها و برهمکنش آن‌ها است. GGE Biplot نمای گرافیکی از برهمکنش هم‌زمان دو متغیر ارقام و محیط است. این روش برای اولین بار توسط Gabriel (1971) مطرح و برای آنالیز و خلاصه کردن تعداد زیادی از داده‌های کمی با استفاده از نمودار پیشنهاد شد (Cossa et al., 1991; Gauch, 2006). هم‌چنین از biplot برای تفسیر نتایج تحلیل مدل رگرسیون از اطلاعات به‌دست‌آمده در آزمایش‌های چند منطقه‌ای (Multi-Environment Trials (MET)) استفاده می‌شود. ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ($GG \times E$) از عوامل مهم در انتخاب رقم است. آن‌ها منابع تغییر در مدل رگرسیونی برای تجزیه و تحلیل اطلاعات MET را تشکیل می‌دهند. این عوامل به‌طور گرافیکی توسط GGE Biplot تخمین زده می‌شود که در آن، هر دو رقم و محیط به‌صورت گرافیکی تجسم می‌شوند (Yan et al., 2000; Yan, 2001). این مدل برای بررسی واکنش ارقام به محیط‌های خاص پیشنهاد شده است که در آن اثرات اصلی ارقام بخشی از باقی‌مانده را تشکیل می‌دهد (Yan et al., 2000). یک مزیت منحصر به فرد این مدل این است که اجازه می‌دهد تا محیط‌هایی با رفتار مشابه را گروه‌بندی و به‌صورت نموداری مشخص کنند که کدام رقم بالاترین پتانسیل را در هر زیر گروه محیط دارد. در ارزیابی عملکرد دانه و پایداری عملکرد لاین‌های جهش‌یافته حاصل از پرتوتابی رقم RGS003 با پرتو گاما آزمایشی در طی سال‌های زراعی ۹۰ تا ۹۲ اجرا شد. ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در طی دو سال آزمایش

با سه رقم تجاری اوکایی، احمدی و ES Neptune در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت و مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). این آزمایش در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، زرکان، کرمانشاه و اصفهان) طی دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ انجام شد (جدول ۱). در این بررسی هر تیمار در یک کرت چهار خطی به طول چهار متر با فاصله خطوط ۳۰ سانتی متر بوده و مساحت هر کرت ۴/۸ متر مربع در نظر گرفته شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و لولر در تابستان انجام شد و کودهای شیمیایی شامل کود کامل NPK (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان تهیه زمین استفاده شد. کشت در مهرماه هر سال انجام گردید. مبارزه با شته مومی کلم با سم سیستمیک متاسیتوکس در غلظت دو در هزار در مرحله گلدهی صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی در ۳ نوبت (دو نوبت در آبان و بهمن و یک نوبت فروردین) صورت گرفت. در پایان سال زراعی محصول هر کرت آزمایشی به طور جداگانه برداشت، ضمن ثبت مشخصات توزین شده، میزان روغن تیمارهای منطقه کرج با استفاده از دستگاه ((Nuclear Magnetic Resonance (NMR) در آزمایشگاه تجزیه روغن بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تعیین گردید. در تجزیه مرکب اثر محیط (ترکیب سال در مکان) تصادفی و اثر ژنوتیپ ثابت در نظر گرفته شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، تجزیه‌های آماری داده‌ها، مقایسه میانگین عملکرد دانه لاین‌های جهش‌یافته و شاهد به روش حداقل تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9.4 و مطالعه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط توسط نرم‌افزار GGE biplot صورت گرفت. میانگین و واریانس رتبه برای ارقام با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد. قبل از انجام تجزیه مرکب، آزمون نرمال بودن داده‌ها و آزمون بارتلت برای بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی بررسی شد

اختلاف معنی‌دار داشتند. اثر متقابل سال در ژنوتیپ (GE) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در این پژوهش برای انتخاب لاین برتر از میان ۸۰ لاین جهش‌یافته از روش GGE بای پلات استفاده شد. با این روش سه لاین جهش‌یافته RG16، RG14 و RG31 به عنوان لاین‌های برتر با عملکرد بالا و پایدار، معرفی شد. بر اساس نتایج این آزمایش، روش اصلاح به کمک جهش در اصلاح کلزا مؤثر و سودمند است (Naserian Khiabani and Alizadeh, 2018). بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با هدف انتخاب ژنوتیپ‌های برتر یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌های به‌نژادی به شمار می‌رود. در پژوهشی دیگر، ۱۲ لاین امیدبخش کلزای زمستانه بر مبنای شباهت پاسخ آن‌ها به محیط‌های مختلف (کرج، کرمانشاه، بجنورد، همدان، اصفهان، اراک) گروه‌بندی شدند. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر متقابل سال در مکان در سطح یک درصد و اثر متقابل سال در مکان در ژنوتیپ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. لاین‌های امیدبخش L137 و L201 و L119 از پایداری بالایی برخوردار بودند (Sohrabi et al., 2014). در پژوهش دیگری که در سال زراعی ۱۳۸۹-۹۰ با استفاده از ده رقم کلزا در پنج منطقه شامل کرج، بیرجند، کاشمر، شیراز و سندج انجام گرفت. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با استفاده از روش گرافیکی GGE biplot بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصل به ترتیب ارقام لیکورد، Hyola308 و مودنا دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. از بین این سه رقم نیز رقم مودنا از پایداری عملکرد بیشتری برخوردار بود (Mostafavi et al., 2012). هدف این بررسی ارزیابی پایداری و سازگاری ۱۶ ژنوتیپ جهش‌یافته کلزای زمستانه از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ در مناطق کرج، اصفهان، کرمانشاه و زرکان بود.

مواد و روش‌ها

سه رقم کلزا به اسامی زرفام، طلایه و اکسپرس همراه با ۱۶ لاین جهش‌یافته که از پرتوتایی ارقام فوق با شدت‌های ۸۰۰-۹۰۰-۱۲۰۰ گری پرتوگاما و پس از هفت نسل خویش‌آمیزی به‌دست آمده‌اند (Mozaffari and Ahmadi, 2010)، همراه

Table 1. Geographical and climatic characteristics of experimental locations

Locations	Max temp (C)	Min temp (C)	Annual rainfall (mm)	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Karaj (Mohamad Shahr)	42	-10	208	1300	50 58° E	35 49° N
Zarghan	41	-8	121	1590	52.71° E	29.76° N
Kermanshah (Eslam Abad Gharb)	42	-9	213	1346	46.52°E	34.12° N
Esfahan (Kabota Abad)	43	-11	63	1540	51.40° E	32 39° N

Table2. Characteristics of studied cultivars and lines

Number	Lines and cultivars	Seed oil (%)	Number	Lines and cultivars	Seed oil (%)
G1	Zarfam	42.8	G12	T-800-6	43.5
G2	Z-800-3	42.4	G13	T-900-4	42.1
G3	Z-800-6	42.7	G14	T-900-5	41.3
G4	Z-900-3	42	G15	T-1200-1	42
G5	Z-900-6	43.1	G16	Express	42
G6	Z-900-7	43.9	G17	Exp-800-1	44.1
G7	Z-900-8	43.3	G18	Exp-800-3	43.5
G8	Z-900-9	43.3	G19	Exp-900-1	39.7
G9	Z-900-10	41.1	C1	Okapi	40.3
G10	Talayeh	42.5	C2	Ahmadi	40
G11	T-800-1	42.8	C3	ES Neptune	40.6

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب عملکرد لاین‌ها تفاوت معنی‌داری را برای مکان، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و مکان و سال نشان می‌دهد که می‌توان محیط‌ها را براساس اثر متقابل گروه‌بندی نمود. نتایج مشابهی توسط اسکوبار و همکاران در مطالعه ارقام و لاین‌های کلزا گزارش شده است (Escobar et al., 2010). عملکرد دانه صفت کمی پیچیده‌ای است که از چندین صفت مانند تعداد غلاف در بوته، تعداد بذر در غلاف و وزن هزار دانه تأثیر می‌پذیرد و تغییرات آن به رقم، محیط و اثر متقابل آن‌ها بستگی دارد (Mostafavi et al., 2012). لاین T-900-4 (G13) در مجموعه محیط‌ها از بالاترین میانگین عملکرد (۳۸۴۰ کیلوگرم در هکتار) و لاین T-800-1 (G11) نیز از کمترین مقدار (۲۷۸۲ کیلوگرم در هکتار) برخوردار بود. در بین مناطق مورد بررسی کرمانشاه دارای بیشترین میانگین عملکرد (۴۰۱۶ کیلوگرم در هکتار) و بعد از آن کرج، اصفهان و زرقان قرار داشتند. در مقایسه جهش‌یافته‌های هر رقم با والد خود، لاین Z-900-7 (G6) با ۳۷۵۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را نسبت به زرفام با ۳۳۳۰ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد. لاین جهش‌یافته حاصل از رقم طلایه T-900-4 (G13) با

عملکرد ۳۸۴۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را نسبت به رقم طلایه ۳۰۸۷ کیلوگرم در هکتار دارا بود. لاین جهش‌یافته T-800-1 (G17) با عملکرد ۳۵۷۶ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیشتری نسبت به سایر جهش‌یافته‌های رقم اکسپرس داشت ولی نسبت به رقم مادری عملکرد کمتری تولید نمود. بیشترین میزان روغن در کرج در لاین Z-900-7 (G6) با ۴۳/۹ درصد و کمترین در لاین T-900-1 (G19) با ۳۹/۷ درصد به‌دست آمد. از نظر عملکرد روغن بیشترین مقدار به‌ترتیب در لاین‌های Z-900-7 (G6)، T-900-4 (G13) و T-800-1 (G17) با ۱۶۵۰ و ۱۶۱۶، ۱۵۷۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار در رقم احمدی با ۱۱۳۷ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید.

بررسی مقایسه میانگین عملکرد دانه براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری در مکان‌های مختلف نشان داد که بیشترین عملکرد در کرج از لاین‌های Z-800-6 (G3) با میانگین ۴۷۹۳ کیلوگرم در هکتار و در اصفهان از لاین Z-800-3 (G2) با میانگین ۳۹۵۹ کیلوگرم و در کرمانشاه، از لاین T-800-3 (G18) با میانگین ۴۹۳۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه در زرقان از لاین Z-900-6 (G5) با میانگین ۳۶۶۴ کیلوگرم در هکتار تولید گردید (جدول ۴).

Table 3. Combine analysis of variance for grain yield of winter oilseed rape mutants in four locations in two years from 2015-16 to 2016-17

Source of variation	df	Mean of Squares
place	3	31659324.4**
year	1	123163.0 ^{ns}
Place × year	3	65987809.9**
Block (place × year) (E1)	16	1155901.5
Genotype	21	1920616.0**
Genotype × place	21	547640.0 ^{ns}
Genotype × year	63	1829666.5**
Genotype × place × year	63	1118339.8**
(E2) Genotype × block (place × year)	336	421293.3
C.V. (%)		19.41

ns, * and **: none Significant, Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

Table 4. Comparison of grain yield mean (Kg/ha) in different location using LSD Test in 2015-16 and 2016-17

No.	Genotypes	Location			
		Karaj	Esfahan	Kermanshah	Zarghan
1	Zarfam	3370	3734	3393	2826
2	Z-800-3	3226	3959	3601	3475
3	Z-800-6	4793	3894	3351	2624
4	Z-900-3	4018	2394	3245	3041
5	Z-900-6	2863	2698	3621	3664
6	Z-900-7	4000	3334	3935	3759
7	Z-900-8	4119	2695	4052	3018
8	Z-900-9	3843	2786	3953	2646
9	Z-900-10	3552	2767	3657	2939
10	Talayeh	3014	2885	3934	2516
11	T-800-1	3039	1868	3686	2536
12	T-800-6	3439	3700	4298	2997
13	T-900-4	3555	4211	4636	2959
14	T-900-5	3062	3320	3628	3100
15	T-1200-1	3633	2943	3903	3249
16	Express	3468	3556	4663	2716
17	Exp-800-1	3514	3486	4417	2890
18	Exp-800-3	3480	3250	4935	2253
19	Exp-900-1	3937	2161	4097	2347
20	Okapi	1929	2879	4628	2763
21	Ahmadi	2227	2772	4018	2356
22	ES Neptune	1952	2973	4707	2832
	Mean	3365	3103	4016	2886
	LSD 5%	675.82	937.16	989.24	1117.7

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level-using LSD Test.

محور عمودی (PC2) نشان دهنده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط می باشد که خود معیاری از ناپایداری لاین ها را نشان می دهد. از مبدأ مختصات خطی به میانگین مکان ها وصل می شود (محل آن با دایره نقطه چین مشخص شده است)، که محور میانگین مکان ها نام دارد. ارقامی که در ابتدای مثبت این محور قرار دارند دارای عملکرد بیشتری هستند و بالعکس. بنابراین براساس شکل (A-1) ترتیب لاین ها از نظر

به منظور تجزیه سازگاری و بررسی اثر متقابل لاین ها و محیط نمودار چندضلعی GGE biplot ترسیم شد. این نمودار ۷۲ درصد (PC1=50%, PC2=22%) از واریانس داده ها را توجیه نمود. اگر نموداری حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده ها را توجیه نماید می تواند برای استخراج ابرمحیط ها استفاده شود (Yang et al., 2009). در نمودار بای پلات محور افقی (PC1) معرف اصلی لاین ها و

عملکرد به صورت لاین‌های (Z-800-3(G2), Z-900-7(G6), T-900-8(G7), T-900-4(G13), Express(G16), T-800-6(G12), Zarfam(G1) می‌باشد.

خطی که از مبدأ گذشته و روی محور میانگین محیط‌ها عمود شده است (این خط با دو علامت پیکان در شکل مشخص شده است) جهت تعیین پایداری ارقام استفاده می‌شود. ارقامی که نزدیک به مبدأ این محور قرار دارند نسبت به ارقامی که نزدیک به انتهای این خط می‌باشند از پایداری بیشتری برخوردار هستند. بر این اساس لاین‌های T-900-4 (G14), Exp-800-1 (G17), Talayeh(G10), Z-900-6 (G5), T-800-6(G12), T-900-4(G13) و Exp-800-3(G18) نسبت به سایر ارقام پایدارتر هستند و لاین‌های Z-ES Neptune (C3), Okapi (C1), Ahmadi (C2), Z-900-3 (G4), T-800-1 (G11), Exp-900-1 (G19), T-800-6(G3) و لاین‌های واقع در نزدیکی مبدأ (مثل T-900-5(G14) و Z-900-6(G5) عموماً پایداری بیشتری داشته و به تغییر محیطی واکنش کمتری نشان می‌دهند. رقم و یا ژنوتیپ ایده‌آل علاوه بر پایداری بالاتر باید عملکرد قابل قبولی نیز داشته باشد به عبارتی نزدیک به انتهای مثبت محور میانگین محیط‌ها بوده و فاصله آن از این محور اندک باشد. بر این اساس لاین‌های Z-800-3 (G2) و Z-900-7 (G6) پایدار و پرمحصول محسوب می‌شوند.

نمودار چندضلعی برای تشخیص برترین لاین در هر مکان به کار می‌رود (شکل ۱-B) (Yan et al., 2000). این چندضلعی از اتصال ژنوتیپ‌های با بیشترین فاصله از مبدأ به دست می‌آید. به این ترتیب ژنوتیپ‌های دیگر درون این چندضلعی جای می‌گیرند. از مبدأ، روی هر ضلع چندضلعی، خطی عمودی، شکل را به چند بخش تقسیم می‌کند. در این شکل هر لاین واقع در یک بخش یا محیط ویژه، در آن محیط عملکرد برتری دارند. بنابراین لاین G3 (Z-800-6) در کرج، لاین Z-900-7(G6) در زرقان فارس، رقم Okapi (C1) در کرمانشاه و لاین Z-800-3 (G2) در اصفهان عملکرد برتری را داشتند. لاین‌های Zarfam(G1)،

(Z-900-9(G8)، T-1200-1(G15) و Z-900-10(G9) در کرج، لاین Z-900-8 (G7) در زرقان، Z-900-6(G5) در کرمانشاه و لاین‌های T-900-4(G13)، Express(G16)، T-800-6(G12) و Exp-800-1(G17) در اصفهان عملکرد دانه قابل قبولی داشتند. هم‌چنین در بررسی جداگانه هر یک از لاین‌های جهش‌یافته هر رقم والدینی نیز به ترتیب لاین Z-900-6(G5)، T-900-5(G14) و Exp-800-3(G18) پایدارترین لاین‌ها در بین جهش‌یافته‌های زرفام، طلایه و اکسپرس بودند. در بررسی که بر روی ۱۷ لاین امیدبخش بهاره کلزا به همراه شاهد (RGS003) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دوسال در مناطق دزفول، زابل، برازجان و بهبهان با استفاده از روش تجزیه گرافیکی GGE بای پلات انجام شد. نمودار چندضلعی بای پلات نشان داد که ژنوتیپ T-800-6 (G12) پایدارترین ژنوتیپ برای بهبهان و دزفول و ژنوتیپ T-900-5(G14) پایدارترین ژنوتیپ برای برازجان و زابل بود (Oghan et al., 2019).

شکل (۲-A) روابط بین محیط‌ها را نشان می‌دهد. بدین منظور از مبدأ مختصات خطی مستقیم به هر محیط وصل می‌شود. زاویه بین محور دو محیط میزان همبستگی بین دو محیط را نشان می‌دهد. هر چقدر این زاویه کوچکتر باشد همبستگی دو محیط بیشتر می‌باشد. بر این اساس محیط‌ها به سه گروه، گروه اول کرمانشاه، گروه دوم شامل زرقان و اصفهان، گروه سوم کرج تقسیم می‌شوند. طول هر پاره خط نیز تغییرپذیری محیط را نشان می‌دهد. هر چقدر طول پاره خط بیشتر باشد محیط مربوطه از تغییرپذیری بیشتری برای عملکرد دانه برخوردار می‌باشد و بالعکس. براساس این شکل کرج دارای بیشترین تنوع و زرقان دارای بیشترین ثبات عملکرد بوده‌اند. در بررسی که بر روی نه ژنوتیپ کلزا بهاره در چهار منطقه و دوسال انجام شد. زاویه بین دو محیط سرپل ذهاب و پلدختر در سال دوم و هم‌چنین بین دو منطقه گچساران و گنبد در سال اول همبستگی حدود صفر بود (Pourdad and Jamshid Moghaddam, 2013).

بهتری می‌باشند. بر این اساس ترتیب ارقام به‌صورت (G2) T-800-(G12)، Z-900-8 (G7)، Z-900-7(G6)، Z-800-3 Zarfam (G1) و T-900-4 (G13)، Express (G16)، 6 می‌باشند. در بررسی که بر روی ۱۷ لاین امیدبخش کلزا بهاره به همراه شاهد به مدت دوسال در چهار منطقه انجام شد. نمودار بای پلات مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل، لاین T-800-6 (G12) به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با بالاترین عملکرد بین تمام ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها مشخص شد (Oghan et al., 2019).

شکل (۲- B) رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را براساس رقم ایده‌آل نشان می‌دهد. بدین منظور از مبدأ مختصات خطی به نقطه میانگین ارقام وصل می‌شود و به دو طرف ادامه می‌یابد. بهترین رقم رقمی است که متمایل به انتهای مثبت این محور باشد و فاصله عمودی آن از این خط کمترین مقدار باشد. در این شکل بهترین نقطه مرکز دواير هم‌مرکز می‌باشد که با علامت پیکان مشخص شده است. سایر ارقام براساس این نقطه گروه‌بندی می‌شوند. ارقامی که فاصله کمتری از مرکز داشته باشند ارقام

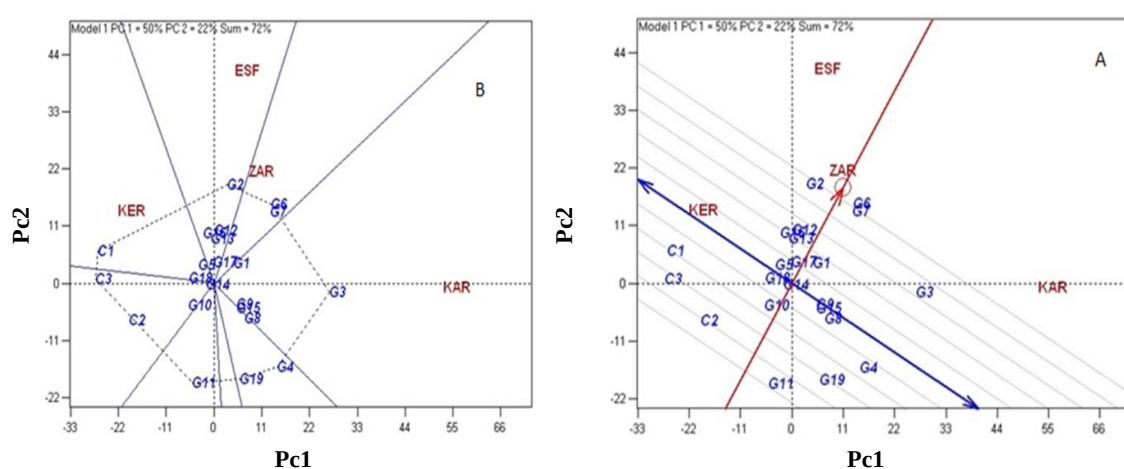


Figure 1. GGE biplot graph regarding the grain yield of 22 winter cultivars and mutants of oilseed rape studied in four regions

A: The determination of the status of lines and their location, as well as location means used to classify lines based on the mean yield and stability

B: Polygon representation to determine the genotypic reaction of cultivars to the regions. Karaj: KAR, Zarghan: ZAR, Kermanshah: KER, Esfahan: ESF

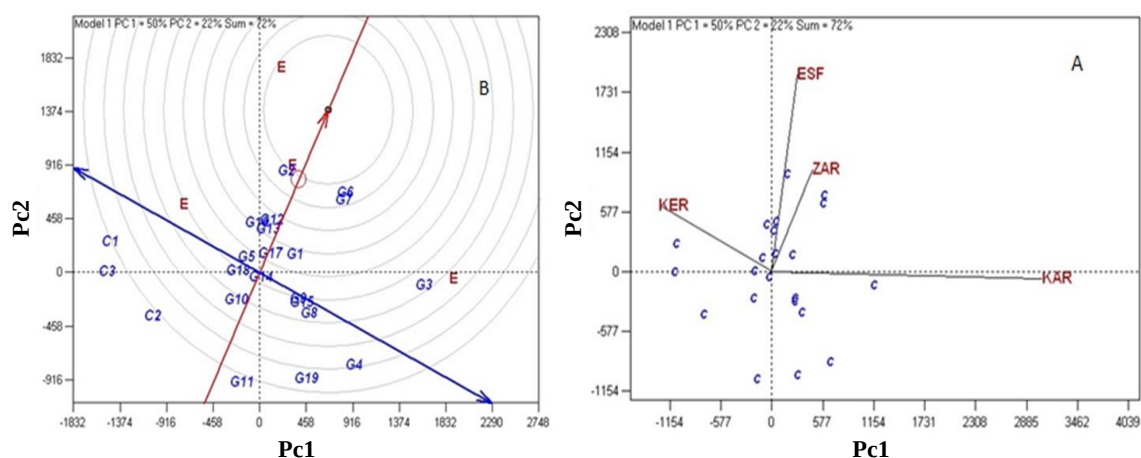


Figure 2. GGE biplot graph regarding the grain yield of 22 winter cultivars and mutants of oilseed rape studied in four regions

A: Location's vector to determine the relation among regions

B: The comparison of the cultivars based on the ideal genotype. Karaj: KAR, Zarghan: ZAR, Kermanshah: KER, Esfahan: ESF

به پتانسیل بالای عملکرد، رتبه و واریانس کمتر در اولویت بعدی قرار می‌گیرند (جدول ۵).

ژنوتیپ‌های (G13)T-900-4، (G6)Z-900-7، (G12)T-800-6، (G17)Exp-800-1، (G16)Express، (G15)T-1200-1، (G8)Z-900-9 و (G14)T-900-5 در منطقه با میانگین و واریانس رتبه کم قرار گرفتند که می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های سازگار با پایداری بالا در نظر گرفته می‌شود (شکل ۳).

مقایسه رتبه‌بندی متوسط عملکرد ارقام و جهش یافته‌ها نشان داد که ژنوتیپ (G13)T-900-4 با متوسط ۳۸۴۰ کیلوگرم دانه در هکتار و کمترین میانگین رتبه (۵/۵) و واریانس رتبه (۱۳/۷) به‌عنوان رقم سازگار با پایداری بالا برای کشت در مناطق سرد و نیمه سردسیر توصیه می‌گردد. در مقام دوم ژنوتیپ (G6)Z-900-7 نیز جزء ژنوتیپ برتر قرار می‌گیرد. سایر ژنوتیپ‌ها با توجه



Figure 3. Comparison chart of mean and variance of yield rank of cultivars and mutants

Table 5. Ranking comparison of two-year average of grain yield in different regions

No.	Genotypes	Rank	Karaj yeild	Rank	Esfahan yeild	Rank	Kermanshah yeild	Rank	Zarghan yeild	Mean yeild	Mean rank	Variance rank
G1	Zarfam	14	3370	4	3734	20	3393	13	2826	3330.8	12.8	43.6
G2	Z-800-3	15	3226	2	3959	19	3601	3	3475	3565.3	9.8	72.9
G3	Z-800-6	1	4792	3	3894	21	3351	17	2624	3665.5	10.5	99.7
G4	Z-900-3	3	4018	20	2394	22	3245	6	3041	3174.5	12.8	92.9
G5	Z-900-6	19	2863	18	2698	18	3621	2	3664	3211.5	14.3	66.9
G6	Z-900-7	4	4000	8	3334	12	3935	1	3759	3757.0	6.3	22.9
G7	Z-900-8	2	4119	19	2695	9	4052	7	3018	3471.0	9.3	50.9
G8	Z-900-9	6	3843	15	2786	11	3953	16	2646	3307.0	12.0	20.7
G9	Z-900-10	9	3552	17	2767	16	3657	10	2939	3228.8	13.0	16.7
G10	Talayeh	18	3014	13	2885	13	3934	19	2516	3087.3	15.8	10.3
G11	T-800-1	17	3039	22	1868	15	3686	18	2536	2782.3	18.0	8.7
G12	T-800-6	13	3439	5	3700	7	4298	8	2997	3608.5	8.3	11.6
G13	T-900-4	8	3555	1	4211	4	4636	9	2959	3840.3	5.5	13.7
G14	T-900-5	16	3063	9	3320	17	3628	5	3100	3277.5	11.8	32.9
G15	T-1200-1	7	3633	12	2943	14	3903	4	3249	3432.0	9.3	20.9
G16	Express	12	3468	6	3556	3	4663	15	2716	3600.8	9.0	30.0
G17	Exp-800-1	10	3514	7	3486	6	4417	11	2890	3576.8	8.5	5.7
G18	Exp-800-3	11	3480	10	3250	1	4935	22	2253	3479.5	11.0	74.0
G19	Exp-900-1	5	3937	21	2161	8	4097	21	2347	3135.5	13.8	71.6
G20	Okapi	22	1929	14	2879	5	4628	14	2763	3049.8	13.8	48.3
G21	Ahmadi	20	2227	16	2772	10	4018	20	2356	2843.3	16.5	22.3
G22	ES Neptune	21	1952	11	2973	2	4707	12	2832	3116.0	11.5	60.3

همچنین براساس نمودار بای پلات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، لاین Z-900-7 با توجه به معیار پایداری در روش GGE و مقایسه رتبه‌بندی عملکرد دانه، پایداری مطلوب‌تری را نشان داد و به‌عنوان ژنوتیپ برتر از لحاظ تولید دانه و نیز پایداری عملکرد شناسایی شد.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با مساعدت‌های پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شده است که بدین وسیله نویسندگان کمال تشکر را دارند.

نتیجه‌گیری

در مجموع بررسی نتایج GGE بای پلات نشان داد لاین‌های Okapi(G20), Z-900-7(G6), Z-800-6(G3) و Z-800-3(G2) به ترتیب در کرج، زرقان، کرمانشاه و اصفهان بیشترین عملکرد دانه را تولید نمودند. بر اساس نمودار بای پلات، لاین‌های (G2) Z-800-3 و

References

- Ahmadi, M., Omid, M., Alizadeh, B., & Shah Nejat Bushehri, A. A. (2019). Study of advanced mutant rapeseed lines in cold regions of Iran. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(4), 175-184. [In Farsi]
- Crossa, J., Fox, P. N., Pfeiffer, W. H., Rajaram, S., & Gauch Jr. H.G. (1991). AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and Applied Genetics*, 81, 27-37.
- Escobar, M., Berti, M., Matus, I., Tapia, M., & Johnson, B. (2010). Genotype $\times$ environment interaction in canola (*Brassica napus* L.) seed yield in Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(2), 175-186.
- FAO (2019). FAOSTAT. Rome, Italy: FAO, Statistics Division.
- Gabriel, K. R. (1971). The biplot-graphical display of matrices with applications to principal components analysis. *Biometrika*, 58(3), 453-467.
- Gauch, H. G. (2006). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46(4), 1488-1500.
- Malekshahi, F., Dehghani, H., & Alizadeh, B. (2012). Biplot trait analysis of some of canola (*brassica napus* L.) genotypes in irrigation and drought stress conditions. *Plant Productions*, 35(2), 1-16. [In Farsi]
- Mostafavi, Kh., Mohammadi, A., Khodarahmi, M., Zabet, M., & Zare, M. (2012). The response of rapeseed commercial cultivars in different environments using the GGE biplot graphical method. *Agronomy and Plant Breeding*, 8(4), 133-143. [In Farsi]
- Mozaffari, K., & Ahmadi, M. R. (2010). Final report breeding rapeseed varieties for early maturity by inducing gamma rays. *Nuclear Science and Technology Research Center*, 1-66. [In Farsi]
- Naserian Khiabani, B., & Alizadeh, B. (2018). Evaluation of grain yield and yield stability in rapeseed (*brassica napus*) mutant lines using GGE biplot. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 83(1), 96-102. [In Farsi]
- Nowosad, K., Liersch, A., Popławska, W., & 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(16), 187-194.

- Oghan, H. A., Zeinalzadeh-Tabrizi, H., Fanaei, H. R., Kazerani, N. K., Ghodrati, G. R., Danaie, A. Kh., & Valipour, M. B. (2019). Stability study of seed yield in promising lines of spring oilseed rape in outhern-worm regions of Iran. *Journal of Crop Breeding*, 11(31), 42-54. [In Farsi]
- Pourdad, S. S., & Jamshid Moghaddam, M. (2013). Study on genotype×environment interaction through gge biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding*, 5(12), 1-14. [In Farsi]
- Rodriguez, J., Sahagun, J., Villaseñor, H., Molina, J., & Martinez, Y. A. (2002). Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(2), 143-151.
- Rondanini, D. P., Gomez, N. V., Agosti, M. B., & Miralles, D. J. (2012). Global trend of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *European Journal of Agronomy*, 37(1), 56-65.
- Roozeboom, K. L., Schapaugh, T. W., Tuinstra, M. R., Vanderlip, R. L., & Milliken, G. (2008). Testing wheat in variable environments: Genotype, environment, interaction effects, and grouping test locations. *Crop Science*, 48(1), 317-330.
- Sohrabi, S., dehghani, H., & Alizadeh, B. (2014). Grouping of Promising Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Lines Based on Genotype × Environment Interaction. *Seed and Plant Improvement Journal*, 30(4), 807-819. [In Farsi]
- Tahira, A. R., Khan, M. A., & Amjad, M. (2013). Stability analysis of canola (*Brassica napus*) genotypes in Pakistan. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, 10(2), 270-275.
- Yan, W. (2001). GGE biplot-A windows application for graphical analysis of multi environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, 93(5), 1111-1118.
- Yan, W., Kang, M. S., Baoluo, M., Woods, Sh., & Cornelius, P. L. (2007). GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 641-653.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597-605.
- Yang, R., Crossa, J., Cornelius, P., & Bugueno, J. (2009). Biplot analysis of genotype x environment interaction: Proceed with caution. *Crop Science*, 49(5), 1564-1576.
- Zhang, H., Berger, J. D., & Herrmann, C. (2017). Yield stability and adaptability of canola (*Brassica napus* L.) in multiple environment trials. *Euphytica*, 213(7), 1-21.
- Zhang, H., Berger, J. D., & Milroy, S. P. (2013). Genotype × environment interaction studies highlight the role of phenology in specific adaptation of canola (*Brassica napus*) to contrasting Mediterranean climates. *Field Crops Research*, 144, 77-88.
- Zobel, R. W., Wright, M. J., & Gauch Jr, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80(3), 388-393.