



Graphical Analysis of Grain Yield Stability for Selection of Superior Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes

Fatemeh Sheikh^{1✉} | Khaled Miri² | Reza Sekhavat³ | Hossein Asteraki⁴

1. Corresponding Author, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. Email: f.sheikh@areeo.ac.ir
2. Seed and Plant Improvement Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iranshahr, Iran
3. Seed and Plant Improvement Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran.
4. Seed and Plant Improvement Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Brojerd, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: December 31, 2022

Received in revised form:

February 22, 2023

Accepted: March 03, 2023

Published online: September

23, 2023

Keywords:

genotype × environment interaction (GEI), GGE-Biplot, grain yield, mega-environment, Polygon graph.

ABSTRACT

To investigate stability, pattern of G×E interaction, 10 faba bean genotypes (G1-G10) as well as four control cultivars; Barekat, Saraziri, Baloochi and Zereshki were evaluated using randomized complete block design with three replications in four agricultural research field stations of Gorgan, Dezful, Brojerd, and Iranshahr, for two cropping seasons (2014-15 and 2015-16). The results of composite variance analysis showed that the main effect of year, the interaction of year × location and the triple effect of year × location × genotype on grain yield were significant at the probability level of 1%. GGE -biplot analysis (genotype effect+ genotype×environment interaction) revealed that the two first and second principal explained 84.7% and 6.6% of total variation, respectively, and 91.3% of the grain yield variation. Based on a hypothetical ideal genotype biplot, the genotype G9 was better than the other genotypes across environments for stability and grain yield. View of polygon graph revealed superior mega-environments and the compatible genotypes were determined for each mega-environment; Gorgan- Brojerd (G9) and Iranshahr (G14). G9, G1, and G4 genotypes with average grain yield of 3479, 2808 and 2739 kg/ha, respectively, had the highest grain yield. Based on GEI and GGE-biplot analysis, Gorgan and Brojerd experimental environments had good differentiation ability. Finally, genotypes G1, G5, G9, and G10 were the most stable genotypes and can be used in breeding programs.

Cite this article: Sheikh, F., Miri, K., Sekhavat, R., & Asteraki, H. (2023). Graphical analysis of grain yield stability for selection of superior faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 41-52. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.353171.654968.





تحلیل گرافیکی پایداری عملکرد دانه برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر باقلا (*Vicia faba* L.)

فاطمه شیخ^۱ | خالد میری^۲ | رضا سخاوت^۳ | حسین آسترکی^۴

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. رایانامه: f.sheikh@areeo.ac.ir
۲. بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران.
۳. بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.
۴. بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۳</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱</p>	<p>به منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط (GEI) و پایداری عملکرد، ۱۰ ژنوتیپ امیدبخش باقلا (G1-G10)، به همراه چهار رقم برکت، سرازیری، بلوچی و زرشکی (به عنوان شاهد)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی (گرگان، دزفول، بروجرد، و ایرانشهر) به مدت دو سال (۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵) ارزیابی شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر اصلی سال و برهمکنش سال در مکان و اثر سه‌گانه سال در مکان در ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج تجزیه GGE بای‌پلات (اثر اصلی ژنوتیپ + برهم‌کنش ژنوتیپ×محیط)، دو مؤلفه اصلی اول به ترتیب ۸۴/۷ و ۶/۶ درصد و در مجموع ۹۱/۳٪ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. ژنوتیپ G9 از لحاظ عملکرد و پایداری عملکرد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری نشان داد. بر اساس نمودار چندوجهی، محیط‌های کلان و ژنوتیپ‌های سازگار هر محیط کلان تعیین شد. گرگان - بروجرد (لاین G9)، ایرانشهر (لاین G14) شد. ژنوتیپ‌های G1، G9، و G4 به ترتیب با عملکرد ۳۴۷۹، ۲۸۰۸، و ۲۷۳۹ کیلوگرم در هکتار بالاترین میانگین عملکرد دانه را داشتند. بر اساس تجزیه و تحلیل GEI و GGE بای‌پلات، محیط‌های گرگان و بروجرد از قدرت تفکیک خوبی برخوردار بودند. ژنوتیپ‌های G1، G5، G9، و G10 بیشترین پایداری عملکرد را داشتند و می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند.</p>
<p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، GGE بای‌پلات، عملکرد دانه، محیط کلان، نمودار چندوجهی.</p>	

استناد: شیخ، ف.، میری، خ.، سخاوت، ر.، و آسترکی، ح. (۱۴۰۲). تحلیل گرافیکی پایداری عملکرد دانه برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر باقلا (*Vicia faba* L.). علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۴(۳)، ۴۱-۵۲. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.353171.654968



۱. مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) با $2n=2x=12$ کروموزوم، از گیاهان مهم خانواده بقولات است. کشت و مصرف آن به‌عنوان یک منبع پروتئینی و تثبیت‌کننده نیتروژن توصیه می‌شود (Etemadi *et al.*, 2019). باقلا با داشتن خصوصیات نظیر دامنه سازگاری وسیع، کشت پاییزه و تولید محصول با استفاده از آب سبز و امکان کشت دیم در مناطقی با بارندگی حدود ۳۵۰ میلی‌متر، یکی از بهترین گزینه‌ها در تناوب با غلات و دانه‌های روغنی محسوب می‌شود (Gurmu *et al.*, 2012; Sheikh *et al.*, 2021c). کشت باقلا در تناوب با گندم باعث کاهش جمعیت نماتدها، شکستن سیکل بیماری‌ها و کاهش مصرف سموم شیمیایی می‌شود (Karkanis *et al.*, 2018).

باقلا در بیش از ۵۸ کشور دنیا به‌طور وسیع کشت می‌شود (Etemadi *et al.*, 2019). ایران با سطح کشت ۳۶ هزار هکتار و تولید سالانه بیش از ۴۶ هزار تن مقام دوازدهم تولید باقلا را در جهان دارد. کشت باقلا عمدتاً در استان‌های گلستان، لرستان، خوزستان، بلوچستان و مازندران رواج داشته است. به‌دلیل تغییرات اقلیمی، افزایش میانگین دما، کاهش نزولات جوی، کشت حبوبات پاییزه نظیر باقلا با اقبال زیادی در استان‌های شمال غربی و غرب کشور از جمله همدان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی، اردبیل و ... مواجه شده است. باتوجه به پراکندگی و تنوع مناطق کشت یک یا چند رقم نمی‌تواند نیاز کشور را تامین کند، بنابراین بایستی رقم یا ارقام جدید باقلا با دامنه سازگاری وسیع جهت کشت در دیم‌زارها و مناطق مختلف کشور معرفی شوند (Sheikh & Feyzbakhsh, 2019). انتخاب رقم در مناطق مختلف بر اساس سازگاری با محیط، مقاومت به بیماری، هدف کشت و بازار مصرف می‌باشد (Etemadi *et al.*, 2019; Tekalign *et al.*, 2017).

ارزیابی ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از مکان‌ها و سال به شناسایی ژنوتیپ/ژنوتیپ‌های دارای بهترین عملکرد و محیط‌های با قدرت تفکیک بالا کمک می‌کند (Gurmu *et al.*, 2012). روش‌های تعیین ژنوتیپ‌های پایدار، شامل روش‌های تک‌متغیره، چندمتغیره مبتنی بر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شامل امی (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) و GGE بای‌پلات و روش‌های ناپارامتری هستند (Yan & Kang, 2003; Sheikh *et al.*, 2021c). در روش GGE بای‌پلات ژنوتیپ‌ها و محیط و اثرات متقابل آنها به‌طور همزمان در گراف بای‌پلات نمایش داده می‌شوند که به‌طور همزمان اطلاعات مربوط به اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط را در اختیار قرار می‌دهد. نسخه‌های متنوعی از بای‌پلات بر اساس روش‌های آماری چندمتغیره معرفی و به صورت گسترده توسط به‌نژادگران گیاهی به‌منظور تجزیه گرافیکی اثرات متقابل ژنوتیپ×محیط استفاده شده است (Yan *et al.*, 2000). ارزیابی پایداری مقاومت به بیماری لکه‌شکلاتی (Tekalign *et al.*, 2017) و ارزیابی پایداری عملکرد در شرایط آلوده به گل جالیز (Maalouf *et al.*, 2011) نیز به‌ترتیب با استفاده از روش GGE بای‌پلات و روش امی در باقلا انجام شده است. از طرفی دیگر ژنوتیپ‌های پایدار در شرایط تنش در واقع ژنوتیپ‌های مقاوم نسبت به تنش مورد مطالعه می‌باشند. استفاده از روش GGE بای‌پلات برای مطالعه پایداری در گندم نان (Akan & Akcur, 2018)، کلزا (Pourdad & Jamshidi Moghaddam, 2013)، ذرت (Botovic *et al.*, 2018)، پنبه (Ali *et al.*, 2017)، لوبیا (Zeleke & Berhanu, 2016)، برنج (Maniruzzaman *et al.*, 2022) و جو (Meng *et al.*, 2016) گزارش شده است.

باتوجه به تغییرات زیاد خصوصیات مورفولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف، مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط باقلا حائز اهمیت است (Temesgen *et al.*, 2015; Tadele *et al.*, 2020). در سال‌های اخیر پژوهشگران از روش‌های چندمتغیره همچون AMMI (از جمله شاخص ASV) و GGE بای‌پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار باقلا استفاده کرده‌اند (Temesgen *et al.*, 2015; Tadesse *et al.*, 2016; Tolessa *et al.*, 2019; Tadele *et al.*, 2020; Sheikh *et al.*, 2021a; Sheikh *et al.*, 2022). Haile & Kebede (2012) نیز با استفاده از این روش گرافیکی، دو لاین EH 010002-1-1 و EH 010051-1 را به‌عنوان لاین‌های پایدار باقلا انتخاب کردند.

هدف از این مطالعه بررسی برهمکنش ژنوتیپ×محیط در ژنوتیپ‌های باقلا و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا، پایدار از نظر عملکرد دانه و مطلوب از نظر سایر صفات به روش بای‌پلات GGE است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

جهت مطالعه و بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا، ۱۰ ژنوتیپ امیدبخش باقلا به همراه ارقام شاهد برکت، زرشکی، سرازیری و بلوچی (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر (جدول ۲)، به مدت دو سال زراعی (۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴) کشت و ارزیابی شدند. هر کرت شامل شش ردیف ۴ متری به فواصل ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود.

کاشت در ایرانشهر نیمه اول مهر، در دزفول نیمه دوم مهر و در گرگان و بروجرد نیمه دوم آبان انجام شد. وجین علف‌های هرز بسته به منطقه ۳-۴ بار به صورت دستی انجام شد. آبیاری در ایستگاه‌های ایرانشهر و دزفول بر حسب نیاز ۵-۷ بار انجام شد و در بروجرد یک مرحله در زمان پر شدن غلاف‌ها انجام شد. در طول دوره رشد در مواقع مشاهده آفت شته سیاه باقلا، از سم حشره‌کش پرمیکارپ به میزان نیم لیتر در هکتار استفاده شد. صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صدانه و عملکرد دانه در طول فصل زراعی و پس از برداشت یادداشت برداری شدند.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای اطمینان از یکنواختی توزیع خط‌های آزمایشی آزمون بارلت انجام شد، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای چهار مکان و دو سال با فرض ثابت بودن ژنوتیپ‌ها و تصادفی بودن اثر سال و مکان با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین صفات مختلف با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ و نرم‌افزار SAS انجام شد. تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار و شناسایی محیط‌های کلان، با استفاده از تجزیه GGE بای-پلات و به کمک نرم‌افزار GGE-Biplot انجام شد.

جدول ۱. شماره، منشأ، شجره و کد ژنوتیپ‌های باقلا

Genotype No.	Origin	Name/Pedigree	Genotype code
G1	Icarda	ILB 3621	G-faba-1-1
G2	Icarda	WRB2-6(White flower × ILB1270-BC)	G-faba-95
G3	Icarda	WRB1-5(White flower × ILB1270-BC)	G-faba-100
G4	Icarda	line F6 latt/440/08	G-faba-62
G5	Icarda	FLIP06-23FB	G-faba-67
G6	Icarda	ILB 3626	G-faba-13
G7	Icarda	ILB 3554	G-faba-16
G8	Icarda	FLIP06-19FB	G-faba-159
G9	Icarda	line F6 latt/7/08	G-faba-133
G10	Iran (Gorgan)	ILB1266×ILB1814	G-faba-1-2
G11	Iran (Gorgan)	Barekat	G-Faba -20
G12	Iran (Brojerd)	Zereshki	G-Faba -19
G13	Iran (Dezful)	Saraziri	G-Faba -5
G14	Iran (Iranshahr)	Baloochi	G-Faba -334

جدول ۲. متوسط بارندگی سالیانه، ویژگی‌های جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و کد محیط‌های محل آزمایش

Location	Altitude (m.a.s.l.)	Geographical position		Annual rainfall (mm)		Average Temperature (°C)		Environment code	
		Latitude	longitude	2015	2016	2015	2016	First Year	Second year
Gorgan	5	36°54'N	54°25'E	350	448	18.1	18.9	GR15	GR16
Dezful	83	32°20'N	48°30'E	183.2	279.5	25.3	24.7	DZ15	DZ16
Broujerd	1520	33°89'N	48°76'E	505.6	350.5	15.2	14.6	BJD15	BJD16
Iranshahr	591	27°15'N	60°40'E	99.4	104.4	25.2	24.8	IRS15	IRS16

برای تجزیه پایداری به روش GGE بای-پلات از مدل آماری زیر استفاده شد (Yan & Kang, 2003):

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \zeta_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \zeta_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

در مدل فوق Y_{ij} میانگین لامین ژنوتیپ در زامین محیط، μ میانگین کل، β_j میانگین اثر محیط زام، λ_1 و λ_2 مقادیر ویژه

برای اولین و دومین مؤلفه، ζ_{i1} و ζ_{i2} بردارهای ویژه ژنوتیپی و η_{j1} و η_{j2} بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و ε_{ij} مقدار

باقیمانده برای ژنوتیپ نام در محیط زام هستند. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از تعداد غلاف در بوته، وزن صدانه و عملکرد دانه به روش وارد^۱ و بر اساس توان دوم فاصله اقلیدسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده، با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۲ با استفاده از نرم‌افزار SPSS19 انجام شد. بر اساس آزمون بارتلت و باتوجه به اینکه آماره کای دو (χ^2) آزمایش با درجه آزادی ۷ از مقدار جدول در سطح احتمال یک درصد کوچکتر بود، فرض یکنواختی واریانس خطای آزمایشی رد نشد. تجزیه واریانس مرکب بر اساس روش کمترین مربعات با ثابت‌انگاشتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر سال و مکان انجام شد (جدول ۳). تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد، اثر مکان، اثر سال، اثر متقابل مکان×سال، اثر ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ×سال، اثر متقابل ژنوتیپ×مکان و اثر متقابل ژنوتیپ×سال×مکان بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. *Gurmu et al.* (2012) بر اساس نتایج تجزیه مرکب ژنوتیپ‌های باقلا در چند سال و چند مکان اظهار داشتند، سال در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها، اثر معنی‌داری نداشت. به عبارت دیگر، تقریباً همه ژنوتیپ‌ها پایداری زمانی را نشان دادند.

تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صدانه معنی‌دار بود (جدول ۳). *Ammar et al.* (2015) با بررسی صفات مورفولوژیکی ۴۰ ژنوتیپ باقلا تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مختلف گزارش کردند. در پژوهش حاضر بخش عمده تغییرات توسط محیط توجیه شد و این به علت تفاوت اقلیم، میزان بارندگی، توزیع بارندگی، ارتفاع، تفاوت دمایی شب و روز محیط‌های مورد بررسی می‌باشد (جدول ۲). عملکرد یک رقم در هر محیط آزمایش ناشی از اثر اصلی ژنوتیپ (G)، اثر اصلی محیط (E) و اثرات متقابل GE (G×E) می‌باشد (Yan & Kang, 2003). بررسی اثرات G×E نشان داد که E بخش عمده تغییرات عملکرد را به خود اختصاص می‌دهد، نتایج مطالعات سایر محققان نیز روی باقلا نشان داد، تغییرات محیطی بخش عمده واریانس را شامل می‌شود (Maalouf et al., 2011; Tolessa et al., 2019; Tadele et al., 2020; Sheikh et al., 2021b).

در پژوهش حاضر عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش مورد مطالعه به شدت تحت تاثیر محیط بود. در مطالعه حاضر میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۱۹۵۹/۵ تا ۳۴۷۹ کیلوگرم در هکتار متغیر بود و ژنوتیپ‌های G13 و G9 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. در این تحقیق در انتخاب نهایی ژنوتیپ‌ها علاوه بر عملکرد و پایداری عملکرد، سایر خصوصیات زراعی و مورفولوژیک نیز بررسی شدند (جدول ۴). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ G1 و رقم بلوچی کمترین تعداد روز تا گلدهی را به خود اختصاص دادند. باتوجه به فصل رشد کوتاه باقلا در اقلیم جنوب کشور رقم بلوچی طی سال‌های متمادی با کوتاه‌کردن طول دوره رشد، خود را با این شرایط تطبیق داده است. ژنوتیپ G11 و G14 به ترتیب ارقام برکت و بلوچی بیشترین میانگین ارتفاع بوته را داشتند. ژنوتیپ G9 بیشترین تعداد غلاف در بوته، ژنوتیپ G1 بیشترین تعداد دانه در غلاف، ژنوتیپ G10 بیشترین وزن صدانه و ژنوتیپ G9 بیشترین عملکرد دانه را با تفاوت معنی‌دار از سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۴). میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های G1, G2, G4, G5, G6, G7, G8, G9 و G10 نیز از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها بیشتر بود (جدول ۴). بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط عملکرد دانه با روش کمترین مربعات بروز متفاوت ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف را نشان داد (Fikere et al., 2008; Tekalign et al., 2017; Sheikh et al., 2021b). در پژوهش حاضر محیط، ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط به ترتیب ۷۸/۷۰، ۶/۳۸ و ۱۴/۰۷ درصد از تنوع عملکرد دانه را توجیه کردند (جدول ۳). سهم بالای محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در تنوع کل برای عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های باقلا توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Tadesse et al., 2016; Tadele et al., 2020). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و عدم توجه به آن موجب کاهش کارایی گزینش ژنتیکی و بهره‌مندی به‌نژادی می‌شود (Maniruzzaman et al., 2022). در مطالعه حاضر باتوجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل

1. Ward

2. Kolmogorov-Smirnov

ژنوتیپ×محیط، سطح بالای تنوع ژرم پلاسم و تایید آن بر اساس میانگین عملکرد دانه متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف (دامنه تغییرات عملکرد ۵۹۳۹-۷۷۸ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۵)، به منظور تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و تجزیه برهمکنش ژنوتیپ×محیط از روش چندمتغیره GGE بای-پلات استفاده شد.

سهام مؤلفه‌های اصلی اول و دوم را از واریانس ژنوتیپ به اضافه واریانس ژنوتیپ در محیط (G+GE) نشان داد که مؤلفه اصلی اول (۸۴/۷ درصد) و مؤلفه اصلی دوم (۶/۶ درصد) و در مجموع ۹۱/۳ درصد از واریانس برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند که اعتبار بالایی بای-پلات حاصله را نشان می‌دهد (شکل ۱). مقادیر PC1 مثبت بزرگ برای ژنوتیپ‌ها نشان‌دهنده میانگین عملکرد بالاتر و مقادیر PC2 نزدیک به صفر نشان‌دهنده پایداری ژنوتیپ‌ها می‌باشد (Yan et al., 2000). یکی از هوشمندانه‌ترین ویژگی‌های GGE بای-پلات توانایی نمایش الگوی جانمایی ژنوتیپ‌ها بر اساس مجموعه داده‌های محیطی است. با بررسی نمودار چند ضلعی (Polygon) سه محیط کلان مشخص شدند، محیط کلان اول شامل محیط DZ15 (دزفول ۹۳-۹۴)، هیچ ژنوتیپی در این محیط به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناخته نشد (شکل ۱). با توجه به کاهش ۳۳ درصدی میزان بارندگی و افزایش میانگین دما در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در دزفول این نتیجه چندان دور از انتظار نبود (جدول ۲). محیط دوم شامل DZ16، GR15، BJD16، GR16، و BJD15 بود و ژنوتیپ G9 به‌عنوان ژنوتیپ برتر این محیط شناسایی شد. ژنوتیپ G13 (رقم سرازیری) نیز ژنوتیپ برتر محیط کلان سوم IRS15 و IRS16 بود. ژنوتیپ G2 نیز که در رأس قرار داشت، در هیچ یک از محیط‌های کلان قرار نگرفت که نشان‌دهنده عدم تولید عملکرد بالای این ژنوتیپ در تمامی محیط‌ها می‌باشد. (Gurmu et al., 2021) پس از بررسی سازگاری ۱۶ ژنوتیپ باقلا در ۸ محیط در جنوب سودان بر اساس اطلاعات نمودار چندوجهی GGE بای-پلات، در محیط آگاندا لاین (G11) EH00102-5 در رأس قرار داشت، بنابراین دارای سازگاری خصوصی بوده و لاین‌های (G3) EH98086-2، (G5) EH00099-1 و (G12) EH98145-1 دارای سازگاری عمومی هستند. Flores et al. (2013) نیز پس از مطالعه عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ باقلا در ۱۳ محیط، ۳ محیط کلان را شناسایی کردند که ژنوتیپ‌های متفاوتی در این محیط‌ها برتر بودند.

جدول ۳. تجزیه واریانس ۱۴ ژنوتیپ باقلا ارزیابی شده در هشت محیط

S.O.V.	df.	MS						Variance component (%) Grain yield
		Days to flowering	Plant height	Number of pod	Number of seed per pod	100 seed weight	Grain yield	
Location (L)	3	50118**	46492.13**	850.24**	4.98**	7762.95**	179442100**	
Year (Y)	1	32.3**	8914.65**	0.13 ^{ns}	0.01**	765.53**	164809**	
L × Y	3	71.6**	36395.29**	6.10**	0.012 ^{ns}	915.08**	1728623**	
L × Y (Replication)	16	6.18	80.07	0.87	0.03	15.92	21006	
Genotype(G)	13	73.4**	367.24**	208.62**	15.66**	736.05**	3389779**	
L × G	39	58.7**	198.24**	16.92**	0.62**	362.78**	1822645**	
Y × G	13	8.01**	173.53**	5.67**	0.09*	136.05**	252324**	
L × Y × G	39	9.21**	113.37**	7.85**	0.09**	136.61**	585126**	
Error	208	2.05	9343.65	205.77	0.05	19.86	26745	
CV%		5.21	7.82	11.02	6.21	4.01	9.43	

^{ns}، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

بر اساس مدل GGE (G+GE) در تجزیه بای-پلات نیز ژنوتیپ‌های دارای پایداری بالا مشخص شدند (شکل ۲). ژنوتیپی که در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار دارد، ژنوتیپی است که در همه محیط‌ها بالاترین عملکرد را دارد و مطلقاً پایدار و ژنوتیپ ایده‌آل است. بنابراین، مبنای رتبه‌بندی مبتنی بر میانگین عملکرد و پایداری است (Yan et al., 2000). ژنوتیپ‌هایی که در فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل قرار دارند ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار خواهند بود. ژنوتیپ G9 در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار داشت و ژنوتیپ پایدار محسوب می‌شود و بعد از آن ژنوتیپ G10 در فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل قرار گرفته است (شکل ۲). پس از آن ژنوتیپ‌های G11، G1، G10، G4، G5، G7، G8 که به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر هستند، ژنوتیپ‌های مطلوب‌تری هستند و در رتبه دوم قرار دارند. برای تعیین ژنوتیپ ایده‌آل دو معیار پایداری و عملکرد بالا مد نظر است، بنابراین ژنوتیپی ایده‌آل است که دارای حداکثر عملکرد و حداکثر پایداری باشد و هر ژنوتیپی که نزدیکترین فاصله را به ژنوتیپ ایده‌آل داشته باشد در رتبه‌های بعدی

مطلوبیت قرار دارد (Yan & Kang, 2003). باتوجه به اینکه ژنوتیپ‌های G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10 و G11 دارای عملکرد بالا و پایداری متوسط به بالا هستند، لذا این ژنوتیپ‌ها در درجه اول برای کشت در طیف گسترده‌تری از شرایط محیطی توصیه می‌شوند و در درجه دوم می‌توانند به عنوان والد دهنده در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد در گیاه باقلا مورد استفاده قرار گیرند. ژنوتیپ‌های G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10 و G11 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. Firew *et al.* (2019) از روش GGE biplot برای مقایسه ارقام لوبیا سفید با رقم ایده‌آل استفاده کردند.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ‌های باقلا برای روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صدانه و عملکرد دانه در چهار مکان و دو سال (۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵).

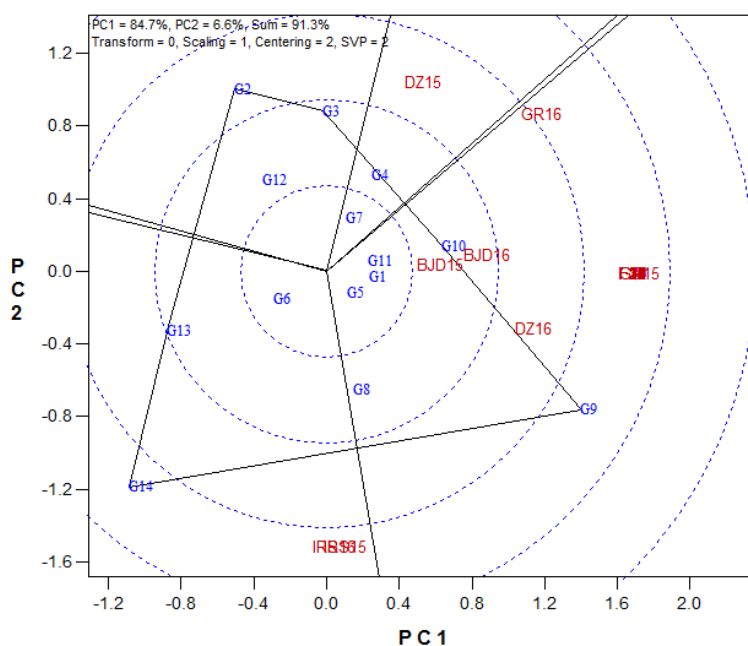
Genotype No.	Days to flowering	Plant height (cm)	Pods per plant	Seeds per pod	100 seed weight (g)	Grain yield (kg/ha)
G1	106.5 d	80.49 fg	6.39 i	5.28 a	130.33 b	2808.05 b
G2	109.2 b	79.68 g	12.78 b	2.78 h	102.63 f	2568.76 ef
G3	109.4 b	84.85 cde	9.62 e	3.11 g	102.67 f	2278.70 h
G4	108.4 bc	89.59 ab	11.42 c	3.27 f	104.64 ef	2739.60 bc
G5	107 d	83.89 def	12.95 b	3.03 g	94.20 g	2637.15 de
G6	106.4 d	82.91 efg	6.95 ghi	4.43 c	109.25 d	2569.90 ef
G7	105.4 e	85.00 cde	7.10 gh	4.21 d	116.25 c	2681.18 cd
G8	107.8 c	83.74 def	8.93 f	3.91 e	102.69 f	2658.37 cde
G9	108.2 c	83.72 def	14.41 a	2.88 h	105.42 e	3479.09 a
G10	109.3 b	85.28 cde	5.77 j	3.31 f	154.00 a	2449.26 g
G11	110 ab	92.52 a	6.62 hi	4.22 d	132.31 b	2510.12 fg
G12	110.5 a	87.40 bcd	5.60 j	4.73 b	114.17 c	2250.04 h
G13	107.4 c	88.42 bc	7.31 g	3.94 e	89.53 h	1959.51 i
G14	106.9 d	92.30 a	10.56 d	2.62 i	95.31 g	1993.16 i
Mean	108.02	85.69	9.02	3.69	110.95	2541.63
LSD1%	0.86	3.81	0.56	0.13	2.53	93.07

جدول ۵. میانگین، حداقل، حداکثر و دامنه عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ۱۴ ژنوتیپ باقلا در هشت محیط آزمایشی

Genotype No.	Environments								Mean	Minimum	Maximum	Range
	GR15	DZ15	BJD15	IRS15	GR16	DZ16	BJD16	IRS16				
G1	5099.60	2088.55	1764.81	2232.21	5304.36	1865.55	1814.44	2195.00	2795.57	1764.81	5304.36	3539.55
G2	3190.90	2330.55	1150.07	3262.28	5029.66	982.22	1148.14	3456.25	2568.76	982.22	5029.66	4047.44
G3	4685.10	1650.55	907.40	2118.87	4829.21	987.50	888.89	2161.41	2278.62	888.89	4829.21	3940.32
G4	5164.80	2447.22	1435.18	2816.78	4986.11	1000.00	1462.96	2603.72	2739.60	1000.00	5164.80	4164.80
G5	4902.22	1648.66	1631.48	2292.30	4874.48	1822.22	1742.92	2182.91	2637.15	1631.48	4902.22	3270.74
G6	4139.11	1753.33	1894.44	2131.39	5178.86	1473.33	1901.96	2087.55	2570.00	1473.33	5178.86	3705.53
G7	4849.44	1998.33	1425.92	2114.23	5280.95	2009.72	1514.18	2156.05	2668.60	1425.92	5280.95	3855.03
G8	4998.26	1735.55	2188.89	2310.33	4428.31	1333.77	2151.85	2215.98	2670.37	1333.77	4998.26	3664.49
G9	7267.43	1864.96	2185.18	3354.61	5047.81	1922.50	2148.15	4042.08	3479.09	1864.96	7267.43	5402.47
G10	5939.51	1236.11	1301.11	1497.94	5099.24	1433.33	1305.55	1781.25	2449.26	1236.11	5939.51	4703.40
G11	5158.79	1931.11	1779.63	1136.92	5287.80	1194.44	1646.29	2045.83	2522.60	1136.92	5287.80	4150.88
G12	4067.15	2318.33	1435.18	893.08	4826.33	1083.33	1518.52	1858.42	2250.04	893.08	4826.33	3933.25
G13	3143.54	1412.22	1768.52	1848.55	2903.88	778.33	1792.59	2028.44	1959.51	778.33	3143.54	2365.21
G14	2750.55	820.55	2370.37	1831.02	2973.66	961.11	2392.59	1840.41	1992.53	820.55	2973.66	2153.11
Mean	4668.31	1802.57	1659.87	2131.47	4717.90	1346.24	1673.50	2332.52	2541.55			
LSD5%	534.97	385.07	219.35	235.62	555.52	294.38	268.12	293.97				
LSD1%	402.4	284.85	162.35	174.29	410.94	217.77	198.34	217.46				

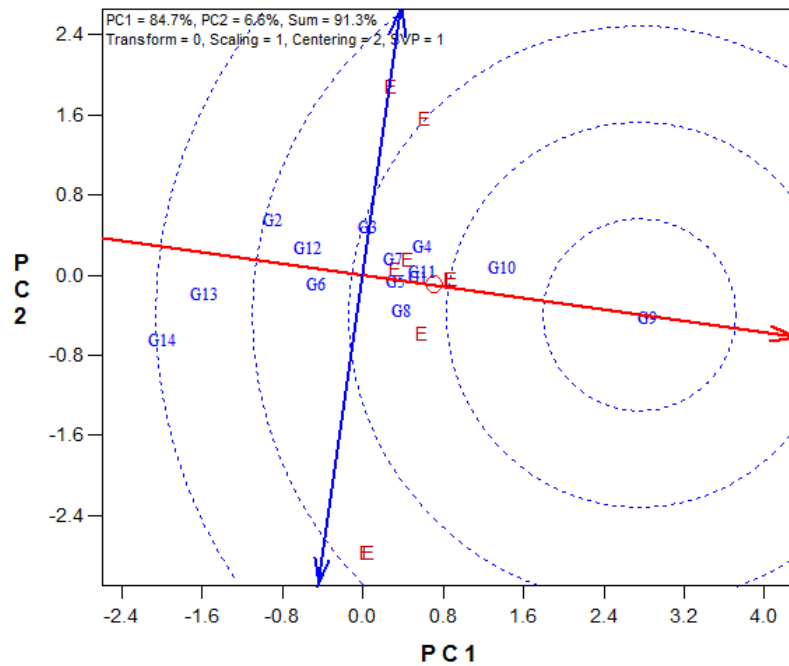
GR15: گرگان-۱۳۹۴، GR16: گرگان-۱۳۹۵، DZ15: دزفول-۱۳۹۵، BJD15: بروجرد-۱۳۹۴، IRS15: بروجرد-۱۳۹۵، DZ16: دزفول-۱۳۹۴، BJD16: بروجرد-۱۳۹۴، IRS16: بروجرد-۱۳۹۴، IR16: ابرانشهر-۱۳۹۵.

برای نشان دادن رابطه بین محیط‌های مورد بررسی از نموداری استفاده می‌شود که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به اسم بردار به مبدا وصل می‌شوند (شکل ۳). کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط ضریب همبستگی بین آنها را نشان می‌دهد (Zelege & Berhanu, 2016)، بنابراین زاویه کوچک‌تر بین دو بردار به معنای همبستگی مثبت و بالای بین آنها است. با استفاده از نتایج این نمودار می‌توان محیط‌های مشابه و یا نزدیک به هم را شناسایی کرد، با حذف محیط‌های مشابه در آزمایش‌های بعدی در وقت و هزینه صرفه‌جویی خواهد شد و کارایی افزایش خواهد یافت (Yan & Kang, 2003). Zelege & Berhanu (2016) با بررسی عملکرد دانه ۱۶ ژنوتیپ لوبیا در پنج مکان طی دو سال زراعی و بهره‌گیری از روش گرافیکی GGEbiplot محیط‌ها را از لحاظ قدرت تمایز گروه‌بندی کردند. در بررسی حاضر بین محیط‌های BJD15 و BJD16 همبستگی بالایی وجود دارد و دارای کمترین طول بردار هستند. طول بردار هر محیط، انحراف معیار درونی آن را نشان می‌دهد و این انحراف معیار توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد (Akan & Akcur, 2018). اگر محیطی دارای طول بردار کوتاه باشد، قدرت تمایز کمتری دارد و اطلاعاتی درباره ژنوتیپ‌های مورد بررسی نمی‌دهد، بنابراین این محیط آزمایش بی‌نتیجه خواهد بود. در بین محیط‌های آزمایش محیط GR15 دارای بیشترین طول بردار و بیشترین قدرت تمایز است و بعد از آن محیط‌های IRS15 و IRS16 قرار دارند. بنابراین با اجرای آزمایش در دو محیط گرگان و ابرانشهر تنها در یک سال هم می‌توان به نتایج مشابه دست پیدا کرد. Firew *et al.* (2019) با استفاده از نمودار بررسی همبستگی بین محیط‌ها در بررسی سازگاری لوبیا سفید در ائتوپیی، بر اساس زاویه بین بردارها هفت محیط را به دو گروه مجزا تقسیم کردند و نتیجه گرفتند با اجرای آزمایش در دو مکان نیز به نتایج مشابه دست خواهند یافت.

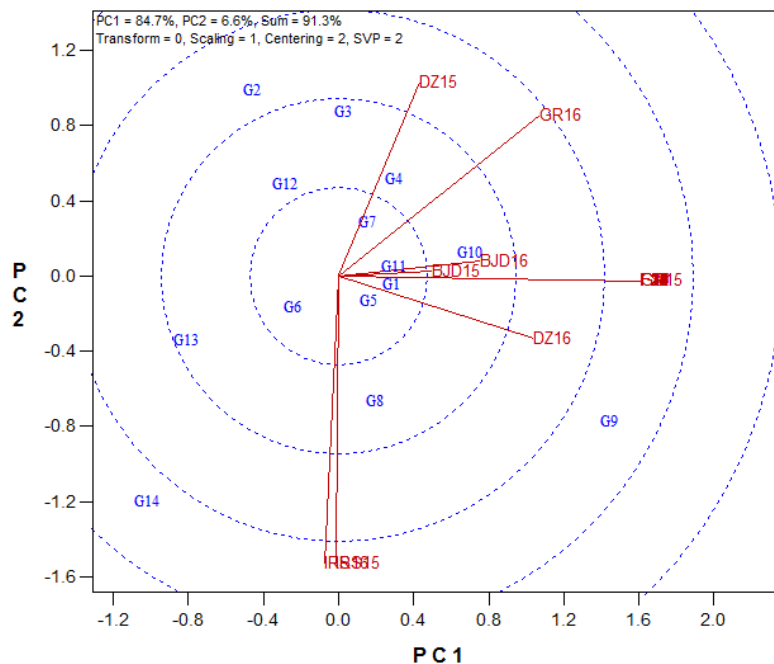


شکل ۱. نمای چندضلعی GGE بای-پلات بر اساس داده‌های عملکرد دانه، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

در شکل ۴ با استفاده از بردار، محیط ایده‌آل نشان داده شده است، هر محیطی که کمترین زاویه را با بردار افقی داشته باشد، به محیط ایده‌آل نزدیک‌تر و نماینده محیط خواهد بود. بنابراین محیط‌های نزدیک به محیط ایده‌آل و دارای طول بردار بلندتر توانایی تمایز و قدرت نمایندگی بیشتری دارند. در این بررسی محیط GR15 بلندترین طول بردار و کمترین فاصله با محیط ایده‌آل را دارد. اگر محیط‌های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، نتایج آزمایش قابل اعتماد نخواهند بود.



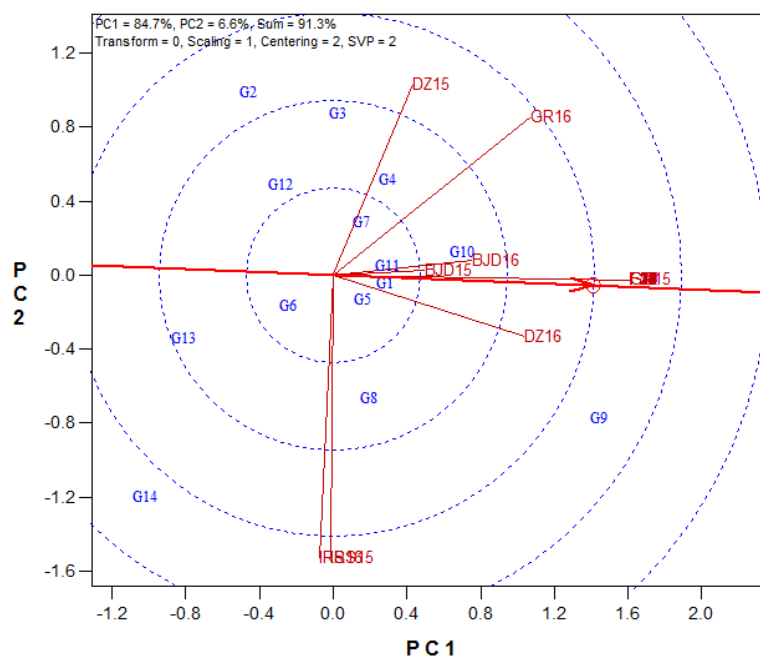
شکل ۲. بای‌پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.



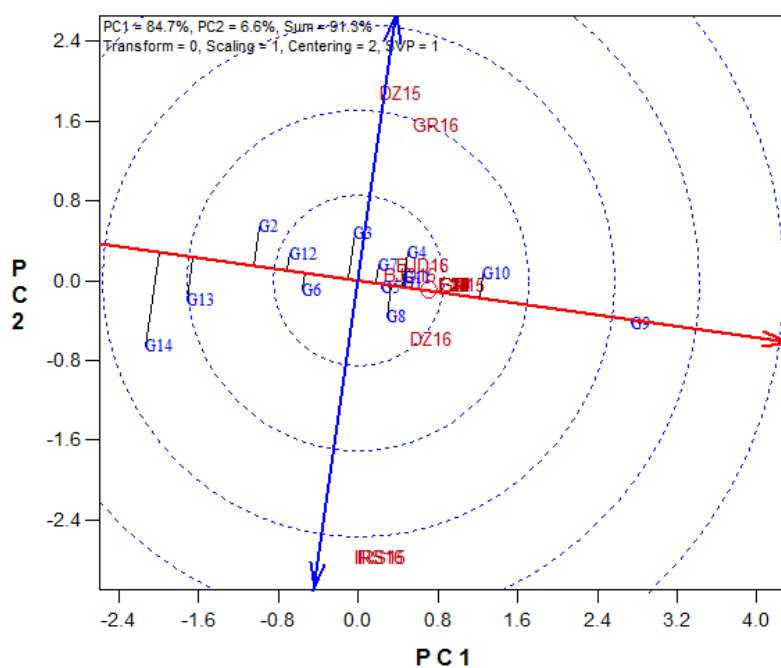
شکل ۳. بای‌پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

از نمودار AEC (Average Environment Coordinate) جهت بررسی همزمان پایداری و عملکرد استفاده می‌شود (شکل ۵). محور افقی نشان‌دهنده عملکرد ژنوتیپ‌ها و محور عمودی برآوردی از GEI هر ژنوتیپ است (Tekalign et al., 2017). فاصله کمتر از محور افقی نشانگر پایداری ژنوتیپ است، پس از بررسی شکل ۵ می‌توان گفت ژنوتیپ G9 بیشترین عملکرد و ژنوتیپ‌های G14 و G13 (ارقام محلی زرشکی و بلوچی) کمترین عملکرد دانه را داشتند. ژنوتیپ‌های G1 و G11 و پس از آن ژنوتیپ‌های G5 و G10 تقریباً روی محور افقی قرار گرفته‌اند، دارای کمترین طول تصویر روی محور عمودی هستند و بیشترین پایداری را دارند.

به‌طور کلی ژنوتیپ G1 به‌عنوان ژنوتیپ پرمحصول و پایدار معرفی شد. نمودارهای بای‌پلات توسط سایر پژوهشگران نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با‌قلا استفاده شده‌است (Temesgen *et al.*, 2015; Tolessa *et al.*, 2019; Tadele *et al.*, 2020; Sheikh *et al.*, 2021a). اگر عوامل محیطی مانند اثر سال و تغییرات آب و هوایی منجر به ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط شود، الگوهای پیش‌بینی ژنوتیپ مختص هر محیط در همه سال‌ها تکرارپذیر نخواهد بود، بنابراین بایستی با انتخاب ژنوتیپ پایدار و با عملکرد زیاد، حداکثر تولید را داشت.



شکل ۴. نمایش میانگین مختصات تستر (ATC) از GGE-Biplot بر اساس داده‌های عملکرد دانه، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.



شکل ۵. نمایش بای‌پلات برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری، شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های ۱ و ۲ است.

۴. نتیجه‌گیری

باتوجه به نقش باقلا در تناوب و تولید پروتئین، بایستی از علم به‌نژادی، تنوع ژنتیکی، تنوع اقلیم و فصل کشت در راستای معرفی ارقام مناسب مناطق مختلف به منظور افزایش عملکرد این محصول استفاده شود. در مطالعه حاضر اثر متقابل ژنوتیپ×محیط از اثر ژنوتیپ روی عملکرد دانه بیشتر بود. در واقع ژنوتیپ/ژنوتیپ‌های مختلف باقلا از لحاظ عملکرد دانه پاسخ متفاوتی به محیط‌های مختلف داشتند. بر اساس مدل اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و تجزیه GGE با ۷ پلات، بیش از ۹۱/۵ درصد از تغییرات اثر متقابل توسط دو مؤلفه اول توجیه شد و ژنوتیپ G9 با دارابودن کمترین اثر متقابل در هر دو مؤلفه به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ و بعد از آن به‌ترتیب ژنوتیپ‌های G1، G5 و G10 به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه و پایداری بالا شناسایی شدند که می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد در گیاه باقلا مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر پایداری عملکرد ژنوتیپ G1 از نظر وزن صدانه، عملکرد دانه و تعداد دانه در غلاف مناسب مصرف تازه‌خوری می‌باشد. توده‌های محلی زرشکی و بلوچی (G13 و G14) با دارابودن بیشترین اثر متقابل در هر دو مؤلفه ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. ژنوتیپ G9 با خصوصیات برجسته‌ای هم‌چون عملکرد بالا، سازگاری، قابلیت برداشت مکانیزه و مقاومت به بیماری ژنوتیپ جهت ارزیابی در پروژه‌های تحقیقی ترویجی انتخاب شد.

۵. سیاست‌گذاری

نگارندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای تامین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۹۳۲۸۰-۰۳-۵۷-۰۰ سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از کارشناسان و کمک کارشناسان مراکز تحقیقاتی محل اجرای پروژه که در اجرای این پژوهش با مجریان همکاری و مساعدت لازم مبذول داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

۶. منابع

- Akan, K., & Akcura, A. (2018). GGE biplot analysis of reactions of bread wheat pure lines selected from central anatolian landraces of Turkey to leaf rust disease (*Puccinia triticina*) in multiple location-years. *Cereal Research Communications*, 46(2), 311–320. DOI: 10.1556/0806.46.2018.12.
- Ali, I., Ullah Khan, N., Mohammad, F., Atif, M., Abbas, A., Bibi, Z., Ali, S., Amin, I., Ahmad, S., & Mehboob-Ur-Rahman, A. (2017). Genotype by environment and GGE-biplot analyses for seed cotton yield in upland cotton. *Pakistan Journal of Botany*, 49(6), 2273-2283.
- Ammar, M.H., Alghamdi, S., Migdadi, S., Muhammad, A., Khan, H.M., El-Harty, E.H., & Al-Faifi, S.A. (2015). Assessment of genetic diversity among faba bean genotypes using agro-morphological and molecular markers. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22, 340–350.
- Botovic, D., Ćivanovic, T., Popovic, V., Tatic, M., Gospavic, Z., Miloradovic, Z., Stankovic, G., & Đokic, T. (2018). Assessment stability of maize lines yield by GGE-biplot analysis. *Genetika*, 50(3), 755-770.
- Etemadi, F., Hashemi, M., Barker, A.V., Zandvakili, O.R., & Xiaobing, L. (2019). Agronomy, nutritional value, and medicinal application of faba bean (*Vicia faba* L.). *Horticultural Plant Journal*, 5, 170-182.
- Fikere, M., Tadesse, T., & Letta, T. (2008). Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 3(6), 80-87.
- Firew, A.M., Amsalu, B., & Tsegaye, D. (2019). Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of large white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes across environments in Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 14(35), 2135-2145.
- Flores, F., Hybl, M., Knudsen, J.C., Marget, P., Muel, F., Nadal, S., Narits, L., Raffiot, B., Sass, O., Solis, I., Winkler, J., Stoddard, F.L., & Rubiales, D. (2013). Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Research*, 145, 1-9.
- Gurmu, F.E., Lire, A., Asfaw, A., Alemayehu, F., Rezene, Y., & Ambachew, D. (2012). GGE-biplot analysis of grain yield of faba bean genotypes in Southern Ethiopia. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 3(3), 898-907.
- Haile, G.A., & Kebede, G.A. (2021). Identification of stable faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for seed yield in Ethiopia using GGE model. *Journal of Plant Development*, 9(4), 163-169.
- Haile, G.A., & Kebede, G.Y. (2021). Identification of stable faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for seed yield in Ethiopia using GGE model. *Journal of Plant Sciences*, 9, 163-169. doi: 10.11648/j.jps.20210904.15.

- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lapse, L., Fernandez, J.A., Vagen, I.M., Rewald, B., Alsiņa, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, I., Rosa, E., & Savvas, D. (2018). Faba bean cultivation—revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, 9, 11-15. doi: 10.3389/fpls.2018.01115.
- Maalouf, F., Khali, S., Ahmed S., Akintunde, A.N., Kharrat, M., El Shama'a, K., Hajjar, S., & Malhotra, R.S. (2011). Yield stability of faba bean lines under diverse broomrape prone production environments. *Field Crops Research*, 124(3), 288-294.
- Maniruzzaman, S., Debsharma, S., Ahmed, M.M., Ali, M., & Hera, M. (2022). GGE biplot analysis for genotype×environment interaction on yield trait of rice in Bangladesh irrigated environments. *The Agriculturists*, 19, 63-72.
- Meng, Y., Peiyu Ren, X., Ma, B., Qiuhua Bao, L., Zhang, H., Wang, J., Bai, J., & Wang, H. (2016). GGE biplot-based evaluation of yield performance of barley genotypes across different environments in China. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 533-543.
- Pourdad, S.S., & Jamshidi Moghaddam, M. (2013). Study on genotype×environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rainfed condition. *Journal of Crop Breeding*, 5, 1-13.
- Sheikh, F., & Feyzbakhsh, M.T. (2019). Faba bean handbook. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian).
- Sheikh, F., Nazari, H., & Fanaei, H. (2022). Graphic analysis of trait relations and stability of faba bean genotypes using the biplot method. *Journal of Crop Production*, 15(2), 117-135. doi: 10.22069/ejcp.2022.19563.2457. (In Persian).
- Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H., Parkasi, A., & Aghajani, M.A. (2021a). Evaluation of seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot analysis. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3), 85-99. (In Persian).
- Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H., & Parkasi, A. (2021b). Assessment of genotype×environment interaction and seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) promising lines using AMMI analysis. *Seed and Plant Journal*, 37, 1-22. (In Persian).
- Sheikh, F., Sharifi, P., Asteraki, H., Miri, K., & Sekhavat, R. (2021c). Evaluation stability of seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production*, 14(3), 125-144. (In Persian).
- Tadele, M., Mohammed, W., & Jarso, M. (2020). Yield stability and genotype×environment interaction of faba bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 7(2), 833-846.
- Tadesse, T., Mulugeta, B., Sefera, G., & Tekalign, A. (2016). Genotypes by environment interaction of faba bean (*Vicia faba* L.). Grain yield in the highland of bale zone, southeastern Ethiopia. *Plant*, 5, 13-17. doi: 10.11648/j.plant.20170501.13.
- Tekalign, A., Sibiya, J., Derera, J., & Fikre, A. (2017). Analysis of genotype×environment interaction and stability for grain yield and chocolate spot (*Botrytis fabae*) disease resistance in faba bean (*Vicia faba*). *Australian Journal of Crop Science*, 11(10), 1228-1235.
- Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T., & Jarso, M. (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3(3), 258-268.
- Tolessa, T.T., Keneni, G., Mohammed, H., & Ahmed, S.K. (2019). Decades of faba bean (*Vicia faba* L.) breeding for better grain yield and seed size has inadvertently reduced G×E interaction and increased inter-temporal performance stability. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22, 265–274.
- Yan, W., & Kang, M.S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. 1st Edn., CRC Press LLC., Boca Raton, Florida, Pp: 271.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605.
- Zelege, A.A., & Berhanu, F.A. (2016). AMMI and GGE models analysis of stability and GEI of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 6(9), 127-135.