



## تجزیه و تحلیل گرافیکی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کم تانن باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از روش GGE بای پلات

### Graphical Analysis of Seed Yield Stability of Low Tannin Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes Using GGE Biplot Method

فاطمه شیخ\*<sup>۱</sup>، خالد میری<sup>۲</sup>، رضا سخاوت<sup>۳</sup>، حسین آسترکی<sup>۴</sup> و محمد تقی فیض بخش<sup>۵</sup>

- ۱- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.
- ۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران.
- ۳- مربی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صافی آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.
- ۴- پژوهشگر، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران.
- ۵- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

#### چکیده

شیخ، ف.، میری، خ.، سخاوت، ر.، آسترکی، ح. و فیض بخش، م. ت. ۱۴۰۳. تجزیه و تحلیل گرافیکی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کم تانن باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از روش GGE بای پلات. نهال و بدر ۴۰: ۲۹۳-۲۷۱

باقلا (*Vicia faba* L.) یکی از حبوبات چند منظوره با دامنه سازگاری وسیع، ارزش غذایی بالا و با داشتن قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن در تناوب زراعی به پایداری تولید و نظام‌های زراعی کمک می‌کند. یکی از مهمترین صفات تعیین کننده کیفیت در ارقام باقلا محتوای تانن دانه می‌باشد. به منظور مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر باقلا بر اساس عملکرد دانه و پایداری آن و رابطه صفات زراعی مطلوب با عملکرد دانه، ۱۲ ژنوتیپ کم تانن باقلا در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی، گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر، در دو سال زراعی (۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲) ارزیابی شدند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده، برهمکنش دوگانه و سه گانه ژنوتیپ × سال × مکان بر عملکرد دانه باقلا در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بر اساس روش GGE-Biplot، دو مولفه اول در مجموع ۶۰/۹ درصد (مولفه اول ۳۴/۵ درصد و مولفه دوم ۲۶/۴ درصد) از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه را توجیه کردند. بر اساس نمودار چند ضلعی، در گرگان و بروجرد، ژنوتیپ‌های G6 (*Leofrontu* × *WRB 1-5*) و G4 (*Icarus* × *WRB 1-5*) و در ایرانشهر ژنوتیپ G11 (*FLIP03-34FB* × *WRB 1-5*) و در دزفول ژنوتیپ‌های G3 (*12TER-099-S2008, 034-3*) و G10 (*ILB 1270* × *WRB 1-4*) سازگار بودند. محیط آزمایشی دزفول از قدرت تمایز خوبی برخوردار بود و به عنوان مکان مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر شناخته شد. تجزیه و تحلیل گرافیکی ژنوتیپ × صفت رابطه مثبت بین عملکرد دانه با ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و طول غلاف را نشان داد. از این رو، این صفات را می‌توان به عنوان معیار گزینش در فرآیند انتخاب با هدف اصلاح ژنوتیپ‌های باقلا با عملکرد دانه بالا در نظر گرفت. ژنوتیپ‌های G3 (*12TER-099-S2008, 034-3*)، G4 (*Icarus* × *WRB 1-5*)، G6 (*Leofrontu* × *WRB 1-5*) و G10 (*ILB 1270* × *WRB 1-4*) با دارا بودن عملکرد دانه بالاتر و پایداری آن برای بررسی‌های بیشتر و آزادسازی رقم جدید برای مناطق هدف انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: باقلا، برهمکنش ژنوتیپ × صفت، برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ژنوتیپ ایده‌آل، عملکرد دانه.

تلفن: ۰۱۷۳۲۱۷۴۲۴۰

\*نگارنده مسئول: sheikhfatemeh@yahoo.com



© 2024 Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

## مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) یکی از حبوبات چند منظوره با دامنه سازگاری وسیع، ارزش غذایی بالا و خواص دارویی است و با داشتن قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن به پایداری نظام‌های زراعی کمک می‌کند (Bangar and Kajla, 2022). محتوای انرژی ناخالص و انرژی قابل متابولیسم دانه‌های باقلا به ترتیب از ۱۴/۶۹ تا ۷/۱۹ مگاژول در کیلوگرم ماده خشک و از ۱۱/۳۰ تا ۱۳/۸۰ مگاژول در کیلوگرم ماده خشک متغیر است. این مقدار بالای انرژی احتمالاً ناشی از کربوهیدرات بالای این دانه می‌باشد (Skylas et al., 2019). در مقایسه با دانه سویا، باقلا با داشتن نسبت بالاتر اسید آمینه‌های ضروری به محتوای کل اسید آمینه‌ها حاوی پروتئین با کیفیت بالاتری است (Angell et al., 2016).

کاشت باقلا به عنوان یک منبع جایگزین پروتئینی در جیره جوجه‌های گوشتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در گذشته استفاده از دانه باقلا در جیره طیور به دلیل وجود عوامل ضد تغذیه‌ای محدود بود (Mayer Labba et al., 2021). ارقام بدون تانن باقلا با توجه به عملکرد دانه بالا، درصد پروتئین بالا و پاییزه بودن فصل کشت، در امنیت غذایی برای مصرف انسان، خوراک دام و جیره طیور حائز اهمیت هستند (Oluyinka et al., 2019). این ارقام به عنوان یک گزینه مناسب در ترکیب جیره غذایی دام، طیور و آبزیان می‌تواند تحولی اساسی در مدیریت و اقتصاد صنعت طیور در کشور ایفا

## نماید.

مطالعات متعددی در زمینه بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر روی باقلا انجام شده‌است، که نتایج حاکی از معنی دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر روی عملکرد دانه باقلا بوده است (Greveniotis et al., 2023). با توجه به تغییرات خصوصیات مورفولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف، مطالعه برهمکنش ژنوتیپ × محیط باقلا جهت شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و پایدار حائز اهمیت است (Temesgen et al., 2015; Tadele et al., 2020). روش‌های تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار، شامل روش‌های تک متغیره، چند متغیره مبتنی بر تجزیه به مولفه‌های اصلی شامل AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) و GGE-Biplot و روش‌های ناپارامتری هستند.

در روش GGE بای‌پلات اثر اصلی ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ × محیط (GE) از هم تفکیک نشده است. از دیدگاه به نژاد گران‌گزینه ژنوتیپ‌ها بر اساس G و یا GE به تنهایی مدنظر نیست. بنابراین، بررسی این دو اثر باید به صورت توأم صورت پذیرد، به همین دلیل روش GGE بای‌پلات از لحاظ تجزیه داده‌های ژنوتیپ در محیط نسبت به روش AMMI برتری دارد (Yan et al., 2007). روش GGE بای‌پلات ابزاری کارآمد جهت ارزیابی و تفسیر الگوی محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل آن‌ها می‌باشد. سهولت و دقت در تجزیه‌ها و سادگی در

با این تفاوت که داده‌ها باید مقیاس‌بندی شوند، تا واحد صفات حذف شود. مقیاس‌بندی با استفاده از انحراف استاندارد (Standard deviation = SD) رایج‌ترین روش مورد استفاده است (Yan and Rajcan, 2002; Oliveira *et al.*, 2018). بای‌پلات ژنوتیپ × صفت (GT) در سویا (Yan and Rajcan, 2002)، لویا (Hirpa *et al.*, 2013)، عدس (Sabaghnia *et al.*, 2008)، لویا سبز (Oliveira *et al.*, 2018) و باقلا (Koc *et al.*, 2018; Sheikh *et al.*, 2022b; Barilli *et al.*, 2025) برای تعیین رابطه بین ژنوتیپ و صفت استفاده شده‌است. همچنین از این روش می‌توان برای گزینش ارقام و ژنوتیپ‌های باقلا از لحاظ چند صفت برای تحمل به تنش‌ها استفاده کرد (Koc *et al.*, 2018).

باقلا رقم "مهتا" اولین رقم کم‌تانن و قابل برداشت مکانیزه باقلا با هدف استفاده در تغذیه دام و طیور، در سال ۱۳۹۷ توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر معرفی شد (Sheikh *et al.*, 2023). با توجه به تنوع اقلیمی و ضرورت معرفی ارقام جدید کم‌تانن جهت استفاده در تأمین جیره طیور، اجرای پژوهش‌های به‌نژادی، معرفی و ترویج ارقام با عملکرد بالا و پایدار و متحمل نسبت به تنش‌های زیستی برای مناطق مختلف کشور از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف این پژوهش بررسی عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه و ارزیابی روابط بین صفات مورد مطالعه با استفاده از روش گرافیکی بای‌پلات

تفسیر خروجی‌ها مهم‌ترین مزایای روش GGE بای‌پلات است (Greveniotis *et al.*, 2023). روش GGE بای‌پلات توسط به‌نژادگران به‌منظور تجزیه و تحلیل گرافیکی برهمکنش ژنوتیپ × محیط استفاده شده‌است (Yan *et al.*, 2007). استفاده از روش GGE بای‌پلات برای گزینش ارقام لویا (Rezene *et al.*, 2019)، لویای دراگون (Akinyosoye *et al.*, 2023)، بادام زمینی (Khan *et al.*, 2021)، عدس (Ghaffar *et al.*, 2023)، نخود فرنگی (Tolessa *et al.*, 2013) و باقلا (Sheikh *et al.*, 2023; Greveniotis *et al.*, 2021) گزارش شده‌است. پایداری عملکرد دانه باقلا به‌ویژه در شرایط تغییرات شدید عوامل اقلیمی و محیطی، ویژگی مهم برای تولید پایدار این محصول است. صفات مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی، ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در گیاه، وزن صد دانه، تعداد دانه در غلاف، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و شاخص برداشت مهم‌ترین صفاتی هستند که با عملکرد دانه به طور مستقیم و غیرمستقیم ارتباط دارند (Koc *et al.*, 2018). تجزیه و تحلیل گرافیکی روابط بین صفات و داده‌های ژنوتیپ × صفت ( $Genotype \times Trait = GT$ ) به درک بهتر صفات و رابطه بین ژنوتیپ و صفات کمک می‌کند. در این روش ارزیابی ژنوتیپ‌ها و انتخاب بر اساس صفات متعددی است، که همان اهداف برنامه به نژادی هستند. مدل بای‌پلات GT، مشابه بای‌پلات GGE است،

ژنوتیپ × صفت (GT) در ژنوتیپ‌های کم‌تانن  
باقلا بود.

در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان  
(گرم و مرطوب)، دزفول (گرم و خشک)،  
بروجرد (سرد و خشک) و ایرانشهر (گرم)، اجرا  
شد (جدول ۲). برای اختصار محیط‌های آزمایش  
با کدهای E<sub>1</sub>: گرگان ۱۴۰۱، E<sub>2</sub>: ایرانشهر  
۱۴۰۱، E<sub>3</sub>: دزفول ۱۴۰۱، E<sub>4</sub>: بروجرد ۱۴۰۱،  
E<sub>5</sub>: گرگان ۱۴۰۲، E<sub>6</sub>: ایرانشهر ۱۴۰۲، E<sub>7</sub>:  
دزفول ۱۴۰۲، E<sub>8</sub>: بروجرد ۱۴۰۲ مشخص  
شدند.

### مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی سازگاری، عملکرد دانه و  
پایداری آن، ۱۱ لاین کم‌تانن باقلا به همراه رقم  
مهتا (شاهد) (جدول ۱)، آزمایشی مزرعه ای در  
قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار  
در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲

جدول ۱- کد، نام، منشاء و شجره ژنوتیپ‌های باقلای مورد مطالعه

Table 1. Code, name, origin and pedigree of studied faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شجره	منشاء
Genotype no.	Genotype code	Genotype name	Pedigree	Origin
G1	G-Faba-256	S 2008,033	WRB 2-7 × Giza blanca	ICARDA
G2	G-Faba-249	S 2009,167	ILB 1266-L28/05 × Triple while-Quality	ICARDA
G3	G-Faba-433	9027-3-1-2	12TER-099-S2008, 034-3	ICARDA
G4	G-Faba-504	7069-1-4-2	Icarus × WRB 1-5	Gorgan
G5	G-faba-100	WRB 1-5	White flower × ILB1270-BC	ICARDA
G6	G-Faba-479	7048-1-3-7-1	Leofrontu × WRB 1-5	Gorgan
G7	G-Faba-531	5005-2-3-1-2	ILB3554 × WRB1-5	Gorgan
G8	G-Faba-650	6058-1-1-6	ILB1266 × ZV1269-1509-39	Gorgan
G9	G-Faba-377	9008-2-2-2	12TER-009/12-02010,48-1	ICARDA
G10	G-faba-247	S2008-96	R. Blanka (ILB 1270) × WRB 1-4	ICARDA
G11	G-Faba-471	7030-2-7-1-1	FLIP03-34FB × WRB 1-5	Gorgan
G12	G-faba-95	Mahta (check)	White flower × ILB1270-BC	ICARDA

جدول ۲- مختصات جغرافیایی، اطلاعات آب و هوایی و اقلیمی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش

Table 2. Geographical coordinates, weather and climatic information of the field experiment stations

Location	مکان	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude above sea level (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	بارندگی (میلی متر) Rainfall (mm)		میانگین دمای سالیانه (درجه سانتیگراد) Mean annual temperature (°C)
					2021-22	2022-23	
Gorgan	گرگان	5	36°54' N	54°25' E	420	480	18.6
Dezful	دزفول	83	32°20' N	48°30' E	275	310	23.1
Broujerd	بروجرد	1520	33°89' N	48°76' E	340	390	14.6
Iranshahr	ایرانشهر	591	27°15' N	60°40' E	104	121	26.5

شناسایی محیط‌های کلان، رسم نمودارهای بای‌پلات از نرم افزار GGE Biplot V6.3 استفاده شد (Yan and Kang, 2003). برای این منظور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به صورت یک ماتریس دو طرفه تنظیم و به نرم افزار GGE Biplot معرفی گردید.

برای تجزیه پایداری عملکرد دانه به روش GGE Biplot از مدل آماری زیر استفاده شد (Yan and Kang, 2003):

(رابطه ۱)

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

که در این رابطه  $Y_{ij}$ : میانگین آمین ژنوتیپ در  $i$ امین محیط،  $\mu$ : میانگین کل،  $\beta_j$ : میانگین اثر محیط  $j$ ام،  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$ : مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه،  $\xi_{i1}$  و  $\xi_{i2}$ : بردارهای ژنوتیپی،  $\eta_{j1}$  و  $\eta_{j2}$ : بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و  $\varepsilon_{ij}$ : مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ  $i$ ام در محیط  $j$ ام هستند.

برای ارزیابی روابط بین صفات از داده‌های دو طرفه ژنوتیپ  $\times$  صفت استفاده شد، رابطه بین صفات و ژنوتیپ‌های مختلف با استفاده از نمودار دو وجهی GT Biplot بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم مورد مطالعه قرار گرفت، مدل آماری برای روش GT بای‌پلات به صورت زیر بود (Oliveira et al., 2018; Barilli et al., 2025):

(رابطه ۲)

$$\frac{T_{ij} - \bar{T}_j}{S_j} = \lambda_1 \xi_{i1} \tau_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \tau_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

که در این رابطه  $T_{ij}$ : میانگین صفت  $i$  برای

هر کرت شامل شش ردیف چهار متری به فواصل ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۳ سانتی‌متر بود. کاشت بذر ژنوتیپ‌های باقلا در ایستگاه ایرانشهر در نیمه اول مهر، در ایستگاه دزفول در نیمه دوم مهر و در ایستگاه‌های گرگان و بروجرد در نیمه دوم آبان انجام شد. در ایستگاه‌های ایرانشهر و دزفول بر حسب نیاز پنج تا هفت نوبت و در ایستگاه بروجرد یک نوبت در زمان پر شدن غلاف‌ها آبیاری انجام شد. در ایستگاه گرگان کشت به صورت دیم انجام شد. مدیریت مزرعه در هر ایستگاه بر اساس توصیه‌های کارشناسی اعمال شد.

در طول فصل رشد صفات ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در گیاه و تعداد دانه در غلاف ثبت شدند. برداشت محصول دانه در ایرانشهر در دهه آخر اسفند، در دزفول در اواسط فروردین، در گرگان در اواخر اردیبهشت و در بروجرد در اواخر خرداد انجام شد. برای برآورد عملکرد دانه و تعیین وزن صد دانه برداشت از چهار ردیف میانی و با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف انجام شد.

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همچنین بررسی همگنی خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت، تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین صفات با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار و

بزرگی اثر محیط نشان دهنده تنوع محیطها است و این موضوع به علت تفاوت شرایط آب و هوایی، حداقل و حداکثر دمای هوا و خاک، تفاوت دمایی شب و روز، مقدار بارندگی و پراکنش آن، اسیدیته خاک، خصوصیات خاک، طول و عرض جغرافیای و ارتفاع از سطح دریا در محیطهای مورد بررسی بود. در ایستگاههای دزفول و ایرانشهر عملکرد دانه کمتر از میانگین ثبت شد. طول فصل رشد کوتاه، میانگین دمای بالا و تنش گرما در مرحله تشکیل دانهها، دلایل احتمالی کاهش عملکرد دانه در این دو ایستگاه بود (جدول ۲).

تنوع ژنتیکی زیادی میان ژنوتیپهای مورد بررسی مشاهده شد و تفاوت بین ژنوتیپها از لحاظ ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین ها نشان داد که ژنوتیپ (White flower × G5 (ILB3554 × G7 و ژنوتیپ (ILB1270-BC (WRB1-5 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴). رقم شاهد مهتا (ژنوتیپ G12) بیشترین ارتفاع گیاه و بیشترین تعداد غلاف در گیاه، ژنوتیپ (Leofrontu G6 (WRB 1-5 × بیشترین تعداد دانه در غلاف، و ژنوتیپ (ILB3554 × G7 (WRB1-5) بیشترین وزن صد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

صفت  $z_j$ ، میانگین صفت  $T_j$  روی همه میانگینها،  $S_j$ : انحراف معیار صفت  $z_j$ ،  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$ : به ترتیب مقادیر منفرد مولفه های اصلی اول و دوم،  $\xi_{i1}$  و  $\xi_{i2}$  به ترتیب مقادیر PC1 و PC2 برای ژنوتیپ  $i$ ،  $\tau_{j1}$  و  $\tau_{j2}$ : به ترتیب مقادیر PC1 و PC2 برای صفت  $z_j$  و  $\varepsilon_{ij}$ : باقی مانده مربوط به مدل ژنوتیپ  $i$  و صفت  $z_j$  را نشان می دهد (Yan and Rajcan, 2002; Oliveira et al., 2018).

### نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر کلیه صفات مورد بررسی معنی دار بود (جدول ۳). اثر محیط ۸۶/۴ درصد از مجموع مربعات تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که نشان دهنده واکنش بالای عملکرد دانه ژنوتیپهای باقلا به تغییرات محیط است. اثر ژنوتیپها و برهمکنش ژنوتیپ و محیط به ترتیب ۳/۷ و ۹/۹ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. نتایج سایر تحقیقات روی باقلا نیز نشان داد که تغییرات محیطی بخش عمده واریانس را تشکیل می دهد (Tadele et al., 2020; Sheikh et al., 2021). به طور کلی، در کلیه آزمایشهای چند محیطی پدیده غالب در منبع تغییرات عملکرد است و اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط نسبتاً کوچک هستند (Yan and Kang, 2003).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا در چهار مکان و دو سال

Table 3. Combined analysis of variance for seed yield of faba bean genotypes in four locations and two years

S.O.V.	منبع تغییرات	df.	میانگین مربعات Mean squares					عملکرد دانه Seed yield
			ارتفاع گیاه Plant height	طول غلاف Pod length	تعداد غلاف در بوته Pod no. plant <sup>-1</sup>	تعداد دانه در غلاف Seed n. pod <sup>-1</sup>	وزن صد دانه 100 seed weight	
Location (L)	مکان	3	10510.42**	76.76**	2853.91**	15.54**	11957.24**	289730899.6**
Year (Y)	سال	1	467.41**	2.40	1103.32**	0.10	1148.00**	9050.7**
L × Y	سال × مکان	3	559.91**	7.24**	331.57**	0.06	591.18**	8757347.9**
Error 1	خطای ۱	16	3874.00	0.61	2.87	0.14	9.12	95223.6
Genotype (G)	ژنوتیپ	11	469.64**	61.51**	276.50**	3.00**	1982.50**	2251333.2**
L × G	ژنوتیپ × مکان	33	520.79**	7.24**	124.40**	1.60**	471.89**	2061824.7**
Y × G	ژنوتیپ × سال	11	54.52**	0.95	24.68**	0.13	90.31**	628265.1**
L × Y × G	ژنوتیپ × سال × مکان	33	2376.00	0.94	10.90**	0.16**	45.79**	396341.5**
Error 2	خطای ۲	176	18.28	0.70	3.47	0.06	12.05	86702.0

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

\* and \*\*: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین برای ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا

Table 4. Mean comparison for plant height, pods plant<sup>-1</sup>, 100 seed weight and seed yield of faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype no.	ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)	طول غلاف (سانتی متر) Pod length (cm)	تعداد غلاف در گیاه Pod no. plant <sup>-1</sup>	تعداد دانه در غلاف Seed no. pod <sup>-1</sup>	وزن صد دانه 100 seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار) Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )
G1	95.20e	12.40ef	16.22c	3.28fg	118.62e	2890.5de
G2	95.88de	12.09ef	17.77b	3.44ef	121.95e	3005.9cde
G3	101.06c	11.92f	18.94b	4.07b	130.36d	3374.5b
G4	99.63cd	13.50d	14.75de	4.09b	134.71c	3568.3a
G5	92.77e	14.67b	14.71de	3.71cd	129.20d	2832.9cde
G6	99.51cd	16.09a	12.87f	4.50a	138.12b	3365.1b
G7	98.89cd	16.05a	11.22g	3.84c	145.62a	3274.4bc
G8	101.27cd	13.03d	13.49cd	3.58cd	131.47d	2886.0bcde
G9	99.75cd	15.90a	14.92cde	3.62d	137.55bc	3266.9c
G10	101.68e	12.52e	17.71b	3.32g	121.82e	3576.9a
G11	104.25b	14.14c	13.98ef	3.57de	130.90d	3108.4bcde
G12	109.89a	12.39ef	23.89a	3.64cd	113.96f	2850.9e

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.  
Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. ژنوتیپ G3 با داشتن کمترین برهمکنش در هر دو مولفه به عنوان ژنوتیپ با پایدارترین عملکرد دانه شناسایی شد.

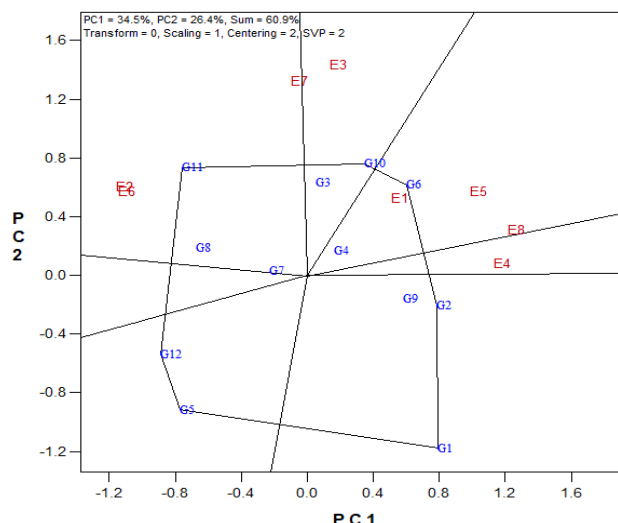
نمودار چند ضلعی چهار محیط کلان نیز مشخص شدند، محیط کلان اول شامل سه محیط E1 (گرگان ۱۴۰۲-۰۱)، E5 (گرگان ۱۴۰۰-۰۱) و E8 (بروجرد ۱۴۰۱-۰۲) بود و ژنوتیپ G6، ژنوتیپ برتر این محیط بود و ژنوتیپ G4 نیز درون این محیط قرار گرفت، یعنی این ژنوتیپ دارای برتری عملکرد دانه و سازگاری خصوصی بالایی با محیط کلان اول می باشد (شکل ۱). همچنین با توجه به واریانس درون هر محیط در نمودارهای چند ضلعی ژنوتیپ های G4 و G6 بیشترین شباهت را با هم داشتند و برای کشت در گرگان و بروجرد مناسب شناخته شدند (شکل ۱). این دو ژنوتیپ حاصل دورگ گیری و انتخاب در جمعیت های در حال تفرق باقلا در ایستگاه گرگان می باشند. ژنوتیپ های G4 و G7 نیز نزدیک به مرکز قرار گرفتند که نشان دهنده عملکرد بالای این ارقام در کلیه محیط های آزمایشی بود.

محیط کلان دوم شامل محیط های E6 و E2 بود که در این محیط کلان ژنوتیپ G11 ژنوتیپ برتر بود و ژنوتیپ G3 نیز به این محیط سازگاری داشت. در محیط کلان سوم (دزفول سال ۱۴۰۰-۰۱) ژنوتیپ G10 به عنوان ژنوتیپ برتر و G3 به عنوان ژنوتیپ سازگار شناسایی شدند. محیط چهارم نیز فقط شامل E4 بود

باقلا از نظر تنوع ژنتیکی برای وزن صد دانه یک محصول زراعی منحصر به فرد است، وزن صد دانه آن بین ۲۲۰-۳۰ گرم متغیر است، ژنوتیپ هایی با وزن صد دانه بالا، بازارپسندی بیشتری دارند (Sheikh et al., 2022b). ژنوتیپ های G10، G3، G4، G6، G7 و G9 عملکرد دانه بالاتر از میانگین عملکرد دانه کل ژنوتیپ ها داشتند (جدول ۴). پژوهشگران دیگری نیز تفاوت معنی دار ژنوتیپ های باقلا برای عملکرد دانه و برهمکنش ژنوتیپ × محیط معنی دار برای ژنوتیپ های باقلا گزارش کرده اند (Tadele et al., 2020; Sheikh et al., 2021; Sheikh et al., 2022a).

در صورتی که عوامل محیطی مانند اثر سال و تغییرات آب و هوایی باعث ایجاد برهمکنش ژنوتیپ × محیط شوند، الگوهای پیش بینی ژنوتیپ مختص هر محیط در همه سال ها تکرارپذیر نخواهد بود، بایستی ژنوتیپ ها در چند سال و چند مکان مورد بررسی قرار گیرند تا علاوه بر عملکرد دانه بالا، پایداری عملکرد و سازگاری آنها نیز تعیین شود. عدم توجه به معنی دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط باعث کاهش کارآیی گزینش ژنتیکی و بهره وری برنامه به نژادی می شود. از این رو، برای تعیین ژنوتیپ های با عملکرد پایدار و تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط از روش چندمتغیره GGE- Biplot استفاده شد. بر اساس این مدل دو مولفه اول در مجموع ۶۰/۹ درصد (مولفه اول ۳۴/۵ درصد و مولفه دوم ۲۶/۴ درصد) از تغییرات





شکل ۱- چندضلعی GGE بای پلات بر اساس داده‌های عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا در هشت محیط  
Fig. 1. Polygon view of the GGE-biplot based on seed yield data of faba bean genotypes across eight environments

E1: گرگان-۱۴۰۱، E2: ایرانشهر-۱۴۰۱، E3: دزفول-۱۴۰۱، E4: بروجرد-۱۴۰۱، E5: گرگان-۱۴۰۲، E6: ایرانشهر-۱۴۰۲، E7: دزفول-۱۴۰۲، E8: بروجرد-۱۴۰۲.

E1: Gorgan-2022, E2: Iranshahr -2022, E3: Dezful -2022, E4: Broujerd -2022; E5: Gorgan-2023, E6: Iranshahr -2023, E7: Dezful -2023, E8: Broujerd -2023

است که از مبدأ مختصات می‌گذرد و بردار محیط آزمایشی متوسط (Average Tester Coordinate = ATC) در واقع محور ATC نمادی از اثر اصلی ژنوتیپ است. خط عمود بر محور ATC نشان‌دهنده برهمکنش ژنوتیپ × محیط است. ژنوتیپ‌هایی که سمت راست محور عمود بر این بردار قرار گرفته‌اند، عملکرد دانه بیشتر از میانگین و ژنوتیپ‌های سمت چپ عملکرد دانه کمتر از میانگین داشتند. پس از بررسی اطلاعات شکل ۲ می‌توان گفت ژنوتیپ‌های  $G4 < G11 < G3 < G6 < G10$  به ترتیب بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ  $G5$  کمترین عملکرد دانه را داشتند.

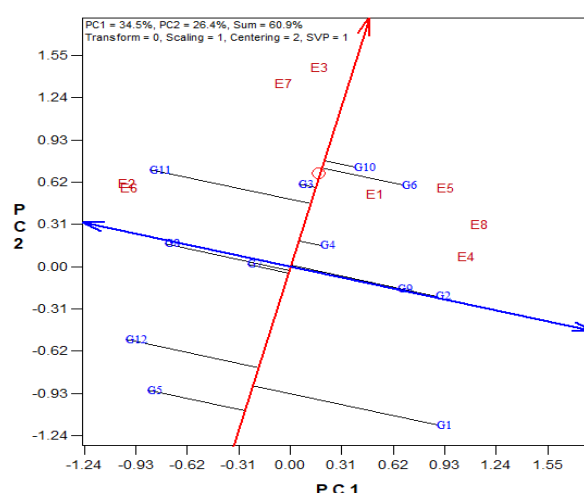
تصویر ژنوتیپ‌ها روی محور ATC

که هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها به این محیط سازگار نبوند. ژنوتیپ‌های  $G1$  و  $G5$  در هیچ یک از محیط‌های کلان قرار نگرفتند که نشان‌دهنده عدم سازگاری و عملکرد پایین این ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد مطالعه بود. پژوهش‌های متعددی برای مطالعه پایداری عملکرد دانه در باقلا با استفاده از روش GGE بای پلات انجام شده است (Tadele *et al.*, 2020; Sheikh *et al.*, 2021; Sheikh *et al.*, 2022a) و ندادافرو و همکاران (Wondaferew *et al.*, 2024) در مطالعه‌ای دو ساله در سه مکان با استفاده از روش GGE بای پلات، ژنوتیپ‌های با عملکرد دلنه بالا و پایدار و سازگار باقلا را شناسایی کردند.

در شکل ۲ محور افقی دارای یک پیکان

بیشترین پایداری عملکرد دانه را داشتند (شکل ۲). بر اساس این نمودار ژنوتیپ‌های G3 و G10 از لحاظ عملکرد دانه پایداری آن نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند. ژنوتیپ‌های G1 و G5 در سمت چپ محور عمودی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها عملکرد و پایداری کمتری داشتند (شکل ۲).

نشان‌دهنده پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها است (Temesgen *et al.*, 2015). فاصله کمتر از محور عملکرد دانه نشانگر پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ است، ژنوتیپ‌های G3، G10، G4 و G7 به دلیل اینکه کمترین فاصله با محور عملکرد را داشتند، دارای کمترین طول تصویر روی محور پایداری عملکرد قرار گرفتند و



شکل ۲- مقایسه عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا با ژنوتیپ مطلوب بر اساس میانگین عملکرد دانه و پایداری آن

Fig. 2. Comparison of promising genotypes of faba bean with ideal genotype based on seed yield and its stability

E1: گرگان-۱۴۰۱، E2: ایرانشهر-۱۴۰۱، E3: دزفول-۱۴۰۱، E4: بروجرد-۱۴۰۱، E5: گرگان-۱۴۰۲، E6: ایرانشهر-۱۴۰۲، E7: دزفول-۱۴۰۲، E8: بروجرد-۱۴۰۲.

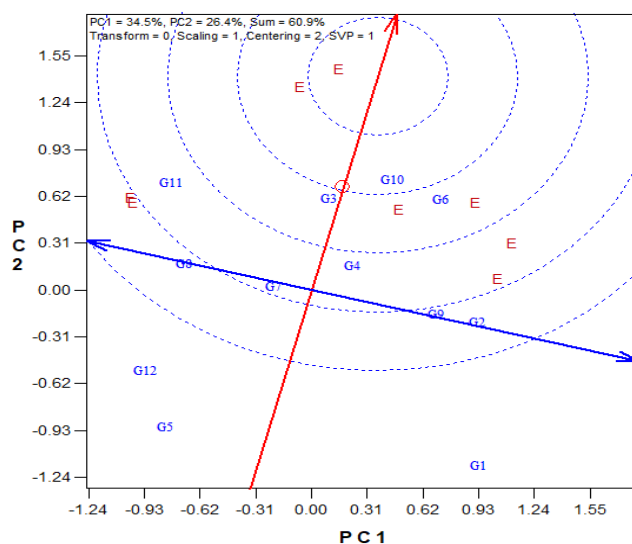
E1: Gorgan-2022, E2: Iranshahr -2022, E3: Dezful -2022, E4: Broujerd -2022; E5: Gorgan-2023, E6: Iranshahr -2023, E7: Dezful -2023, E8: Broujerd -2023

فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل داشته باشد، از مطلوبیت کمتری برخوردار است و می‌تواند از برنامه‌های به‌نژادی حذف شود (Yan and Kang, 2003). ژنوتیپ G3 کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل دارد و ژنوتیپ مطلوب با عملکرد دانه بالا و پایدار محسوب می‌شود. در

کاربرد دیگر GGE biplot مقایسه ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل است. دایره کوچک متحدالمرکز نشان‌دهنده ژنوتیپ ایده‌آل است که شاخصی برای ارزیابی سودمندی ژنوتیپ و گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول و با عملکرد پایدار است (شکل ۳). هر ژنوتیپی که بیشترین

ژنوتیپ‌های واقع در حلقه‌های دورتر G2، G7، G8، G9 و G11 در رتبه دوم قرار دارند. ژنوتیپ‌های خارج از آخرین حلقه نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند.

این نما به ترتیب ژنوتیپ‌های  $G3 < G10 < G6 < G4$  در فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل قرار گرفتند و به ترتیب جزو مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل ۲).



شکل ۳- نمودار GGE بای پلات بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل

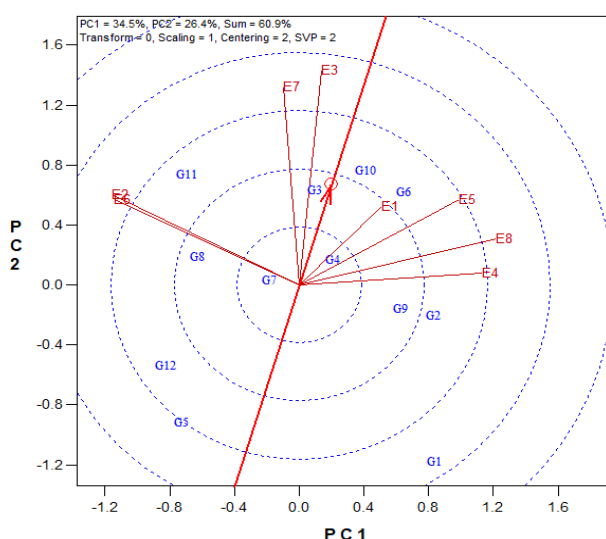
Fig. 3. GGE biplot based on genotype-centered scaling for comparing genotypes with the ideal genotype

E1: گرگان-۱۴۰۱، E2: ایرانشهر-۱۴۰۱، E3: دزفول-۱۴۰۱، E4: بروجرد-۱۴۰۱، E5: گرگان-۱۴۰۲، E6: ایرانشهر-۱۴۰۲، E7: دزفول-۱۴۰۲، E8: بروجرد-۱۴۰۲.

E1: Gorgan-2022, E2: Iranshahr -2022, E3: Dezful -2022, E4: Broujerd -2022; E5: Gorgan-2023, E6: Iranshahr -2023, E7: Dezful -2023, E8: Broujerd -2023

بلندترین طول بردار و توانایی بالایی برای تمایز ژنوتیپ‌ها داشتند. اگر محیط‌های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، نتایج آزمایش قابل اعتماد نخواهند بود. کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط ضریب همبستگی بین آن‌ها را نشان می‌دهد (Tadele *et al.*, 2020)، بنابراین زاویه کوچکتر بین دو بردار به معنای همبستگی مثبت و بالای بین آن‌ها است.

نمای دیگری که برای ارزیابی محیط‌های آزمایش استفاده شد، نمای نمایندگی و قدرت تمایز محیط‌ها است (شکل ۴)، که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به مبدأ بای پلات متصل می‌شوند. محیط‌های دارای طول بردار بلندتر توانایی تمایز بیشتری دارند و کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها به درستی برآورد می‌شود. در این بررسی محیط‌های E3 و E7



شکل ۴- تعیین محیط مطلوب با استفاده از روش گرافیکی GGE بای پلات

Fig. 4. Determining the ideal environment using the GGE-biplot graphic method

E1: گرگان-۱۴۰۱، E2: ایرانشهر-۱۴۰۱، E3: دزفول-۱۴۰۱، E4: بروجرد-۱۴۰۱، E5: گرگان-۱۴۰۲، E6: ایرانشهر-۱۴۰۲، E7: دزفول-۱۴۰۲، E8: بروجرد-۱۴۰۲.

E1: Gorgan-2022, E2: Iranshahr -2022, E3: Dezful -2022, E4: Broujerd -2022; E5: Gorgan-2023, E6: Iranshahr -2023, E7: Dezful -2023, E8: Broujerd -2023

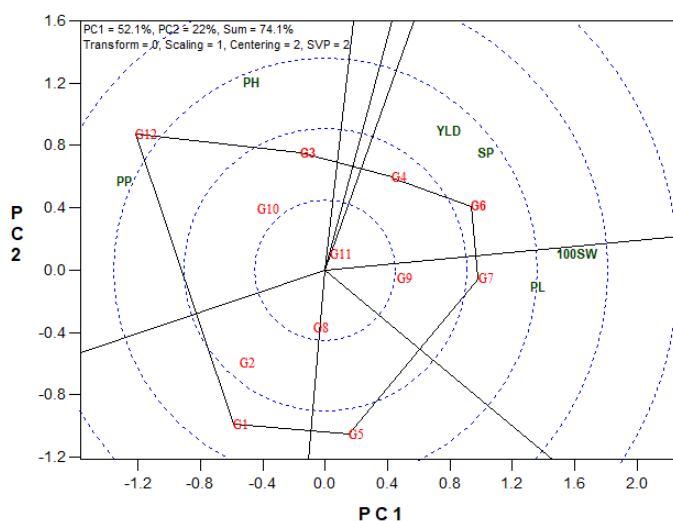
که ژنوتیپ‌های متفاوتی در این محیط‌ها برتر بودند. تدل و همکاران (Tadele *et al.*, 2020) در آزمایشی پایداری عملکرد ۵۰ لاین باقلا را در دو سال و سه مکان ارزیابی و محیط‌ها را از لحاظ قدرت تمایز در دو محیط کلان گروه‌بندی و ژنوتیپ‌های برتر هر محیط را شناسایی کردند.

در پژوهش حاضر، بیشترین طول بردار، قدرت تمایز و همبستگی را محیط‌های E3 و E7 (دزفول سال اول و دوم) داشتند و بعد از آن دو محیط E2 و E6 (ایرانشهر سال اول و دوم) بیشترین طول بردار و قدرت تمایز را داشتند. بین دو محیط E1 و E5 (گرگان سال اول و دوم) نیز همبستگی بالایی وجود داشت. محیط‌های E1 و

از دلایل اصلی قدرت تمایز محیط دزفول در سال اول و دوم تنش گرمای آخر فصل و واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها بود. محیط‌های E1 (گرگان سال اول) و E3 (بروجرد سال اول) به علت پراکنش مناسب بارندگی‌ها در سال اول به محیط ایده‌آل نزدیک بودند و بیشترین عملکرد دلنه را داشتند. با استفاده از نتایج این نمودار علاوه بر شناسایی محیط‌های مطلوب، می‌توان محیط‌های مشابه و یا نزدیک به هم را شناسایی کرد، حذف محیط‌های مشابه باعث کاهش هزینه و افزایش کارایی به‌نژادی خواهد شد (Yan and Kang, 2003). فلورز و همکاران (Flores *et al.*, 2013) نیز پس از مطالعه عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ باقلا در ۱۳ محیط، سه محیط کلان را شناسایی کردند

(Genotype × trait (GT) biplot)، مشخص شد که ۷۴/۲ درصد (مولفه اول ۵۲/۲ درصد و مولفه دوم ۲۲ درصد) کل تغییرات داده‌های استاندارد شده را توجیه کردند (شکل ۵). در میان روش‌های متعدد برای ترسیم بای‌پلات ژنوتیپ × صفت نمایش چندضلعی کمک می‌کند که ژنوتیپ‌هایی که دارای بالاترین مقدار برای یک صفت یا بیشتر صفات می‌باشند، تشخیص داده شوند. این روش بهترین راه را برای تجسم و تشخیص الگوها و روابط بین ژنوتیپ‌ها و صفات را مهیا می‌کند. ژنوتیپ‌ها در رئوس چند ضلعی یا در داخل چند ضلعی قرار می‌گیرند.

E6 (به ترتیب گرگان سال اول و ایرانشهر سال اول) کمترین طول بردار را داشتند، در نتیجه قدرت تمایز کمتری برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند. فایری و همکاران (Firew *et al.*, 2019) با استفاده از نمودار بررسی همبستگی بین محیط‌ها در بررسی سازگاری لویا سفید در اتیوپی، بر اساس زاویه بین بردارها هفت محیط آزمایشی را به دو گروه مجزا تقسیم کردند و نتیجه گرفتند با اجرای آزمایش در دو مکان نیز به نتایج مشابه دست خواهند یافت. با ترسیم نمودار دو وجهی ژنوتیپ × صفت



شکل ۵- نمودار چندضلعی GT biplot برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های باقلا.

Fig. 5. GT biplot Polygon for grouping the faba bean genotypes

PH: ارتفاع گیاه، PL: طول غلاف، PP: تعداد غلاف در گیاه، SP: تعداد دانه در غلاف، YLD: عملکرد دانه، 100SW: وزن صد دانه. PH: Plant height, Pod length, Pod number plant<sup>-1</sup>, Seed pod<sup>-1</sup>, YLD: Seed yield, 100SW: 100 seed weight.

مربوط به ژنوتیپ G7 واقع شدند، که نشان‌دهنده برتری این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برای این صفات بود (شکل ۵). بیشترین عملکرد دانه و

پنج ژنوتیپ G1، G5، G6، G5 و G12 در رئوس چند ضلعی قرار گرفته‌اند (شکل ۵). صفات وزن صد دانه و طول غلاف در بخش

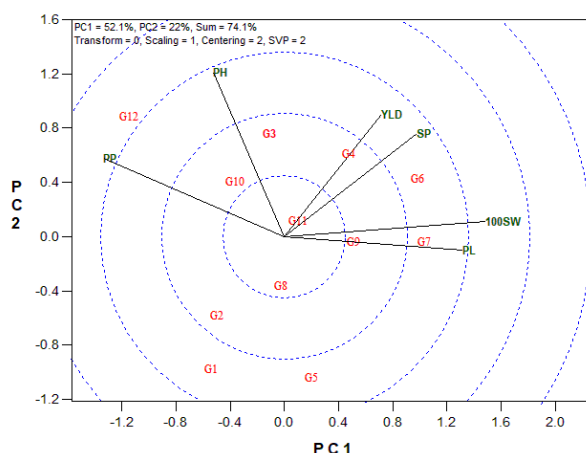
نیز میزان تأثیر مثبت یا منفی صفات نشان داده می‌شود (Sheikh *et al.*, 2022b). شکل ۶ نشان می‌دهد، عملکرد دانه با صفات ارتفاع گیاه، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف و وزن صد دانه همبستگی مثبت داشت، صفات تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه از اجزای مهم عملکرد دانه در باقلا محسوب می‌شوند و وراثت‌پذیری بالایی دارند. به منظور بهبود صفت مهم و اقتصادی عملکرد دانه در صورت عدم امکان انتخاب مستقیم می‌توان از انتخاب غیرمستقیم به کمک صفات مرتبط با آن مانند تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه استفاده کرد (Koc *et al.*, 2018). بنابراین می‌توان از صفات فوق به عنوان شاخص‌های انتخاب برای افزایش عملکرد استفاده کرد. وزن صد دانه و تعداد دانه در غلاف با تعداد غلاف در بوته همبستگی منفی نشان دادند، وجود این همبستگی مویید این مطلب است که ژنوتیپ‌هایی با تعداد غلاف بیشتر، وزن صد دانه و تعداد دانه در غلاف کمتری داشتند و بالعکس (Sheikh *et al.*, 2022b).

میانگین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌ها با تعریف محور مختصات محیط آزمایشی متوسط (ATC) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۷). ژنوتیپی ایده‌آل و برتر است که ترکیبی از صفات خوب و کمترین فاصله را با دایره مرکزی در این نمودار داشته باشند (۳۲، ۳۳، ۴۳). ژنوتیپ‌های  $G11 < G9 < G3 < G7 < G4 < G6$  به ترتیب از لحاظ عملکرد دانه، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه در

طول غلاف به ژنوتیپ‌های  $G6$  و  $G4$  تعلق داشت. بیشترین تعداد غلاف در گیاه و ارتفاع گیاه به ژنوتیپ  $G12$  اختصاص داشت (شکل ۵). ژنوتیپ نزدیک به مبدأ بای‌پلات سطح متوسطی از تمام صفات را داراست (Koc *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر، ژنوتیپ‌های  $G11$  و  $G8$  به ترتیب دارای مطلوبیت متوسط برای صفات مورد بررسی بودند.

شکل ۶، نمایش برداری GT-Biplot است که به درک روابط بین صفات و ارزیابی ژنوتیپ‌ها کمک می‌کند، بردارهایی که از مبدأ بای‌پلات سرچشمه می‌گیرند، به علایم صفات وصل می‌شوند. طول بردارها پاسخ‌دهی صفات را به ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد، به طوری که هرچه طول بردار یک صفت بیش تر باشد نشان‌دهنده آن است که آن صفت دارای قدرت پاسخ‌دهی بیشتر به ژنوتیپ‌ها می‌باشد و صفاتی که در منشأ بای‌پلات قرار می‌گیرند، هیچ پاسخی به ژنوتیپ‌ها نمی‌دهند (Yan and Fregeau-Reid, 2008). کسینوس زاویه بین دو صفت همبستگی بین آن‌ها را برآورد می‌کند. اگر زاویه بین بردارهای دو صفت کمتر از ۹۰ درجه باشد، بین آن دو صفت همبستگی مثبت، اگر زاویه بیش تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی منفی و اگر زاویه ۹۰ درجه باشد، بین آن دو صفت همبستگی وجود ندارد.

این شکل بای‌پلات بهترین راه برای نمایش گرافیکی روابط متقابل میان صفات است (Barilli *et al.*, 2025). بر اساس طول بردارها



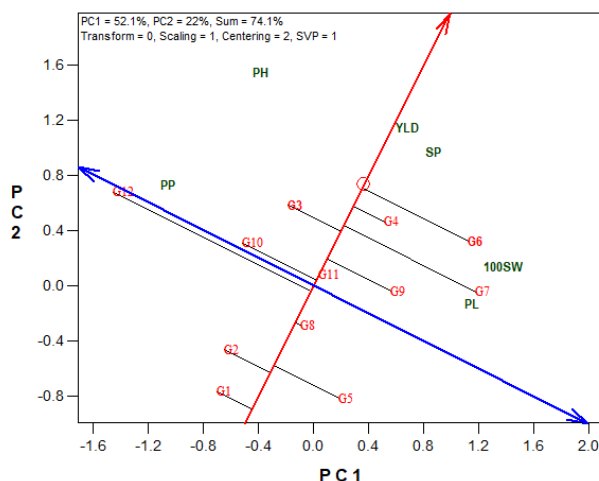
شکل ۶- بای پلات برداری برای نشان دادن روابط بین ژنوتیپ‌ها و صفات.

Fig. 6. Vector biplot for indicating genotypes-traits relationship

PH: ارتفاع گیاه، PL: طول غلاف، PP: تعداد غلاف در گیاه، SP: تعداد دانه در غلاف، YLD: عملکرد دانه، 100SW: وزن صد دانه.

در این بررسی ژنوتیپ G6 و پس از آن ژنوتیپ‌های G4 و G7 نزدیکترین ژنوتیپ به موقعیت رقم ایده‌آل بودند (شکل ۷).

سطح بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار داشتند. بهترین ژنوتیپ، کمترین فاصله نسبت به دایره روی محور را دارد و می‌تواند به عنوان رقم ایده‌آل یا شاهد در بررسی‌های بعدی قرار گیرد



شکل ۷- رتبه‌بندی دوازده ژنوتیپ باقلا بر اساس صفات مورد مطالعه.

Fig. 7. Ranking of 12 faba bean genotypes based on studied traits

PH: ارتفاع گیاه، PL: طول غلاف، PP: تعداد غلاف در گیاه، SP: تعداد دانه در غلاف، YLD: عملکرد دانه، 100SW: وزن صد دانه.

خصوصی برای این شرایط با قابلیت تولید بالاتر از میانگین ارقام شاهد، کمک زیادی به افزایش درآمد کشاورزان خواهد کرد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ژنوتیپ دانه درشت G7 (ILB3554× WRB1-5) سازگاری عمومی بالایی در همه محیطها داشت. عملکرد دانه دارای وراثت پذیری کم و ژنتیک پیچیده‌ای است و توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و به شدت تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد (Barilli *et al.*, 2025). از این رو انتخاب غیرمستقیم و گزینش از طریق صفات مرتبط با آن، صفات دارای وراثت‌پذیری بالا و همبستگی قوی با عملکرد اقتصادی کارآیی بیشتری نسبت به انتخاب مستقیم خواهد داشت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ارتفاع گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه می‌توانند به عنوان معیارهایی مناسبی جهت گزینش برای بهبود عملکرد دانه و کیفیت آن در برنامه به‌نژادی باقلا مورد استفاده قرار گیرند.

### سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای تامین هزینه‌های اجرایی این پژوهش، در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۹۹۱۲۹۲-۱۶۲-۰۳-۵۷-۰۴، سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از مدیریت و همکاران مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی که در اجرای این پروژه با مجریان همکاری و مساعدت لازم را مبذول داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

در این پژوهش ژنوتیپ‌های G4، G3، G6، G7 و G10 در نمودارهای مختلف بای‌پلات، علاوه بر عملکرد دانه بالا از پایداری عملکرد دانه بیشتری نیز برخوردار بودند و می‌توان از آنها برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد دانه و پایداری آن در در برنامه‌های به‌نژادی باقلا استفاده کرد. وجود ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاتر و پایدار در مقایسه با رقم شاهد، نشان‌دهنده بهبود ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی باقلا در کشور است. ژنوتیپ‌های (Leofrontu × WRB G6) (1-5) و (Icarus × WRB 1-5) G4 برای منطقه گرگان و بروجرد مناسب شناخته شدند. لازم به ذکر است هر دو ژنوتیپ حاصل دورگ گیری و انتخاب در جمعیت‌های در حال تفرق باقلا در ایستگاه گرگان می‌باشند.

ژنوتیپ G6 حاصل دورگ گیری بین والد مادری رقم دانه درشت و مقاوم به تنش خشکی Leofrontu و والد پدری بدون تانن WRB1-5 می‌باشد. والد مادری ژنوتیپ G4 رقم مقاوم به لکه شکلاتی Icarus است. ژنوتیپ (FLIP03- G11) (34FB×WRB 1-5) در ایرانشهر و ژنوتیپ‌های G3 (12TER-099-S2008, 034-3) (R. و G10 (Blanka × WRB1-4) در شرایط دزفول از عملکرد بالاتری برخوردار بودند و برای کشت در شرایط تنش گرما و خشکی آخر فصل قابل توصیه هستند. تولید باقلا در شهرستان دزفول و مناطق با اقلیم مشابه با وجود عملکرد کمتر، به علت عرضه محصول خارج از فصل از لحاظ اقتصادی به صرفه است. شناسایی ژنوتیپ‌های دارای سازگاری



عدم تعارض منافع  
نگارندگان اعلام می‌دارند که هیچگونه حقوقی/حقیقی ندارند.

## References

- Akinyosoye, S.T., Agbeleye, O.A., Adetumbi, J.A., Ukachukwu, P.C. and Amusa, O.D. 2023.** Genotype–genotype× environment (GGE) biplot analysis of winged bean for grain yield. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 26, pp.53-63. DOI: 10.2478/ahr-2023-0009
- Angell, A.R., Angell, S.F., de Nys, R. and Paul, N. 2016.** Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends food science technology*, 54, pp.74–84. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.05.0141
- Bangar, S.P. and Kajla, P. 2022.** Introduction: global status and production of faba bean. Pp. 1-15. In: Bangar, S. P. and Dhull, S. B. (eds) *Faba Bean: Chemistry, Properties and Functionality*. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-14587-2\_1
- Barilli, E., Luna, P., Flores, F. and Rubiales, D. 2025.** Agronomic performance of faba bean in Mediterranean environments. *Agronomy*, 15, 412. DOI: 10.3390/agronomy15020412
- Firew, A.M., Amsalu, B. and 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), pp.2135-2145. DOI: 10.5897/Ajar2019.14180
- 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. and Rubiales, D. 2013.** Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Research*, 145(3), pp.1-9. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.01.022
- Ghaffar, M., Asghar, M.J. and Shahid, M. 2023.** Estimation of G × E interaction of lentil genotypes for yield using AMMI and GGE biplot in Pakistan. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), pp.2316–2330. DOI: 10.1007/s42729-023-01182-x
- Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., Kantas, D. and Ipsilandis, C.G. 2023.** Genotype-by-environment interaction analysis for quantity and quality traits in faba beans using AMMI, GGE models, and stability indices. *Plants*, 12(2), pp.3769. DOI: 10.3390/plants12213769


- Hirpa, L., Nigussie, D., Setegn, G., Geremew, B. and Firew, M. 2013.** Multivariate analysis as a tool for indirect selection of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L) for soil acidity tolerance under field conditions. *Science Technology and Arts Research Journal*, 2(3), pp.7-15. DOI: 10.2298/GENSR1202279G
- Khan, M.M.H., Raffi, M.Y., Ramlee, S.I., Jusoh, M. and Mamun, A.M. 2021.** AMMI and GGE biplot analysis for yield performance and stability assessment of selected Bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.) genotypes under the multi-environmental trials (METs). *Scientific Reports*, 11(3), pp.22791. DOI: 10.1038/s41598-021-01411-2
- Koc, S., Orak, A., Tenikecier, H.S. and Saglam, N. 2018.** Relationship between seed yield and yield characteristics in faba bean (*Vicia faba* L.) by GGE-biplot analysis. *Journal of Life Sciences*, 12(1), pp.105-110. DOI: 10.17265/1934-7391/2018.02.005
- Mayer Labba, I.C., Frøkiær, H. and Sandberg, A.S. 2021.** Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba* L., var. minor) cultivars. *Food Research International*, 140(2), pp.11-38. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110038
- Oliveira, T.R., Gravina, G.A., Ferreira de Oliveira, G.H., Cordeiro Araújo, K., Cordeiro de Araujo, L., Figueiredo Daher, R. and Vivas, M. 2018.** The GT biplot analysis of green bean traits. *Ciencia Rural, Santa Maria*, 48(6), e20170757. DOI: 10.1590/0103-8478cr20170757
- Oluyinka, O., Robin, A., Walker, L. and Houdijk, J.G. 2019.** Evaluation of the nutritive value of legume alternatives to soybean meal for broiler chickens. *Poultry Sciences*, 98(1), pp.5778-5788. DOI: 10.3382/ps/pez374
- Rezene, Y. 2019.** GGE-Biplot analysis of multi-environment yield trials of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the southern Ethiopia. *Journal of Plant Studies*, 8(1), pp.35-44. DOI: 10.5539/jps.v8n1p35
- Sabaghnia, N., Dehghani, H. and Sabaghpour, S.H. 2008.** Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. *Agronomy Journal*, 100(2), pp.760-764 (in Persian). DOI: 10.2134/agronj2006.0282
- Sheikh, F., Miri, K., Sekhavat, R. and 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), pp.41-52 (in Persian). DOI: 10.22059/ijfcs.2023.353171.654968
- Sheikh, F., Nazari, H. and Fanaei, H. 2022a.** Graphic analysis of trait relations and

- stability of faba bean genotypes using the biplot method. *Journal of Crop Production*, 15(2), pp. 117-135 (in Persian). DOI: 10.22069/ejcp.2022.19563.2457
- Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H., Parkasi, A. and Aghajani, M.A. 2021.** Evaluation of seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot analysis. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3), pp.85-99 (in Persian). DOI: 10.47176/jcpp.11.3.36412
- Sheikh, F., Sekhavat, R. and Aghajani, M. 2022b.** Evaluation of resistance to leaf spot diseases and yield characteristics in faba bean genotypes through cluster analysis and genotype by trait biplot. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), pp.131-147 (in Persian). DOI: 10.52547/jcb.14.44.131
- Skylas, D.J., Paull, J.G., Hughes, D.G.D., Gogel, B., Long, H., Williams, B., Mundree, S., Blanchard, C.L. and Quail, K.J. 2019.** Nutritional and anti-nutritional seed-quality traits of faba bean (*Vicia faba*) grown in South Australia. *Crop Pasture Sciences*, 70(2), pp.463-472. DOI: 10.1071/CP19017
- Tadele, M., Mohammed, W. and 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), pp.833-846. DOI: 10.1002/agj2.21268
- Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T. and Jarso, M. 2015.** Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3(3), pp.258-268. DOI: 10.1016/j.cj.2015.03.004
- Tolessa, T., Gemechu, K., Tadesse, G., Jarso, M. and Bekele, Y. 2013.** Genotype × environment interaction and performance stability for grain yield in field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. *International Journal of Plant Breeding*, 7(1), pp.116-123. DOI: 10.1002/agj2.21268
- Wondaferew, D., Mullualem, D., Bitewlgn, W., Kassa, Z., Abebaw, Y., Ali, H., Kebede, K. and Astatkie, T. 2024.** Cultivating sustainable futures: multi-environment evaluation and seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by using different stability parameters in Ethiopia. *BMC Plant Biology*, 24(1), pp.1108-1121. DOI: 10.1186/s12870-024-05829-4
- Yan, W. and Fregeau-Reid, J. 2008.** Breeding line selection based on multiple traits. *Crop Science*, 48(3), pp.417-423. DOI: 10.2135/cropsci2007.05.0254
- Yan, W. and Kang, M.S. 2003.** GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists, CRC Press LLC., Boca Raton, Florida, USA. 286 pp.

- Yan, W. and Rajcan, I. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42(1), pp.11-20. DOI: 10.2135/cropsci2002.1100
- Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P.L. 2007.** GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by environment data. *Crop Science*, 47(4), pp.643-655. DOI: 10.2135/cropsci2006

**RESEARCH ARTICLE**

**Graphical Analysis of Seed Yield Stability of Low Tannin Faba Bean  
(*Vicia faba* L.) Genotypes Using GGE Biplot Method**

**F. Sheikh<sup>1\*</sup> , Kh. Miri<sup>2</sup>, R. Sekhavat<sup>3</sup>, H. Asteraki<sup>4</sup> and M. T. Feyzbakhsh<sup>5</sup>**

**1. Associate Professor, Field and Horticultural Crops Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran.**

**2. Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Science Research Department, Baluchestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iranshahr, Iran.**

**3. Researcher, Field and Horticultural Crops Science Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Dezful, Iran.**

**4. Researcher, Field and Horticultural Crops Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Broujerd, Iran.**

**5. Associate Professor, Field and Horticultural Crops Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran.**

**ABSTRACT**

**Sheikh, F., Miri, Kh., Sekhavat, R., Asteraki, H. and Feyzbakhsh, M. T. 2024.** Graphical analysis of seed yield stability of low tannin faba bean (*Vicia faba* L.) Genotypes Using GGE biplot method, *Seed and Plant*, 40, pp.271–293 (in Persian).

Faba bean (*Vicia faba* L.) is an important nitrogen-fixing crop with significant benefits for soil health, sustainability, and crop rotation. One of the most important quality-determining traits in faba bean cultivars is their tannin content. To study the magnitude of  $G \times E$  interaction, to identify faba bean genotypes with high seed yield with yield stability, and wide adaption to specific to target environment(s), 12 low tannin faba bean genotypes were evaluated using randomized complete block design with three replications at four agricultural research field stations, Gorgan, Dezful, Broujerd and Iranshahr, in two cropping seasons (2021-22 and 2022-23). Faba bean genotypes were evaluated using multiple traits and genotype  $\times$  trait interactions. Combined analysis of variance revealed that simple, double, and triple interaction effects of genotype  $\times$  year  $\times$  location was significant ( $p \leq 0.01$ ) on seed yield. GGE biplot analysis showed that the PC1 (26.4%) and PC2 (34.5%) explained 60.9% of the total variation for seed yield. Adapted faba bean genotypes were determined for each mega-environment. Furthermore, Dezful environment demonstrated excellent differentiation ability. Results of the GGE biplot and genotype  $\times$  trait (GT) biplot indicated that G3 (12TER-099-S2008,034-3), G4 (Icarus  $\times$  WRB1-5), G6 (Leofrontu  $\times$  WRB1-5) and G10 (ILB1270  $\times$  WRB1-4) genotypes with high seed yield and yield stability can be considered for being released as new cultivar release for target environments.

**Keywords:** Faba bean, genotype  $\times$  environment interaction, genotype  $\times$  trait interaction, ideal genotype, seed yield.

## Introduction

Faba bean (*Vicia faba* L.) is an important nitrogen-fixing crop with significant benefits for crop rotation. However, their market value depends on their tannin content (Sheikh *et al.*, 2023). The presence of low-tannin or zero-tannin genotypes in the faba bean gene pool has provided suitable conditions for the introduction of low-tannin cultivars in Iran. Faba bean as a cost-effective protein source can be considered as a substitute for soybean (a rich source of amino acids) and corn (a major energy supplier) in feeding livestock and poultry (Angell *et al.*, 2016). One of the major limitations of traditional faba bean varieties for feeding poultry is high tannin content. Considering the importance of using faba bean in poultry diet and diverse climatic conditions of Iran, relying on one or two limited cultivars would not be sufficient. The aim of this study was to compare different low tannin faba bean genotypes for several traits and analyze the correlation between their different traits as well as to select the superior genotypes based on the combination of agronomic traits and seed yield using biplot GGE and GT biplot methods. The GGE In recent years, biplot analysis has evolved into an important technique in crop improvement and agricultural research (Rezene *et al.*, 2019).

## Materials and Methods

To understand the magnitude genotype  $\times$  environment interactions and to compare genotypes performance over growing seasons and locations, 12 low tannin genotypes To study the magnitude of  $G \times E$  interactions, and to identify faba bean genotypes with high seed yield with yield stability, wide and specific adaptability to target environment(s), 12 low tannin faba bean genotypes were evaluated using randomized complete block design with three replications at four agricultural research field stations, Gorgan, Dezful, Broujerd and Iranshahr, in two cropping seasons (2021-22 and 2022-23). Faba bean genotypes were evaluated using multiple traits and genotype  $\times$  trait (GT) interactions. Plant height, pod no. plant<sup>-1</sup>, seed no. pod<sup>-1</sup>, pod no. plant<sup>-1</sup>, 100 seed weight (100SW), and seed yield were measured. Combined analysis of variance was performed were analyzed using SAS software. The Duncan's multiple range test, at the 5% probability level, was used for mean comparison. GGE-biplot was employed to analyze  $G \times E$  interaction (GE) and assessment of yield stability of faba bean genotypes. The GT biplot method was used to show the genotype  $\times$  trait interactions. All biplots presented in this study were generated using the GGE biplot software package.

## Results and Discussion

Combined analysis of variance indicated significant ( $p \leq 0.01$ ) differences among genotypes for all traits. The analysis also demonstrated that the test environments, genotype, and GE interaction significantly contributed by 49.4%, 22.6%, and 22.7% of the total variation of seed yield, respectively. When the expression of the genetic potential of the genotype is influenced by the environmental factors, screening of genotypes with

high yield and higher yield stability is a very important breeding strategy (Sheikh *et al.*, 2023). The yield stability was assessed using the GGE biplot method across two growing season and four locations (eight environments). The determination of seed yield stability of genotypes enables breeders for cultivar selection and recommendations despite the variable environmental conditions (Yan *et al.*, 2007). GGE biplot analysis revealed that the PC1 and PC2 explained 60.9% of the total variation of seed yield. Based on polygon view of biplot adapted genotypes were determined for each mega-environment (Rezene *et al.*, 2019).

In Gorgan and Broujerd, G6 (Leofrontu × WRB 1-5) and G4 (Icarus × WRB 1-5) genotypes were adapted. The GT biplot showed that PC1 (52.2%) and PC2 (22%) explained 74.2% of total variation of the standardized data. The biplot vector view indicated that there was a strong positive correlation between seed yield and plant height, pods no. plant<sup>-1</sup>, seed no. pod<sup>-1</sup>, and 100 seed weight. Therefore, these traits can be used as selection criteria for improving of seed yield in faba bean breeding programs. Results of the GGE biplot and genotype × trait (GT) biplot indicated that G3 (12TER-099-S2008,034-3), G4 (Icarus × WRB1-5), G6 (Leofrontu × WRB1-5) and G10 (ILB1270 × WRB1-4) genotypes with high seed yield and yield stability can be considered for being released as new cultivar for target environments.

## References

- Angell, A.R., Angell, S.F., de Nys, R. and Paul, N. 2016.** Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends food science technology*, 54, pp.74–84. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.05.0141
- Rezene, Y. 2019.** GGE-Biplot analysis of multi-environment yield trials of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the southern Ethiopia. *Journal of Plant Studies*, 8(1), pp.35-44. DOI: 10.5539/jps.v8n1p35
- Sheikh, F., Miri, K., Sekhavat, R. and 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), pp.41-52 (in Persian). DOI: 10.22059/ijfcs.2023.353171.654968
- Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P.L. 2007.** GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by environment data. *Crop Science*, 47(4), pp.643-655. DOI: org/10.2135/cropsci2006

\*Corresponding author: sheikhfatemeh@yahoo.com

Tel.: +981732175240

Received: 11 June 2024

Accepted: 18 August 2024



2024© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.