

“مجله نهال و بذر”  
جلد ۳۷، شماره ۱، سال ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه لاین های امید بخش باقلا (*Vicia faba* L.)  
با استفاده از تجزیه AMMI

Assessment of Genotype × Environment Interaction and Seed Yield Stability of  
Faba Bean (*Vicia faba* L.) Promising lines Using AMMI Analysis

فاطمه شیخ<sup>۱</sup>، رضا سخاوت<sup>۲</sup>، حسین آسترکی<sup>۳</sup> و علیرضا پرکاسی<sup>۴</sup>

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱

چکیده

شیخ، ف.، سخاوت، ر.، آسترکی، ح. و پرکاسی، ع. ۱۴۰۰. بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه لاین های امید بخش باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از تجزیه AMMI. مجله نهال و بذر ۳۷: ۲۲-۱.

این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه ۱۵ لاین امید بخش باقلا و ارقام شاهد به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) در ایستگاه های تحقیقاتی گرگان (دیم)، دزفول (آبی)، بروجرد (دیم) و ایرانشهر (آبی) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که ژنوتیپ های باقلا از نظر تعداد روز تا ۵۰ درصد گل دهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه تفاوت معنی دار داشتند. لاین های WRB2-7 × Giza Blanca و ILB1266 × ILB1814، FLIP03-069FB. اثر اصلی محیط ۷۶/۴۳ درصد از تغییرات کل عملکرد را به خود اختصاص داد، در حالی که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۶/۳۱ و ۱۷ درصد بود. بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش تجزیه چند متغیره اثر اصلی جمع پذیر و برهمکنش ضرب پذیر (AMMI) نشان داد شش مؤلفه اصلی مدل AMMI معنی دار بودند و ۹۹/۶۹ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. بر اساس ارزش پایداری امی (ASV)، لاین های WRB2-7 × Giza Blanca، ILB 3626، BPL465، Barkat × BPL465 و رقم برکت دارای پایداری عملکرد دانه و ژنوتیپ Barkat × New Mammoth و رقم زرشکی با داشتن بیشترین برهمکنش ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه ناپایدار داشتند. همچنین محیط های گرگان و بروجرد به دلیل داشتن برهمکنش ژنوتیپ × محیط بالا، به عنوان محیط ایده آل جهت تمایز بین لاین های باقلا شناخته شدند. در نهایت لاین WRB2-7 × Giza Blanca با میانگین عملکرد دانه ۳۲۸۸ کیلوگرم در هکتار، پایداری عملکرد بالا و سازگاری وسیع برای نامگذاری و معرفی به عنوان رقم تجاری جدید برای مناطق هدف شناسایی شد.

واژه های کلیدی: باقلا، اثر اصلی جمع پذیر و برهمکنش ضرب پذیر، ارزش پایداری امی، عملکرد دانه و محیط ایده آل

تلفن: ۰۱۷۳۲۱۷۴۲۴

نگارنده مسئول: sheikhfatemeh@yahoo.com

## مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) متعلق به تیره بقولات است که دارای ژنوم  $2n = 2x = 12$  می باشد. انواع بذر ریز و متوسط باقلا را Field bean و انواع بذر درشت آن را Broad bean می نامند (Katerj *et al.*, 2009). این محصول زراعی به دلیل داشتن پروتئین بالا، املاح معدنی، ویتامین و ترکیبات زیست فعال در دنیا حائز اهمیت است. همچنین این محصول در حفظ پایداری نظام های کشاورزی و تثبیت نیتروژن جوی از طریق همزیستی بسیار کارآمد است (Karkanis *et al.*, 2018; Tadele, 2019).

بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) باقلا از نظر اهمیت بعد از لوبیا، نخود فرنگی و نخود چهارمین حبوبات از نظر سطح زیر کشت می باشد. به طور کلی در حدود ۲/۱ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی دنیا به کشت باقلا اختصاص دارد و تولید آن در جهان بالغ بر ۴/۱ میلیون تن با عملکردی بین ۶-۱ تن در هکتار است (FAO, 2017). این گیاه یکی از قدیمی ترین گیاهان زراعی ایران است و عمدتاً در استان های خوزستان، لرستان، اصفهان، کاشان، گلستان و مازندران کشت می شود. باقلا از حبوبات با ارزش غذایی بالا است و در تناوب، الگوی کشت و سبب غذایی خانوار جایگاه ویژه ای دارد (Sheikh and Feyzbakhsh, 2019).

دستیابی به ارقام با عملکرد بالا و دامنه

سازگاری وسیع مهمترین هدف به نژادگران می باشد که البته اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دستیابی به این مهم را دشوار می سازد. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط پاسخ ژنوتیپ های مختلف در مقابل تغییرات شرایط محیطی است و یکی از مهم ترین عوامل تعیین کننده عملکرد است (Vargas *et al.*, 1999). به منظور بهره وری از تنوع موجود و معرفی ارقام جدید باقلا بایستی ژنوتیپ ها و لاین های اصلاح شده باقلا در چند محیط بررسی شوند و با استفاده از روش های تجزیه پایداری بهترین ژنوتیپ برای هر محیط معرفی شود.

روش های تعیین ژنوتیپ های با عملکرد پایدار، شامل روش های تک متغیره، چند متغیره مبتنی بر تجزیه به مؤلفه های اصلی شامل AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) و GGE-Biplot و روش های ناپارامتری هستند (Yan *et al.*, 2000; Shiri and Bahrapour, 2016). مقایسه روش های تک متغیره و چند متغیره نشان داده است که روش AMMI به دلیل بررسی همزمان گرافیکی ارقام و محیط ها از طریق نمودارهای بای پلات کاربرد تری از روش های تک متغیره است و برای درک جنبه های مختلف اثر متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده از روش های آماری چند متغیره توصیه می شود (Rabiei and Khodambashi, 2020). در روش چند متغیره AMMI اثر افزایشی (تجزیه واریانس) و اثر ضرب پذیر (تجزیه

همکاران (Flores *et al.*, 1996) در جنوب اسپانیا، انجام شده است.

هدف از این پژوهش بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط لاین های امید بخش باقلا با استفاده از روش چند متغیره AMMI و شناسایی لاین های با عملکرد بالا و پایدار جهت نامگذاری و معرفی برای کشت در مناطق مختلف اقلیم های معتدل سرد، معتدل و گرم کشور بود.

### مواد و روش ها

برای بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین های باقلا، ۱۵ لاین امید بخش باقلا به همراه ارقام شاهد برکت، زرشکی، سرازیری و بلوچی (جدول ۱) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه های تحقیقات کشاورزی گرگان، دزفول، بروجرد و اراک (جدول ۲)، به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶) کشت و ارزیابی شدند. هر کرت شامل شش ردیف چهار متری به فواصل ۶۰ سانتی متر از یکدیگر بود.

آماده سازی زمین با استفاده از شخم عمیق و دو مرحله دیسک صورت گرفت. بر اساس آزمون خاک کوددهی انجام شد. وجین علف های هرز بسته به منطقه ۳-۴ بار به صورت دستی انجام شد. در ایستگاه های تحقیقات کشاورزی گرگان و بروجرد کشت باقلا به صورت دیم انجام شد. در ایستگاه های دزفول و اراک بر حسب نیاز و مشابه شرایط زارعین ۳-۷ بار آبیاری انجام شد. در طول دوره رشد از

به مؤلفه های اصلی) به طور همزمان بررسی می شوند (Gauch, 2006; Yan *et al.*, 2007).

استفاده از روش AMMI برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در گیاهان مختلف مانند لویا (Firew *et al.*, 2019)، تنباکو (Sadeghi *et al.*, 2011)، نخود (Sabaghpour *et al.*, 2012)، جو (Maniruzzaman *et al.*, 2019)، ذرت (Brankovic-Radojicic *et al.*, 2018)، سویا (Liu *et al.*, 2017)، برنج (Sharifi *et al.*, 2018)، چغندر قند (Ciric *et al.*, 2017)، آفتابگردان (Nasir Mousavi, 2018)، گندم دروم (Tekdal and Kendal, 2018)، گلرنگ (Mohammadi *et al.*, 2016)، یولاف (Safavi and Bahraminejad, 2017) و کلزا (Bocianowska *et al.*, 2020) گزارش شده است.

با توجه به تغییرات زیاد خصوصیات مرفولوژیک و زراعی ژنوتیپ های باقلا در محیط های مختلف، مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باقلا حائز اهمیت است (Tolessa *et al.*, 2019). از روش AMMI برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ارقام و ژنوتیپ های باقلا در چندین مطالعه از قبیل مطالعه تدرز و همکاران (Tadesse *et al.*, 2016) بر روی ۲۱ ژنوتیپ در هشت محیط در اتیوپی، تکاگلین و همکاران (Tekalign *et al.*, 2017) بر روی پایداری عملکرد و مقاومت به بیماری لکه شکلاتی، تولسا و همکاران (Tolessa *et al.*, 2019) در اتیوپی، فلورز و

سم حشره کش پرمیکارپ به میزان نیم لیتر در هکتار جهت کنترل شته سیاه باقلا استفاده شد.

جدول ۱- شماره، منشاء، شجره و کد ژنوتیپ‌های باقلا

Table 1. Number, origin, pedigree and code of faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype no.	نام/شجره Name/Pedigree	منشاء Origin	کد ژنوتیپ Genotype code
G1	Giza Blanca	ICARDA	G-Faba -10
G2	ILB 3626	ICARDA	G-Faba -12
G3	FLIP03-61FB (F6/1767/03/HBP/C.Spot × Ascot × Oro/776-3)	ICARDA	G-Faba -57
G4	line F6 latt/440/08	ICARDA	G-Faba -145
G5	FLIP06-23FB(HBPES0/2000-fam7690-1)	ICARDA	G-Faba -161
G6	F8/7093/06 - A	ICARDA	G-Faba -180
G7	Barkat × ILB 1270	Gorgan	G-Faba -517
G8	Barkat × Giant	Gorgan	G-Faba -519
G9	Barkat × New Mammoth	Gorgan	G-Faba -520
G10	Barkat × BPL 465	Gorgan	G-Faba -524
G11	Barkat × 98 264-1	Gorgan	G-Faba -525
G12	S 2008,033(WRB2-7 × Giza Blanca)	ICARDA	G-Faba -256
G13	S 2008,034(WRB1-3 × Giza Blanca)	ICARDA	G-Faba -257
G14	FLIP03-069FB	ICARDA	G-Faba -288
G15	ILB1266 × ILB1814	ICARDA	G-Faba -332
G16	Barekat	Check	G-Faba -20
G17	Zereshki	Check	G-Faba -19
G18	Saraziri	Check	G-Faba -5
G19	Baloochi	Check	G-Faba -334

جدول ۲- میانگین بارندگی سالانه، ارتفاع از سطح دریا و کد محیط‌های محل آزمایش

Table 2. Average annual rainfall, altitude above sea level and environment codes

Location	مکان	ارتفاع (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	میانگین بارندگی (میلیمتر) Average rainfall (mm)		میانگین دمای سالانه Average annual temperature	کد محیط Environment code	
					۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶		۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶
					2015-16	2016-17		2015-16	2016-17
Gorgan	گرگان	5	36° 54' N	54° 25' E	495.0	338.0	19.00	E1	E5
Dezful	دزفول	83	32° 20' N	48° 30' E	244.7	210.4	23.17	E2	E6
Broujerd	بروجرد	1520	33° 89' N	48° 76' E	435.6	405.3	14.60	E3	E7
Iranshahr	ایرانشهر	591	27° 15' N	60° 40' E	121.0	104.0	26.50	E4	E8

صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی،  
ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در  
غلاف و وزن صد دانه در طول فصل زراعی و  
پس از برداشت ثبت شدند. در زمان رسیدگی  
کامل برداشت از چهار خط میانی و با حذف نیم  
متر از ابتدا و انتهای کرت انجام شد.  
برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای  
اطمینان از همگنی واریانس خط‌های آزمایشی  
آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس مرکب  
داده‌ها با فرض ثابت بودن ژنوتیپ‌ها و تصادفی

به ترتیب مربوط به مجموع مربعات اولین و دومین مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط، IPCA1 و IPCA2 به ترتیب مربوط به مقدار مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها می‌باشد. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از رتبه عملکرد دانه و پارامتر ASV به روش وارد (Ward) و بر اساس توان دوم فاصله اقلیدسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد (SPSS, 2010). برش دندروگرام‌های حاصل براساس مقادیر آماره ویلکس لامبدا (Wilk's Lamda)، بود (Moghaddam *et al.*, 1995).

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها بر اساس روش کمترین مربعات با ثابت انگاشتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر سال و مکان برای صفات روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه انجام شد.

### نتایج و بحث

آزمون بارتلت برای تایید همگنی واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد. با توجه به اینکه آماره کای دو ( $\chi^2$ ) آزمایش با درجه آزادی هفت از مقدار جدول در سطح احتمال یک درصد کوچک‌تر بود، لذا فرض همگنی واریانس خطای آزمایشی رد نشد.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مکان‌های مورد بررسی

بودن اثر سال و مکان با استفاده از نرم‌افزار SAS ver 9.1 (SAS Institute Inc, 2011) انجام گردید. و پس از آن تجزیه‌های AMMI با استفاده از نرم‌افزار GenStat انجام گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver 14 (MINITAB, 2005) استفاده شد. روش تجزیه AMMI از ANOVA (اثر افزایشی) و PCA (اثر ضرب‌پذیر) برای برآورد پایداری و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده می‌کند. برای تجزیه پایداری به روش AMMI از مدل آماری زیر استفاده شد.

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \epsilon_{ge} \quad (1)$$

که در آن  $Y_{ger}$  عملکرد ژنوتیپ گام در محیط  $e$ ام و تکرار  $r$ ام،  $\mu$  میانگین کل،  $\alpha_g$  و  $\beta_e$  به ترتیب اثر اصلی ژنوتیپ و محیط،  $\lambda_n$  مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی  $n$ ام،  $\alpha_{gn}$  بردار ویژه ژنوتیپ برای محور گام از  $n$  مؤلفه اصلی برهمکنش،  $\gamma_{en}$  بردار ویژه محیط برای محور  $e$ ام از  $n$  مؤلفه اصلی برهمکنش،  $\rho_{ge}$  مقدار نویز و  $\epsilon_{ge}$  مربوط به خطا است (Firew *et al.*, 2019)

برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار و محیط‌های ایده‌ال، از پارامتر ارزش پایداری امی (ASV = AMMI Stability Value) بر اساس رابطه زیر استفاده شد (Purchase *et al.*, 2000).

$$ASV = \sqrt{\frac{SS_{IPCA1} (IPCA1_{score})^2 + (IPCA2_{score})^2}{SS_{IPCA2}}}$$

در رابطه بالا  $SS_{IPCA1}$  و  $SS_{IPCA2}$

در مطالعه حاضر با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تأیید آن بر اساس میانگین عملکرد دانه متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، برای تعیین پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها و بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط از روش چندمتغیره AMMI استفاده شد (جدول ۵). تجزیه AMMI نشان داد، اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). اثر محیط ۷۶/۴۳ درصد تغییرات، اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۶/۳۱ و ۱۷ درصد تغییرات مجموع مربعات سه منبع تغییر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). 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).

تحقیقات فیکر و همکاران (Fikere et al., 2008) بر روی باقلا نیز نشان داد که ۸۸/۵ درصد از مجموع مربعات کل مربوط به اثر محیط بود. نتایج مطالعات سایر محققان نیز بر روی سایر محصولات نشان داد تغییرات محیطی بخش عمده واریانس مشاهده شده را شامل می‌شوند (Sadeghi et al., 2011; Sabaghpour et al., 2012; Brankovic-Radojic et al., 2018).

برای صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳)، که با توجه به تنوع اقلیمی، میزان بارندگی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها دور از انتظار نبود (جدول ۲). ژنوتیپ‌های باقلا نیز برای صفات مورد بررسی تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. عمار و همکاران (Ammar et al., 2015) نیز با بررسی صفات مرفولوژیکی ۴۰ ژنوتیپ باقلا تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مختلف گزارش کردند.

در ایستگاه گرگان و بروجرد در سال اول مقدار بارندگی بیشتر بود (جدول ۲)، این سبب افزایش عملکرد در سال پرباران در این دو ایستگاه دیم شد. در ایستگاه‌های دزفول و ایرانشهر مقدار عملکرد دانه به بارندگی وابسته نبود، در این دو ایستگاه تنش‌های دمایی نقش مهمی در تعیین اجزای عملکرد داشت. دمای بالای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در زمان تشکیل غلاف منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته و در نتیجه عملکرد شد.

رقم بلوچی و ژنوتیپ G15 کمترین تعداد روز تا گلدهی را به خود اختصاص دادند. رقم برکت بیشترین ارتفاع بوته و تعداد دانه در غلاف، ژنوتیپ G3 بیشترین تعداد غلاف در بوته و ژنوتیپ G11 بیشترین وزن صد دانه را به خود اختصاص دادند. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ G14 بیشترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۴).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا

Table 3. Combined analysis of variance for seed yield of faba bean genotypes

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS					
			روز تا گلدهی Day to flowering	ارتفاع بوته Plant height	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	عملکرد دانه Seed yield
Location (L)	مکان	3	46161.82**	55054.52**	5837.50**	12.64**	11845.49**	168594962.10**
Year (Y)	سال	1	28.00**	529.18**	39.89*	0.27	71.64	185380.90*
L × Y	سال × مکان	3	43.78**	6639.22**	92.84**	1.64**	525.74**	1992755.20**
Error 1	خطای ۱	16	5.08	35.43	8.14	0.11	122.29	60543.80
Genotype (G)	ژنوتیپ	18	59.09**	437.36**	231.25**	2.80**	2885.23**	2349975.00**
L × G	ژنوتیپ × مکان	54	46.78**	276.42**	69.72**	0.44**	1276.84**	1967024.40**
Y × G	ژنوتیپ × سال	18	5.40**	91.81**	19.57**	0.21	149.39*	132062.30**
L × Y × G	ژنوتیپ × سال × مکان	54	7.03**	108.96**	17.88**	0.19**	134.36*	127687.40**
Error 2	خطای ۲	288	1.03	31.55	5.10	0.20	82.30	29642.00

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

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

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی خصوصیات زراعی، عملکرد دانه و اجزای آن برای ژنوتیپ‌های باقلا

Table 4. Mean comparison of some agronomic characteristics, seed yield and its components for faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype no.	روز تا گلدهی Day to flowering	ارتفاع بوته (سانتیمتر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Pod no. plant <sup>-1</sup>	تعداد دانه در غلاف Seeds no. pod <sup>-1</sup>	وزن صد دانه (گرم) 100 seed weight (g)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )
G1	98.58	71.93	10.04	3.30	119.77	2684.5
G2	98.25	69.85	11.33	3.22	117.72	2575.5
G3	99.41	74.87	19.19	3.26	99.49	2936.3
G4	99.54	74.03	15.33	3.29	102.79	2801.7
G5	99.83	69.02	16.96	2.68	94.95	2846.0
G6	99.16	74.25	14.33	3.26	106.11	3262.6
G7	97.95	77.83	12.77	3.6	110.52	3128.8
G8	98.87	74.98	10.50	3.4	129.22	2849.0
G9	99.95	79.31	11.17	3.92	129.64	3117.9
G10	100.08	73.65	10.37	3.62	115.95	2844.3
G11	100.04	73.87	10.29	3.36	134.48	3121.6
G12	98.25	80.35	14.17	3.10	113.13	3288.6
G13	96.54	74.41	13.14	3.16	112.29	3095.0
G14	96.41	81.72	13.52	3.05	117.86	3478.0
G15	95.79	75.54	12.30	3.18	119.65	3439.4
G16	96.16	82.81	9.51	4.01	118.76	3195.0
G17	96.79	81.65	15.42	3.20	85.63	2611.3
G18	96.70	78.33	10.94	3.33	112.09	2910.8
G19	95.79	83.52	7.31	2.81	106.45	2250.9
LSD5%	0.57	3.19	1.09	0.22	5.06	305.59



جدول ۵- تجزیه AMMI برای عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های باقلا

Table 5. AMMI analysis for seed yield of faba bean genotypes

S. O. V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	درصد توجیه واریانس کل Total variation explained (%)	درصد توجیه واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط Genotype × environment variance explained (%)
Environment (E)	محیط	7	73135519.00**	76.43	
Genotype (G)	ژنوتیپ	18	2349974.00**	6.31	
Error 1	خطای ۱	16	60543.80**	-	
Interaction (G × E)	اثر متقابل	126	916599.80**	17.00	100.00
IPCA1	مؤلفه اول	24	2289367.00**		47.57
IPCA2	مؤلفه دوم	22	1759371.00**		33.51
IPCA3	مؤلفه سوم	20	665495.50**		11.52
IPCA4	مؤلفه چهارم	18	207898.80**		3.24
IPCA5	مؤلفه پنجم	16	190958.20**		2.64
IPCA6	مؤلفه ششم	14	98785.98**		1.19
Residuals	باقیمانده	12	2918088.00		
Error2	خطای ۲	288	31268.41		
Total	کل	455			

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

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

بررسی همبستگی ژنوتیپ × محیط و پایداری...

۹۲/۶۱ درصد از تغییرات را توجیه نمودند (جدول ۵).

فیکر و همکاران (Fikere *et al.*, 2008) از روش AMMI برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های باقلا استفاده و گزارش کردند که چهار مؤلفه اول ۸۲/۱۰ درصد از مجموع مربعات برهمکنش را توجیه کردند. تولسا (Tolessa, 2015)، در بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش AMMI در باقلا اظهار داشتند، سهم دو مؤلفه اول از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۶۶/۶ درصد بود. در آزمایشی بر روی لوبیا با استفاده از روش AMMI سه مؤلفه اصلی اول اثر متقابل معنی دار شد و ۶۷/۲ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه نمود (Pereira *et al.*, 2014). تمسجنا و همکاران (Temesgena *et al.*, 2015) نیز پس از انجام تجزیه AMMI اظهار داشتند، دو مؤلفه اول به ترتیب ۷۳/۵۵ و ۱۵/۴۴ درصد از واریانس و در مجموع ۸۸/۹۹ درصد از واریانس اثر متقابل مشاهده شده را توجیه کردند.

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه همراه با مقادیر سه مؤلفه اصلی ژنوتیپ × محیط ( $IPCA_k$ ) و پارامتر پایداری ASV در جدول ۶ ارائه شده است. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی برابر با ۲۹۷۰/۹ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۲۲۵۰/۸ تا ۳۴۷۸ کیلوگرم در

از طرفی معنی دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نیز نشان‌دهنده عملکرد متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف در محیط‌های مختلف است (جدول ۵). در مطالعه فیکر و همکاران (Fikere *et al.*, 2008) و ازناکچ و همکاران (Asnakech *et al.*, 2017) بر روی پایداری عملکرد دانه باقلا نیز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی دار بود. کاهش تنوع ژنتیکی باعث می‌شود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی دار نباشد و در نهایت منجر به بروز فرسایش ژنتیکی در گیاهان در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌شود (Kang *et al.*, 2004). از سوی دیگر معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و عدم توجه به آن موجب کاهش کارایی گزینش ژنتیکی می‌گردد (Kooshki *et al.*, 2016).

بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش AMMI نشان داد که شش مؤلفه اصلی دارای برهمکنش معنی دار بودند و مابقی مؤلفه‌های اصلی با برهمکنش غیر معنی دار، به عنوان باقیمانده در نظر گرفته شدند. به منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از مدل AMMI تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس باقی مانده صورت گرفت که شش مؤلفه اصلی اول در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند و در مجموع ۹۹/۶۹ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند که سهم هر یک به ترتیب برابر با ۴۷/۱۷، ۳۳/۵۱، ۱۱/۵۲، ۳/۲۴، ۲/۶۴ و ۱/۱۹ درصد بود و سه مؤلفه اول

جدول ۶- میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و رتبه ژنوتیپ‌های باقلا

Table 6. Mean seed yield, the values of the main components and the rank of faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype no.	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )	رتبه عملکرد دانه Seed yield rank	IPCA1	IPCA1 rank	IPCA2	IPCA2 rank	IPCA3	IPCA3 rank	<sup>a</sup> ASV	ASV rank	<sup>b</sup> ASR
G1	2684.51	16	-0.46	16	0.33	15	-0.28	12	0.74	15	14.80
G2	2575.54	18	-0.05	2	-0.05	6	-0.40	19	0.16	2	9.40
G3	2944.63	10	0.21	13	-0.48	18	-0.07	4	0.21	6	10.20
G4	2802.97	15	0.14	10	-0.24	13	0.24	10	0.30	9	11.40
G5	2846.05	13	0.24	15	-0.06	8	0.24	11	0.21	5	10.40
G6	3262.60	4	0.14	9	0.02	2	0.37	18	0.31	10	8.60
G7	3128.85	6	-0.76	18	-0.14	10	0.00	1	0.81	16	10.20
G8	2848.97	12	-0.10	5	0.40	17	-0.01	2	0.23	7	8.60
G9	3117.86	8	-0.05	1	0.22	12	0.14	6	1.36	19	9.20
G10	2844.94	14	-0.11	8	-0.02	3	-0.13	5	0.16	3	6.60
G11	3121.64	7	-0.15	12	-0.01	1	-0.28	14	1.01	17	10.20
G12	3288.65	3	0.07	3	-0.28	14	0.20	8	0.09	1	5.80
G13	3094.96	9	0.07	4	-0.18	11	0.22	9	0.56	14	9.40
G14	3478.00	1	0.22	14	0.02	4	0.28	13	0.31	11	8.60
G15	3439.39	2	-0.51	17	-0.36	16	0.29	15	0.35	12	12.40
G16	3195.28	5	0.14	11	-0.12	9	-0.32	16	0.20	4	9.00
G17	2611.43	17	0.96	19	-0.02	5	-0.19	7	1.08	18	13.20
G18	2910.80	11	-0.11	6	-0.05	7	-0.33	17	0.42	13	10.80
G19	2250.89	19	0.11	7	1.00	19	0.04	3	0.23	8	11.20

<sup>a</sup>ASV: AMMI stability value.

<sup>b</sup>ASR: Average of sum of ranks.

بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری...

ASV که با استفاده از دو مؤلفه اصلی اول محاسبه شد، به ترتیب ژنوتیپ‌های G2، G12، G10، G16 و G5 به ترتیب دارای پایدارترین عملکرد و ژنوتیپ‌های G9، G17، G11، G7 و G1 به ترتیب واحد ناپایدارترین عملکرد بودند (جدول ۶). ژنوتیپ G12 با داشتن عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل آزمایش، به عنوان ژنوتیپ دارای عملکرد و پایداری عملکرد دانه بالا شناخته شد. لازم به ذکر است که ژنوتیپ G12 بعد از ژنوتیپ‌های G14 و G15 رتبه سوم عملکرد دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۶). میانگین عملکرد دانه محیط‌های آزمایشی به همراه مقادیر سه مؤلفه اول برهمکنش محیطی و پارامتر پایداری ASV جهت بررسی پایداری محیط‌ها در جدول ۷ نمایش داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه محیطی به ترتیب مربوط به محیط‌های Gor16 (گرگان سال اول با مقدار ۴۲۶۳/۹۸ کیلوگرم در هکتار) و Irshr16 (ایران شهر سال اول با مقدار ۱۷۰۵/۳۴ کیلوگرم در هکتار) بود. محیط‌های Dez16 (دزفول سال اول)، Irshr16 (ایران شهر سال اول) و Irshr17 (ایران شهر سال دوم) با داشتن کمترین مقدار پارامتر ASV به عنوان پایدارترین و محیط‌های Gor17 (گرگان سال دوم)، Gor16 (گرگان سال اول)، Brjd16 (بروجرد سال اول) و Brjd17 (بروجرد سال دوم) با داشتن بالاترین مقدار پارامتر ASV به عنوان ناپایدارترین محیط‌ها شناخته شدند.

هکتار متغیر بود و ژنوتیپ‌های G19 و G14 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های G6، G7، G9، G11، G12، G13، G14، G15 و G16 نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیشتر بود.

مدل AMMI به تنهایی پایداری کمی را پیش‌بینی نمی‌کند. چنین معیاری برای تعیین کمیت و رتبه بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس پایداری صفت آنها بسیار مهم است (Firew *et al.*, 2019). برای این منظور می‌توان از آماره‌های  $SIPC_1$  (Sum of the value of the IPC scores)،  $AMGE_1$  (Eigenvector values)  $EV_1$  و  $ASV$  (Sum across environments of GEI) استفاده نمود.

در سه آماره اول تنها از مؤلفه اول (IPCA1) استفاده می‌شود، بنابراین از اعتبار کمتری برخوردار هستند، بهترین آن‌ها پارامتر پایداری امی ASV است. در روش ASV ژنوتیپ‌هایی که حداقل نمره ASV دارند، دارای پایدارترین عملکرد هستند (Purchase *et al.*, 2000). از پارامتر ASV به عنوان یک معیار کمکی برای تعریف ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدارتر در لویاسفید (Firew *et al.*, 2019)، لویای معمولی (Tadele *et al.*, 2018)، نخود (Zali *et al.*, 2009) و سایر محصولات مانند گندم (Farshadfar *et al.*, 2011) استفاده شده است.

در این پژوهش براساس پارامتر پایداری

جدول ۷- میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و رتبه محیط‌های آزمایشی

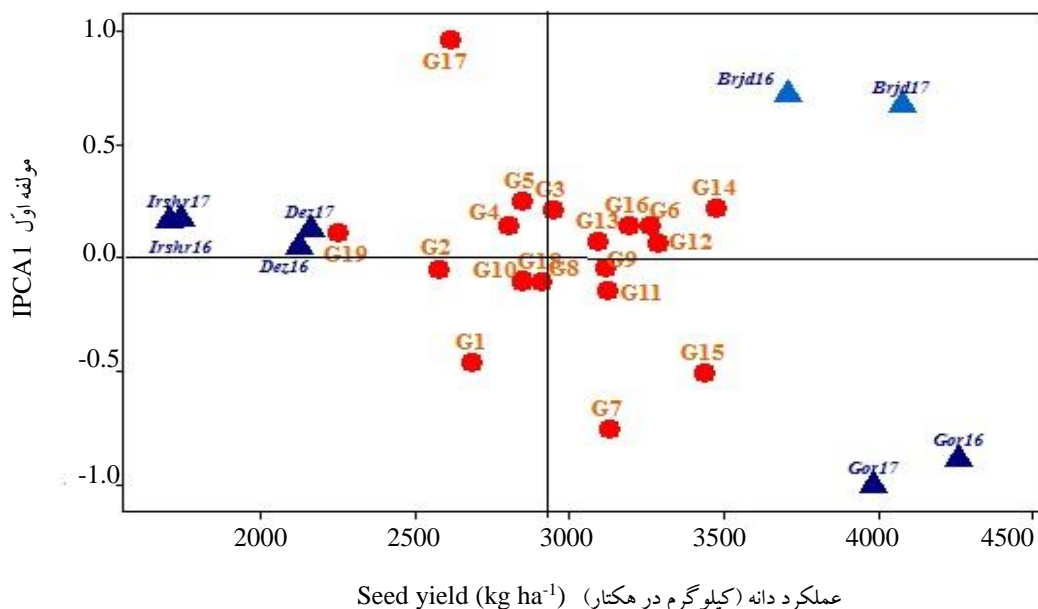
Table 7. Mean seed yield, the values of the main components and the rank of experimental environments

محیط	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	رتبه عملکرد دانه	IPCA1	IPCA1 rank	IPCA2	IPCA2 rank	IPCA3	IPCA3 rank	<sup>a</sup> ASV	ASV rank	<sup>b</sup> ASR
Enviroment	Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Seed yield rank									
Gor16	4263.98	1	-0.88	7	-0.37	4	-0.21	2	1.31	7	4.2
Dez16	2123.86	6	0.04	1	0.03	1	-0.34	6	0.07	1	3.0
Brjd16	3709.94	4	0.71	6	-0.55	5	0.71	7	1.16	6	5.6
Irshr16	1705.34	8	0.16	3	0.87	8	0.71	8	0.90	4	6.2
Gor17	3987.14	3	-1.00	8	-0.20	3	-0.29	5	1.43	8	5.4
Dez17	2159.35	5	0.12	2	-0.04	2	-0.08	1	0.18	2	2.4
Brjd17	4080.54	2	0.67	5	-0.61	6	-0.24	3	1.13	5	4.2
Irshr17	1737.40	7	0.17	4	0.86	7	-0.27	4	0.90	3	5.0

<sup>a</sup>ASV: AMMI stability value.<sup>b</sup>ASR: Average of sum of ranks

نمودار بای پلات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. محور افقی نشانگر اثر اصلی جمع پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی اثر متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) است. در شکل ۱ خط عمود در میانه بای پلات بیانگر میانگین عملکرد دانه کل دو سال آزمایش می‌باشد. بنابراین محیط‌ها و ژنوتیپ‌های سمت راست این خط دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل می‌باشند. با توجه به این توضیح ژنوتیپ‌های G6،

پارامتر میانگین رتبه (ASR) که بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه و سه مؤلفه اصلی معنی دار محاسبه شده بود، نیز همراستا با نتایج پارامتر پایداری ASV در شناسایی محیط‌های پایدار و ناپایدار بود (جدول ۶). نکته قابل توجه این است که محیط‌هایی مناسب و ایده آل محسوب می‌شوند که دارای برهمکنش بزرگ باشند. زیرا در این محیط‌ها تفاوت بین ژنوتیپ‌ها بهتر نمایان می‌شود. بنابراین با توجه به این نکته، محیط‌های گرگان و بروجرد به دلیل دارا بودن برهمکنش بزرگ (ناپایدارترین محیط‌ها)، بیشترین تاثیر را در برهمکنش داشتند و جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها مناسب می‌باشند.



شکل ۱- نمودار بای پلات میانگین عملکرد دانه و مؤلفه اصلی اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۹ ژنوتیپ باقلا در هشت محیط

Fig. 1. Biplot of mean seed yield and the first main component of genotype × environment interaction for 19 faba bean genotypes in eight environments

سال دوم)، Gor16 (گرگان سال اول)، Brjd16 (بروجرد سال اول) و Brjd17 (بروجرد سال دوم) دارای برهمکنش بزرگ بودند. به عبارت دیگر، این دو محیط با توجه به مدل AMMI، بیشترین تأثیر را در برهمکنش داشتند و به عنوان محیط‌های ایده‌آل جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها در باقلا شناخته شدند.

نمودار بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است. این بای‌پلات در مجموع ۸۱/۰۸ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کرد که سهم مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در تفکیک ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب برابر با ۴۷/۵۷ و ۳۳/۵۱ درصد بود.

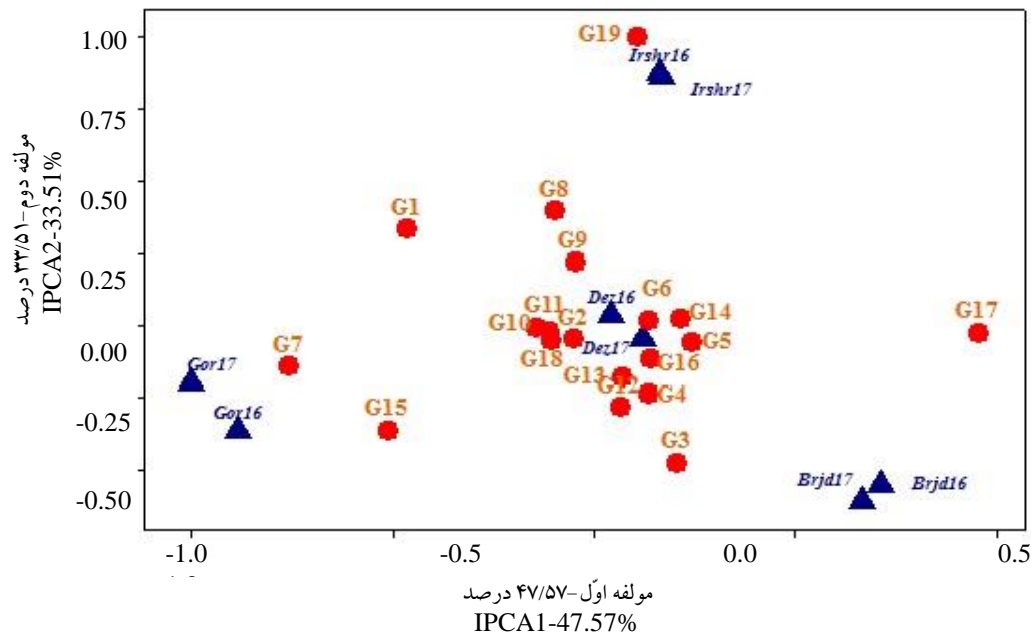
با توجه به شکل ۲، ژنوتیپ‌های G1 و G15 دارای برهمکنش بیشتر بودند و به همین دلیل دارای عملکرد ناپایدار بودند. ژنوتیپ‌های G2، G6، G10، G11، G12، G13 و G18 از برهمکنش کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند و بنابراین دارای سازگاری عمومی بودند، که می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود سازگاری در گیاه باقلا مورد استفاده قرار گیرند. بیشترین برهمکنش مربوط به محیط‌های Gor17 (گرگان سال دوم)، Gor16 (گرگان سال اول)، Brjd16 (بروجرد سال اول) و Brjd17 (بروجرد سال دوم) و کمترین میزان برهمکنش مربوط محیط‌های Dez16 و Dez17 (دزفول سال اول و دزفول سال دوم) بود (شکل ۲).

G7، G9، G11، G12، G13، G14، G15 و G16 با قرار گرفتن در سمت راست خط عمود واقع در میانه بای‌پلات، عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌های G19 و G17 کمترین عملکرد دانه را داشتند.

از طرف دیگر خط افقی در میانه بای‌پلات بیانگر عدم وجود برهمکنش می‌باشد و ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که نزدیک این خط قرار داشتند، دارای برهمکنش پایینی بودند. در حالیکه ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که از این خط فاصله دارند، دارای برهمکنش بالاتری بودند. با توجه به این نکات، ژنوتیپ‌های G2، G9، G10، G11، G12، G13 و G18 دارای برهمکنش پایین بودند، ولی ژنوتیپ G12 به علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان ژنوتیپ با عملکرد دانه بالا و پایدار انتخاب شد (شکل ۱).

ژنوتیپ‌هایی که عملکرد دانه کمتری داشته باشند اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA1) باشند، برای کاشت در نواحی و مناطق ضعیف و کم‌بازده توصیه می‌شوند، به عبارتی این ژنوتیپ‌ها با مناطق ضعیف و کم‌بازده برهمکنش مثبت دارند (Khomari and Mohammadi, 2017). در این مطالعه ژنوتیپ‌های G3، G4، G5، G17 و G19 چنین وضعیتی را نشان دادند.

همانطور که گفته شد جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها، محیط‌هایی مناسب می‌باشند که دارای برهمکنش بیشتر باشند. با توجه به اطلاعات شکل ۱، محیط‌های Gor17 (گرگان



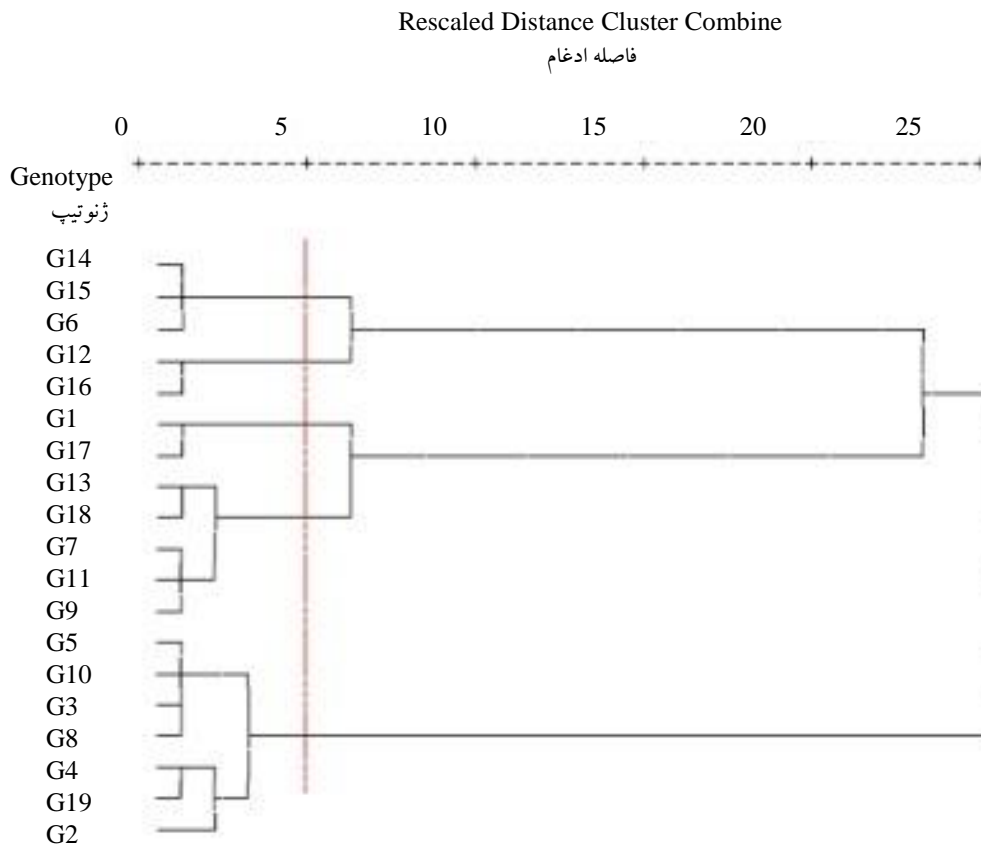
شکل ۲- نمودار بای پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۹ ژنوتیپ باقلا در هشت محیط

Fig. 2. Biplot of the two first and second main components of genotype × environment interaction for 19 faba bean genotypes in eight environments

از لحاظ عملکرد بالا و پایدار محسوب می‌شوند. گروه سوم شامل دو ژنوتیپ G1 و G17 بود. این دو ژنوتیپ کمترین عملکرد دانه و پایداری عملکرد را داشتند. گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌های G7، G18، G13، G9 و G11 بود. این ژنوتیپ‌ها عملکرد دانه و پایداری عملکرد متوسط داشتند. گروه پنجم شامل ژنوتیپ‌های G5، G10، G3، G8، G4، G19 و G2 بود. این ژنوتیپ‌ها عملکرد دانه کم و پایداری عملکرد متوسط به بالا دارند و برای مناطق کم بازده توصیه می‌شوند. رقم شاهد بلوچی (G19) نیز در این گروه قرار داشت (شکل ۳).

گروه‌بندی بر اساس رتبه عملکرد و پارامتر ASV انجام شد (شکل ۳). برش دندروگرام مزبور بر اساس آماره ویلکس لامبدا در فاصله پنج واحد انجام شد. گروه اول شامل سه ژنوتیپ G6، G14 و G15 با عملکرد بالا و پایداری متوسط بود، این گروه را می‌توان برای مناطقی با شرایط رطوبتی و حاصلخیزی بالا توصیه کرد. ژنوتیپ‌های G12 و G16 نیز در گروه دوم جای داشتند. اعضای این گروه عملکرد بالاتر از میانگین و پایداری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و اعضای گروه اول داشتند. اعضای این گروه منابع ژنتیکی ایده‌آلی





شکل ۳- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های باقلا بر اساس رتبه‌های عملکرد دانه و پارامتر رتبه ASV با استفاده روش وارد

Fig. 3. Clustering of faba bean genotypes based on yield and ASV ranks using Ward method

به طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، روش AMMI اطلاعات کاملی از اثر همزمان ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهد. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد که ژنوتیپ/ژنوتیپ‌های مختلف باقلا از لحاظ عملکرد دانه واکنش متفاوتی به محیط‌های مختلف داشتند. بر اساس نمودارهای بای‌پلات، میانگین رتبه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و سه مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط و همچنین بر اساس پارامتر پایداری ASV، ژنوتیپ (G12) از گروه ژنوتیپ‌های دانه متوسط و رقم شاهد برکت (G16)، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار بودند و برای کشت در مناطق تولید باقلا در کشور در توصیه می‌شوند. ژنوتیپ (G12) WRB2-7 × Giza Blanca با عملکرد دانه ۳۲۸۸/۶۵ کیلوگرم در هکتار و مقدار پارامتر ASV برابر یک می‌تواند به عنوان یک رقم جدید با عملکرد دانه بالا و پایدار نامگذاری و معرفی شود. رقم زرشکی (G17) و ژنوتیپ

به طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، روش AMMI اطلاعات کاملی از اثر همزمان ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهد. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد که ژنوتیپ/ژنوتیپ‌های مختلف باقلا از لحاظ عملکرد دانه واکنش متفاوتی به محیط‌های مختلف داشتند. بر اساس نمودارهای بای‌پلات، میانگین رتبه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و سه مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط و همچنین بر اساس پارامتر پایداری ASV، ژنوتیپ

مصوب ۹۴۲۸۸-۰۳-۰۵۷-۰، سپاسگزاری می کنند. همچنین از کارشناسان و کمک کارشناسان مراکز تحقیقاتی محل اجرای پروژه و جناب آقای دکتر خالد میری رئیس محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان (ایران شهر)، که در اجرای این پژوهش با مجریان همکاری و مساعدت لازم مبذول داشتند تشکر و قدردانی می شود.

Barkat × New Mammoth (G9) با دارا بودن بیشترین مقدار ASV و اثر متقابل در هر دو مؤلفه به عنوان ژنوتیپ‌های با ناپایداریترین عملکرد دانه شناسایی شدند.

### سپاسگزاری

نگارندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای تامین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره

### References

- Ammar, M. H., Alghamdi, S. S., Migdadi, H. M., Khan, H. M., El-Harty, E. H., and 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.
- Asnakech, T., Julia Derera, S., and Asnake, F. 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: 1228-1238.
- Bocianowska, J., Lierschb, A., and Nowosad, K. 2020.** Genotype by environment interaction for alkenyl glucosinolates content in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Current Plant Biology* 21. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100137>.
- Brankovic-Radojic, D., Babic, V., Girek, Z., Tivanovic, T., Radojic, A., Filipovic, M., and Srdic, J. 2018.** Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika* 50: 1067-1080.
- Ciric, M., Curcic, Z., Miroslavljevic, M., Marjanovic Jeromela, A., Jacimovic, G., Prodanovic, S., and Zivanovic, T. 2017.** Assessment of sugar beet root yield by AMMI analysis. *Genetika* 49: 663 - 675.
- FAO. 2017.** FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: [www.fao.org/faostat/](http://www.fao.org/faostat/)
- Farshadfar, E., Mahmodi, N., and Yaghotipoor, A. 2011.** AMMI stability value and

- simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Australian Journal of Crop Science 5 (13):1837-1844.
- Fikere, M., Tadesse, T., Suso, M. J., and Legesse, T. 2008.** Analysis of Multi-environment yield performance of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using AMMI model. Journal of Genetic and Breeding 62: 25-30.
- 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): 2135-2145.
- Flores, F., Moreno, M. T., Martinez, A., and Cubero, J. I. 1996.** Genotype-environment interaction in faba bean: comparison of AMMI and principal coordinate models. Field Crops Research 47: 117-127.
- Gauch, H. G. 2006.** Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science 46: 1488-1500.
- Kang, M. S., Prabhakaran, V. T., and Mehra, R. B. 2004.** Genotype-by-environment interaction in crop improvement. pp. 535-572. In: Jain H. K. and Kharkwal M. C. (eds.). Plant breeding: Mendelian to molecular approaches. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernandez, J. A., Vagen, I. M., Rewald, B., Alsiņa, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, L., Rosa, E., and Savvas, D. 2018.** Faba bean cultivation – revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. Frontier in Plant Science 9:1115. doi: 10.3389/fpls.2018.01115
- Katerj, N., Hoorn, J. W., Hamdy, A., Mastroilli, M., and Oweis, T. 2009.** Salt tolerance analysis of chickpea, faba bean and durum wheat varieties I. Chickpea and faba bean. Agriculture Water Management 72: 177-194.
- Khomari, A., and Mohammadi, A. 2017.** Stability study of yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars using AMMI method. Journal of Crop Breeding 9 (23):117-124 (in Persian).
- Kooshki, M. H., Ghaedrahmati, M., Asadi, B., Kamel, M., Khorshidi Benam, M. B., and Dorri, H. R. 2016.** Analysis of yield stability of some white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using AMMI method. Seed and Plant

- Improvement Journal 32-1: 557-573 (in Persian).
- Liu, Z., Fan, X., Huang, W., Yang, J., Zheng, Y., Wang, Sh., and Qiu, L. 2017.** Stability analysis of seven agronomic traits for soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Tokachi nagaha and its derived cultivars using the AMMI model. Plant Production Science 20 (4): 499-506.
- Maniruzzaman, M. Z., Islam, F., Begum, M. A. A., Khan, M., Amiruzzaman, B., and Hossain, A. 2019.** Evaluation of yield stability of seven barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in multiple environments using GGE biplot and AMMI model. Open Agriculture 4: 284-293.
- Minitab, INC. 2005.** Minitab user's guide, vers. 14. Minitab Inc. Harrisburg, Pennsylvania, USA
- Moghaddam, M., Mohammadi, S. A., and Aghaee-Sarbarzeh, M. 1995.** Introduction to multivariate statistical methods. 281 pp. (in Persian).
- Mohammadi, M., Sharifi, P., and Karimizadeh, R. 2016.** Stability analysis of seed yield of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Crop Breeding 7 (16): 104-114 (in Persian).
- Nasir Mousavi, S. M., Hejazi, P., and Kanani Zadegan Khalkhali, S. 2016.** Study on stability of grain yield sunflower cultivars by AMMI and GGE bi plot in Iran. Molecular Plant Breeding 7 (2): 1-6.
- Pereira, H. S., Bueno, L. G., Peloso, M. J. D., Abreu, A. D. F. B., Moreira, J. A. A., Martins, M., Wendland, A., Faria, L. C. D., de Souza, T. L. P. O., and Melo, L.C. 2014.** Agronomic performance and stability of Andean common bean lines with white grains in Brazil. Bragantia 73: 130-137.
- Purchase, J., Hatting, H., and Van Deventer, C. 2000.** Genotype  $\times$  environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil 17: 101-107.
- Rabiei, M., and Khodambashi, M. 2020.** Assessment of yield stability in common bean cultivars based on univariate and multivariate methods. Journal of Crop Production and Processing 9 (4): 33-45 (in Persian).
- Sabaghpour, S. H., Razavi, F., Danyali, S. F., Tobe, D., and Ebadi, A. 2012.** Additive main effect and multiplicative interaction analysis for grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Iran. International Scholarly Research Network. DOI:10.5402/2012/639381.

- Sadeghi, S. M., Samizadeh, H., Amiri, E., and Ashouri, M. 2011.** Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis of dry leaf yield in tobacco hybrids across environments. *African Journal of Biotechnology* 10 (21): 4358-4364.
- Safavi, M., and Bahraminejad, S. 2017.** The evaluation of genotype × environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. *Journal of Crop Breeding* 9 (22): 125-132 (in Persian).
- SAS. 2011.** Base SAS 9.1 procedures guide. SAS Institute Inc, Cary.
- Sharifi, P., Aminpanaha, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., and Abbasian, A. 2018.** Evaluation of genotype × environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Science* 24: 173-180.
- Sheikh, F., and Feyzbakhsh, M. T. 2019.** Faba bean: cultivation, crop husbandry and harvest. *Nashr-e-Amoozesh-e-Keshavarzi. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran.* 94 pp. (in Persian).
- Shiri, M. R., and Bahrampour, T. 2016.** Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research* 5: 83-94.
- Tadele, M. 2019.** Breeding achievements of faba bean (*Vicia faba* L.) and its impact in the livelihood of Ethiopian farmers. *International Journal of Agriculture and Biosciences* 8 (5): 263-269.
- Tadele, T., Amanuel, T., Behailu, M., and Gashaw, S. 2018.** Evaluation of the effect of genotype, environment and genotype × environment interaction on white common bean varieties using additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) analysis in the mid-altitude of Bale zone, Southeastern Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research* 13 (7): 338-344.
- Tadesse, T., Mulugeta, B., Sefera, G., and 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.
- Tekalign, A., Sibiya, J., Derera, J., and 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* L.). *Australian Journal of Crop Science* 11(10): 1228-1235.
- Tekdal, S., and Kendal, E. 2018.** AMMI Model to assess durum wheat genotypes in multi-environment trials. *Journal of Agricultural Science and Technology* 20: 153-166.

- Temesgena, T., Kenenib, G., Seferaa, T., and Jarsob, M. 2015.** Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. The Crop Journal 3: 258-268.
- Tolessa, T. T. 2015.** Application of AMMI and Tai's stability statistics for yield stability analysis in faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars grown in central highlands of Ethiopia. Journal of Plant Sciences 3 (4): 197-206.
- Tolessa, T. T., Gemechu, K., Mohammed, H., and Ahmed, S. K. 2019.** Decades of faba bean (*Vicia faba* L.) breeding for better grain yield and seed size has inadvertently reduced  $G \times E$  interaction and increased inter-temporal performance stability. Journal of Crop Science and Biotechnology 22 (3): 265-274.
- Vargas, M., Crossa, J., van Eeuwijk, F.A., Ramirez, M. E., and Sayre, K. 1999.** Using partial least squares regression, factorial regression, and AMMI models for interpreting genotype  $\times$  environment interaction. Crop Science 39: 955-967.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z. 2000.** Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. Crop Science 40: 597-605.
- 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: 643-655.
- Zali, H., Sabaghpour, S., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R., and Hashem Beygi, A. 2009.** Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter compare to other stability methods. Iranian Journal of Field Crop Science 40 (2): 21-29 (in Persian).