



## ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) با روش‌های پارامتری و ناپارامتری

فاطمه شیخ<sup>۱\*</sup>، پیمان شریفی<sup>۲</sup>، حسین آسترکی<sup>۳</sup>، خالد میری<sup>۴</sup>، رضا سخاوت<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

<sup>۳</sup>محقق، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران

<sup>۴</sup>استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران

<sup>۵</sup>مربی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** باقلا (*Vicia faba* L.) به واسطه درصد پروتئین و ارزش تغذیه‌ای زیاد یکی از حبوبات مهم محسوب می‌شود و قابلیت کشت به صورت دیم را دارد. باقلا یکی از حبوبات با ارزش است که با تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، ایجاد تنوع در سیستم‌های زراعی، کاهش بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز به پایداری سیستم‌های زراعی کمک می‌کند. کاهش سطح زیرکشت آن در کشور به دلیل ناپایداری زیاد عملکرد در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیر زیستی است. عملکرد دانه باقلا به شدت تحت تاثیر محیط قرار می‌گیرد و به‌نژادگران اغلب عملکرد و پایداری بالا را به‌عنوان معیارهای معرفی رقم می‌سنجند. هدف از این مطالعه، شناسایی لاین‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری عملکرد از بین ۱۵ لاین باقلا به‌دست آمده از آزمایش مقدماتی عملکرد دانه است.

**مواد و روش‌ها:** تعداد ۱۵ لاین حاصل از تلاقی بین لاین‌های مؤسسه بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) و ارقام اصلاح شده و بومی ایرانی و منتج از آزمایش مقدماتی عملکرد سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، به‌همراه ارقام شاهد برکت، سرازیری، زرشکی و بلوچی در دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) در گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار ارزیابی شدند. تجزیه پایداری با روش‌های واریانس ابرهات و راسل، آماره‌های واریانس پایداری شوکلا ( $\sigma^2_i$ )، اکووالانس ریک ( $Wi$ )، واریانس محیطی ( $S^2_i$ )، ضریب تغییرات محیطی ( $CV$ )، ضریب تشخیص ( $R^2$ )، ضریب رگرسیون فیئلی و ویلکینسون ( $b_i$ )، شاخص برتری لین و بینز ( $P_i$ ) و آماره پایداری عملکرد ( $YS_i$ ) و روش‌های ناپارامتری  $S_i^{(1)}$ ،  $S_i^{(2)}$ ،  $Z_1$ ،  $Z_2$ ،  $TOP$ ، میانگین و انحراف معیار رتبه انجام شد.

**یافته‌ها:** تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش، پس از آزمون بارتلت و معنی‌دار نشدن آن و اطمینان از یکنواختی خطاهای آزمایشی، صورت گرفت. نتایج نشان داد، اثر ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. بر

\* مسئول مکاتبه: sheikhfatemeh@yahoo.com

اساس شاخص‌های واریانس شوکلا، اکووالانس ریک (Wi) و RMSE، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۹ و ۱۶، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ ۹ کم‌ترین مقدار واریانس محیطی و ضریب تغییرات محیطی را داشت و پایدارتر از ژنوتیپ‌های دیگر بود. ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۱ بیش‌ترین ضریب تشخیص ( $R^2$ ) و کم‌ترین شاخص انحراف از رگرسیون را داشتند. ضریب رگرسیون برای ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۶ کم‌تر از یک و میانگین عملکرد آن‌ها بیش‌تر از میانگین کل بود. بر اساس شاخص‌های برتری در کل محیط‌ها و محیط‌های مطلوب، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۲ و ۱۱ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و دارای سازگاری اختصاصی به محیط‌های مساعد ۱، ۳، ۵ و ۷ و ژنوتیپ‌های ۶، ۹، ۱۴، ۱۶ و ۱۲ سازگاری اختصاصی به محیط‌های نامساعد ۲، ۴، ۶ و ۸ داشتند. تجزیه هم‌زمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری (YSi) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۶، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶، ژنوتیپ‌های پایدار بودند. بر اساس شاخص TOP، ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۲ و بر اساس دو معیار  $S_i^{(1)}$  و  $S_i^{(2)}$ ، ژنوتیپ ۱۱ پایدارتر از دیگر ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس شاخص چندمعیاری (SIIG)، بر مبنای کلیه روش‌های ناپارامتری ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۵ بیش‌ترین مقدار و به ترتیب با عملکرد دانه ۳۴۷۸ و ۳۴۳۹ کیلوگرم در هکتار به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس تمام شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های ۶، ۹، ۱۱، ۱۴ و ۱۵ پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بودند و می‌توانند در آینده به عنوان منبع ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی استفاده شوند.

**واژه‌های کلیدی:** برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، تنش محیطی، رتبه، شاخص چندمعیاری (SIIG)، مطلوبیت.

## مقدمه

برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط، انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار با نوسان پایین عملکرد در محیط‌های مختلف است (۲۷). برای شناسایی ارقام پایدار، معیارهای گوناگونی به کار گرفته شده‌اند که دربرگیرنده روش‌های تک و چند متغیره هستند. روش‌های تک‌متغیره شامل روش‌های پارامتری هم‌چون واریانس پایداری شوکلا (۱۹۷۲)، ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون (۱۹۶۳) (۵)، ضریب رگرسیون پرکینز و جینکز (۱۹۶۸)، انحراف از خط رگرسیون ابره‌ارت و راسل (۱۹۶۶)، میانگین مربعات درون مکانی لین و بینز (۱۹۸۸) و شاخص برتری (Superiority index, Pi) (۱۶) و روش‌های ناپارامتری هم‌چون میانگین تفاوت قدرمطلق ( $S_i^{(1)}$ ) و واریانس یا انحراف استاندارد ( $S_i^{(2)}$ ) (۲۱)، روش ناپارامتری رتبه (۱۲) و روش‌های ناپارامتری  $NPi^{(1)}$ ،  $NPi^{(2)}$ ،  $NPi^{(3)}$  و  $NPi^{(4)}$  (۳۶) در باقلا توسط محققان جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار مورد استفاده قرار گرفته‌است (۱، ۱۷، ۲۶، ۳۲، ۴۲).

باقلا (*Vicia faba* L.) یکی از قدیمی‌ترین بقولات اهلی شده در جهان است که سطح زیر کشت آن در ایران حدود ۳۵۰۰۰ هکتار است، استان‌های خوزستان، لرستان، گلستان، مازندران، زنجان و سیستان و بلوچستان مناطق اصلی تولیدکننده باقلا در کشور هستند. عملکرد باقلا در ایران، حدود ۲/۲۱۷۶ کیلوگرم در هکتار است، درحالی‌که عملکرد جهانی این محصول، ۳/۱۹۶۴ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۴). این محصول با حدود ۱۸ تا ۳۶ درصد پروتئین، نقش مهمی در تأمین مواد پروتئینی مورد نیاز بشر دارد و با وجود باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه، سبب حاصل‌خیزی خاک می‌گردد و به‌عنوان یکی از گیاهان مهم تثبیت‌کننده نیتروژن هوا در خاک است (۹، ۳۰). تنوع ژنتیکی، اندازه پراکنش یک صفت را در شرایطی نشان می‌دهد که تأثیر محیط از روی آن حذف شده باشد. از آنجایی که این نوع تنوع قابلیت انتقال به نتاج را دارد، در اصلاح نباتات دارای اهمیت فراوان است (۴۰). یکی از روش‌های کاهش

از تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کرد (۳۴). علاوه بر شاخص‌های تک‌متغیره که در هر کدام از آنها شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بر پایه یک شاخص انجام می‌پذیرد، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل<sup>۱</sup> (SIIG) نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده می‌شود که یک شاخص چندمعیاری است (۴۳). پژوهش حاضر، با هدف گزینش ژنوتیپ‌های باقلا دارای عملکرد دانه بالا و با پایداری عملکرد و سازگار با شرایط متنوع محیطی با بهره‌گیری از روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری انجام شد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر با ارزیابی ۱۹ لاین امید بخش باقلا و چهار رقم شاهد (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) و چهار مکان، ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر، جمعاً در ۸ محیط، (جدول ۲) انجام شد. هر کرت شامل شش ردیف ۴ متری به فواصل ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. آماده‌سازی زمین با استفاده از شخم عمیق و دو مرحله دیسک صورت گرفت. بر اساس آزمون خاک کوددهی انجام شد. وجین علف‌های هرز بسته به منطقه ۳-۴ بار به صورت دستی انجام شد. آبیاری در ایستگاه‌های جنوب کشور بر حسب نیاز ۷-۵ بار انجام شد. در طول دوره رشد از سم حشره‌کش پرمیکارپ به میزان نیم لیتر در هکتار جهت کنترل شته سیاه باقلا استفاده شد. در هنگام برداشت، پس از حذف اثرهای حاشیه‌ای، کل دانه‌های هر کرت وزن شد و به‌عنوان عملکرد دانه در نظر گرفته شد و تجزیه پایداری بر روی آن انجام گرفت.

تدل و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی ۵۰ ژنوتیپ باقلا نشان دادند که محیط، ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط به‌ترتیب ۵۸/۰۵، ۱۶/۰۸ و ۱۴/۲۸ درصد از تنوع عملکرد دانه را توجیه می‌کردند و با روش‌های AMMI (از جمله شاخص ASV) و GGE-biplot، سه ژنوتیپ EH07015-7، cool-0034 و EKLS/CSR02019-2-4 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند (۳۶). تولسا و همکاران (۲۰۱۹)، از روش‌هایی هم‌چون bi، ASV، GSI، واریانس پایداری شوکلا ( $\sigma_i^2$ ) و رتبه کنگ، جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار باقلا استفاده کردند (۳۸). جئوجایوا و کوسیو (۲۰۱۹) با انجام تجزیه پایداری بر روی ۱۷ ژنوتیپ باقلا، با روش‌های پارامتری (bi،  $S_i^2$ ، ریک، شوکلا، پلاستد و پترسون) و ناپارامتری (تای (ai و  $\lambda_i$ )، Wi - Annicchiarico، Huehn -  $S_i^2$ )، چهار رقم امید بخش پرتانسیل و پایدار باقلا برای کشت در بلغارستان معرفی کردند (۸). شاخص برتری ( $P_i$ ) و FT3، شاخص‌های آگاهی‌بخش ( $W_i$ ،  $S_i^{(2)}$ ،  $b_i$ ،  $S^2 d_i$ ،  $\lambda$ ،  $\alpha$ ، RS،  $CV_i$ ، (Informative))،  $EV$ ،  $P^{59}$  و ASV برای انتخاب هم‌زمان بر پایه پایداری و عملکرد دانه در باقلا به‌کار گرفته شدند (۳۶). استلینگ و همکاران (۱۹۹۴) با ارزیابی ۳۶ لاین اینبرد باقلا در پنج محیط، با استفاده از ضریب رگرسیون، انحراف از رگرسیون و اکووالانس ریک، ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند (۳۵). همچنین، از روش AMMI، جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار باقلا تحت تیمار گل جالیز ( *Orobanche and Phelipanch spp*) استفاده شد (۱۸). در پژوهشی دیگر، ۱۷ واریته تجاری باقلا برای عملکرد دانه در چهار ناحیه دانمارک و فنلاند در طول سه سال زراعی ارزیابی شد و مشاهده شد که مکان و سال ۷۲ درصد

جدول ۱- شماره، منشاء و شجره ژنوتیپ‌های باقلا

Table 1- Code, origin and pedigree of faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype no.	منشاء Origin	شجره Pedigree	کد ژنوتیپ Genotype code
G1	ICARDA	Giza Blanca	GF-10
G2	ICARDA	ILB 3626	GF-12
G3	ICARDA	FLIP03-61FB	GF-57
G4	ICARDA	line F6 latt/440/08	GF-145
G5	ICARDA	FLIP06-23FB	GF-161
G6	ICARDA	F8/7093/06 - A	GF-180
G7	Gorgan	Barkat × ILB 1270	GF-517
G8	Gorgan	Barkat × Giant	GF-519
G9	Gorgan	Barkat × New momomoth	GF-520
G10	Gorgan	Barkat × BPL 465	GF-524
G11	Gorgan	Barkat × 98 264-1	GF-525
G12	ICARDA	S 2008,033	GF-256
G13	ICARDA	S 2008,034	GF-257
G14	ICARDA	FLIP03-069FB	GF-288
G15	ICARDA	ILB1266×ILB1814	GF-332
G16	check	Barekat	GF-20
G17	check	Zereshki	GF-19
G18	check	Saraziri	GF-5
G19	check	Baloochi	GF-334

G-Faba مخفف GF

جدول ۲- متوسط بارندگی سالیانه، ارتفاع از سطح دریا و کد محیط‌های محل آزمایش

Table 2- Annual rainfall mean, above mean sea level and environmental code

Location	مکان	ارتفاع (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی longitude	میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر) Mean annual rainfall (mm)	میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) Average annual temperature (°C)	کد محیط‌ها Environment code	
							سال اول	سال دوم
Gorgan	گرگان	5	36°54'N	54°25'E	380	19	E1	E5
Dezful	دزفول	83	32°20'N	48°30'E	250	23.17	E2	E6
Broujerd	بروجرد	1520	33°89'N	48°76'E	390	14.6	E3	E7
Iranshahr	ایرانشهر	591	27°15'N	60°40'E	106	26.50	E4	E8

### تجزیه‌های آماری

برای ارزیابی همگنی خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت به کار گرفته شد (۲). در تجزیه واریانس پایداری شوکلا (۱۹۷۲)، مجموع مربعات برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط به دو جزء ناهمگونی و واریانس باقی‌مانده تفکیک شد. ناهمگونی به دلیل اثر خطی شاخص محیطی است که از تفاضل میانگین عملکرد محیط و متوسط عملکرد کل محاسبه شد. در ادامه،

روش‌های پارامتری تجزیه واریانس ابرهات و راسل (۱۹۶۶)، آماره‌های واریانس پایداری شوکلا ( $\sigma^2_i$ ) و واریانس انحراف ( $S^2$ ) (۳۳)، اکووالانس ریک ( $W_i$ ) (۳۹)، واریانس محیطی ( $S^2_i$ ) (۲۵)، ضریب تغییرات (CV) (۷)، ضریب تشخیص ( $R^2$ ) (۲۴)، ضریب رگرسیون فیلی و ویلکینسون (b<sub>i</sub>) (۱۹۶۳) و شاخص برتری لین و بینز (۱۹۸۸) ( $P_i$ ) در تمام محیط‌ها، محیط‌های مطلوب و محیط‌های نامطلوب برای

ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها به کار گرفته شد. همچنین، برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها، از روش‌های ناپایداری میانگین تفاوت رتبه مطلق ژنوتیپ  $i$  در  $N$  محیط  $(S_i^{(1)})$  (۲۰)، معیار واریانس رتبه  $(S_i^{(2)})$ ، کمکی خواهد کرد.

جدول ۳- شاخص‌های تجزیه پایداری

Table 3- Stability analysis indices

رابطه Equation	شاخص Index	فرمول Formula	درفنس References
1	واریانس محیطی Environmental Variance	$S_i^2 = \frac{\sum (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{q-1}$	(25)
2	ضریب تغییرات محیطی Coefficient of variation	$CV_i = \left(\frac{\sqrt{S_i^2}}{\bar{X}_i}\right) \times 100$	(7)
3	واریانس پایداری شوکلا Shukla stability variance	$\sigma_i^2 = \frac{p}{(q-1)(p-2)} \sum (X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X}_{..})^2 - \frac{SSGE = \sum \sum (X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X}_{..})^2}{(p-1)(p-2)q}$	(33)
4	اکووالانس ریک Wricke ecovalence	$W_i^2 = \sum (X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X}_{..})^2$	(39)
5	شاخص برتری Superiority index	$PI = \frac{\sum (X_{ij} - M_j)^2}{2q}$	(16)
6	ضریب رگرسیون Regression coefficient	$b_i = \frac{\sum (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i)(\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})}{\sum (\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})^2}$	(5)
7	انحراف از رگرسیون Deviations from regression	$S^2 d_i = \frac{\sum (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i)^2 - b_i^2 \sum (\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})^2}{q-2}$	(3)
8	ضریب تشخیص Coefficient Of Determination ( $R^2$ )	$R_i^2 = \frac{b_i^2 \sum (\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})^2}{\sum (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i)^2}$	(21)
9	میانگین تفاوت رتبه مطلق اختلاف ژنوتیپ $i$ در $N$ محیط Mean of the absolute rank differences of a genotype $i$ over the $N$ environments	$S_i^{(1)} = 2 \sum_{j < j'}^n  r_{ij} - r_{ij'}  / n(n-1)$	(21)
10	واریانس رتبه Variance of the ranks	$S_i^{(2)} = \frac{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - \bar{r}_i)^2}{n-1} \quad \bar{r}_i = \frac{r_{ij}}{N}$	(21)

در رابطه‌های ۱ تا ۸،  $X_{ij}$  میانگین عملکرد ژنوتیپ  $i$  در تمام محیط‌ها؛  $\bar{X}_{.j}$ ، میانگین همه ژنوتیپ‌ها در محیط  $j$  و  $\bar{X}_{..}$  میانگین

۱-، ۲- و ۳- به ترتیب به عملکرد کم تر از میانگین عملکرد کل، کم تر از یک LSD نسبت به میانگین عملکرد کل و کم تر از دو LSD نسبت به میانگین عملکرد کل داده شد. در ادامه، معنی داری  $\sigma^2$  با یک آزمون F تقریبی با درجه آزادی صورت (n-1) و مخرج dfe (درجه آزادی خطا در تجزیه مرکب) ارزیابی شد و رتبه پایداری ۸-، ۴- و ۲- به ترتیب برای سطح معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ و صفر برای معنی دار نبودن  $\sigma^2$  (مقدار بیش تر  $\sigma^2$ ، پایداری کم تر ژنوتیپ) در نظر گرفته شد. از جمع کردن رتبه پایداری<sup>۱</sup> و رتبه تعدیل شده عملکرد<sup>۲</sup> هر ژنوتیپ برای بدست آوردن آماره YSi استفاده شد.

همان گونه که دیده شد، روش های گوناگونی برای تجزیه پایداری معرفی شده اند و از آنجا که استفاده از یک یا تعداد اندکی روش، برای معرفی رقم پایدار می تواند به نتایج اشتباهی هم چون معرفی یک رقم ناپایدار یا با عملکرد پایین به عنوان رقم برتر بینجامد، کاربرد چندین روش، بر احتمال یافتن ژنوتیپی پایدار در تمام محیطها می افزاید. از این رو، در این پژوهش از چندین روش برای شناسایی ژنوتیپ های پایدار استفاده شد تا ژنوتیپ (های) پایدار با اعتبار بالا گزینش شوند. البته در چنین شرایطی ممکن است نتایج متناقضی به دست آید و رسیدن به یک نتیجه نهایی ممکن نشود، اما اگر رقمی انتخاب شود که در روش های بیش تری پایدار باشد، به نظر می رسد که استفاده از چندین روش، بهتر از استفاده از یک روش باشد. استفاده از شاخص های چندمعیاری مانند SIIG نیز می تواند در چنین شرایطی مفید باشد. برای محاسبه شاخص SIIG، پس از تشکیل ماتریس داده ها که در ردیف های آن ژنوتیپها و در ستون ها شاخص ها قرار می گیرند، با رابطه ۱۵، داده ها نرمال (بدون واحد) می شوند. که در آن  $i=1,2,\dots,n$

همه ژنوتیپها در تمام محیطها است. Mj در رابطه ۸، بیش ترین عملکرد دانه در محیط جاست. در معادله های ۹ و ۱۰،  $t_{ij}$  رتبه ژنوتیپ آم در محیط ج؛  $\bar{t}_{.j}$  میانگین رتبه های ژنوتیپ آم در تمام محیطها است.

آزمون معنی داری برای  $S_i^{(1)}$  و  $S_i^{(2)}$  با آماره  $\chi^2$  با رابطه تقریبی ۱۱ انجام شد (۲۴):  
رابطه ۱۱:

$$Z_i^t = [S_i^t - E(S_i^t)] / \sqrt{Var(S_i^t)}, \quad t=1, 2, S^{(w)} = \chi^2 = \sum_i Z_i^t$$

که در آن،  $Z_i^t$  دارای توزیع تقریبی مربع کای با درجه آزادی یک است. همچنین آماره  $S^{(t)}$  دارای توزیع تقریبی مربع کای با k (تعداد ژنوتیپ) درجه آزادی است (۲۱).  $E(S_i^t)$  و  $Var(S_i^t)$  به ترتیب برابر با میانگین و واریانس  $S_i^t$  بوده و از رابطه های ۱۲-۱۴ محاسبه شدند (۲۱):

رابطه ۱۲:  $E(S_i^1) = (k^2 - 1) / (3k)$

رابطه ۱۳:  $E(S_i^2) = (k^2 - 1) / (12)$

رابطه ۱۴:  $Var(S_i^2) = \frac{m_4}{N} \left[ \frac{N-3}{N(N-1)} (E(S_i^2))^2 \right]$

برای محاسبه آماره پایداری عملکرد (YSi) که در آن پایداری ژنوتیپها با دو آماره  $Y_i$  و  $\sigma_i^2$  ارزیابی می شود، از روش ارائه شده توسط کنگ و منگاری (۱۴) بر پایه روش شوکلا استفاده شد (جدول ۸). در این روش، پس از تشخیص سهم هر ژنوتیپ در اثرمتقابل GE با محاسبه  $\sigma_i^2$ ، رتبه های ژنوتیپها از بالاترین میزان عملکرد دانه به کم ترین میزان آن، با دادن رتبه یک به کم ترین عملکرد ( $Y^1$ ) تعیین می شود و سپس LSD محافظت شده برای مقایسه میانگین عملکرد محاسبه می شود. برای تعدیل رتبه عملکرد ( $Y^1$ ) با توجه به LSD، عددهای ۱+، ۲+ و ۳+ به ترتیب به عملکرد بیش تر از میانگین عملکرد کل، بیش تر از یک LSD نسبت به میانگین عملکرد کل و بیش تر از دو LSD نسبت به میانگین عملکرد کل؛ و

1. Stability rating
2. Adjusted yield rank

ایده آل برابر کمترین مقدار شاخص و مقدار ضعیف برابر با بیشترین مقدار شاخص برای ژنوتیپها است. در گام بعدی، برای هر ژنوتیپ، فاصله از ژنوتیپهای ایده آل ( $d_i^+$ ) و ژنوتیپهای ضعیف ( $d_i^-$ ) به ترتیب با روابط ۱۶ و ۱۷ محاسبه شد. در پایان، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG) برای هر ژنوتیپ با رابطه ۱۸ محاسبه شد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad i = 1, \dots, n \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad i = 1, \dots, n \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$SIIG_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad 0 \leq SIIG_i \leq 1 \quad \text{رابطه ۱۸}$$

وراثت پذیری عملکرد ژنوتیپها در تمام محیطها بالا بود، به طوری که از ۹۶ درصد در محیط ۲ (دزفول، سال اول) تا ۹۹/۴ درصد در محیط ۴ متغیر بود (جدول ۴). رتبه عملکرد ژنوتیپها در محیطها، به گونه ای بود که در محیط اول (گرگان، سال اول)، ژنوتیپهای ۷، ۱۷ و ۵؛ در محیط دوم (دزفول، سال اول)، ژنوتیپهای ۴، ۲ و ۱۶؛ در محیط سوم (بروجرد، سال اول)، ژنوتیپهای ۹، ۶ و ۴؛ در محیط چهارم (ایران شهر، سال اول)، ژنوتیپهای ۶، ۱۱ و ۱۸؛ در محیط پنجم (گرگان، سال دوم)، ژنوتیپهای ۱۷، ۷ و ۱؛ در محیط ششم (دزفول، سال دوم)، ژنوتیپهای ۱۶ و ۱۳؛ در محیط هفتم (بروجرد، سال دوم)، ژنوتیپهای ۶، ۹ و ۱۳؛ و در محیط هشتم (ایران شهر، سال دوم)، ژنوتیپهای ۶، ۱۱ و ۱۸ سه رتبه نخست از نظر بیشترین میزان عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴). پژوهشگران دیگری نیز تفاوت معنی دار عملکرد دانه را در بین ژنوتیپهای با قلا گزارش کرده اند (۱، ۲۶، ۳۱). متفاوت بودن رتبه بندی ژنوتیپها در

نشان دهنده تعداد شاخص است (۱۵). در گام بعدی، با توجه به نوع صفت (شاخص)، بهترین ژنوتیپ (ایده آل) و ضعیفترین (غیرایده آل) انتخاب شد. برای نمونه، درباره عملکرد، حداکثر مقدار عملکرد یک ژنوتیپ، مقدار ایده آل و پایینترین مقدار آن به عنوان ژنوتیپ غیرایده آل (ضعیف) در نظر گرفته می شود. حال آنکه درباره بیشترین شاخصهای پایداری، مقدار

رابطه ۱۵:

رابطه ۱۶:

رابطه ۱۷:

رابطه ۱۸:

همان گونه که دیده می شود، مقدار شاخص SIIG<sub>i</sub> بین صفر تا یک متغیر است و هر چه در ژنوتیپی به یک نزدیک تر باشد، آن ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده آل نزدیک تر خواهد بود (۴۳). این شاخص با نرم افزار Excel محاسبه شد. برای سایر تجزیه ها، از بسته های Agricolae (۱۹)، Stability (۴۱) و metan (۲۲) در نرم افزار R بهره گرفته شد.

## نتایج و بحث

**تجزیه واریانس و مقایسه میانگینها:** تجزیه واریانس ژنوتیپها در تک تک محیطها نشان داد که اثر ژنوتیپ در تمام محیطها معنی دار بود، بنابراین، مواد آزمایشی تنوع ژنتیکی کافی داشتند. محیطهای ۱ (گرگان، سال اول) و ۴ (ایران شهر، سال اول) به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند. ضریب تغییرات ژنوتیپها در هر محیط نیز در دامنه ۳/۳۸ (محیط ۴) تا ۶/۲۷ (محیط ۱) قرار داشتند.

بنابراین، نیاز به تعیین درجه پایداری برای هر ژنوتیپ است.

**تجزیه پایداری:** روش‌هایی همچون واریانس محیطی، ضریب تغییرات، واریانس شوکلا و اکووالانس ریک در دسته پایداری نوع اول قرار دارند، در این دسته زمانی یک ژنوتیپ پایدار خواهد بود که واریانس بین محیطی آن کم باشد (۱۲). ژنوتیپ‌های ۱۸، ۲، ۱۱، ۹ و ۱۶ کم‌ترین مقدار واریانس پایداری شوکلا را داشتند و پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص بودند. بر پایه ضریب پایداری اکووالانس ریک (Wi) (۳۸) که سهم هر ژنوتیپ در مجموع مربعات برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط (GE) را نشان می‌دهد و هرچه مقدار آن در ژنوتیپی کم‌تر باشد، بیان‌گر پایدار بودن آن ژنوتیپ است، نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۸، ۲، ۱۱، ۹ و ۱۶ پایدارتر از دیگر ژنوتیپ‌ها بودند. این ژنوتیپ‌ها کم‌ترین پاسخ را به تغییرات محیطی داشتند و پایدار بودند. از میان این ژنوتیپ‌ها، متوسط عملکرد دانه سه ژنوتیپ ۱۱، ۹ و ۱۶ بیش‌تر از متوسط کل (۲۹۷۳/۰۵ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۶). پژوهش‌گران دیگری نیز شاخص‌های واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک را برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار باقلا استفاده کرده‌اند (۷، ۳۴، ۳۶، ۳۷). ژنوتیپ‌های ۱۹، ۸ و ۹ دارای کم‌ترین واریانس محیطی بودند که از بین آن‌ها فقط میانگین عملکرد ژنوتیپ ۹ بالاتر از میانگین کل بود. کم‌ترین ضریب تغییرات محیطی نیز در ژنوتیپ‌های ۱۹، ۹، ۶ و ۸ دیده شد که از میان آن‌ها متوسط عملکرد فقط در دو ژنوتیپ ۹ و ۶ بالاتر از متوسط کل بود (جدول ۶). بنابراین از نظر این دو شاخص، ژنوتیپ ۹، پایدارترین ژنوتیپ بود. سرپرست و همکاران (۲۰۱۱) و تِمِسْزَن و همکاران (۲۰۱۵) نیز با استفاده از این دو شاخص، ژنوتیپ‌های پایدار باقلا را شناسایی کردند (۲۶، ۳۶).

محیط‌های مختلف و وجود برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط نشان می‌دهد که پایداری عملکرد، سهم زیادی در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها دارد و جایگاه ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا با ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در محیط‌های مختلف جابجا شده است. از این نتایج چنین بر می‌آید که گزینش ژنوتیپ‌ها بر پایه عملکرد آن‌ها در یک مکان نمی‌تواند دقیق باشد و برای توصیه یک ژنوتیپ مناسب باید ارزیابی ژنوتیپ‌ها در چندین سال و مکان انجام شود و بر اساس پایداری عملکرد، ژنوتیپ‌های برتر مشخص شوند (۴۱). بنابراین، برای رسیدن به چنین ژنوتیپی در این پژوهش، آزمون بارتلت برای ارزیابی یکنواختی واریانس خطای آزمایشی در محیط‌های مختلف انجام شد که نتیجه گویای همگنی خطاهای آزمایشی بود ( $\chi^2=12.94$ ,  $P < 0.0735$ ) و از این‌رو، تجزیه مرکب و تجزیه‌های پایداری انجام شدند. بر اساس نتایج تجزیه مرکب اثر ژنوتیپ، برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و اثر محیط معنی‌دار شده بود (جدول ۶). اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط توسط پژوهش‌گران دیگری نیز در باقلا گزارش شده است (۲۶، ۳۶، ۳۸). نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه و تفاوت رتبه عملکرد یک ژنوتیپ از محیطی به محیط دیگر، گویای اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بود که بیان‌گر تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است (جدول ۶). معنی‌دار بودن اثر محیط نشان‌گر این است که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، طول و عرض جغرافیایی، میزان و پراکنش بارندگی و توزیع متفاوت ماهانه بارندگی در دوره‌های مختلف رشدی گیاه در محیط‌های مختلف یکسان نبودند (جدول ۲). از اجزای برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط، ناهمگونی ناشی از اثر خطی شاخص محیطی و واریانس انحراف ناشی از اثر غیرخطی معنی‌دار بود (جدول ۵)،



فاطمه شیخ و همکاران

جدول ۴- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های باقلا در هر کدام از محیط‌ها  
Table 4- Analysis of variance and mean comparison of grain yield (kg ha<sup>-1</sup>) of faba bean genotypes in each of environments

منابع تغییر S.O.V	محیط اول E1	محیط دوم E2	محیط سوم E3	محیط چهارم E4	محیط پنجم E5	محیط ششم E6	محیط هفتم E7	محیط هشتم E8
میانگین مربعات ژنوتیپ MSG	1890000**	572000**	1410000**	559000**	1870000**	509000**	1460000**	489000**
میانگین مربعات خطا MSE	41518	22939	27048	33330	43473	17715	30143	44971
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (CV, %)	6.27	7.13	4.43	3.38	6.12	6.16	4.25	4.06
وراثت پذیری Heritability (h <sup>2</sup> )	0.962	0.960	0.981	0.994	0.968	0.965	0.979	0.990
شماره ژنوتیپ Genotype no.								
G1	4289	1555	2690	1847	4738	1276	3115	1966
G2	4062	2729	3248	1344	4053	2164	3769	1390
G3	4646	2144	3839	1876	4466	2065	4063	1875
G4	4582	3104	4594	1509	4198	2482	4322	1518
G5	4825	1889	3980	1803	3726	2282	4666	1589
G6	4492	2347	4648	2503	4314	2003	5039	2478
G7	6058	2090	4184	1613	5337	2198	4332	1703
G8	4240	2409	4280	1823	3985	2917	4295	1613
G9	2660	1403	4693	1646	2042	1644	4974	1831
G10	4454	2000	3524	1398	4063	2155	3970	1723
G11	2751	1653	2150	2425	2625	1745	2245	2412
G12	3867	1805	3507	1153	3733	1972	3357	1211
G13	4068	2259	4177	892	3768	2618	4762	1012
G14	3934	2097	3760	1131	3634	2390	4291	1188
G15	3750	1764	3852	1683	3678	1683	4661	1697
G16	3953	2687	3831	1939	4225	2904	4592	1970
G17	5631	2079	2900	1466	5496	2304	3697	1459
G18	4300	1805	2995	2201	3671	2086	3533	2201
G19	4454	2534	3637	2150	4002	2139	3849	2177
میانگین Mean	4264	2123.84	3709.95	1705.37	3987.05	2159.32	4080.63	1737.53
حداقل اختلاف معنی دار LSD	337.73	251.04	272.60	302.60	345.59	220.61	287.77	351.49

شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب مشابه جدول‌های ۱ و ۲ است.

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

The genotype and environment codes are similar to tables 1 and 2, respectively.

The common letters in any column indicated not significant differences between genotypes.

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد دانه با روش کنگ و منگاری

Table 5- Analysis of variance of grain yield by Kang and Mangari method

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
S.O.V	df	MS
کل	151	
Total		
ژنوتیپ	18	2349977**
Genotypes		
محیط	7	73135543**
Environments		
برهم کنش	126	916600**
Interaction		
ناهمگونی	18	1950858**
Heterogeneity		
باقی مانده	108	744224
Residual		
خطای ادغام شده		29642
Pooled Error		

ns, \*, \*\*: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, \*, \*\*: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

کمتر از متوسط و دارای سازگاری خصوصی در محیط‌های مساعد شناخته شدند (جدول ۶). ضریب رگرسیون در ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱۸ بیش‌تر از یک و میانگین عملکرد آن‌ها کم‌تر از میانگین کل بود، بنابراین، دارای پایداری کم‌تر از متوسط و سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد بودند. ضریب رگرسیون ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۱۰، ۱۷ و ۱۹ کم‌تر از یک و میانگین عملکرد آن‌ها نیز کم‌تر از میانگین کل بود، بنابراین، این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد متوسط در محیط‌های مساعد و عملکرد کم در محیط‌های نامساعد بودند و با وجود تغییرات محیطی زیاد، عملکرد آن‌ها دارای تغییرات اندکی بود و حساسیت کمی به محیط داشتند. ضریب رگرسیون ژنوتیپ‌های ۶، ۹ و ۱۶ کم‌تر از یک و میانگین عملکرد آن‌ها بیش‌تر از میانگین کل بود، بنابراین، این ژنوتیپ‌ها با داشتن پایداری بیش‌تر از متوسط، واکنش ضعیفی به محیط‌های مساعد نشان می‌دادند. در شاخص‌های تک‌متغیره مبتنی بر تجزیه رگرسیون، به جنبه پویای پایداری توجه می‌شود و دارای اعتبار بیش‌تری است (۱۲).

علاوه بر روش‌های پایداری تک‌متغیره مبتنی بر واریانس که در بالا به چند مورد از آن‌ها اشاره شد، از شاخص‌های تک‌متغیره مبتنی بر تجزیه رگرسیون نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بهره گرفته شد. به طوری که ژنوتیپ‌های ۱۸، ۲، ۹ و ۱۱ با کم‌ترین میزان شاخص RMSE، پایدارتر از ژنوتیپ‌های دیگر بودند. شاخص ضریب تشخیص ( $R^2$ ) دارای دامنه‌ای از ۰/۲۱۷ در ژنوتیپ ۱۹ تا ۰/۹۸۷ در ژنوتیپ ۱۸ بود، بنابراین از نظر این شاخص، ژنوتیپ ۱۸ به همراه ژنوتیپ‌های ۱۱، ۹، ۶، ۴ و ۲ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ ۱۹ کم‌ترین پایداری عملکرد را در محیط‌های آزمایشی داشت. از بین ژنوتیپ‌های پایدار بر پایه این شاخص، ژنوتیپ‌های ۶، ۹ و ۱۱ با عملکردی بیش‌تر از عملکرد کل پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶). بر پایه ضریب رگرسیون ( $b_i$ )، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها ( $\bar{g}$ ) و میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها ( $\bar{X}$ )، ژنوتیپ‌های ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ با ضریب رگرسیون بیش‌تر از یک و میانگین عملکرد بیش‌تر از میانگین کل، ژنوتیپ‌های با پایداری

جدول ۶- پارامترهای پایداری عملکرد دانه مینکر بر روش های واریانس و رگرسیون در ژنوتیپ های باقلا در ۸ محیط

شماره ژنوتیپ Genotype no.	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (Kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (Kg.ha <sup>-1</sup> )	ضریب رگرسیون (b <sub>1</sub> ) Regression coefficient	انحراف از ضریب رگرسیون (deviations)	ریشه خطای میانگین مربع (RMSE)	ریشه خطای میانگین مربع (RMSE)	ضریب تیین (R <sup>2</sup> ) R.Sqr	واریانس		ضریب تغییرات (CV)	اکووالانس ریک (W <sub>i</sub> <sup>2</sup> ) Ecovalence	واریانس پایداری شوکلا (σ <sub>i</sub> <sup>2</sup> ) Sigma square (Shukla)
								محیطی (S <sub>i</sub> )	محیطی			
G1	2685	2685	0.968	497954	617	617	0.734	1636441	1636441	47.65	3056464	470034
G2	2576	2576	1.01	32733	179	179	0.973	1332897	1332897	44.83	255920	22889
G3	2945	2945	1.23	274581	462	462	0.888	2183470	2183470	50.18	2179900	330079
G4	2803	2803	1.08	103847	292	292	0.939	1596043	1596043	45.07	740878	100319
G5	2846	2846	1.06	143313	339	339	0.917	1573414	1573414	44.07	951671	133975
G6	3263	3263	0.87	86408	269	269	0.922	1053633	1053633	31.46	729588	98516
G7	3129	3129	1.32	657522	707	707	0.795	2796015	2796015	53.44	4904382	765080
G8	2849	2849	0.746	120470	313	313	0.865	825868	825868	31.9	1361352	199386
G9	3118	3118	0.835	29572	172	172	0.964	927471	927471	30.89	482545	59072
G10	2845	2845	0.943	126201	319	319	0.907	1257989	1257989	39.42	845513	117025
G11	3122	3122	1.08	24778	161	161	0.981	1530100	1530100	39.63	267426	24726
G12	3289	3289	1.11	194042	391	391	0.90	1751354	1751354	40.24	1329238	194259
G13	3095	3095	1.16	79583	259	259	0.958	1813649	1813649	43.51	776899	106070
G14	3478	3478	1.04	180308	378	378	0.896	1562743	1562743	35.94	1158889	167060
G15	3439	3439	1.5	215900	412	412	0.937	3074446	3074446	50.98	3586066	554593
G16	3195	3195	0.975	97941	284	284	0.93	1311686	1311686	35.84	652629	86229
G17	2611	2611	0.85	1270576	980	980	0.458	2025189	2025189	54.49	7884050	1240825
G18	2911	2911	1.06	12246	129	129	0.987	1472979	1472979	41.7	170157	9195
G19	2251	2251	0.161	129637	323	323	0.217	152729	152729	17.36	7163649	1125803

محیطی رابطه خطی وجود ندارد. میانگین مربعات برهم کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط (خطی) معنی دار بود که واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در پاسخ به شرایط محیطی را نشان می‌داد و بیان‌گر وجود شیب خط رگرسیون متفاوت برای ژنوتیپ‌ها است (جدول ۷). این جدول همچنین نشان داد که واریانس انحراف از رگرسیون کل نیز معنی دار نبود، که دلالت بر مناسب بودن مدل رگرسیونی در توجیه تغییرات دارد. برخلاف این نتیجه، یاسین (۱۹۷۳) با مطالعه ده ژنوتیپ باقلا نشان داده بود که پاسخ خطی غیرمعنی دار بود (۴۲)، در حالی که انحراف از خطی معنی دار بود و غیرقابل پیش‌بینی بودن برهم کنش ژنوتیپ در محیط در مقایسه با جزو پیش‌بینی‌پذیر از اهمیت بیش‌تری برخوردار بود.

از جنبه دینامیک یا پویا پایداری، ژنوتیپ دارای عملکرد ثابتی است، اما در هر محیطی، میزان عملکرد آن با سطح تخمین زده شده سازگار است. اما در جنبه ساکن یا استاتیک پایداری که جزو جنبه‌های بیولوژیک پایداری است، ژنوتیپ عملکرد ثابتی را در محیط‌های مختلف دارد و بین محیط‌ها واریانسی وجود ندارد (۱۳). ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۱ و ۹ کم‌ترین شاخص انحراف از رگرسیون را داشتند و از نظر این شاخص نیز پایدار بودند. پژوهش‌گران دیگری نیز از روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار باقلا بهره گرفته‌اند (۸، ۳۷، ۳۸). تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به روش ابرهارت و راسل (۱۹۶۶) نشان داد واریانس محیط (خطی) معنی دار نبود که بیان‌گر آن است که بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر محیط با شاخص

جدول ۷- تجزیه واریانس مدل ابرهارت - راسل

Table 7- Eberhart - Russel's Model ANOVA

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
کل Total	151	
ژنوتیپ Gen	18	2349977**
ژنوتیپ + ژنوتیپ $\times$ محیط Gen + (Gen $\times$ Env)	133	4717597ns
محیط (خطی) Env (linear)	1	511948804ns
ژنوتیپ $\times$ محیط (خطی) Gen $\times$ Env(linear)	18	1950858**
انحراف پولد شده از رگرسیون Pooled deviation خطای ادغام شده Pooled error	114	705054ns

ns, \*, \*\*: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, \*, \*\*: Non-significant Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۸- آماره اثر همزمان عملکرد و پایداری (YSi) برای پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا بر اساس روش ترکیبی واریانس پایداری شوکلا و روش کنگ

Table 8- YSi statistic for faba bean grain yield stability based on Sukla variance and Kang method

ژنوتیپ Genotype no.	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield mean (kg ha <sup>-1</sup> )	رتبه‌بندی عملکرد (Y') Rank on yield	ضریب اصلاحی برای Y' Adjustment rank to Y'	رتبه تصحیح شده Y Adjusted Y	واریانس پایداری شوکلای (σ <sup>2</sup> i) Sukla stability variance	رتبه‌بندی پایداری (S) Stability rating	اثر هم‌زمان عملکرد و پایداری YSi=Y + S	ژنوتیپ‌های برگزیده Selected genotype
	G1	2685	4	-3	1	470034	-8	-7
G2	2576	2	-3	-1	22889	-4	-5	-
G3	2945	10	-1	9	330079	-8	1	-
G4	2803	5	-3	2	100319	-8	-6	-
G5	2846	7	-2	5	133975	-8	-3	-
G6	3263	16	3	19	98516	-8	11	+
G7	3129	14	2	16	765080	-8	8	+
G8	2849	8	-2	6	199386	-8	-2	-
G9	3118	12	2	14	59072	-8	6	+
G10	2845	6	-2	4	117025	-8	-4	-
G11	3122	13	2	15	24726	-4	11	+
G12	3289	17	3	20	194259	-8	12	+
G13	3095	11	2	13	106070	-8	5	+
G14	3478	19	3	22	167060	-8	14	+
G15	3439	18	3	21	554593	-8	13	+
G16	3195	15	3	18	86229	-8	10	+
G17	2611	3	-3	0	1240825	-8	-8	-
G18	2911	9	-1	8	9195	0	8	+
G19	2251	1	-3	-2	1125803	-8	-10	-

ns, \*, \*\*: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, \*, \*\*: Non-significant Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۲، ۶ و ۱۶، پنج ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد دانه بودند. علاوه بر این، رتبه پایداری ژنوتیپ‌ها از نظر واریانس شوکلا نیز آورده شده است، به طوری که ژنوتیپ‌های ۱۸، ۲، ۱۱، ۹ و ۱۶ کم‌ترین میزان واریانس پایداری شوکلا را داشتند و پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. از جمع رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه عملکرد دانه و واریانس شوکلا، آماره‌ای به‌نام رتبه پایداری معرفی شده است که هرچقدر میزان آن در ژنوتیپی کم‌تر باشد، آن ژنوتیپ پایدارتر خواهد بود. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۱، ۱۶، ۹ و ۱۴ برترین ژنوتیپ‌ها از نظر هر دو شاخص پایداری و متوسط عملکرد بودند. از آنجا که در برآورد این شاخص به هر دو جنبه پایداری و متوسط عملکرد توجه شده است، ژنوتیپ گزینش شده بر اساس آن از

از شاخص عملکرد - پایداری (YSi) (۱۲)، که در آن به هر دو جنبه پایداری و متوسط عملکرد یک ژنوتیپ توجه می‌شود، نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده شد که بر پایه آن، ژنوتیپ‌های ۶، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ با YSi بالاتر از متوسط YSi (۲/۸۴)، ژنوتیپ‌های پایدار بودند (جدول ۸). از مزیت‌های این روش این است که پایداری برآورد شده در آن، به دلیل تأکید بیش‌تر بر جزو پایداری (۲۰) و همچنین، دارای مفهوم پویا بودن پایداری (۱۱) از اطمینان بیش‌تری در فرایند گزینش برخوردار است. از این روش، برای ارزیابی پایداری عملکرد باقلا (۳۸) و برنج (۳۲)، استفاده شده است. در جدول ۹، بر پایه متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها به آن‌ها رتبه داده شده است، به طوری که

برتری بیشتری برخوردار خواهد بود. در تطابق با این نتیجه، تولسا و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از این شاخص، ژنوتیپ‌های پایدار باقلا را شناسایی کردند (۳۸).

جدول ۹- رتبه ژنوتیپ‌ها در هر کدام از محیط‌ها و تجزیه پایداری ناپارامتری ژنوتیپ‌ها

Table 9- Ranks of genotypes in environments and nonparametric method for stability analysis

شماره ژنوتیپ Genotype no.	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield mean (kg ha <sup>-1</sup> )	میانگین رتبه مطلق N در اختلافات ژنوتیپ محیط Mean of the absolute rank differences of a genotype i over the N environments(s <sub>1</sub> )	توزیع مربع کای آماره s <sub>1</sub> (Z <sub>1</sub> )	واریانس مشترک رتبه‌ها Common variance of the ranks (s <sub>2</sub> )	توزیع مربع کای آماره s <sub>2</sub> (Z <sub>2</sub> )	یک سوم بالای ژنوتیپ‌ها TOP third of genotyp es	رتبه بر پایه پایه میانگین rMea n	رتبه بر پایه واریانس شوکلای rShuka Var	رتبه پایداری rStab
G1	2685	8.57	3.24	57.14	6.07	0	16	15	31
G2	2576	3.46	5.18	8.27	3.89	0	18	2	20
G3	2945	8.71	3.66	54.21	4.83	0	10	14	24
G4	2803	5.43	0.5	20.57	0.73	0	15	7	22
G5	2846	5.96	0.08	24.98	0.21	0	13	10	23
G6	3263	5.68	0.26	22.7	0.44	2	4	6	10
G7	3129	7.68	1.18	45.84	2.07	2	6	17	23
G8	2849	6.96	0.27	34.12	0.14	0	12	13	25
G9	3118	5.39	0.54	20.55	0.74	0	8	4	12
G10	2845	5.5	0.42	22.29	0.49	1	14	9	23
G11	3122	4.04	3.31	11.7	2.76	0	7	3	10
G12	3289	6.82	0.16	34.55	0.17	3	3	12	15
G13	3095	6.32	0	27.7	0.04	0	9	8	17
G14	3478	6.86	0.19	33.64	0.11	6	1	11	12
G15	3439	8.07	1.96	48.79	2.91	4	2	16	18
G16	3195	6.07	0.04	25.64	0.16	1	5	5	10
G17	2612	9.54	6.6	66.98	11.27	2	17	19	36
G18	2911	3.39	5.44	8.12	3.94	0	11	1	12
G19	2251	9.39	6.03	68.84	12.43	3	19	18	37
---	-----	-----	---						
مجموع Z <sub>1</sub> Sum of Z <sub>1</sub> :	39.07								
مجموع Z <sub>2</sub> Sum of Z <sub>2</sub> :	53.38								

ژنوتیپ‌ها بودند و از آنجا که فقط عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۲ بالاتر از متوسط عملکرد بود، این دو ژنوتیپ، برترین ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص بودند. ژنوتیپ‌های ۲، ۱۸ و ۱۱ با داشتن کم‌ترین میزان آماره‌های  $\delta_i^{(1)}$  و  $\delta_i^{(2)}$ ، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و با توجه به عملکرد دانه، ژنوتیپ ۱۱ از نظر

پارامتر TOP (۸)، پارامتر ناپایداری دیگری است که از آن برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده می‌شود و برخلاف شاخص‌های دیگر هرچقدر مقدار آن برای ژنوتیپی بیشتر باشد، آن ژنوتیپ از مطلوبیت بیشتری برخوردار خواهد بود. بر این اساس ژنوتیپ ۱۴ (با معیار ۶) و ۱۹ و ۱۲ (با معیار ۳) مطلوب‌ترین

شده، در نظر گرفت. بر اساس ضریب رگرسیون  $(b_i)$ ، میانگین عملکرد ژنوتیپها  $(\bar{g})$  این ژنوتیپها در محیطهای مساعد مطلوب بودند. ژنوتیپهای ۶، ۹، ۱۴، ۱۶ و ۱۲ ژنوتیپهای برتر در محیطهای نامطلوب بودند. از آنجا که کمترین عملکرد دانه در محیطهای ۲، ۴، ۶ و ۸ دیده شد، به نظر می‌رسد که ژنوتیپهای ۶، ۹، ۱۴، ۱۶ و ۱۲ دارای سازگاری خصوصی به محیطهای اخیر باشند. در تطابق با این نتیجه، تمسژن و همکاران (۳۷) با استفاده از شاخص  $P_i$  پایدارترین ژنوتیپهای باقلا را شناسایی کردند. این شاخص که حاصل تلفیق عملکرد و پایداری آن است، ژنوتیپ پایدار را به‌عنوان ژنوتیپی با تظاهر نزدیک به بیشترین میزان عملکرد در محیطهای مختلف تعریف می‌کند (۱۶). از این رو، این شاخص به به‌نژادگران کمک می‌کند که ژنوتیپهای برتر از نظر عملکرد و پایداری عملکرد را شناسایی کنند.

**شاخص چندمعیاری SIIG:** با استفاده از نمودار دو بعدی حاصل از شاخص چندمعیاری SIIG و عملکرد دانه مشاهده شد که ژنوتیپهای ۶، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ در بالای محور افقی با داشتن بیشترین میزان شاخص SIIG و عملکرد دانه، ژنوتیپهای برتر بودند. دو ژنوتیپ ۱۴ و ۱۵ پرمحصول‌ترین و پایدارترین ژنوتیپها بودند. در بخش دوم، ژنوتیپهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۱۰ و ۱۸ قرار داشتند که پایدار بودند، اما عملکرد آنها پایین‌تر از متوسط عملکرد کل ژنوتیپها بود. در بخش سوم، فقط ژنوتیپ ۷ قرار داشت که میانگین عملکرد آن بیش‌تر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپها بود، اما از پایداری عملکرد کم‌تری برخوردار بود. در آخرین بخش، دو ژنوتیپهای ۱۷ و ۱۹ قرار داشتند که علاوه بر ناپایدار بودن عملکرد دانه، میانگین عملکرد آنها نیز پایین‌تر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپها بود (شکل ۱).

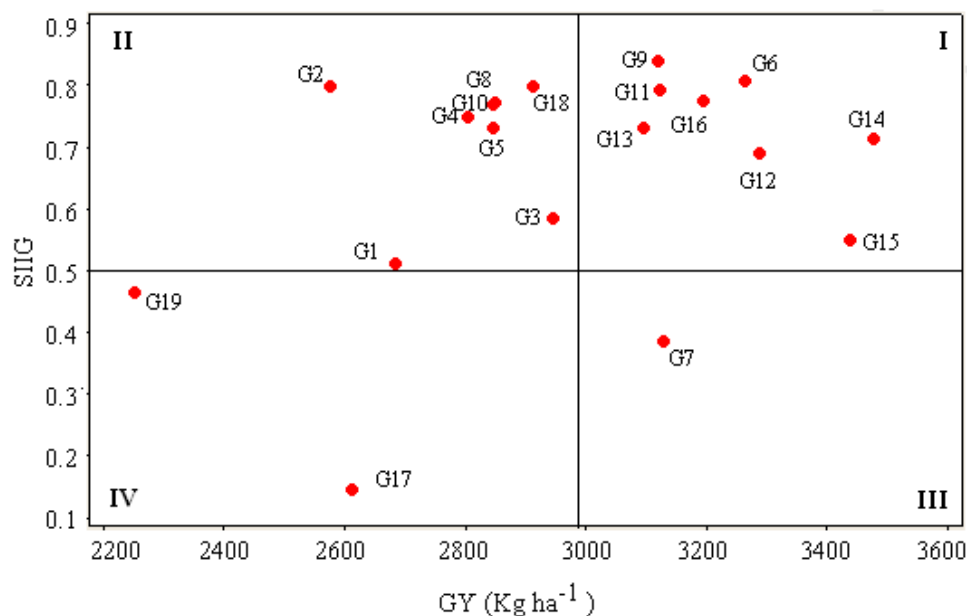
این شاخص‌ها بهترین ژنوتیپ بود. ارزش مجموع  $Z$ ها در ژنوتیپها برای هر دو آماره  $Z_1$  و  $Z_2$  (جدول ۹) بزرگ‌تر از  $\chi^2$  جدول با ۱۹ درجه آزادی (تعداد کل ژنوتیپها) بود، که تفاوت معنی‌دار بین سطوح پایداری ژنوتیپها را نشان می‌داد. مقادیر برای هر کدام از ژنوتیپها با  $3/84$  سنجیده شد که برای تمام ژنوتیپها (به جز  $Z_2$  در ژنوتیپ ۹) کوچک‌تر از این مقدار بود. بر اساس آماره  $Z_1$ ، ژنوتیپهای ۵، ۱۳، ۱۴ و ۱۶ کم‌ترین مقادیر را داشتند و ژنوتیپهای پایدار بودند. همچنین، ژنوتیپهای ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۲ و ۸ کم‌ترین میزان آماره  $Z_2$  را داشتند و پایدارترین ژنوتیپها بودند. پژوهش‌گران دیگری نیز این معیارهای ناپارامتری را برای تجزیه پایداری باقلا به‌کار برده‌اند (۸، ۲۶، ۳۷). از آنجا که امید ریاضی آماره  $S_i^{(1)}$  بزرگ‌تر از آماره  $S_i^{(2)}$  و واریانس آن کوچک‌تر از واریانس آماره  $S_i^{(2)}$  است، دقت آماره  $S_i^{(1)}$  برای انتخاب ژنوتیپ پایدار بیش‌تر از آماره دیگر است (۱۵). در روش‌های ناپارامتری، برقراری فرض‌های نرمال بودن توزیع داده‌ها، مستقل بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاها ضرورتی ندارد، که از مزیت‌های این روش نسبت به روش‌های پارامتری تجزیه پایداری است (۱۱، ۱۵).

**شناسایی ژنوتیپهای برتر بر پایه شاخص برتری لین و بینز:** از شاخص برتری  $(PI)$  (۱۶) هم برای ارزیابی پایداری ژنوتیپها استفاده شد که برتری عمومی ژنوتیپ را در تمام محیطها  $(Pi\_a)$ ، محیطهای مطلوب  $(Pi\_f)$  و محیطهای نامطلوب  $(Pi\_u)$  نشان می‌دهد. ژنوتیپهای ۱۵، ۱۴، ۱۲ و ۱۱ با کم‌ترین میزان شاخص‌های  $Pi\_f$  و  $Pi\_a$  پایدارترین ژنوتیپها در کل محیطها و محیطهای مطلوب بودند (جدول ۱۰). با توجه به میانگین عملکرد ژنوتیپها، محیطهای ۱، ۳، ۵ و ۷ از عملکرد بیش‌تری برخوردار بودند، بنابراین، این ۴ ژنوتیپ را می‌توان مناسب برای محیطهای گفته

جدول ۱۰- شناسایی ژنوتیپ‌های برتر باقلا با شاخص برتری در کل محیط‌ها، محیط‌های مطلوب و نامطلوب

Table 10- Identity the superior Faba bean genotypes by priority index in all of the environments, favourable and unfavourable environments

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	شاخص برتری در کل محیط‌ها		شاخص برتری در محیط‌های مطلوب		شاخص برتری در محیط‌های نامطلوب	
		Pi_a	R_a	Pi_f	R_f	Pi_u	R_u
G1	2685	1074887	16	1427162	15	722613	18
G2	2576	1134430	17	1518137	17	750723	19
G3	2945	802005	11	911113	10	692897	16
G4	2803	890366	15	1176200	12	604531	15
G5	2846	879979	13	1185123	13	574835	14
G6	3263	483721	5	873796	8	93647	1
G7	3129	546019	9	649757	5	442281	12
G8	2849	882261	14	1446629	16	317893	7
G9	3118	529847	8	916780	11	142913	2
G10	2845	812262	12	1220472	14	404052	10
G11	3122	446235	4	592121	4	300349	6
G12	3289	405225	3	548318	3	262132	5
G13	3095	528547	7	662327	6	394766	9
G14	3478	328624	2	481433	2	175816	3
G15	3439	232467	1	98097	1	366837	8
G16	3195	500132	6	788886	7	211378	4
G17	2611	1821655	18	2935052	18	708257	17
G18	2911	670236	10	891752	9	448721	13
G19	2251	2308379	19	4181091	19	435667	11



شکل ۱- نمودار دو بعدی پراکنش ۱۹ ژنوتیپ باقلا بر اساس عملکرد دانه و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

Figure 1- Two-dimensional graph of distribution of 19 faba bean genotypes based on seed yield and SIIG method



ژنوتیپ‌های ۶، ۹، ۱۴، ۱۶ و ۱۲ سازگاری اختصاصی به محیط‌های نامساعد ۲، ۴، ۶ و ۸ داشتند. تجزیه پایداری هم‌زمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری (YSi) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۶، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ با YSi بالاتر از متوسط YSi (۲/۸۴)، ژنوتیپ‌های پایدار بودند. بر اساس روش ناپارامتری TOP، ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۲ و بر اساس دو معیار  $S_i^{(1)}$  و  $S_i^{(2)}$ ، ژنوتیپ ۱۱ پایدارتر از دیگر ژنوتیپ‌ها بود. علاوه بر روش‌های تک‌معیاری شاخص چندمعیاری SIIG نیز استفاده شد که بر پایه آن ۱۴ و ۱۵ در بالای محور افقی با داشتن بیش‌ترین میزان شاخص SIIG و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های برتر بودند. در مجموع، ژنوتیپ‌های ۹، ۱۱، ۶، ۱۴ و ۱۵ از نظر عملکرد دانه پایدار بودند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ برتر گزینش و در آزمایش‌های به‌زرایی بررسی شوند.

### سپاسگزاری

از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر به جهت تامین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۹۴۲۸۸-۰۳-۵۷-۰، تشکر و قدردانی می‌گردد. نگارندگان از کارشناسان و کمک کارشناسان مراکز تحقیقاتی محل اجرای پروژه، که در اجرای این پژوهش به مدت دو سال با مجریان همکاری و مساعدت لازم را مبذول داشته‌اند، سپاسگزاری می‌کنند.

### نتیجه‌گیری کلی

تجزیه واریانس ژنوتیپ‌ها در تک تک محیط‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ در تمام محیط‌ها معنی‌دار بود. تجزیه مرکب داده‌ها نیز نشان‌دهنده اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بود که بیان‌گر تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است و از این‌رو، تجزیه پایداری به روش‌های مختلف انجام پذیرفت. ژنوتیپ‌های ۹، ۱۱ و ۱۶، به ترتیب با عملکرد ۳۱۱۸، ۳۱۲۲ و ۳۱۹۵ کیلوگرم در هکتار، واریانس شوکلا (۵۹۰۷۲، ۲۴۷۲۶ و ۸۶۲۲۹) و ضریب اکووالانس ریک (Wi) (۴۸۲۵۴۵، ۲۶۷۴۲۶ و ۶۵۲۶۲۹) و شاخص RMSE (۱۷۲، ۱۶۱ و ۲۸۴) پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ ۹ با کم‌ترین مقدار واریانس محیطی (۹۲۷۴۷۱) و ضریب تغییرات محیطی (۳۰/۸۹)، پایداری بیش‌تری را در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر داشت. ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۱ بر اساس ضریب تشخیص ( $R^2$ ) به ترتیب با مقادیر ۰/۹۸۱ و ۰/۹۶۴، پایدارتر از ژنوتیپ‌های دیگر بودند. ضریب رگرسیون ژنوتیپ‌های ۶، ۹ و ۱۶ کم‌تر از یک و میانگین عملکرد آن‌ها بیش‌تر از میانگین کل بود، بنابراین، این ژنوتیپ‌ها با داشتن پایداری بیش‌تر از متوسط، واکنش ضعیفی به محیط‌های مساعد نشان می‌دادند. ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۹، به ترتیب با مقادیر (۲۹۵۷۲ و ۲۴۷۷۸) کم‌ترین شاخص انحراف از رگرسیون را داشتند و از نظر این شاخص نیز پایدار بودند. ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۲ و ۱۱ دارای سازگاری اختصاصی به محیط‌های مساعد ۱، ۳، ۵ و ۷ و

### منابع

1. Astaraki, H., Sharifi, P., and Sheikh, F. 2020. Estimation of genotypic correlation and heritability of some of traits in faba bean genotypes using restricted maximum likelihood (REML). *Plant Genet. Res.* 6: 2. 111-128.
2. Bartlett, M.S. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A.* 160: 268-282.
3. Eberhart, S.A., and Russel, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 1. 36-40.
4. FAO, 2018. FAO annual statistics reports. <http://faostat.fao.org/567>.
5. Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in plant-

- faba* L. 1. Variation among inbred lines. Plant breeding. J. Plant Breed. 112: 24-29.
18. Maalouf, F., Shaaban, Kh. S., Akinnola, A., Akintunde, N., Kharrat, M., El Shama, Kh., Rajinder, S.H., and Malhotra, S. 2011. Yield stability of Faba bean lines under diverse broomrape prone production environments. Field Crops Res. 124: 288-294.
  19. Mendiburu, F. 2019. Statistical procedures for agricultural research. <http://tarwi.lamolina.edu.pe/fmendiburu>.
  20. Moghadam, A. 2003. Statistical procedures for agricultural research simultaneous selection for yield and stability and it's comparison with stability different statistics. Seed Plant J. 19: 1. 1-13. (In Persian)
  21. Nassar, R., and Huehn, M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics. 43: 45-53.
  22. Olivoto, T., and Lúcio, A.D. 2020. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. metan: An R package for multi-environment trial analysis. Methods in Ecology and Evolution, 11: 783-789.
  23. Perkins, J.M., and Jinks, J.L. 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability III. Multiple lines and crosses. Heredity. 23: 339-356.
  24. Pinthus, M.J. 1973. Estimate of genotypic value: A proposed method. Euphytica. 22: 1. 121-123.
  25. Roemer, J. 1917. Sinde die ertagdreichen Sorten ertagissicherer. DLG-Mit. 32: 1. 87-89.
  26. Sarparast, R., Sheikh, F., and Sowghi, H.A. 2011. Investigation of genotype and environment interaction and cluster analysis for seed yield in different lines of faba bean (*Vicia faba* L.). Ir J. Pulses. Res. 2: 99-106.
  27. Scapim, C.A., Oliveira, V.R., Braccini, A.L., Cruz, C., Andrade, C.A.B., and Vidigal, M.C.G. 2000. Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. Genet. Mol. Biol. 23: 2. 387-393.
  - breeding programs. Aust. J. Agric. Res. 14: 6. 742-754.
  6. Fox, P.N., Skovmand, B., Thompson, B.K., Braun, H.J., and Cormier, R. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. Euphytica. 47: 1. 57-64.
  7. Francis, T.R., and Kannenberg, L.W. 1978. Yield stability studies in short-season maize. 1. A descriptive method for grouping genotypes. Can J. Plant Sci. 58: 4. 1029-1034.
  8. Georgieva, N.A., and Kosev, V.I. 2019. Ecological stability of broad bean (*Vicia faba* L.) in organic farming conditions. Vavil J. Gen Breed. 23: 8. 981-992
  9. Haciseferogullari, H., Geaer, I., Bahtiyarca, Y., and Menges, H.O. 2003. Determination of some chemical and physical properties of Sakiz faba bean (*Vicia faba* L. Var major). J. Food Eng. 60: 476-479.
  10. Huhn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability: II. Applications. Euphytica, 47: 3. 195-201.
  11. Jamshidi Mogaddam, M., and Pourdad, S.S. 2013. Evaluation of seed yield adptability of spring safflower genotypes using nonparametric parameters and GGE biplot method in rain-fed conditions. J. Plant Breed. Crop Sci. 29: 1. 45-63. (In Persian)
  12. Kang, M.S. 1988. A rank-sum method for selecting high yielding stable corn genotypes. Cereal Res. Commun. 16: 1-2. 113-115.
  13. Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability: Consequences for growers. Agron. J. 85: 3. 754-757.
  14. Kang, M.S., and Mangari, R. 1995. Stable: A basic program for calculating stability and yield-stability statistics. Agron. J. 87: 2. 276-277.
  15. Kaya, Y., and Taner, S. 2003. Estimating genotypic ranks by nonparametric stability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Cent. Eur. Agric. 4: 1. 47-53.
  16. Lin, C.S., and Binns, M. R. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. Can. J. Plant Sci. 68: 193-198.
  17. Link, W., Stelling, D., and Ebmeyer, E. 1994. Yield stability in faba bean, *Vicia*

- faba* L. 2. Effects of heterozygosity and heterogeneity. *Plant Breed.* 112: 30-39.
36. Tadele, M., Mohammed, W., and Jarso, M. 2020. Yield stability and genotype  $\times$  environment interaction of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *J. Plant Breed. Crop Sci.* 7: 2. 833-846.
37. Temesgen, T., Kenenib, G., Seferaa, T., and Jarsob, M. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Crop J.* 3: 258-268.
38. 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. *J Crop Sci Biotechnol.* 22: 3. 265-274.
39. Wrick, G. 1962. Evaluation Method for Recording Ecological Differences in Field Trials. *Z. Pfl.* 47: 1. 92-96.
40. Yan, W., Hunt, L.A., Sheny, Q., and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 3. 597- 605.
41. Yaseen, M., Eskridge, K.M., and Murtaza, G. 2018. Package 'stability'. <https://github.com/myaseen208/stability>.
42. Yassin, T.E. 1973. Analysis of yield stability in field beans (*Vicia faba* L.) in the Northern province of the Sudan. *J. Agric Sci.* 80: 1. 119-124.
43. Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., and Hoseini, S.M. 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biol Forum Int J.* 7: 2. 703-711.
28. Sharifi, P. 2020. Application of multivariate analysis methods in agricultural sciences. Rasht branch, Islamic Azad University press, IR (In Persian)
29. Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., and Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype $\times$ environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Sci.* 24: 3. 173-180.
30. Sharifi, P., and Aminpanah, H. 2014. A study on the genetic variation in some of faba bean genotypes using multivariate statistical techniques. *Trop. Agric.* 91: 2. 87-97.
31. Sharifi, P., Astereki, H., and Safari Motlagh, M.R. 2014. Evaluation of genotype, environment and genotype  $\times$  environment interaction effects on some of important quantitative traits of faba bean (*Vicia faba* L.). *J. Crop Breed.* 6: 13. 73-88. (In Persian)
32. Sharifi, P., Erfani, R., Mohaddesi, A., Abbasian, A., Aminpanah, H., Yousefi, M., and Saeedi, M. 2020. Stability analysis of grain yield of some of rice genotypes by parametric and nonparametric uni-variate methods. *Electron J. Crop Prod.* 13: 3. 85-106. (In Persian)
33. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity (Edinb).* 29: 2. 237-245.
34. Skovbjerg, C.K., Knudsen, J., Fuchtbauer, W., Stougaard, J., Stoddard, F.L., Janss, F., and Andersen, S.U. 2019. Evaluation of yield, yield stability and yield-protein trade-off in commercial faba bean cultivars. <https://doi.org/10.1101/843862>. 15 November.
35. Stelling, D., Ebmeyer, E., and Link, W. 1994. Yield stability in faba bean, *Vicia*

