

## ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba L.*) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره

حسین آسترکی<sup>۱</sup>، پیمان شریفی<sup>۲\*</sup>، فاطمه شیخ<sup>۳</sup> و علی ایزدی دربندی<sup>۴</sup>

۱- محقق سازمان تحقیقات آموزش و ترویج جهاد کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی بروجرد؛  
research12014@gmail.com

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان؛  
sheikhfatemeh@yahoo.com

۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران؛ aizady@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴

### چکیده

آزمایش حاضر به منظور بررسی روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد ۲۶ ژنوتیپ باقلا در استان لرستان به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. نتایج برآورد ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی، تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، طول غلاف، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی مثبت داشت. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون، صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد گره در شاخه، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و طول غلاف می‌توانند به عنوان متغیرهای پیشگویی کننده برای عملکرد دانه وارد مدل شوند. تجزیه علیت نشان داد که ارتفاع بوته (۰/۵۱)، تعداد غلاف در بوته (۰/۵۱)، تعداد گره در شاخه (۰/۱۱)، تعداد دانه در غلاف (۰/۲۰)، وزن ۱۰۰ دانه (۰/۳۴) و طول غلاف (۰/۴۱) اثرات مستقیم مثبت بر عملکرد دانه دارد. در مجموع بایستی به صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در شاخه و طول غلاف برای افزایش عملکرد دانه توجه شود و این صفات می‌توانند به عنوان شاخص‌های انتخاب در برنامه‌های اصلاح باقلا استفاده شوند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شش مؤلفه را معرفی کرد که حدود ۸۰ درصد از تغییرات را توجیه می‌نمود. توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای نمودار دوبعدی (بای پلات)، وجود تنوع ژنتیکی بالای بین ژنوتیپ‌ها را از نظر صفات مورد مطالعه نشان داد. در مجموع، می‌توان اظهار داشت که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا شامل ۹ و ۲۲ می‌توانند برای بهبود عملکرد دانه باقلا استفاده شوند و سبب افزایش تولید این محصول شوند.

واژه‌های کلیدی: باقلا، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تجزیه علیت، همبستگی، عملکرد

### مقدمه

عملکرد، صفت کمی پیچیده‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌گردد و شدیداً تحت تأثیر محیط قرار دارد و حاصل خصوصیات بسیاری است که به تنهایی یا با هم بر آن اثر می‌گذارند. بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس عملکرد سودمند نیست و چنانچه انتخاب بر اساس صفاتی انجام شود که به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر عملکرد سهم دارند، بسیار مفیدتر خواهد بود (Amini et al., 2002). در اصلاح نباتات مطالعه همبستگی به منظور یافتن روابط بین صفات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ضریب همبستگی شدت یا ضعف و جهت تبعیت تغییرات دو متغیر را نسبت به یکدیگر معلوم می‌سازد (Chaieb et al., 2011). روابط بین عملکرد، اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیک توسط بسیاری از محققان در باقلا مورد بررسی قرار گرفته است و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته،

باقلا یکی از مهم‌ترین بقولات دانه‌ای با ۲/۹ میلیون هکتار سطح زیرکشت در خاورمیانه، چین و حتی نقاطی از اروپا و استرالیا است که با حدود ۱۸ تا ۳۶ درصد پروتئین نقش مهمی را در تأمین مواد پروتئینی مورد نیاز بشر دارد و همچنین با دارا بودن باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه یکی از گیاهان مهم تثبیت‌کننده نیتروژن هوا در خاک است (Turpin et al., 2002). سطح زیرکشت باقلا در ایران در حدود ۲۰۰۰ هکتار با متوسط عملکرد ۴۰۰۰-۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بذر خشک و حدود ۸ تن در هکتار غلاف سبز است (FAO, 2015).

\*نویسنده مسئول: sharifi@iaurasht.ac.ir

است که دو مؤلفه اول  $73/98$  درصد از تغییرات داده‌ها (Sharifi & Aminpanah, 2014) را توجیه کردند. همچنین در مطالعه دیگری، از تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای طبقه‌بندی ۹ ژنوتیپ باقلا بر اساس ۲۷ صفت زراعی و مورفولوژیکی استفاده شد (Ouji *et al.*, 2011).

هدف از تحقیق حاضر بررسی ارتباط صفات مختلف با عملکرد دانه و تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد دانه باقلا برای بهره‌گیری از آنها در انتخاب و معرفی صفاتی می‌باشد که بتوان از آنها جهت انتخاب ژنوتیپ‌ها بهره برد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بروجرد، استان لرستان به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. مواد گیاهی مورد استفاده در این آزمایش شامل ۱۳ ژنوتیپ دانه درشت و ۱۳ ژنوتیپ دانه‌ریز باقلا بودند (جدول ۱).

پس از انجام مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و صاف‌کردن، کودپاشی به صورت دستی (شامل کود سوپرفسفات آمونیوم ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) صورت گرفت. عملیات کاشت به صورت دستی و در تاریخ ۱۵ اسفند ۱۳۹۴ انجام شد. هر کرت شامل هشت ردیف به مساحت  $16 = 4 \times 4$  مترمربع و فاصله بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف بود. عملیات آبیاری در چهار نوبت انجام شد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز سه مرتبه و به‌طور دستی انجام گرفت. گیاهان تا مراحل رسیدگی دانه نگهداری و صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد گره در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، طول غلاف، عملکرد دانه خشک، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت برای آنها اندازه‌گیری شد. مراحل فنولوژیک شامل تعداد روز تا جوانه‌زنی، تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی دانه با ثبت تاریخ دقیق روز و ماه در کرت‌ها صورت گرفت. تاریخ گلدهی، روزی منظور شد که ۵۰ درصد بوته‌ها در چهار ردیف وسط هر کرت، حداقل یک گل باز شده داشته باشد و رسیدگی‌ریال روزی لحاظ گردید که غالب بوته‌های موجود در هر کرت، آماده برداشت شده بودند.

تجزیه واریانس برای صفات فوق به روش معمول با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 انجام گرفت. همبستگی فنوتیپی با استفاده از ضریب پیرسون و همچنین ضرایب رگرسیون برای تعیین سهم اثر جمعی صفات در تعیین عملکرد دانه با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 محاسبه شدند.

تعداد دانه در غلاف، عملکرد بیولوژیک، تعداد ساقه در بوته، شاخص برداشت، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی، ارتفاع بوته، طول غلاف و طول و عرض دانه گزارش شده است (Alghamd, 2007; Sharifi, Azarpour *et al.*, 2012; 2014; Ulukan *et al.*, 2003; Tadesse *et al.*, 2011; Hashemi & Mohammady, 2016; Sharifi *et al.*, 2014; Badolay *et al.*, 2009).

تجزیه رگرسیون روشی برای برآورد ارزش یک متغیر کمی با توجه به رابطه آن با یک یا چند متغیر کمی دیگر است و با استفاده از این رابطه می‌توان تغییرات یک متغیر را بر اساس تغییرات سایر متغیرها پیش‌بینی کرد (Kanouni & Malhotra, 2003). به منظور تعیین نقش اجزای عملکرد در بالابردن عملکرد و افزایش کارایی انتخاب از طریق تعداد کمی از خصوصیات که شاخص‌های مؤثر در دستیابی به اهداف اصلاحی محسوب می‌شوند، از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده می‌شود (Maalouf *et al.*, 2011). به‌طور کلی همبستگی بین یک متغیر وابسته و مستقل به سه جزء شامل ضرایب علیت (اثرات مستقیم متغیر مستقل بر متغیر وابسته)، اثرات غیرمستقیم (که از طریق متغیرهای همبسته دیگر بر متغیر وابسته اثر می‌گذارد) و اثرات ناشی از عوامل ناشناخته (اثرات باقیمانده) تقسیم می‌شود (Wright, 1921). بنابراین می‌توان با استفاده از تجزیه علیت به اطلاعات تکمیلی دست یافت که عموماً در همبستگی‌های ساده مشاهده نمی‌شوند. تعداد زیادی از محققان روابط علت و معلولی بین عملکرد دانه و سایر صفات را در باقلا مورد بررسی قرار داده‌اند و به اثرات مستقیم تعداد دانه و غلاف در بوته، تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی، وزن ۱۰۰ دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، طول غلاف و عملکرد بیولوژیک بر عملکرد دانه اشاره کرده‌اند (Ulukan *et al.*, 2003; Tadesse *et al.*, 2011; Azarpour *et al.*, 2012; Sharifi, 2014; Hashemi & Mohammady, 2016; Kumar *et al.*, 2017).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یک روش آماری برای کاهش ابعاد اطلاعات و داده‌ها است، به نحوی که اطلاعاتی که واریانس بیشتری توجیه می‌نمایند، در مؤلفه‌های اولیه قرار می‌گیرند. در این روش عدم همبستگی بین شاخص‌ها یک ویژگی مفید است، زیرا در این حالت این شاخص‌ها جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند (Ringner, 2008). در این روش نمودارهای بای‌پلات و سه‌بعدی جهت نمایش و ترسیم همزمان نقاط و محورها استفاده می‌شود که در آنها هر یک از ابعاد نمودار مربوط به یکی از مؤلفه‌های اصلی است (Knudsen, 2005). روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در تعدادی از مطالعات مربوط به باقلا مورد استفاده قرار گرفته است و نشان داده شده

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های باقلا مورد مطالعه  
Table 1. Characteristics of faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ Genotype name	اندازه دانه Seed size	منشأ Origin
1	G-faba-1	دانه بزرگ	ایتالیا
2	G-faba-95	دانه بزرگ	ایکارد
3	G-faba-98	دانه بزرگ	مصر
4	G-faba-62	دانه بزرگ	ایکارد
5	G-faba-67	دانه بزرگ	ایکارد
6	G-faba-13	دانه بزرگ	ایکارد
7	G-faba-16	دانه بزرگ	ایکارد
8	G-faba-159	دانه بزرگ	ایکارد
9	G-faba-133	دانه بزرگ	ایکارد
10	G-faba-146	دانه بزرگ	ایکارد
11	Balogi	دانه بزرگ	ایران-سیستان
12	Saraziri	دانه بزرگ	ایران-خوزستان
13	Barekat	دانه بزرگ	ایران-گلستان
14	G-faba-29	دانه ریز	ایکارد
15	G-faba-31	دانه ریز	ایکارد
16	G-faba-35	دانه ریز	ایکارد
17	G-faba-51	دانه ریز	ایکارد
18	G-faba54	دانه ریز	ایکارد
19	G-faba-63	دانه ریز	ایکارد
20	G-faba-64	دانه ریز	ایکارد
21	G-faba66	دانه ریز	ایکارد
22	G-faba-69	دانه ریز	ایکارد
23	G-faba-79	دانه ریز	ایکارد
24	G-faba-94	دانه ریز	ایکارد
25	G-faba-161	دانه ریز	ایکارد
26	Broujerd	دانه ریز	ایران بروجرد

یافته‌های سایر محققان می‌باشد ( Sarparast *et al.*, 2011; Sharifi, 2014; Sharifi *et al.*, 2014). ضرایب تغییرات برای صفات مورد مطالعه از ۰/۷۶ (تعداد روز تا رسیدگی) تا ۲۰/۹۸ (شاخص برداشت) متغیر بود. میزان این شاخص برای عملکرد دانه ۱۴/۵۵ بود.

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تعداد روز تا جوانه‌زنی دارای دامنه‌ای از ۲۳ (ژنوتیپ ۲۶) تا ۲۷/۶۷ (ژنوتیپ ۳) بودند. کمترین تعداد روز تا گلدهی (۱۲۱) مربوط به ژنوتیپ شماره ۷ و بیشترین میزان آن (۱۲۶/۶۷) مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۲ بود. کمترین (۲۱۹) و بیشترین (۲۳۷/۶۷) تعداد روز تا رسیدگی به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۱ بود. بیشترین میزان ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ ۲۶ (۹۸/۶۰ سانتی‌متر) و کمترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ ۱۵ (۵۰/۴۷ سانتی‌متر) بود. تعداد غلاف در بوته دارای دامنه‌ای از ۱۳/۷ (ژنوتیپ ۱) تا ۴۶/۲ (ژنوتیپ ۱۵) بود. کمترین (۳/۱) و بیشترین (۸/۷) تعداد ساقه به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۱ بود.

برای بررسی هم‌خطی چندگانه یا چندهم‌خطی (Multi-collinearity) در تجزیه رگرسیون از دو ضریب تحمل (Tolerance) و عامل تورم واریانس (Variance Inflation Factor: VIF) استفاده شد که توسط Hair *et al.*, (1995) معرفی شده است. مقادیر خیلی پایین تحمل (کوچک‌تر از ۰/۱) و یا بزرگ VIF (بزرگ‌تر از ۱۰) نشان‌دهنده هم‌خطی بالا است و نباید به عنوان صفات پیش‌بین در تجزیه رگرسیون و علیت استفاده شوند (Mohammadi *et al.*, 2003). بررسی روابط بین صفات به روش تجزیه علیت و با استفاده از نرم‌افزار Path analysis صورت گرفت. همچنین برای تجزیه مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

## نتایج و بحث تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اختلاف بسیار معنی‌داری از نظر تمام صفات مورد مطالعه وجود داشت (جدول ۲). این نتیجه در تطابق با

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات باقلا  
Table 2. Analysis of variance (MS) for some traits of faba bean

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه خشک Dry seed yield	طول غلاف Pod length	وزن ۱۰۰ دانه Seed weight	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	تعداد گره در شاخه Number of node per stem	تعداد شاخه در بوته Number of stem per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	ارتفاع بوته Plant height	تعداد روز تا رسیدگی تا رسیدگی Days to maturity	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تعداد روز تا جوانه زنی Days to germination
بلوک Block	2	0.005 <sup>ns</sup>	13798.3 <sup>ns</sup>	4104.20	47.53 <sup>**</sup>	29.45 <sup>ns</sup>	0.79 <sup>ns</sup>	53.97 <sup>ns</sup>	0.55 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	39.05 <sup>ns</sup>	114.12 <sup>*</sup>	2.16 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	1.16 <sup>ns</sup>
ژنوتیپ Genotype	25	0.17 <sup>**</sup>	66925.2 <sup>**</sup>	22515.1 <sup>**</sup>	32.4 <sup>**</sup>	2522.2 <sup>**</sup>	0.23 <sup>**</sup>	1609.6 <sup>**</sup>	15.92 <sup>**</sup>	4.43 <sup>**</sup>	206.72 <sup>**</sup>	37454 <sup>**</sup>	46.75 <sup>**</sup>	4.32 <sup>**</sup>	4.22 <sup>**</sup>
خطا (Error)	50	0.018	3322.06	2141.72	0.76	141.06	0.11	129.92	0.92	0.77	13.26	34.26	2.99	1.45	0.88
ضریب تغییرات CV%	-	20.98	10.89	14.55	10.39	10.55	12.53	13.55	5.71	17.18	11.33	8.55	0.76	0.98	3.82

ns: Non-significant, \* and \*\*: Significant at  $\alpha = 0.05$  &  $\alpha = 0.01$ , respectively

عملکرد دانه افزایش می‌یابد و یکی از راه‌های افزایش عملکرد دانه، افزایش عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به‌طور همزمان است. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، محققان دیگری نیز همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته (Tadesse *et al.*, 2011; Badolay *et al.*, 2009)، تعداد غلاف در بوته (Sharifi *et al.*, 2014)، طول غلاف (Sharifi *et al.*, 2014)، عملکرد بیولوژیک (Alghamd, 2007; Hashemi & Ulukan *et al.*, 2003) و شاخص برداشت (Mohammady, 2016) را گزارش نمودند.

با توجه به همبستگی بالای بین عملکرد دانه و صفات فوق، گزینش بر مبنای این صفات می‌تواند سبب افزایش و بهبود عملکرد دانه شود، اما در تدوین یک برنامه اصلاحی توجه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد دانه نیز ضروری است (Sabori *et al.*, 2011). عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا رسیدگی، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه همبستگی منفی داشتند که این نتیجه در تطابق با یافته Rasheed *et al.* (2008) می‌باشد. در مورد این روابط می‌توان گفت با توجه به سرما دوست بودن باقلا، برخورد دوره‌های حساس پر شدن دانه با تنش خشکی و درجه حرارت‌های بالای انتهای فصل، منجر به سقط جنین، کاهش اندام‌های فتوسنتز کننده گیاه و در نهایت کاهش تعداد دانه در غلاف و وزن دانه شده است (Tadayyon *et al.*, 2011). همبستگی مثبت تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی که زودتر به مرحله گلدهی رسیده‌اند، دارای دوره رشدی کوتاه‌تری بوده و در نتیجه گزینش برای زودرسی را می‌توان بر اساس تعداد روز تا گلدهی انجام داد.

ژنوتیپ ۶ (۲۰/۳) و ژنوتیپ ۱۲ (۱۳/۰) دارای بیشترین تعداد گره در ریشه بودند. تعداد دانه در بوته و غلاف نیز به ترتیب دارای دامنه‌ای از ۴۳/۹ (ژنوتیپ ۱) تا ۱۳۷/۶ (ژنوتیپ ۲۲) و ۱/۵ (ژنوتیپ ۱۱) تا ۴/۱ (ژنوتیپ ۱۳) بودند. بیشترین وزن ۱۰۰ دانه (۱۷۰/۹۵ گرم) مربوط به ژنوتیپ ۱ و کمترین میزان آن (۵۳/۶۹ گرم) مربوط به ژنوتیپ ۲۶ بود. بیشترین میزان طول غلاف (۲۲/۴۵ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۱ و کمترین میزان آن (۳/۰۷ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۳ بود.

عملکرد دانه دارای دامنه‌ای از ۸۱/۶۷ گرم در مترمربع (ژنوتیپ ۱۵) تا ۴۴۸/۱۳ گرم در مترمربع (ژنوتیپ ۲۰) متغیر بود. کمترین میزان عملکرد بیولوژیک (۴۷۳/۶۶ گرم در مترمربع) مربوط به ژنوتیپ ۱۴ و بیشترین میزان آن (۱۰۹۲ گرم در مترمربع) مربوط به ژنوتیپ ۱۸ بود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، بیشترین (۰/۵۶) و کمترین (۰/۲۷) میزان شاخص برداشت به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۴ بود (جدول ۳).

#### برآورد ضرایب همبستگی

ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا جوانه زنی، تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، طول غلاف، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی مثبت داشت (جدول ۴). همبستگی مثبت عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بیان کننده این مطلب است که با افزایش شاخص برداشت و وزن خشک اندام هوایی،

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی باقلا  
Table 3. Mean comparison for traits of faba bean

ژنوتیپ Genotype	تعداد روز تا جوانه‌زنی Days to germination	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد شاخه در بوته Number of stem per plant	تعداد گره در شاخه Number of node per stem	تعداد دانه در بوته Number of seed per pla	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100 Seed weight (g)	طول غلاف (سانتی‌متر) Pod length (cm)	عملکرد دانه خشک (گرم در متر مربع) Dry seed yield (g m <sup>-2</sup> )	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع) Biological yield (g m <sup>-2</sup> )	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
1	25	122	238	64.93	13.7	4.0	16.7	43.9	3.3	170.9	6.0	183.3	480.7	0.38
2	26	123	228	59.47	29.9	4.3	19.0	69.3	2.3	116.6	7.3	379.0	966.0	0.39
3	28	123	228	55.80	23.2	3.1	14.3	66.0	2.9	116.4	9.4	282.1	583.3	0.48
4	24	123	228	52.33	36.5	5.8	17.0	95.9	2.6	125.1	8.5	228.1	644.0	0.35
5	25	122	226	55.67	28.2	3.8	16.7	58.6	2.1	166.0	10.1	355.6	648.7	0.55
6	26	123	221	69.13	25.9	4.6	20.3	51.2	2.0	161.5	7.3	320.4	700.0	0.46
7	26	121	222	65.73	31.5	6.5	14.3	78.5	2.5	141.4	6.3	245.0	508.7	0.48
8	25	124	224	72.47	33.9	4.9	19.7	80.9	2.5	132.2	8.5	334.6	756.0	0.44
9	27	124	224	71.80	38.3	4.7	15.3	96.0	2.5	101.0	10.9	445.2	998.7	0.45
10	25	122	224	69.80	34.5	6.9	13.0	93.3	2.7	111.3	9.5	221.5	513.3	0.43
11	24	125	219	83.73	37.7	8.7	18.3	58.0	1.5	105.6	22.4	386.0	1003.3	0.38
12	25	127	230	78.07	17.3	4.3	13.0	58.5	3.4	125.2	5.9	311.7	1003.3	0.31
13	26	122	227	70.40	14.5	4.0	13.7	58.7	4.1	148.3	3.1	367.9	840.7	0.44
14	24	125	224	56.00	38.0	4.2	18.3	87.4	2.3	69.3	7.3	276.5	473.7	0.56
15	24	123	224	50.47	46.2	5.7	14.7	121.9	2.6	71.0	7.2	81.7	499.3	0.30
16	24	123	227	60.73	38.0	4.9	15.7	95.6	2.5	82.8	7.5	197.9	728.0	0.27
17	23	123	225	61.40	32.7	4.3	18.7	92.9	2.9	91.4	8.0	358.1	889.0	0.40
18	24	123	226	68.00	29.8	4.5	17.0	80.8	2.7	105.9	7.8	353.3	1092.0	0.32
19	24	121	219	66.80	30.3	5.3	14.3	103.6	3.4	96.9	8.4	292.9	807.3	0.36
20	24	123	221	74.07	40.1	5.1	18.3	106.0	2.7	102.1	8.7	448.1	886.7	0.51
21	24	123	220	74.27	41.1	5.3	20.3	124.9	3.0	94.1	10.4	336.5	1010.3	0.33
22	24	122	222	69.73	44.9	7.1	18.3	137.6	3.1	103.5	7.2	366.0	980.0	0.37
23	24	122	224	65.00	27.4	5.7	16.0	80.2	2.9	119.2	8.2	296.7	574.0	0.52
24	23	123	229	74.13	34.3	4.6	15.7	80.9	2.3	105.3	8.9	427.1	830.7	0.51
25	24	123	228	90.07	32.6	4.8	18.3	77.6	2.4	108.4	8.0	391.8	784.0	0.50
26	23	121	222	98.60	34.7	6.0	20.3	88.1	2.5	53.7	6.4	380.0	793.3	0.48
LSD (5%)	1.54	1.97	2.83	9.59	5.98	1.44	1.57	18.71	0.54	19.47	1.43	75.89	94.52	0.16

### تجزیه رگرسیون و علیت

خطی موجود و با استفاده از متغیرهای پیشگویی کننده فوق توجیه می‌شود. این مدل در سطح احتمال یک درصد معنی دار و معادله رگرسیونی آن به صورت زیر به دست آمد:

$$SY = -379.58 + 5.76PH + 5.38NP - 46.69NS + 4.10NN + 34.65NSEPo + 1.01HSW + 10.94PL$$

توضیح این که صفات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با توجه به چند هم‌خطی بالای آن‌ها در تجزیه علیت و رگرسیون حذف شدند (Mohammadi et al., 2003). به نظر می‌رسد که می‌توان از صفات فوق در جهت بهبود عملکرد دانه باقلا و انجام گزینش برای نیل به نتایج با عملکرد بالا استفاده کرد. با این وجود، صرفاً بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون و همبستگی نمی‌توان به معرفی شاخصی مناسب برای بهبود عملکرد از طریق انتخاب پرداخت و با بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات از طریق تجزیه علیت و تفسیر نتایج حاصل از آن، اطلاعات دقیق‌تر و قابل قبول‌تری در این زمینه ارائه خواهد شد (Sabori et al., 2011). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام نشان داده شد که تعداد دانه در بوته تنها صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد

در تجزیه رگرسیون برای بررسی روابط علی و معلولی بین صفات اندازه‌گیری شده و عملکرد دانه، عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع (SY) و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. صفات ارتفاع بوته (PH)، تعداد غلاف در بوته (NP)، تعداد شاخه در بوته (NST)، تعداد گره در بوته (NN)، تعداد دانه در غلاف (NSEPo)، وزن ۱۰۰ دانه (HSW) و طول غلاف (PL) به‌عنوان متغیرهای پیشگویی کننده برای عملکرد دانه با استفاده از مدل رگرسیون گام به گام وارد مدل شدند. در این مدل رگرسیونی، یک متغیر به‌عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته می‌شوند و در هر مرحله یک متغیر وارد مدل می‌شود. در تعیین متغیرهای پیشگویی کننده به هم‌خطی چندگانه توجه می‌گردد و متغیرهای دارای هم‌خطی بالا، به‌عنوان صفات پیش‌بین در تجزیه رگرسیون در نظر گرفته نمی‌شوند. ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) برای این رابطه رگرسیونی ۰/۵۷ برآورد گردید که نشان می‌داد بیش از نیمی از تغییرات متغیر تابع توسط رابطه



وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع بوته، مهم‌ترین صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه باقلا بودند.

و بیشترین تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد ( Hashemi & Mohammady, 2016). همچنین (Tadesse et al, 2011). نشان دادند که تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف،

جدول ۴- همبستگی برخی از صفات زراعی در ژنوتیپ‌های باقلا

Table 4. Correlations between some of agronomic traits in faba bean genotypes

صفات Characters	شاخص برداشت Harvest index (HI)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (BY)	عملکرد دانه خشک Dry seed yield (DSY)	طول غلاف Pod length (PL)	وزن هزار دانه 100 Seed weight (HSW)	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod (NSePo)	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant (NSePl)	تعداد گره در شاخه Number of node per stem (NNSt)	تعداد شاخه در بوته Number of stem per plant (NSStP)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant (NPP)	ارتفاع بوته Plant height (PH)	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity (NDM)	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering (NDF)	تعداد روز تا جوانه‌زنی Days to germination (NDG)
NDG	-0.06 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.014 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>	0.45 <sup>*</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	-0.37 <sup>ns</sup>	-0.35 <sup>ns</sup>	-0.35 <sup>ns</sup>	-0.39 <sup>ns</sup>	-0.26 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	1
NDF	-0.15 <sup>ns</sup>	0.37 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.004 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	1	
NDM	0.09 <sup>ns</sup>	-0.32 <sup>ns</sup>	-0.26 <sup>ns</sup>	-0.39 <sup>*</sup>	0.40 <sup>*</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	-0.49 <sup>*</sup>	-0.29 <sup>ns</sup>	-0.56 <sup>**</sup>	-0.59 <sup>**</sup>	-0.24 <sup>ns</sup>	1		
PH	0.21 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	0.56 <sup>**</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	1			
NPP	-0.13 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	-0.68 <sup>**</sup>	-0.46 <sup>*</sup>	0.81 <sup>**</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>**</sup>	1				
NSStP	-0.22 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>	0.54 <sup>**</sup>	-0.26 <sup>ns</sup>	-0.30 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	1					
NNSSt	0.08 <sup>ns</sup>	0.21 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.45 <sup>*</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	1						
NSePl	-0.27 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.04 <sup>ns</sup>	-0.65 <sup>**</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	1							
NSePo	-0.25 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	-0.61 <sup>**</sup>	.12 <sup>ns</sup>	1								
HSW	0.18 <sup>ns</sup>	-0.27 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	1									
PL	0.056 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	1										
DSY	0.52 <sup>**</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	1											
BY	-0.59 <sup>**</sup>	1												
HI	1													

ns: Non-significant, \* and \*\*: Significant at  $\alpha = 0.05$  &  $\alpha = 0.01$ , respectively

غیرمستقیم آن از طریق صفات ارتفاع بوته (۰/۲۴)، تعداد غلاف در بوته (۰/۲۷)، تعداد گره در شاخه (۰/۰۹) و طول غلاف (۰/۲۲) بر عملکرد دانه مثبت بود. تعداد گره در شاخه علاوه بر اثر مستقیم مثبت (۰/۱۱) بر عملکرد دانه، به دلیل اثرات غیرمستقیم مثبت از طریق ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و طول غلاف، دارای همبستگی بالاتری (۰/۳۸) در مقایسه با ضریب علیت (۰/۱۱) با عملکرد دانه بود. با وجود آن که اثرات مستقیم تعداد دانه در غلاف (۰/۲۰) و وزن ۱۰۰ دانه (۰/۳۴) بر عملکرد دانه مثبت بود، به دلیل اثرات غیرمستقیم منفی این صفات از طریق سایر صفات بر عملکرد دانه، همبستگی بین دو صفت فوق و عملکرد دانه منفی بود. طول غلاف دارای اثر مستقیم (۰/۴۱) و اثر غیرمستقیم مثبت بر عملکرد دانه از طریق صفات ارتفاع بوته (۰/۱۳)، تعداد غلاف در بوته (۰/۱۸) و تعداد گره در شاخه (۰/۰۲) بود (جدول ۵). اگر همبستگی بین عملکرد دانه و یک صفت به علت اثر مستقیم آن صفت باشد، این مطلب منعکس کننده یک رابطه واقعی بین آن‌ها است و لذا می‌توان صفت مذکور را به منظور اصلاح عملکرد انتخاب نمود،

با استفاده از تجزیه علیت مشخص می‌شود که همبستگی صفات با عملکرد دانه به علت اثر مستقیم آن‌ها بر روی عملکرد دانه و یا در نتیجه اثر غیرمستقیم آن‌ها از طریق سایر صفات است. صفت ارتفاع بوته علاوه بر اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه (۰/۲۴)، از طریق صفات تعداد گره و طول غلاف هم دارای اثر غیرمستقیم مثبت بر عملکرد دانه بود. با وجود آن که اثر مستقیم ارتفاع بوته بر عملکرد دانه بالا بود، به دلیل اثرات غیرمستقیم منفی ارتفاع بوته بر عملکرد دانه از طریق صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه، میزان همبستگی بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته (۰/۵۶) در مقایسه با اثر مستقیم کاهش یافت. در مورد صفت تعداد غلاف در بوته نیز با وجود آن که اثر مستقیم بالایی با عملکرد دانه داشت (۰/۵۱)، به دلیل اثرات غیرمستقیم منفی آن از طریق ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه، همبستگی بسیار پایینی بین عملکرد دانه و تعداد غلاف در بوته (۰/۰۲) مشاهده شد. تعداد شاخه در بوته اثر مستقیم منفی بالایی با عملکرد دانه داشت (-۰/۶۵)، اما اثرات

در تطابق با نتیجه این تحقیق، (Ulukan *et al.*, 2003) اثرات مستقیم مثبت ارتفاع بوته، طول غلاف و تعداد غلاف در بوته را بر عملکرد باقلا گزارش کردند. همچنین (Sharifi 2014) اثرات مستقیم مثبت تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه در بوته، طول غلاف و وزن ۱۰۰ دانه را بر عملکرد دانه باقلا گزارش نمود.

اما اگر این همبستگی اصولاً به علت اثر غیرمستقیم صفت از طریق صفات دیگر باشد، در این صورت عمل انتخاب را باید بر روی صفاتی انجام داد که سبب اثر غیرمستقیم شده است (Yadav *et al.*, 1995). بنابراین با توجه به نتایج فوق، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در ساقه و طول غلاف از صفات تأثیرگذار و با اثرات مستقیم مثبت بر عملکرد دانه بودند.

جدول ۵- اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته

Table 5. Direct (under lined) & indirect path coefficient on grain yield

صفات Characters	ارتفاع بوته Plant height (PH)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant (NPP)	تعداد شاخه در بوته Number of stem per plant (NStP)	تعداد گره در شاخه Number of node per stem (NNSt)	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod (NSePo)	وزن ۱۰۰ دانه 100 Seed weight (HSW)	طول غلاف Pod length (PL)	اثر کل یا همبستگی با متغیر وابسته Total effect or correlation with dependent variable
PH	<u>0.74</u>	-0.009	0.24	0.22	-0.04	0.14	0.13	0.56
NPP	-0.005	<u>0.51</u>	0.27	0.17	-0.24	-0.34	0.18	0.02
NStP	-0.21	-0.34	<u>-0.65</u>	-0.05	0.20	0.17	-0.35	-0.06
NNSt	0.03	0.04	0.009	<u>0.11</u>	-0.05	-0.02	0.02	0.38
NSePo	-0.01	-0.09	-0.06	-0.09	<u>0.20</u>	0.02	-0.12	-0.14
HSW	-0.06	-0.23	-0.09	-0.05	0.04	<u>0.34</u>	-0.04	-0.18
PL	0.08	0.15	0.22	0.08	-0.25	-0.05	<u>0.41</u>	0.24

ضریب تبیین (R<sup>2</sup>=0.57)

اثرات باقیمانده (0.66) =  $\sqrt{1 - R^2}$

دانه در غلاف و طول غلاف بزرگ‌ترین ضرایب را داشتند. در مؤلفه پنجم بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به تعداد شاخه در بوته و تعداد گره در شاخه بود. در مؤلفه ششم که فقط ۶/۲۱ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کند، بزرگ‌ترین ضریب مربوط به تعداد روز تا جوانه‌زنی بود. هر قدر درصد توجیه‌کنندگی واریانس یک مؤلفه مستقل بیشتر باشد، به اعتبار آن مؤلفه در تفسیر تغییرات کل داده‌ها افزوده می‌شود. از آنجا که درصد توجیه‌کنندگی مؤلفه‌ها در این مطالعه پایین است، می‌توان اظهار داشت که صفات واقع در هر مؤلفه همراستایی زیادی ندارند و لازم است هر یک از متغیرها به‌دقت مورد بررسی قرار گیرند. این امر نشان می‌دهد که روش‌های دیگر بررسی همبستگی‌ها مانند تجزیه علیت شایستگی صفات را بهتر نشان می‌دهد (Pirzadeh Moghaddam *et al.*, 2014).

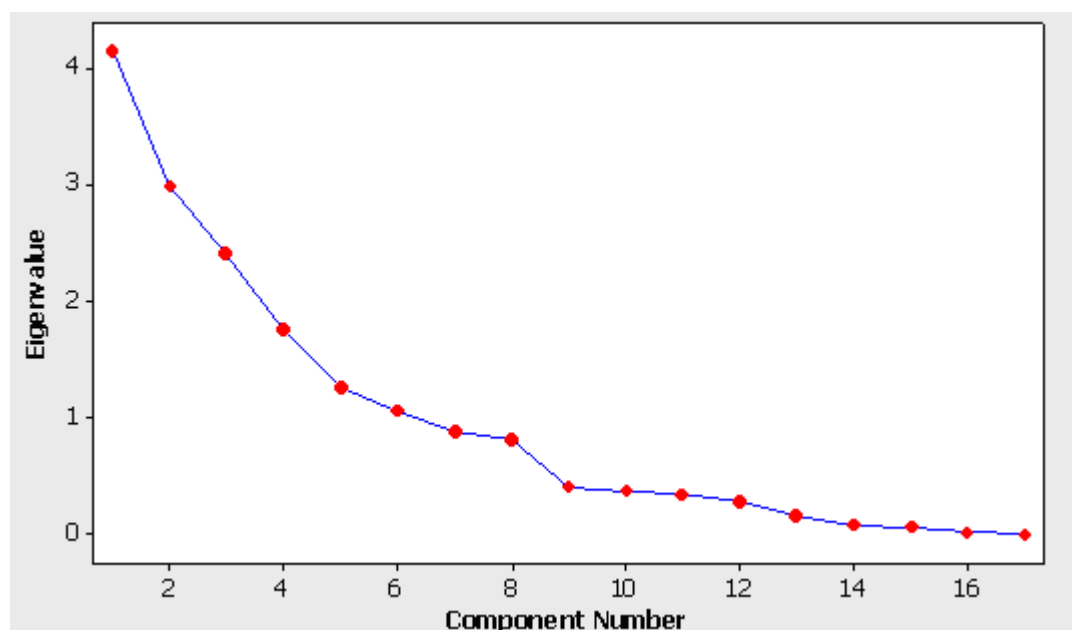
در شکل ۱، سهم مؤلفه‌ها و درصد توجیه واریانس توسط هر مؤلفه ارائه شده است. این نمودار تغییرات مقادیر ویژه را در ارتباط با مؤلفه‌ها نشان می‌دهد که بر این اساس شش مؤلفه اول (با مقادیر ویژه بالاتر از ۱) برای توجیه اطلاعات داده‌های این تحقیق کافی است، زیرا از عامل ششم به بعد تغییرات مقدار ویژه کاهش می‌یابد و نمودار تقریباً به‌صورت خطی در می‌آید. هر چه میزان شیب خط نمودار اسکری‌گراف تندتر باشد، نشان از همبستگی بالاتر بین متغیرهای اولیه و سهم کمتر سایر مؤلفه‌ها (به جز چند مؤلفه اول) در توجیه واریانس دارد.

#### تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه‌های اول تا ششم در مجموع ۷۹/۹۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند (جدول ۶). هریک از این مؤلفه‌ها، ترکیب خطی از متغیرهای اولیه بوده و دربرگیرنده واریانس آن‌ها نیز می‌باشند. از این رو تنوع موجود در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی از نظر صفات مورد بررسی به‌راحتی با تعداد کمی از مؤلفه‌های جدید که با همدیگر همبستگی ندارند، قابل توجیه بوده و این تنوع بین ژنوتیپ‌ها در فضای دوبعدی یا سه‌بعدی قابل نمایش می‌باشد. در این تجزیه درصد توجیه‌کنندگی مؤلفه‌های اول تا ششم به ترتیب برابر با ۲۴/۳۴، ۱۷/۵۷، ۱۴/۱۸، ۱۰/۳۲، ۷/۳۴ و ۶/۲۱ به دست آمد. بزرگی این اعداد در تفکیک بهتر ژنوتیپ‌ها و اعتبار روابط مشاهده شده تأثیر می‌گذارد. در صورتی که در بین ژنوتیپ‌ها همبستگی یا مشابهت‌هایی وجود داشته باشد، این مؤلفه‌ها قادر خواهند بود، تا گروه‌بندی مناسبی را به وجود آورده و ژنوتیپ‌های مشابه را در گروه‌های مجزا تفکیک نمایند (Ghafari, 2004). در مؤلفه اول که ۲۴/۳۴ درصد از واریانس کل را توجیه کرده است، بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به صفات تعداد روز تا رسیدگی، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد غلاف در بوته بود. در مؤلفه دوم بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به عملکرد دانه خشک بود. در مؤلفه سوم بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به صفات تعداد روز تا گلدهی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بود. در مؤلفه چهارم صفات ارتفاع بوته، تعداد

جدول ۶- مقادیر ویژه، درصد واریانس مؤلفه‌ها و ضرایب بردارهای ویژه مربوط به صفات مورد مطالعه در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی  
 Table 6. Eigenvalues, percentage of variance and coefficients of eigenvalues of traits in principal component analysis

پارامترها Parameters	مؤلفه‌ها Components					
	1	2	3	4	5	6
Eigenvalue مقادیر ویژه	4.14	2.99	2.41	1.75	1.25	1.06
% of Variance درصد واریانس	24.34	17.57	14.18	10.32	7.34	6.21
Cumulative % درصد واریانس تجمعی	24.34	41.91	56.09	66.41	73.74	79.96
Days to germination تعداد روز تا جوانه‌زنی	-0.253	0.060	-0.276	-0.226	0.105	<u>0.635</u>
Days to flowering تعداد روز تا گلدهی	0.049	0.167	<u>-0.475</u>	-0.206	-0.386	-0.274
Days to maturity تعداد روز تا رسیدگی	<u>-0.377</u>	-0.004	0.007	-0.011	-0.265	-0.368
Plant height ارتفاع بوته	0.174	0.330	-0.096	<u>0.394</u>	0.350	-0.312
Number of pod per plant تعداد غلاف در بوته	<u>0.427</u>	-0.152	0.164	-0.120	-0.200	0.187
Number of stem per plant تعداد شاخه در بوته	0.341	-0.035	0.044	-0.217	<u>0.551</u>	-0.214
Number of node per stem تعداد گره در شاخه	0.240	0.251	0.051	0.150	<u>-0.380</u>	-0.045
Number of seed per plant تعداد دانه در بوته	0.324	-0.383	0.110	0.176	-0.094	0.241
Number of seed per pod تعداد دانه در غلاف	-0.219	-0.323	-0.176	<u>0.462</u>	0.232	-0.021
100 Seed weight وزن ۱۰۰ دانه	<u>-0.341</u>	0.203	-0.038	-0.163	0.255	0.097
Pod length طول غلاف	0.265	0.282	-0.117	<u>-0.442</u>	0.165	-0.016
Dry seed yield عملکرد دانه خشک	0.124	<u>0.464</u>	-0.125	0.383	-0.022	0.327
Biological yield عملکرد بیولوژیک	0.210	-0.055	<u>-0.619</u>	0.184	-0.019	0.094
Harvest index شاخص برداشت	-0.079	0.426	<u>0.449</u>	0.144	-0.056	0.154

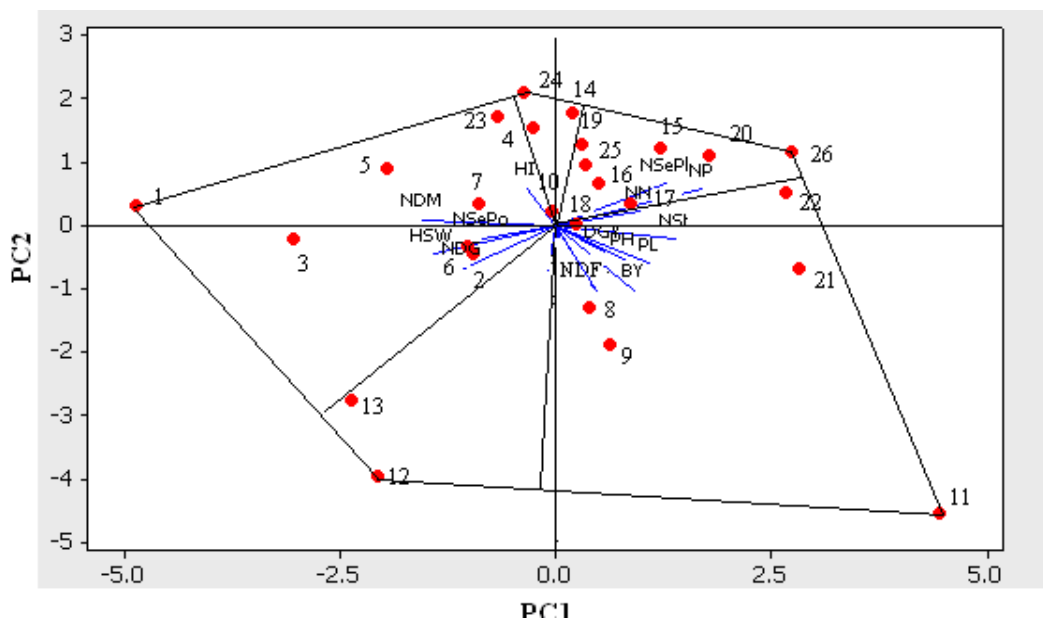


شکل ۱- اسکرین گراف نشان‌دهنده ریشه‌های مشخصه برای مشخص کردن تعداد مؤلفه‌های تأثیرگذار بر صفات  
 Fig. 1. Graph showing eigenvalues in response to number of components for the estimated variables of faba bean



رسیدگی، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد دانه در غلاف همبستگی منفی ( $r = \cos 180^\circ = -1$ ) داشت. همبستگی ساده بین صفات (جدول ۳) نیز مؤید نتایج فوق بود. البته با توجه به این که بای پلات کلیه تغییرات موجود در یک مجموعه از داده‌ها را توضیح نمی‌دهد، بلکه فقط از اطلاعات دو مؤلفه اول (۴۱/۹۱ درصد) استفاده می‌کند، کسینوس زاویه بین متغیرها به طور دقیق به ضرایب همبستگی قابل تبدیل نیستند. با این وجود، این زاویه‌ها می‌توانند اطلاعات کافی برای ارائه یک تصویر کلی از روابط بین تمام متغیرها را در یک تصویر فراهم کنند که چنین ادراکی از جداول همبستگی ساده میسر نیست (Yan & Kang, 2003). از طرف دیگر تطابق کامل نتایج حاصل از تجزیه بای پلات و ضرایب همبستگی ساده مورد انتظار نیست، زیرا بای پلات روابط بین تمام صفات را توصیف می‌کند، حال آن که ضرایب همبستگی ساده فقط روابط بین دو صفت را توجیه می‌کنند (Yan & Rajcan, 2002). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، Sharifi & Aminpana (2014) با استفاده از تجزیه بای پلات نشان دادند که صفت عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و طول غلاف همبستگی مثبت داشت. از آنجا که طول بردارهای هر کدام از صفات میزان تأثیر منفی و یا مثبت صفات را بر روی صفت وابسته اندازه می‌گیرد (Yan & Tinker, 2005)، صفات ارتفاع بوته، طول غلاف و تعداد غلاف در بوته بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه داشتند (شکل ۲). این نتیجه نیز مؤید نتایج تجزیه علیت می‌باشد (جدول ۵).

از آنجا که هنگام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، معمولاً واریانس بسیاری از مؤلفه‌ها آن قدر کم است که قابل صرف نظر کردن می‌باشند، بنابراین در این حالت، تغییرات در مجموعه داده‌ها می‌تواند به وسیله تعداد کمی از متغیرهای دارای واریانس بالا توجیه شوند که در این صورت کارآیی تجزیه بالا می‌رود. هر چقدر میزان همبستگی بین متغیرهای اولیه بالاتر باشد، مقدار ویژه اول، سهم بیشتری از تغییرات را توجیه می‌کند و نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با موفقیت بیشتری به دست خواهد آمد (Collins & Seeney, 1999). علاوه بر این، مطالعه نمودار اسکری گراف نشان می‌دهد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تنوع ژنتیکی وجود دارد، زیرا هرچه تنوع ژنتیکی در ژرم پلاسما از نظر صفات مورد مطالعه بیشتر باشد، درصد تغییرات کمتری در روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی توجیه خواهد شد (Jensen, 1988). بر اساس معادلات هر یک از مؤلفه‌ها، می‌توان تفکیک ژنوتیپ‌ها را در نمودارهای دوبعدی (بای پلات) و سه بعدی نشان داد. از طرفی، از آنجا که برای مطالعه روابط بین بیش از سه متغیر، یک شکل به دست آمده از نمایش چند متغیر همانند بای پلات مفید می‌باشد، اقدام به ترسیم نمودار بای پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول گردید. نتایج حاصل از بررسی زوایای بردارهای بین صفات (با توجه به کسینوس زاویه بین دو بردار) در نمودار بای پلات نشان داد که عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته، طول غلاف، عملکرد بیولوژیک، تعداد روز تا گلدهی، تعداد گره و تعداد غلاف همبستگی مثبت ( $r = \cos 0^\circ = +1$ ) و با صفات تعداد روز تا



شکل ۲- نمودار دوبعدی (بای پلات) ۲۶ ژنوتیپ باقلا بر اساس صفات مورفولوژیکی و عملکرد (تجزیه مؤلفه‌های اصلی)  
 Fig. 2. Tow-dimensional graph (biplot) of 26 faba bean genotypes based on morphological traits and yield (principal component analysis)

جوامعی استفاده شوند که از نظر این صفات دارای پایداری و ثبات هستند (Yan & Rajcan, 2002).

در بخش پنجم که ژنوتیپ ۱۲ در رأس آن و ژنوتیپ ۱۳ درون آن قرار داشت، هیچ صفتی واقع نبود (شکل ۲). همچنین پراکندگی ژنوتیپ‌ها در نمای بای پلات حاصل از دو مؤلفه اصلی اول نشان از تنوع ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها با توجه به صفات مورد مطالعه دارد.

### نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت، امکان استفاده از صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در بوته و طول غلاف (با توجه به ضرایب علیت مثبت بالای آن‌ها بر عملکرد دانه) برای انتخاب غیرمستقیم جهت نیل به عملکرد بالاتر وجود دارد. همچنین می‌توان از نتایج استنباط نمود که به‌منظور افزایش عملکرد دانه در باقلا به یک پتانسیل بالقوه نیاز است که شامل یک منبع ذخیره‌ای است که در زمان نیاز دانه‌ها باید گیاه آن را در مراحل پرشدن و تشکیل دانه‌ها مورد استفاده قرار دهد. بنابراین در برنامه‌های اصلاحی باید صفاتی را که در جهت افزایش تعداد دانه و غلاف در بوته (که افزایش مخزن بالقوه به‌شمار می‌رود) و صفات مؤثر در افزایش رشد رویشی و شاخ و برگ و اندام‌های فتوسنتزکننده گیاهی (که منبع ذخیره‌ای است) مورد گزینش قرار داد.

با توجه به نتایج تجزیه بای پلات ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱۱، ۱۸، ۲۱ و ۲۲ دارای بیشترین میزان عملکرد دانه، تعداد شاخه در بوته، ارتفاع بوته، طول غلاف و عملکرد بیولوژیک و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۵، ۲۶ دارای بیشترین تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و تعداد گره در شاخه بودند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مناسب به کارگرفته شوند. بنابراین به‌منظور دستیابی به عملکرد بیشتر، بایستی صفاتی همچون ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در بوته و طول غلاف که دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم مثبت بر عملکرد دانه بودند و در برنامه‌های گزینشی برای عملکرد از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشند، در اولویت برنامه‌های اصلاحی قرار گیرند تا بتوان از این صفات در گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا استفاده کرد. این نتایج بیانگر آن است که می‌توان این ژنوتیپ‌ها را در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش عملکرد مورد استفاده قرار داد.

همچنین با استفاده از نمای چندضلعی بای پلات، ژنوتیپ‌های با ارزش برای یک یا چند صفت تعیین می‌شوند. برای ترسیم این نمای بای پلات، ژنوتیپ‌های واقع در دورترین فاصله از مبدأ بای پلات را توسط خطوط منقطع به هم متصل و یک تحذب (چندضلعی) را به‌وجود می‌آورند که سایر ژنوتیپ‌ها درون آن قرار می‌گیرند (Yan & Rajcan, 2002).

بر اساس نمای چندضلعی، نمودار بای پلات به پنج بخش تقسیم شد، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های ۱، ۲۴، ۲۶، ۱۱ و ۱۲ در رأس چندضلعی قرار داشتند که در دورترین فاصله از مبدأ بای پلات قرار داشتند. این ژنوتیپ‌ها، بهترین (برای صفات واقع در آن بخش) و بدترین (برای صفات واقع در طرف مقابل) بودند و بیشترین فاصله را از مبدأ بای پلات داشتند (Yan & Rajcan, 2002).

در بخش اول که ژنوتیپ ۱ در رأس آن واقع شده بود، صفات تعداد روز تا سبزشدن، تعداد روز تا رسیدگی، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در غلاف و شاخص برداشت قرار داشتند که بیانگر این است که بیشترین میزان این صفات در ژنوتیپ ۱ وجود داشت. در این بخش، ژنوتیپ‌های ۵، ۳، ۲، ۶، ۷ و ۲۳ قرار داشتند.

در بخش دوم که ژنوتیپ ۲۴ در رأس آن قرار داشت و ژنوتیپ‌های ۴، ۱۴ و ۱۰ درون آن قرار داشتند، هیچ‌کدام از صفات قرار نداشتند، که نشان‌دهنده عدم برتری این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه بود.

در بخش سوم که ژنوتیپ ۲۶ در رأس آن و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۵ درون آن قرار داشت، صفاتی چون تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و تعداد گره قرار داشتند. مقایسه میانگین‌ها نیز حاکی از برتری این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات فوق است (جدول ۳).

در بخش چهارم که ژنوتیپ ۱۱ در رأس آن و ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱۸، ۲۱ و ۲۲ درون آن قرار داشتند، صفات عملکرد دانه خشک، تعداد شاخه، ارتفاع بوته، طول غلاف، عملکرد بیولوژیک و تعداد روز تا گلدهی قرار داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) هم مؤید برتری این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات فوق، به‌خصوص عملکرد دانه می‌باشد. با توجه به همبستگی مثبت صفات اخیر با عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های فوق می‌توانند به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و صفات مؤثر بر آن توصیه شوند و می‌توانند برای معرفی رقم مورد بررسی قرار گیرند و یا به‌عنوان والد برای تولید ارقام هیبرید و همچنین ایجاد

## منابع

1. Alghamd, S.S. 2007. Genetic behavior of some selected faba bean genotypes. African Crop Science Conference Proceedings 8: 709-714.
2. Amini, A., Ghanadha, M.R., and Abdmishani, S. 2002. Genetic variation and correlation between different traits in common bean. Journal of Agricultural Sciences 33: 605-615. (In Persian with English Summary).
3. Azarpour, E., Bidarigh, S., Moraditochae, M., Khosravi Danesh, R., Bozorgi H.R., and Bakian, M. 2012. Path coefficient analysis of seed yield and its components in faba bean (*Vicia faba* L.) under nitrogen and zinc fertilizer management. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4(21): 1559-1561.
4. Badolay, A., Hooda, J.S., and Malik, B.P.S. 2009. Correlation and path analysis in faba bean (*Vicia faba* L.). Journal of Haryana Agronomy 25: 94-95.
5. Chaieb, N., Bouslama, M., and Messaoud, M. 2011. Growth and yield parameters variability among faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. Natural Production Plant Resources 4: 39-45.
6. Ghafari, M. 2004. Use of principal component analysis method for selection of superior three way cross hybrids in sunflower. Seed and Plant 19(4): 513-527.
7. Hair, J.R., Anderson, R.E., Tatham, R.L., and Black, W.C. 1995. Multivariate Data Analysis with Readings. Prentice Hall, Englewood, NJ.
8. Hashemi, M., and Mohammady, S. 2016. Evaluation of grain yield and yield components in some imported faba bean genotypes (*Vicia faba* L.). Journal of Crop Breeding 8(18): 97-103. (In Persian with English Summary).
9. Kanouni, H., and Malhotra, R. 2003. The study of genetic diversity and relationships among agronomic traits in chickpea genotypes under dryland conditions. Journal of Crop Science 5: 1-11. (In Persian with English Summary).
10. Kumar, P., Das, R.R., Bishnoi, S.K., and Sharma, V. 2017. Inter-correlation and path analysis in faba bean (*Vicia faba* L.). Electronic Journal of Plant Breeding 8(1): 395-397.
11. Maalouf, F., Khalil, S., Ahmad, S., Akintunde, A., Kharrat, N.M., Shamaa, K.E., Hajjar, S., and Mahotra, R.S. 2011. Yield stability of faba bean lines under diverse broomrape prone production environments. Field Crops Research 124: 288-294.
12. Mohammadi, S.A., Prasanna, B.M., and Singh, N.N. 2003. Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in maize. Crop Science 43: 1690-1697.
13. Oujji, A., Rouaïssi, M., Abdellaoui, R., and El Gazzah, M. 2011. The use of reproductive vigor descriptors in studying genetic variability in nine Tunisian faba bean (*Vicia faba* L.) populations. African Journal of Biotechnology 10(6): 896-904.
14. Rasheed, S., Hanif, M., Sadiq, S., Abbas, G.H., Jawad Asghar, M., and Ahsanul Haq, M. 2008. Inheritance of seed yield and related traits in some lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 45(3): 49-52.
15. Ringner, M. 2008. What is principal component analysis? Nature Biotechnology 26: 303-304.
16. Pirzadeh Moghaddam, M., Bagheri, A., Malekzadeh-Shafaroudi, S., and Ganjeali, A. 2014. Multivariate statistical analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under limited irrigation. Iranian Journal of Pulses Research 5(2): 99-110. (In Persian with English Summary).
17. Sabori, H., Mohammadinejad, G., and Fazlalipour, M. 2011. Selection for improve rice yield by multivariate analysis. Iranian Journal of Field Crops Research 9(4): 639-650. (In Persian with English Summary).
18. 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.). Iranian Journal of Pulses Research 2(1): 99-106.
19. Sharifi, P. 2014. Correlation and path coefficient analysis of yield and yield component in some of broad bean (*Vicia faba* L.) genotypes. Genetika 46(3): 905-914.
20. Sharifi, P., and Aminpanah, H. 2014. A study on the genetic variation in some of faba bean genotypes using multivariate statistical techniques. Tropical Agriculture (Trinidad) 91(2): 87-97.
21. Sharifi, P., Astereki, H., and Safari Motlagh, M.R. 2014. Evaluation of genotype, environment and genotype×environment interaction effects on some of important quantitative traits of faba bean (*Vicia faba* L.). Journal of Crop Breeding 6(13): 73-88. (In Persian with English Summary).
22. Tadayyon, A., Hashemi, L., and Khodambashi, M. 2011. Effective morphological and phenological traits on seed and biological yield in lentil genotypes in Shahrekord region. Iranian Journal of Pulses Research 2(2): 47-62. (In Persian with English Summary).

- 
23. Tadesse, T., Fikere, M., Legesse, T., and Parven, A. 2011. Correlation and path coefficient analysis of yield and its component in faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm. *International Journal of Biodiversity Conservation* 3: 376-382.
  24. Turpin, J.E., Robertson, M.J., Hillcoat, N.S., and Herridage, D.E. 2002. Faba bean (*Vicia faba* L.) in Australia northern grains belt: canopy development, biomass and nitrogen accumulation and partitioning. *Auh Journal of Agriculture* 53: 227-237.
  25. Ulukan, H., Mustafa, G., and Siddik, K. 2003. A path coefficient analysis some yield and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Biological Science* 6: 1951-1955.
  26. Wright, S. 1921. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research* 20: 557-585.
  27. Yadav, R.B., Dubey, R.K., Srivastava, M.K., and Sharma, K.K. 1995. Path coefficient analysis under three densities in rice. *Journal of Soils and Crops* 5(1): 43-45.

## Study the relationships between yield and yield component of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by multivariate analyses

Astaraki<sup>1</sup>, H., Sharifi<sup>2\*</sup>, P., Sheikh<sup>3</sup>, F. & Izadi-Darbandi<sup>4</sup>, A.

1. Researcher, Lorestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Improvement Institute, Broujerd, Iran; research12014@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
3. Member of Scientific Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Improvement Institute, Gorgan, Iran; sheikhfatemeh@yahoo.com
4. Associate Professor of University of Tehran, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, Tehran, Iran; aizady@ut.ac.ir

Received: 23 February 2018

Accepted: 26 August 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v11i1.70916

### Introduction

Faba bean (*Vicia faba* L.) is a major crop legume that is used as food owing to the high nutrient components in seeds. Yield improvement is a major breeding objective of most crop breeding programs. Multivariate analyses are useful for characterization, evaluation and classification of plant genetic resources when a number of accessions are to be assessed for several characters of agronomic, morphological and physiological importance. Different types of multivariate analysis such as regression analysis, path analysis, principal component analysis (PCA) can be used to identify groups of genotypes that have beneficial traits for breeding and instructing the patterns of variation in genotype accession, to recognize relationships among accessions and possible gaps. Correlation coefficients describe the mutual relationships between different pairs of characters without providing the nature of cause and effect relationship of each character. Path analysis was also performed to determine the direct and indirect contribution of each character to seed yield. Principal component analysis has been widely used in the studies of variability in germplasm collections of many species. The objective of the present study was to estimate the correlations and partition of the coefficient of correlation between seed yield with its primary components, into direct and indirect effects to determine the relative importance of each one in faba bean seed yield. The other aims of the present study are to assess the genetic diversity present in the morphological and agronomical traits in 26 faba bean genotypes by principal component analysis.

### Materials & Methods

This study was carried out during 2015-16 growing season in Lorestan province, Iran (longitude, 48° 45' E; Latitude, 35° 55' N; Altitude, 1629 m above sea level). Experimental material comprised 26 genotypes of faba bean. Field experiments were conducted in a randomized complete block design with three replications. Each plot consisted of four rows with 4 m long and distance between rows and plants were 50 and cm, respectively. The characters included days to germination, days to flowering, days to maturity, plant height, number of stems per plant, number of node per stem, number of seeds per pod, number of seeds per plant, hundred seed weight, pod length, dry seed yield, biological yield and harvest index were measured before and after harvesting. SAS 9.2 used to analyses the correlation and regression coefficients. Path coefficients were estimated by path analysis software. Principal components analysis was done using SPSS and the graphs were drawn via Minitab.

\*Corresponding Author: sharifi@iaurasht.ac.ir

**Results & Discussion**

The analysis of variance indicated significant differences between genotypes for all of the studied traits. Correlation analysis indicated there were positive correlation coefficients between seed yield and number of days to germination, number of days to flowering, plant height, number of pods per plant, number of nodes per stem, hundred seed weight, pod length, biological yield and harvest index. Regression analysis indicated seed yield as dependent variable, while plant height, number of pods per plant, number of stems per plant, number of nodes per stem, number of seeds per pod, hundred seed weight and pod length were considered as casual variables. Path coefficient analysis indicated plant height (0.74), number of pod per plant (0.51), number of nodes per stem (0.11), number of seeds per pod (0.20), hundred seed weight (0.34) and pod length (0.41) had positive direct effects on seed yield. The results of principal component analysis showed that the eigenvalues were reduced with the increase of the number of PCs. Principal components analysis, identified six components that explained 80% of total variation. The maximum values of eigenvalues were obtained for first three PCs, which accounted for a cumulative percentage of total variance of 24.34%, 17.57% and 14.18%, respectively. The remaining percentage of the total variation decreased sharply. The eigenvalue of the first principle component had a variance of 4.14, while the other two components had much smaller variances. It could be said that the first principal component is by far the most important of the three and that the first principal component include the largest variance of any one unit the length linear combination of the observed variable. The first two and three PCs was used to grouping the genotypes in two and three-dimensional plots, respectively.

**Conclusion**

Attention should be paid to traits such as plant height, number of pods per plant, number of nodes per stem and pod length for augmentation of seed yield and these traits could be used as selection criteria in faba bean breeding programs. Tow dimensional plot based on first two principal components showed genetically different genotypes by the pattern on scattering. It could be concluded that the high yielding genotypes, such as 9 and 22 could be used to improve seed yield of faba bean and making possibilities of extending production of this legume crop.

**Keywords:** Correlation, Faba bean, Path analysis, Principal component, Regression, Yield