پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۸ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوم ۱۳۹۶، صفحهٔ ۸۳-۶۹

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 8, No. 2, 2017, p. 69-83
DOI: 10.22067/ijpr.v8i2.52302

بررسی صفات و تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

فاطمه قراجه‌داغی[۱]، محمدرضا بی‌همتا[۲*]، سیدعلی پیغمبری[۲] و مریم رضایی‌نیا[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشگاه تهران
۲- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و تعیین تنوع فنوتیپی و رابطه عملکرد دانه در بوته با سایر صفات مورد بررسی تحت تنش خشکی آزمایشی با ۳۵ژنوتیپ لوبیا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط نرمال و تنش خشکی در مزرعه آموزشی-پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اجرا گردید. نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود داشت که دال بر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها بود. با توجه به نتایج حاصل از همبستگی‌های فنوتیپی، رگرسیون مرحله‌ای، تجزیه علیت در هر دو شرایط نرمال و تنش، صفات وزن دانه با غلاف، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، از جمله صفات مهم و تأثیرگذار بر عملکرد دانه بودند و می‌توان با گزینش و به‌نژادی برای این صفات، عملکرد دانه در بوته را به نحو مطلوبی افزایش داد. بر اساس تجزیه به عامل‌ها در هر دو شرایط پنج عامل شناسایی شدند که در مجموع تحت شرایط نرمال ۸۳/۷۶ و تحت شرایط تنش ۷۹/۰۸درصد از تغییرات کل را توجیه کردند. در ارزیابی تحمل به خشکی شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک بهره‌وری و شاخص تحمل به تنش که بیشترین همبستگی معنی‌دار را با عملکرد در شرایط نرمال و تنش داشتند، به‌عنوان شاخص‌های برتر برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل معرفی شدند. بر اساس نمودار بای‌پلات ترسیم‌شده با استفاده از نُه شاخص تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط نرمال و تنش، ژنوتیپ‌های ۲۵، ۲۷ و ۲۸ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا و ژنوتیپ‌های ۷، ۱۰، ۲۲ و ۲۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به عامل‌ها، تجزیه کلاستر، شاخص‌های تحمل، لوبیا

مقدمه

حبوبات با داشتن ۳۲-۱۸درصد پروتئین، پس از غلات مهم‌ترین منبع تأمین غذای بشر است. در ایران، ارزش غذایی حبوبات پس از گندم و برنج در مقام سوم اهمیت قرار دارد (Majnoun Hoseini, 2008). این گیاهان با تثبیت زیستی نیتروژن در بهبود حاصلخیزی خاک مؤثر بوده و نقش مهمی در پایداری نظام‌های کشاورزی ایفا می‌نمایند (Sharma & Jodha, 1984). لوبیا ۵۰درصد حبوبات مورد استفاده در جهان را به‌خود اختصاص داده است (Mc clean *et al*., 2004). دانه لوبیا از نظر پروتئین و کربوهیدرات غنی می‌باشد. لوبیا نسبت به غلات نه‌تنها از نظر کمّی مقادیر زیادی پروتئین دارد، بلکه پروتئین آن از نظر کیفی نیز بسیار غنی است.

میزان تولید و عملکرد گیاهان تحت تأثیر روابط پیچیده بین گیاه و محیط قرار می‌گیرد. وضعیت آب یکی از اصلی‌ترین عوامل توزیع گونه‌های گیاهی در مناطق مختلف جغرافیایی است. در کشاورزی، خشکی، فقدان رطوبت موردنیاز برای رشد و توسعه طبیعی گیاه به‌منظور تکمیل چرخه زندگی تعریف می شود (Manivannan *et al*., 2008). حدود دو سوم زمین‌های زیرکشت ایران در مناطق نیمه‌خشک قرار دارند، لذا تهیه ارقام با مقاومت به تنش خشکی یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های اصلاحی می‌باشد (Ebrahimi *et al*., 2011). منابع ژنتیکی گیاهی علاوه‌بَر نقش زیربنایی برای توسعه کشاورزی، به‌عنوان منبعی از ژن‌های مفید برای مقاومت به تنش‌های زنده و

***نویسنده مسئول:** تلفن همراه: ۰۹۱۲۱۵۹۴۳۳۸، mrghanad@ut.ac.ir

غیرزنده و گسترش سازگاری ژنتیکی در برابر تغییرات محیطی به حساب می‌آیند که در صورت بهره‌برداری صحیح از آن ها واریته‌های جدید و مطلوب‌تر گیاهی را می‌توان تولید کرد (Amini *et al*., 2002). انتخاب ژنوتیپ‌های دارای صفات مطلوب نیازمند تنوع می‌باشد. معیارهای تخمین تنوع ژنتیکی شامل نشانگرهای مورفولوژیکی و ژنتیکی بوده و اصلاح‌گران معمولاً از صفات مورفولوژیکی به‌عنوان معیارهای گزینش جهت بهبود عملکرد استفاده می‌نمایند (Upadhyaya *et al*., 2001).

عملکرد لوبیا صفتی کمّی و پیچیده است که اجزای آن تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه می‌باشد (Adams, 1982; Bennett *et al*., 1997). بین صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در غلاف و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (Albayrak & Tongel, 2006). در بررسی آماری اثرات تنش آبیاری بر صفات فنولوژی و زراعی ژنوتیپ‌های لوبیا سفید صفات، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، وزن غلاف، شاخص برداشت، وزن صد دانه و تعداد دانه در بوته و طول ریشه اصلی در شرایط نرمال و صفات تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، وزن غلاف، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند (Ebrahimi *et al*., 2011; Safapour *et al*., 2009). در مطالعه همبستگی و ارتباط صفات زراعی در ۳۰رقم لوبیا بیشترین میزان همبستگی بین صفات عملکرد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته و تعداد شاخه در بوته گزارش شد. تجزیه ضرایب علیت نشان داد عملکرد دانه در بوته، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته بیشترین اثرات مستقیم را بر عملکرد دانه در هکتار داشتند (Karasu & Oz, 2010). در مطالعه‌ای دیگر مشخص گردید صفات تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف تازه و تعداد دانه در غلاف همبستگی بسیار معنی‌دار و مثبت با عملکرد داشته و وزن غلاف مهم‌ترین عامل در عملکرد لوبیا شناسایی شد (Dursum, 2007).

به‌نظر می‌رسد عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نقطه شروع خوبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط خشکی باشد (Ludlow & Muchow, 1990). استفاده از شاخص‌های انتخاب نخستین‌بار با توجه به رابطه خطی موجود بین آن‌ها و عملکرد دانه گندم و به‌منظور انتخاب مواد ژنتیکی برتر صورت گرفت (Ebrahimi *et al*., 2011). در اکثر مطالعات صورت‌گرفته برای ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های لوبیا شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک بهره‌وری (HARM) و شاخص تحمل به تنش (STI) به‌عنوان شاخص‌های برتر برای غربال ژنوتیپ‌ها معرفی شده‌اند (Khaghani *et al*., 2009; Ebrahimi *et al*., 2011; Shafiee *et al*., 2012).

این تحقیق به‌منظور بررسی و شناسایی تنوع ژنتیکی روابط بین صفات مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های لوبیا مورد آزمایش در شرایط تنش خشکی و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط نرمال و تنش خشکی در مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در دولت‌آباد کرج با عرض جغرافیایی ۳۵درجه و ۵۶دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰درجه و ۵۸دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۱۲متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۳۳ژنوتیپ لوبیا معمولی به‌همراه سه رقم شاهد خمین، دانشکده و گلی (جدول ۱) انتخاب شده از کلکسیون حبوبات دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران-کرج بود. براساس داده‌های ۳۰ساله، میانگین بارندگی سالیانه محل اجرای آزمایش ۲۴۳میلی‌متر و میزان کل بارندگی در طول فصل رشد برابر ۴۷/۷میلی‌متر بود.

عملیات تهیه زمین در پاییز ۱۳۹۱ آغاز و قبل از کشت آماده‌سازی زمین با یک شخم بهاره (دیسک) انجام شد. کاشت بذور به‌صورت دستی انجام گرفت. هر کرت آزمایشی شامل سه ردیف به طول دو متر و با فاصله خطوط ۵۰سانتی‌متری و فاصله روی خطوط ۱۰سانتی‌متر و عمق کاشت بذر حدود پنج سانتی‌متر درنظر گرفته شد. برای مبارزه با علف‌های‌هرز در مرحله داشت وجین دستی صورت گرفت. آبیاری در هر دو شرایط تا مرحله گلدهی به‌صورت یکسان و هفت‌روز یک‌بار (معادل ۷۰میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) صورت می‌گرفت پس از رشد رویشی کافی و ازبین‌رفتن خطر حذف بوته‌ها، با آغاز گلدهی آبیاری قطعه تنش ۱۱روز یک‌بار (معادل ۱۱۰میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) انجام شد.

برداشت زمانی که حدود ۹۰درصد بوته‌ها رسیده بودند انجام و تعداد هفت بوته با رعایت اثر حاشیه از هر کرت جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر نمونه‌برداری شد. صفات مورد بررسی شامل: تعداد روز تا ۵۰درصد جوانه‌زنی، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا ۵۰درصد غلاف‌دهی، تعداد روز تا ۵۰درصد رسیدگی، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، قطر ساقه (میلی متر)، عملکرد بیولوژیک بوته (گرم)، عملکرد دانه بوته (گرم)، تعداد غلاف در بوته، وزن دانه با غلاف در بوته (گرم)، تعداد دانه

در غلاف، تعداد دانه در بوته، طول غلاف (میلی‌متر)، عرض غلاف (میلی‌متر)، طول دانه (میلی‌متر)، عرض دانه (میلی‌متر)، قطر دانه (میلی متر)، وزن صد دانه (گرم) و شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی برحسب درصد) بود که پس از میانگین‌گیری مشاهدات برای صفات مورد بررسی، مورد تجزیه آماری قرار گرفتند.

جدول ۱- اسامی ۳۵ ژنوتیپ لوبیا مورد بررسی

Table 1. Names of studied 35 common bean genotypes

کد ژنوتیپ Genotype code	شماره کلکسیون* Collection No.*	رنگ دانه	کد ژنوتیپ Genotye code	شماره کلکسیون Collection No.	رنگ دانه	کد ژنوتیپ Genotype code	شماره کلکسیون Collection No.	رنگ دانه
1	831	سیاه متمایل به بنفش	13	1165	چیتی	25	Daneshkade	سفید
2	853	چیتی با خالهای قهوه ای	14	1400	زرد براق	26	Ks41118	سفید
3	858	سفید	15	1489	سیاه براق	27	34-ks21104	چیتی
4	862	چیتی با خالهای قهوه ای	16	1497	سبز زیتونی	28	34-ks21107	چیتی
5	887	سفید	17	1534	سیاه تیره	29	45-ks21112	چیتی
6	895	چیتی	18	1545	قرمز روشن	30	Khomein	چیتی
7	951	سیاه براق	19	1-ks41111	سفید	31	55-ks10023	سیاه
8	1001	کرم	20	Goli	قرمز روشن	32	57-ks10012	سیاه
9	1032	چیتی	21	3-ks41113	سفید	33	58-ks10025	سیاه
10	1059	سبز زیتونی	22	3-ks41110	سفید	34	Hasani-sefid	سفید
11	1155	سیاه تیره	23	18-ks31112	قرمز	35	Hasani-chiti	چیتی
12	1164	زرد تیره	24	19-ks31108	قرمز			

* شماره ژنوتیپ‌ها در بانک ژن پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران- کرج.

Genotype codes and numbers as recorded in Gene Bank of University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Ypi) و شرایط تنش (Ysi) شاخص‌های کمی مقاومت به تنش به شرح زیر محاسبه گردید:

(شاخص میانگین بهره‌وری) $MP=(Ypi+Ysi)/2$ (Rosielle and Hamblin, 1981)

(شاخص تحمل) $TOL=Ypi-Ysi$ (Rosielle and Hamblin, 1981)

(شاخص میانگین هندسی بهره‌وری) $GMP=\sqrt{(Ypi\times Ysi)}$ (Fernandez, 1992)

(شدت تنش) $SI=1-(Ys/Yp)$ (Fischer and Maurer, 1978)

(شاخص حساسیت به تنش) $SSI=(1-(Ysi/Ypi))/SI$ (Fischer and Maurer, 1978)

(شاخص تحمل به تنش) $STI=(Ypi\times Ysi)/(Yp)^2$ (Fernandez, 1992)

(شاخص عملکرد) $YI=Ysi/Ys$ (Gavuzzi *et al*., 1997)

(شاخص پایداری عملکرد) $YSI=Ysi/Ypi$ (Bouslama and Schapaugh, 1984)

(میانگین هارمونیک بهره‌وری) $HARM=(2\times(Ypi\times Ysi))/(Ypi+Ysi)$ (Kristin *et al*., 1997)

(نرخ کاهش عملکرد) $Yr=1-(Ysi/Ypi)$ (Golestani & Assad, 1998)

که در آن Yp: میانگین عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ys: میانگین عملکرد تحت شرایط تنش و SI[1] شدت تنش می‌باشد.

تجزیه‌های آماری از قبیل آزمون نرمال‌بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها ، تجزیه واریانس، همبستگی، رگرسیون و تجزیه علیت، تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزارهای Minitab 16، SAS 9.2، Path 74 و SPSS 22 انجام شدند. در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفت عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و بقیه صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تجزیه ضرایب علیت، همبستگی‌های فنوتیپی به اثرهای مستقیم و غیرمستقیم تفکیک گردید و صفاتی که در رگرسیون گام‌به‌گام وارد مدل شده بودند، به‌عنوان متغیرهای عاملی درنظر گرفته شدند.

[1] Stress intensity

ضرایب عامل‌ها پس از چرخش وریماکس[1] بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برآورد شدند. به‌منظور اطمینان از صحت داده ها برای تحلیل عاملی از شاخص KMO (کایزر-میر-اولکین) و آزمون کرولیت بارتلت استفاده شد. همچنین داده‌ها به‌طور تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند و سپس تجزیه به عامل‌ها برای هر قسمت به طور جداگانه انجام شد. ترسیم شکل بای‌پلات با نرم‌افزار STATGRAPHICS و تجزیه خوشه‌ای به روش Ward و با استفاده از مربع فاصله اقلیدوسی انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای تمامی صفات در هر دو شرایط اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشد (Ebrahimi *et al*., 2011; Sabokdast & Khialparast, 2007).

برآورد ضرایب همبستگی: شناخت رابطه بین عملکرد دانه و صفات مورفولوژیک در اجرای برنامه‌های گزینشی اهمیت زیادی دارد. بر اساس میانگین ژنوتیپ‌ها ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی تحت شرایط نرمال و تنش خشکی محاسبه شد. نتایج تجزیه همبستگی بین صفات تحت شرایط نرمال نشان داد که عملکرد دانه در بوته به‌ترتیب با صفات وزن دانه با غلاف (r=۰/۹۶**)، عملکرد بیولوژیک (r=۰/۸۸**)، تعداد دانه در بوته (r=۰/۷۹**)، تعداد غلاف در بوته (r=۰/۷۸**)، روز تا ۵۰درصد غلاف‌دهی (r=۰/۶۷**)، روز تا ۵۰درصد گلدهی (r=۰/۶۵**)، روز تا ۵۰درصد رسیدگی (r=۰/۶۰**) و ارتفاع بوته (r=۰/۵۸**) همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. همچنین، در شرایط نرمال بیشترین ضرایب همبستگی به‌ترتیب بین عملکرد دانه در بوته و وزن دانه با غلاف و بین تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته (r=۰/۹۶**) و بین عملکرد دانه در بوته وعملکرد بیولوژیک (r=۰/۸۸**) و بین وزن صد دانه و قطر دانه (r=۰/۸۸**) مشاهده شد.

در شرایط تنش نیز بین عملکرد دانه در بوته به‌ترتیب با صفات وزن دانه با غلاف (r=۰/۹۲**)، عملکرد بیولوژیک (r=۰/۸۰**)، تعداد دانه در بوته (r=۰/۶۶**)، تعداد غلاف در بوته (r=۰/۶۵**) و تعداد دانه در غلاف (r=۰/۴۵**) همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. تحت شرایط تنش خشکی نیز بیشترین ضرایب همبستگی بین تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته (r=۰/۹۵**) و بین وزن دانه با غلاف و عملکرد دانه در بوته(r=۰/۹۲**) وزن دانه با غلاف و عملکرد بیولوژیک (r=۰/۸۵**) و بین عملکرد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک (r=۰/۸۰**) مشاهده شد (جدول ۲). نتایج حاصل از برآورد ضرایب همبستگی با نتایج تحقیقات قبلی انجام‌شده بر روی لوبیا مطابقت داشت (Santalla *et al*., 1993; Albayrak & Tongel, 2006; Sabokdast & Khialparast, 2007; Naseh Ghafoori *et al*., 2012; Ebrahimi *et al*., 2011).

تجزیه رگرسیون و علیت: به‌منظور بررسی تغییرات عملکرد دانه در بوته با استفاده از صفات مورد بررسی، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد. در شرایط نرمال عملکرد بیولوژیکی اولین صفتی بود که وارد مدل شده و به‌تنهایی ۷۷/۵ درصد تغییرات عملکرد را توجیه کرد و پس از آن به‌ترتیب صفات تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰دانه وارد مدل شدند که در کل ۸۶/۳درصد تغییرات مربوط به عملکرد را توجیه کردند. در شرایط تنش نیز صفات عملکرد بیولوژیک و تعداد دانه در بوته و ارتفاع بوته به‌ترتیب وارد معادله رگرسیونی شده و در مجموع ۷۷/۶درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند.

سپس به‌منظور تبیین روابط رگرسیونی و شناسایی نوع اثرگذاری‌ها و همچنین میزان سهم صفات در توجیه تغییرات عملکرد دانه تجزیه ضرایب علیت انجام شد. تحت شرایط نرمال، صفات وزن دانه با غلاف (۱/۰۲۸) و تعداد دانه در غلاف (۰/۱۰۸) بیشترین اثر مستقیم مثبت را روی عملکرد دانه در بوته داشتند. بیشترین اثر غیرمستقیم وزن دانه با غلاف از طریق صفات تعداد دانه در غلاف (۰/۰۳۹) و تعداد دانه در بوته (۰/۰۳۱) و بیشترین اثر غیرمستقیم صفات مورد بررسی از طریق وزن دانه با غلاف مشاهده شد (جدول ۳). تحت شرایط خشکی نیز بیشترین اثر مستقیم مثبت توسط وزن دانه با غلاف (۰/۷۷۵) و عملکرد بیولوژیک (۰/۳) و بیشترین اثر مستقیم منفی، توسط وزن ۱۰۰ دانه (۰/۲۰۴-) مشاهده گردید. بیشترین اثر غیرمستقیم مثبت صفات از طریق وزن دانه با غلاف بود. بیشترین اثر غیرمستقیم منفی بر روی عملکرد دانه مربوط به عملکرد بیولوژیک از طریق وزن ۱۰۰ دانه بود (جدول۴).

در مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های لوبیا گزارش شده است که صفات وزن غلاف با دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیکی ۹۸درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کند (Ebrahimi *et al*., 2011). همچنین، نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون با نتایج تحقیقات قبلی مطابقت داشت (Sabokdast & Khialparast, 2007; Naseh Ghafoori *et al*., 2012; Safapour *et al*., 2009).

[1] Varimax

جدول۲. ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های لوبیای معمولی در شرایط نرمال (بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر) در صد.

Table 2. Simple correlation coefficients between traits in common bean genotypes under non-stress (up) and drought stress (down) condition.

Traits	DG	DF	DP	DM	PH(cm)	SDi(mm)	BY(g)	SY(g)	HI	NPP	SPW(g)	NSPo	NSP	100SW(g)	PL(mm)	PW(mm)	SL(mm)	SW(mm)	SD(mm)
DG	1	-0.07 ns	-0.28 ns	0-40*	-0.14	0.45**	-0.24 ns	-0.23 ns	0.14 ns	0.09 ns	-0.25 ns	0.05 ns	0.08 ns	-0.42*	-0.21 ns	-0.16 ns	-0.30 ns	-0.31 ns	-0.26 ns
DF	-0.23 ns	1	0.85**	0.61**	0.39*	0.23 ns	0.68**	0.65**	-0.07 ns	0.58**	0.67**	0.24 ns	0.52**	-0.02 ns	0.30 ns	0.05 ns	-0.05 ns	0.12 ns	0.13 ns
DP	-0.38*	0.66**	1	0.77**	0.42*	-0.06 ns	0.73**	0.67**	-0.17 ns	0.51**	0.71**	0.16 ns	0.45**	0.12 ns	0.33 ns	0.02 ns	0.09 ns	0.17 ns	0.20 ns
DM	0.20 ns	-0.13 ns	-0.23 ns	1	0.40*	-0.09 ns	0.76**	0.60**	-0.34*	0.30 ns	0.65**	-0.11 ns	0.23 ns	0.45**	0.44**	0.31 ns	0.53**	0.52**	0.46**
PH(cm)	-0.35*	0.48**	0.52**	-0.19 ns	1	-0.12 ns	0.66**	0.58**	-0.20 ns	0.52**	0.61**	0.27 ns	0.49**	0.21 ns	0.28 ns	0.36*	0.22 ns	0.44**	0.32 ns
SDi(mm)	0.18 ns	0.19 ns	0.05 ns	-0.02 ns	-0.13 ns	1	0.04 ns	-0.03 ns	0.03 ns	0.24 ns	0.01 ns	-0.12 ns	0.16 ns	-0.16 ns	0.23 ns	-0.14 ns	0.03 ns	-0.22 ns	-0.21 ns
BY(g)	-0.33 ns	0.36*	0.40*	-0.16 ns	0.69**	0.20 ns	1	0.88**	-0.27 ns	0.71**	0.94**	0.28 ns	0.68**	0.30 ns	0.48**	0.23 ns	0.29 ns	0.39*	.425*
SY(g)	-0.12 ns	0.18 ns	0.16 ns	-0.21 ns	0.39*	0.14 ns	0.80**	1	0.13 ns	0.78**	0.96**	0.44**	0.79**	0.17 ns	0.40*	0.18 ns	0.05 ns	0.20 ns	0.26 ns
HI	0.27 ns	-0.15 ns	-0.32 ns	-0.07 ns	-.47**	-0.13 ns	-0.35*	0.21 ns	1	0.10 ns	-0.01 ns	0.34*	0.18 ns	-0.31 ns	-0.10 ns	-0.13 ns	-.046**	-0.39*	-0.39*
NPP	0.02 ns	0.24 ns	0.11 ns	-0.23 ns	0.33 ns	0.13 ns	0.48**	0.65**	0.25 ns	1	0.81**	0.44**	0.96**	-0.27 ns	0.19 ns	-0.15 ns	-0.23 ns	-0.21 ns	-0.15 ns
SPW(g)	-0.07 ns	0.31 ns	0.25 ns	-0.16 ns	0.50**	0.20 ns	0.85**	0.92**	0.03 ns	0.65**	1	0.36*	0.78**	0.22 ns	0.47**	0.19 ns	0.13 ns	0.22 ns	0.30 ns
NSPo	0.07 ns	0.31 ns	0.01 ns	-0.25 ns	0.15 ns	0.04 ns	0.29 ns	0.45**	0.34*	0.50**	0.39*	1	0.67**	-0.42*	-0.05 ns	-0.18 ns	-0.61**	-0.28 ns	-0.28 ns
NSP	0.05 ns	0.28 ns	0.09 ns	-0.29 ns	0.31 ns	0.12 ns	0.47**	0.66**	0.33 ns	0.95**	0.64**	0.73**	1	-0.34*	0.13 ns	-0.18 ns	-0.36*	-0.26 ns	-0.19 ns
100SW(g)	-0.26 ns	-0.07 ns	0.21 ns	0.12 ns	0.14 ns	-0.09 ns	0.21 ns	-0.02 ns	-0.36*	-0.60**	0.06 ns	-0.48**	-0.63**	1	0.45**	0.61**	0.80**	0.84**	0.88**
PL(mm)	-0.13 ns	0.24 ns	0.31 ns	-0.20 ns	0.15 ns	0.37*	0.41*	0.28 ns	-0.15 ns	0.03 ns	0.46**	0.14 ns	0.07 ns	0.34*	1	0.19 ns	0.60**	0.29 ns	0.27 ns
PW(mm)	0.04 ns	-0.08 ns	-0.01 ns	0.09 ns	0.20 ns	-0.11 ns	0.18 ns	0.07 ns	-0.23 ns	-0.40*	0.08 ns	-0.30 ns	-0.41*	0.72**	0.16 ns	1	0.45**	0.72**	0.55**
SL(mm)	-0.17 ns	-0.03 ns	0.27 ns	0.03 ns	0.17 ns	0.11 ns	0.14 ns	-0.09 ns	-0.37*	-0.49**	0.03 ns	-0.57**	-0.57**	0.82**	0.54**	0.59**	1	0.70**	0.61**
SW(mm)	-0.26 ns	-0.07 ns	0.15 ns	0.14 ns	0.34*	-0.33 ns	0.31 ns	0.09 ns	-0.37*	-0.38*	0.12 ns	-0.36*	-0.43**	0.80**	0.00 ns	0.79**	0.50**	1	0.83**
SD(mm)	-0.22 ns	-0.15 ns	0.07 ns	0.06 ns	0.09 ns	-0.23 ns	0.21 ns	0.02 ns	-0.29 ns	-0.48**	0.06 ns	-0.43**	-0.53**	0.82**	0.00 ns	0.55**	0.45**	0.78**	1

ns، * و ** به ترتیب عدم اختلاف آماری معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *and **: Not-significant, Significant at 5% & 1% probability level, respectively.

Abbreviation: DG= Days to 50% germination, DF= Days to 50% flowering, DP= Days to 50% podding, DM= Days to 50% maturity, PH= Plant height, SDi= Stem diameter (cm), BY= Biological yield (g), SY= Seed yield (g), HI= Harvest index, NPP= Number of pods per plant, SPW= Seed via pod weight per plant (g), NSPo= Number of seeds per pod, NSP= Number of seeds per plant, 100SW= 100- seed weight (g), PL= Pod length (mm), PW= Pod width (mm), SL= Seed length (mm), SW= Seed width (mm), SD= Seed diameter (mm).

جدول ۳- تجزیه ضرایب علیت فنوتیپی برای عملکرد دانه در بوته در ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال

Table 3. Path analysis for grain yield in common bean genotypes under non-drought stress condition

صفات Traits	ضریب همبستگی(r_p) Correlation coefficient	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect via				
			1	2	3	4	5
وزن دانه با غلاف Seed via pod weight per plant	0.96	1.03	-	0.04	-0.15	0.03	0.01
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	0.44	0.11	0.37	-	-0.05	0.03	-0.02
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.88	-0.16	0.97	0.03	-	0.03	0.02
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	0.79	0.04	0.80	0.07	-0.11	-	-0.02
وزن ۱۰۰دانه 100- seed weight	0.17	0.05	0.23	-0.05	-0.05	-0.01	-
Residual= 0.25							

جدول ۴- تجزیه ضرایب علیت فنوتیپی برای عملکرد دانه در بوته در ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی

Table 4. Path analysis for grain yield in common bean genotypes under drought stress condition

صفات Traits	ضریب همبستگی(r_p) Correlation coefficient	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via				
			1	2	3	4	5
وزن دانه با غلاف Seed via pod weight per plant	0.92	0.78	-	-0.07	0.26	0.06	-0.10
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	0.28	-0.16	0.35	-	0.12	0.01	-0.04
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.80	0.30	0.66	-0.07	-	0.05	-0.14
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	0.66	0.10	0.50	-0.01	0.14	-	-0.06
وزن ۱۰۰دانه 100- seed weight	0.39	-0.20	0.39	-0.03	0.21	0.03	-
Residual=0.33							

جدول ۵- تجزیه به عامل‌ها با دوران وریماکس برای ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال

Table 5. Factor analysis using varimax rotation for common bean genotypes under non-drought stress condition

Traits	صفات	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Third factor	عامل چهارم Forth factor	عامل پنجم Fifth factor	میزان اشتراک Communality
DF	روز تا ۵۰درصد گلدهی	0.78	-0.10	0.15	0.30	-0.003	0.74
DP	روز تا ۵۰درصد غلاف دهی	0.77	-0.07	0.18	0.38	-0.30	0.86
DM	روز تا ۵۰درصد رسیدگی	0.59	0.29	0.35	0.44	-0.33	0.85
PH(cm)	ارتفاع بوته (cm)	0.65	0.49	-0.21	0.02	0.04	0.70
BY(g)	عملکرد بیولوژیک بوته (g)	0.90	0.30	0.16	0.15	-0.06	0.95
SY(g)	عملکرد دانه در بوته (g)	0.92	0.17	0.12	-0.20	-0.14	0.94
NPP	تعداد غلاف در بوته	0.89	-0.18	-0.05	-0.12	0.23	0.89
SPW(g)	وزن دانه با غلاف (g)	0.93	0.20	0.17	-0.08	-0.10	0.96
NSPo	تعداد دانه در غلاف	0.51	-0.22	-0.41	-0.50	-0.06	0.74
NSP	تعداد دانه در بوته	0.88	-0.21	-0.15	-0.26	0.16	0.94
100SW(g)	وزن صد دانه (g)	-0.05	0.82	0.40	0.13	-0.25	0.92
PW(mm)	عرض غلاف (mm)	0.03	0.83	-0.003	-0.06	-0.01	0.69
SL(mm)	طول دانه (mm)	-0.08	0.64	0.60	0.32	-0.06	0.89
SW(mm)	عرض دانه (mm)	0.07	0.90	0.10	0.24	-0.17	0.91
SD(mm)	قطر دانه (mm)	0.10	0.82	0.12	0.25	-0.17	0.78
PL(mm)	طول غلاف (mm)	0.33	0.26	0.77	-0.09	0.02	0.78
HI	شاخص برداشت	-0.01	-0.29	0.06	-0.82	-0.03	0.76
DG	روز تا ۵۰درصد جوانه زنی	-0.10	-0.16	-0.23	-0.03	0.83	0.78
SDi(mm)	قطر ساقه (mm)	0.09	-0.21	0.43	0.06	0.78	0.85
Eigen values	مقادیر ویژه	6.47	4.09	1.88	1.75	1.73	-
Cumulative of variance (%)	درصد سهم تجمعی	34.08	55.59	65.47	74.65	83.76	-

For abbreviations see Table 2. برای اختصارات به جدول ۲ مراجعه شود.

با توجه به این که صفات وزن دانه با غلاف و تعداد دانه در غلاف و عملکرد بیولوژیکی از جمله فاکتورهای اصلی اجزای عملکرد دانه در لوبیا هستند و از آنجایی‌که در تحقیق حاضر این صفات بیشترین تأثیر مستقیم و غیرمستقیم مثبت را روی عملکرد دانه در بوته داشتند، بنابراین می‌توان این صفات را به‌عنوان معیارهایی برای انتخاب ارقام پُرمحصول لوبیا در شرایط نرمال معرفی کرد.

براساس تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش نیز به‌طور کلی پنج عامل انتخاب شدند که در کل ۷۹/۰۸درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۶). عامل اول ۲۵/۸۶درصد از تغییرات را توجیه کرد و شامل صفات وزن صد دانه، عرض غلاف، طول بذر، عرض بذر و قطر بذر می‌باشد و عامل دوم ۲۲/۴۸درصد از تغییرات را توجیه کرد و شامل صفات عملکرد بیولوژیک بوته، عملکرد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن دانه با غلاف در بوته، تعداد بذر در غلاف و تعداد بذر در بوته بود. بنابراین، همانند شرایط نرمال این دو عامل را می‌توان به‌عنوان عامل عملکرد و اجزای عملکرد معرفی کرد.

جدول۶- تجزیه به عامل‌ها با دوران وریماکس برای ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی

Table 6. Factor analysis using varimax rotation for common bean genotypes under drought stress condition

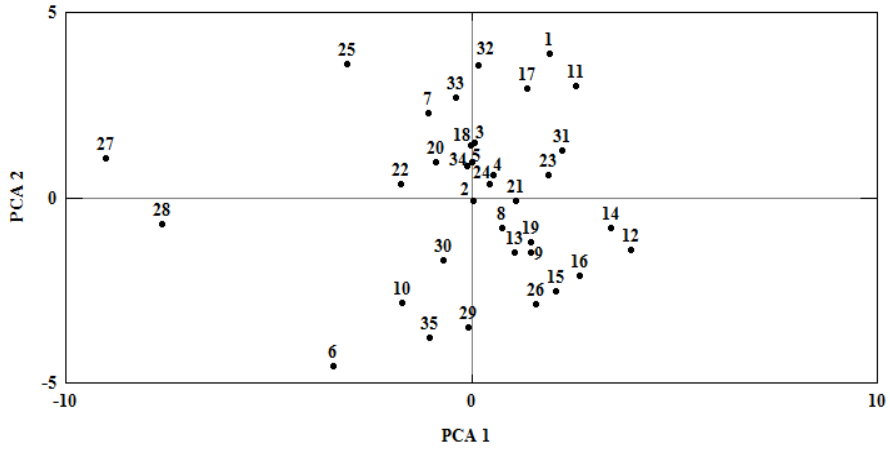
Traits	صفات	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم	عامل پنجم	میزان اشتراک
		First factor	Second factor	Third factor	Fourth factor	Fifth factor	Communality
100-SW(g)	وزن صد دانه (g)	0.95	-0.10	0.12	0.16	0.07	0.95
PW(mm)	عرض غلاف (mm)	0.82	0.08	-0.05	0.04	-0.10	0.69
SL(mm)	طول دانه (mm)	0.74	-0.20	0.19	0.48	0.09	0.85
SW(mm)	عرض دانه (mm)	0.89	0.10	0.17	-0.27	-0.10	0.91
SD(mm)	قطر دانه (mm)	0.85	-0.03	0.04	0.18	0.01	0.75
BY(g)	عملکرد بیولوژیک بوته(g)	0.24	0.80	0.45	0.15	-0.03	0.93
SY(g)	عملکرد دانه در بوته (g)	0.06	0.94	0.01	0.07	0.14	0.92
NPP	تعداد غلاف در بوته	-0.54	0.75	0.08	-0.05	0.02	0.86
SPW(g)	وزن دانه با غلاف در بوته(g)	0.10	0.93	0.14	0.22	0.05	0.94
NSPo	تعداد دانه در غلاف	-0.50	0.54	-0.03	-0.04	0.25	0.61
NSP	تعداد دانه در بوته	-0.59	0.77	0.04	-0.05	0.12	0.96
DG	روز تا ۵۰درصد جوانه‌زنی	-0.20	0.01	-0.57	0.21	-0.40	0.56
DF	روز تا ۵۰درصد گلدهی	-0.23	0.17	0.71	0.18	0.08	0.63
DP	روز تا ۵۰درصد غلافدهی	0.05	0.08	0.80	0.16	0.23	0.73
PH(cm)	ارتفاع بوته (cm)	0.16	0.47	0.72	-0.15	0.06	0.80
HI	شاخص برداشت	-0.33	0.16	-0.65	-0.12	0.37	0.71
SDi	قطر ساقه (mm)	-0.21	0.09	0.02	0.81	-0.23	0.75
PL(mm)	طول غلاف (mm)	0.22	0.23	0.16	0.76	0.33	0.82
DM	روز تا ۵۰درصد رسیدگی	0.11	-0.15	-0.14	-0.04	-0.77	0.66
Eigen values	مقادیر ویژه	4.91	4.27	2.78	1.81	1.25	-
Cumulative of variance (%)	درصد سهم تجمعی	25.86	48.34	62.98	72.51	79.08	-

برای اختصارات به جدول ۲ مراجعه شود.

For abbreviations see Table 2.

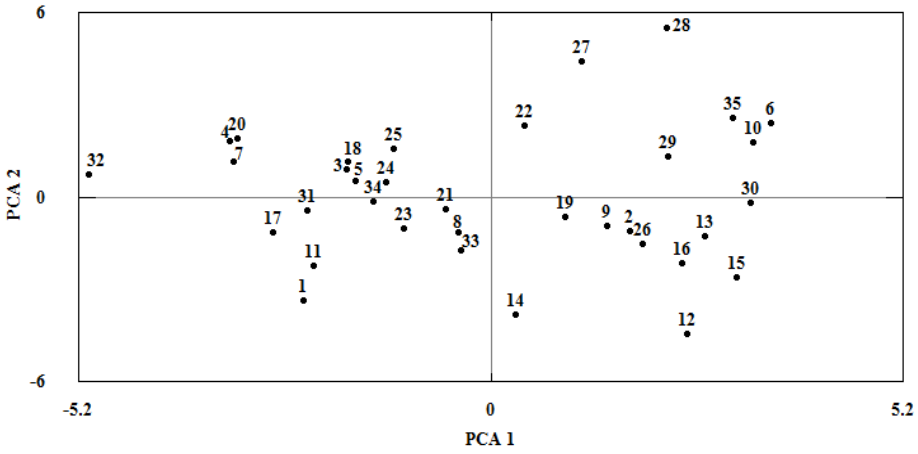
با توجه به این‌که در هر دو شرایط نرمال وتنش خشکی، دو عامل اصلی اول و دوم بیشترین تغییرات واریانس داده‌ها را توجیه کردند و صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد در این عامل‌ها قرار داشتند، از این دو عامل جهت به‌دست‌آوردن پراکنش و شناسایی ژنوتیپ‌ها برتر در دستگاه مختصات استفاده شد. در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۱۷، ۲۳ و ۳۱ که از نظر عامل‌های اول و دوم مثبت و بالاتر بودند، عملکرد دانه در بوته بیشتری نیز نشان دادند (شکل ۱). تحت شرایط تنش خشکی نیز موقعیت ژنوتیپ‌ها براساس دو عامل اصلی اول و دوم بررسی شد (شکل ۲) و ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰، ۲۲، ۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۵ که دارای عامل اول و دوم مثبت و بالاتری بودند، عملکرد دانه بیشتری تحت شرایط تنش خشکی نیز نشان دادند.

Keshavarznia *et al*, (2013) با بررسی تنوع ژنتیکی لوبیا در دو شرایط نرمال و تنش خشکی چهار عامل را شناسایی کردند که در شرایط نرمال ۷۸/۵درصد و در شرایط تنش ۷۷/۳۲درصد تغییرات را توجیه کرد. Ebrahimi *et al*, (2011) در بررسی بر روی ارقام لوبیا سفید توانستند سه عامل پنهانی را شناسایی کنند که در مجموع ۸۲درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کرد.



شکل ۱- پراکنش ژنوتیپ‌های لوبیا براساس دو مؤلفهٔ اصلی اول و دوم در شرایط نرمال

Fig. 1. Distribution of common bean genotypes on the basis of the first and the second principal components under non-drought stress condition



شکل ۲- پراکنش ژنوتیپ‌های لوبیا براساس دو مؤلفهٔ اصلی اول و دوم در شرایط تنش خشکی

Fig. 2. Distribution of common bean genotypes on the basis of the first and the second principal components under drought stress condition

ارزیابی تحمل به خشکی: به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی محاسبه شدند (جدول ۷).

با توجه به‌این‌که ژنوتیپ شماره ۲۷ علاوه‌بَر دارابودن عملکرد بالا در شرایط نرمال و تنش، از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی نیز بیشترین مقدار شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HARM)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص تحمل (TOL) را دارد، می‌توان آن را مناسب‌ترین ژنوتیپ برای کشت در هر دو شرایط در نظر گرفت. علاوه بر ژنوتیپ ۲۷، ژنوتیپ‌های ۲۵ و ۲۸ نیز از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی MP، GMP، HARM و STI بالاترین مقادیر را داشتند.

به عقیده Blum (1988) بهترین شاخص آن است که در هر دو شرایط نرمال و تنش دارای همبستگی معنی‌داری با عملکرد باشد. بنابراین، با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی، شاخص‌های تحمل، غربال و مناسب‌ترین شاخص‌ها انتخاب گردید (جدول ۸).

جدول۷- برآورد مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال و تنش

Table 7. Estimated drought tolerance indices based on average performance of common bean genotypes under non-stress and stress conditions

Genotype	Yp	Ys	MP	GMP	HARM	STI	SSI	TOL	YSI	YI	Yr
1	39.76	15.38	27.57	24.73	22.18	0.44	1.44	24.38	0.39	0.72	0.61
2	31.53	14.38	22.96	21.29	19.75	0.33	1.28	17.15	0.46	0.67	0.54
3	40.71	26.05	33.38	32.56	31.77	0.77	0.85	14.66	0.64	1.22	0.36
4	38.10	36.62	37.36	37.35	37.34	1.01	0.09	1.48	0.96	1.71	0.04
5	30.99	28.15	29.57	29.54	29.50	0.63	0.21	2.83	0.91	1.32	0.09
6	31.26	11.30	21.28	18.80	16.60	0.26	1.50	19.96	0.36	0.53	0.64
7	52.14	26.14	39.14	36.92	34.82	0.98	1.17	26.01	0.50	1.22	0.50
8	34.04	18.05	26.04	24.79	23.59	0.44	1.10	15.99	0.53	0.84	0.47
9	30.52	21.57	26.05	25.66	25.28	0.48	0.69	8.95	0.71	1.01	0.29
10	42.27	22.71	32.49	30.99	29.55	0.69	1.09	19.56	0.54	1.06	0.46
11	31.52	16.05	23.79	22.49	21.27	0.37	1.15	15.48	0.51	0.75	0.49
12	11.43	9.14	10.29	10.22	10.16	0.08	0.47	2.29	0.80	0.43	0.20
13	25.28	16.57	20.93	20.47	20.02	0.30	0.81	8.71	0.66	0.78	0.34
14	16.43	12.05	14.24	14.07	13.90	0.14	0.63	4.38	0.73	0.56	0.27
15	21.24	13.52	17.38	16.95	16.52	0.21	0.85	7.71	0.64	0.63	0.36
16	20.38	15.62	18.00	17.84	17.69	0.23	0.55	4.76	0.77	0.73	0.23
17	28.10	17.33	22.71	22.07	21.44	0.35	0.90	10.76	0.62	0.81	0.38
18	39.57	27.33	33.45	32.89	32.33	0.78	0.73	12.24	0.69	1.28	0.31
19	30.43	20.76	25.60	25.13	24.68	0.46	0.75	9.67	0.68	0.97	0.32
20	42.10	28.05	35.07	34.36	33.67	0.85	0.78	14.05	0.67	1.31	0.33
21	30.29	19.48	24.88	24.29	23.71	0.43	0.84	10.81	0.64	0.91	0.36
22	54.19	18.86	36.52	31.97	27.98	0.74	1.53	35.33	0.35	0.88	0.65
23	36.62	21.00	28.81	27.73	26.69	0.56	1.00	15.62	0.57	0.98	0.43
24	29.36	21.71	25.54	25.25	24.96	0.46	0.61	7.64	0.74	1.02	0.26
25	69.03	32.43	50.73	47.32	44.13	1.62	1.25	36.60	0.47	1.52	0.53
26	25.57	17.86	21.71	21.37	21.03	0.33	0.71	7.71	0.70	0.84	0.30
27	98.23	28.89	63.56	53.27	44.65	2.05	1.66	69.33	0.29	1.35	0.71
28	69.85	31.87	50.86	47.19	43.77	1.61	1.28	37.98	0.46	1.49	0.54
29	33.24	27.62	30.43	30.30	30.17	0.66	0.40	5.62	0.83	1.29	0.17
30	34.95	11.42	23.18	19.97	17.21	0.29	1.58	23.54	0.33	0.53	0.67
31	24.95	22.10	23.52	23.48	23.44	0.40	0.27	2.86	0.89	1.03	0.11
32	44.83	38.33	41.58	41.45	41.33	1.24	0.34	6.49	0.86	1.79	0.14
33	34.17	12.63	23.40	20.78	18.45	0.31	1.48	21.54	0.37	0.59	0.63
34	44.34	29.19	36.76	35.98	35.20	0.93	0.80	15.15	0.66	1.37	0.34
35	34.85	17.95	26.40	25.01	23.70	0.45	1.14	16.90	0.52	0.84	0.48

Abbreviations: Yp: Potential Yield; Ys: Stress Yield; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HARM: Harmonic Mean; STI: Stress Tolerance Index; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance index; YSI: Yield Stability Index; YI: Yield Index; Yr: Yield reduction rate.

با توجه به‌این‌که شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM همبستگی بسیار معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با عملکرد آبی و دیم نشان دادند، لذا می‌توان این شاخص‌ها را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال‌کردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی که در شرایط نرمال و دیم نیز عملکرد بالایی دارند، درنظر گرفت. شاخص تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در شرایط بدون تنش نشان دادند. همبستگی این شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش معنی‌دار نبود.

برای بررسی روابط بین عملکرد ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل نمودار بای‌پلات ترسیم شد، بدین‌منظور ابتدا تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌ها تحمل به تنش و عملکرد تحت شرایط نرمال و تنش انجام شدو ضرایب عامل‌ها پس از چرخش وریماکس و بر مبنای روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برآورد شدند (جدول ۹).

بای‌پلات مربوطه بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم که ۹۸/۳۱ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه می‌کند، ترسیم گردید (شکل ۳). در فضای بای‌پلات ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آن ها به کمبود آب است. جدول ۴-۲۱ نشان می‌دهد که ۵۹/۰۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به مولفهٔ اول است که دارای همبستگی مثبت و بالایی با Yp، Ys، MP، GMP، HARM، STI می‌باشد و از این نظر به نام مؤلفه پتانسل و پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری گردید. بنابراین، روی بای‌پلات حاصله با توجه به مقادیر بالای این مؤلفه‌ها می‌توان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا را انتخاب کرد. دومین مؤلفه که ۳۹/۲۹درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و با شاخص‌های SSI، TOL و Yr همبستگی مثبت بسیار بالایی نشان داده است. بنابراین، بر مبنای این مؤلفه، ارقامی انتخاب می‌شوند که سازگاری خصوصی به شرایط بدون تنش دارند، به همین دلیل می‌توان مؤلفه دوم را به‌عنوان مؤلفه حساسیت به خشکی نام‌گذاری کرد.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط نرمال و تنش با شاخص‌های تحمل در ۳۵ژنوتیپ لوبیا

Table 8. Correlation coefficients between yield under no-stress (Yp) and drought stress (Ys) with tolerance indices in 35 common bean genotypes

	Yp	Ys	MP	GMP	HARM	STI	SSI	TOL	YSI	YI	Yr
Yp	1										
Ys	0.95**	1									
MP	0.96**	0.79**	1								
GMP	0.91**	0.78**	0.99**	1							
HARM	0.83**	0.94**	0.95**	0.99**	1						
STI	0.93**	0.81**	0.99**	0.98**	0.95**	1					
SSI	0.50**	-0.33ns	0.26ns	0.14ns	0.01ns	0.17ns	1				
TOL	0.89**	0.16ns	0.73**	0.62**	0.49**	0.68**	0.79**	1			
YSI	0.50**	0.33ns	-0.26ns	-0.14ns	-0.01ns	-0.18ns	-1.0**	-0.79**	1		
YI	0.60**	1.0**	0.79**	0.87**	0.94**	0.81**	-0.33ns	0.16ns	0.33ns	1	
Yr	0.50**	-0.33ns	0.26ns	0.14ns	0.01ns	0.18ns	1.0**	0.79**	-1.0**	-0.33ns	1

ns و ** به‌ترتیب عدم اختلاف آماری معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

ns and **: Not-significant, Significant at 1% probability level, respectively.

Yp: Potential Yield; Ys: Stress Yield; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HARM: Harmonic mean; STI: Stress Tolerance Index; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance index; YSI: Yield Stability Index; YI: Yield Index; Yr: Yield reduction rate.

جدول۹- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص‌های تحمل و عملکرد در شرایط تنش و نرمال در ۳۵ژنوتیپ

Table 5. Eigen values and proportion variance of tolerance indices and yield under non stress and drought stress condition in 35 common bean genotypes

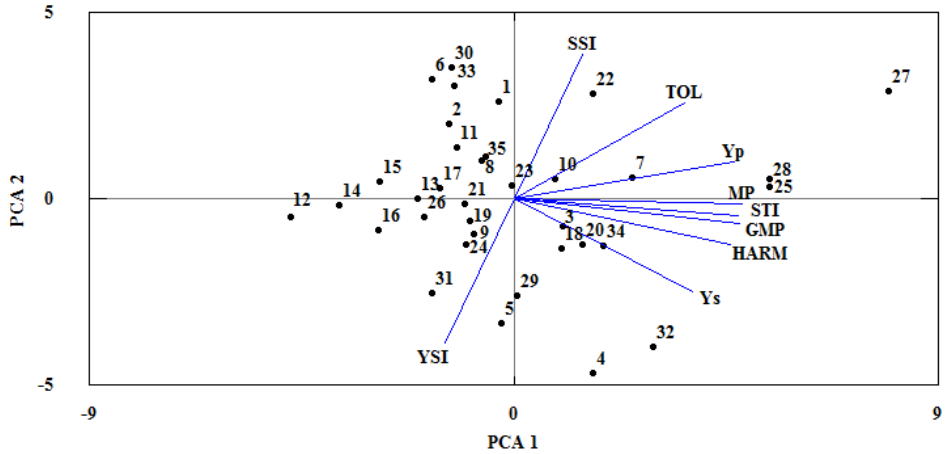
مؤلفه component	مقادیر ویژه Egien values	درصد سهم تجمعی Cumulative of variance (%)	Yp	Ys	MP	GMP	HARM	STI	YI	SSI	TOL	YSI	Yr
1	6.49	59.02	0.83	0.94	0.95	0.99	0.99	0.96	0.94	-0.03	0.50	0.03	-0.03
2	4.32	98.31	0.54	-0.32	0.30	0.17	0.02	0.22	-0.33	0.99	0.84	-0.99	-0.99

برای اختصارات به جدول ۸ مراجعه شود. For abbreviations see Table 8.

از آنجایی‌که همبستگی بالایی بین عملکرد در شرایط تنش و همچنین شاخص‌های تحمل به خشکی با مؤلفه اول وجود دارد و از طرفی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مؤلفه دوم و عملکرد پتانسیل وجود دارد، لذا ژنوتیپ‌هایی که در فضای بالایی این دو مؤلفه قرار می‌گیرند، شامل ژنوتیپ‌های ۲۷، ۲۸، ۲۵، ۲۲، ۷ و ۱۰ پُرمحصول هستند و در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند. اما با توجه به‌این‌که در مجاورت شاخص‌های حساسیت قرار دارند و از نظر عامل دوم نیز مقادیر بالا دارند، می‌توان گفت نسبتاً حساس‌اند. ژنوتیپ‌های ۱، ۳۰، ۳۳، ۶، ۲، ۱۱، ۸ و ۳۵ از لحاظ عامل اول منفی و از لحاظ عامل دوم مثبت می‌باشند. در نتیجه، در شرایط نرمال عملکرد بالا و در تنش عملکرد پایینی دارند و حساس می‌باشند. ژنوتیپ‌های ۳۲، ۴، ۳۴، ۲۰ و ۱۸ از لحاظ عامل اول مثبت و از لحاظ عامل دوم منفی می‌باشند و می‌توان آن‌ها را نسبتاً ازجمله ژنوتیپ‌های متحمل دانست. ژنوتیپ‌های ۳۱، ۱۶، ۱۴ و ۱۲ از لحاظ هر دو عامل منفی بوده و مقادیر منفی داشتند. با توجه به‌این‌که زاویه بین بردارها میزان همبستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد، همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد، زاویه تند بین شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI نشان‌دهندهٔ همبستگی شدید بین این شاخص‌هاست. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و شکل بای‌پلات برای تفکیک ارقام نسبت به تنش خشکی در لوبیا توسط Fernandez (1992) مورد استفاده و تأیید قرار گرفته است.

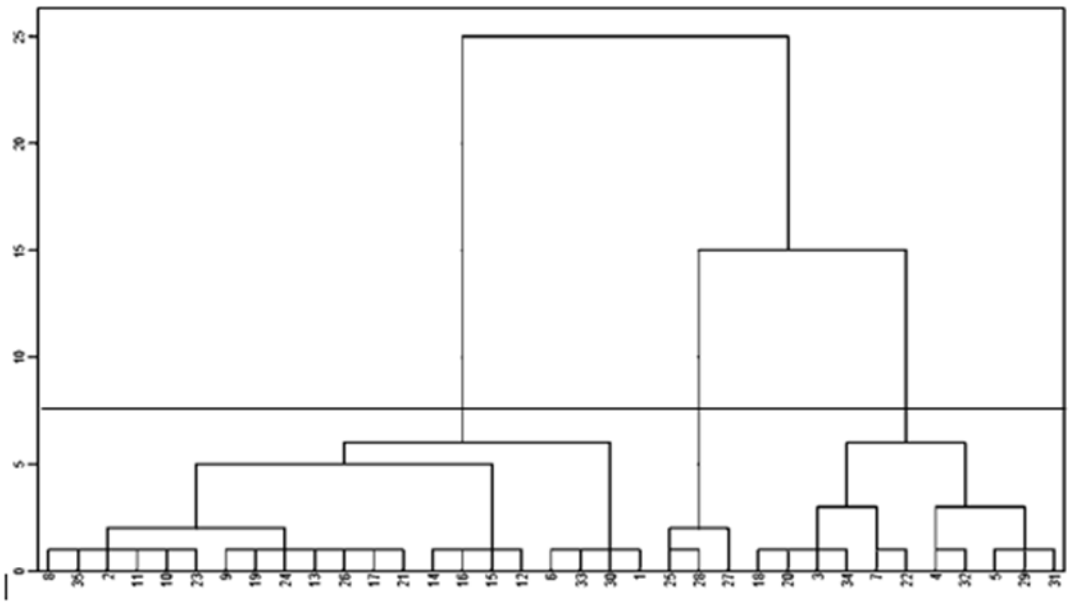
گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها برمبنای شاخص‌های STI، MP، GMP، HARM و عملکرد در شرایط نرمال و تنش، با استفاده از روش Ward انجام شد و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سه کلاستر تقسیم‌بندی شدند (شکل ۴). همان‌طورکه ملاحظه شد، ۲۱ژنوتیپ در کلاستر اول، ۳ژنوتیپ در کلاستر دوم و ۱۱ ژنوتیپ در کلاستر سوم قرار گرفتند و ژنوتیپ‌های متحمل با بیشترین فاصله از ژنوتیپ‌های حساس (کلاستر اول) در کلاستر سوم قرار دارند. بنابراین، با توجه به فاصله ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها می‌توان در برنامه‌های اصلاحی برای تولید هیبریدهای با عملکرد بالا و متحمل به خشکی استفاده نمود. Shafiee *et al*, (2012) برای شناسایی ارقام متحمل از شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI استفاده کردند و بر اساس آن‌ها ژنوتیپ‌های آزمایشی را در چهار کلاستر طبقه

بندی کردند. در بررسی ۱۸ژنوتیپ عدس شاخص‌های GMP و STI بیشترین همبستگی را با عملکرد در شرایط خشکی و معمول داشتند و بر اساس این شاخص‌ها دو ژنوتیپ مقاوم به خشکی را معرفی کردند (Naroui Rad *et al*., 2008).



شکل ۳- نمایش بای‌پلات ۳۵ژنوتیپ لوبیا در ۹شاخص تحمل به خشکی بر اساس دو مؤلفه اول و دوم

Fig 3. Biplot for 35 common bean genotypes at 9 drought tolerance indices on the basis of first and second principal componentS



شکل ۴- دندروگرام حاصل از گروه‌بندی ۳۵ژنوتیپ لوبیا براساس عملکرد تحت شرایط نرمال (Yp) و تنش (Ys) و شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI با استفاده از روش Ward

Fig. 4. Dendrogram obtained by cluster analysis of 35 common bean genotypes based on Yp, Ys and MP, GMP, HARM and STI indices using Ward's method

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات مورد بررسی در شرایط نرمال اختلاف معنی‌داری وجود دارد که بیانگر وجود تفاوت و تنوع بین ژنوتیپ‌ها و امکان گزینش آن‌ها با توجه به صفات مذکور می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از همبستگی‌های فنوتیپی، رگرسیون و تجزیه علیت در هر دو شرایط نرمال و تنش می‌توان نتیجه گرفت که صفات وزن غلاف با دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد بذر در غلاف، عملکرد بیولوژیک و وزن ۱۰۰دانه از جمله صفات مهم و تأثیرگذار بر عملکرد دانه می‌باشند و با توجه تنوع مشاهده‌شده

برای این صفات در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌توان با انتخاب و اصلاح برای این صفات، عملکرد دانه در بوته را به‌نحو مطلوبی افزایش داد. بر اساس تجزیه به عامل‌ها در هر دو شرایط نرمال و تنش، پنج عامل براساس مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک انتخاب شدند که در شرایط نرمال در مجموع ۸۳/۷۶درصد و در شرایط تنش ۷۹/۰۸درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. پس از ترسیم نمودار بای‌پلات در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۱۷، ۲۳ و ۳۱ و تحت شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰، ۲۲، ۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۵ که از نظر عامل‌های اول و دوم مثبت و بالاتر بودند و عملکرد دانه در بوته بیشتری نیز داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند. شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال‌کردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی می‌شوند و بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در سه گروه طبقه بندی شدند که از تلاقی کلاستر اول و سوم برای دستیابی به هیبریدهای مقاوم می‌توان بهره گرفت.

منابع

1. Adams, M.W. 1982. Plant architecture and yield breeding. Iowa State Journal of Research 56(3): 225-254.
2. Albayrak, S., and Tongel, O. 2006. Path analysis of yield and yield-related traits of common vetch (*Vicia sativa* L.) under different rainfall conditions. Journal of Faculty of Agriculture OMU 21: 27-32.
3. Amini, A., Bihamta, M.R., and Abdmishani, C. 2002. Genetic diversity between difference traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Agricultural Sciences, Agricultural Economics and Development 33: 605-615. (In Persian with English Summary).
4. Bennett, J.P., Adams, M.W., and Burga, C. 1997. Pod yield component variation and inter correlation in *Phaseolus vulgaris* as affected by planting density. Journal of Crop Science 17: 73-75.
5. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press Florida. 212 pp.
6. Bouslama, M., and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Journal of Crop Science 24: 933-937.
7. Dursum, A. 2007. Variability, heritability and correlation studies in bean genotypes. World Journal of Agricultural Sciences 3(1): 12-16.
8. Ebrahimi, M., Bihamta, M.R., Hosein-Zadeh, A., and Khialparast, F. 2011. Evaluation of relation of grain yield with important agronomic traits of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using different analyses methods under normal and water stress conditions. Journal of Crops Improvement 13(2): 27-40. (In Persian with English Summary).
9. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: C.G. You (Ed.). Adaptation of Food Crop to Temperature and Water Stress. AVRRDC, Hanhua, Taiwan, PP. 257-270.
10. Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 895-97.
11. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi, G.L., and Borghi, B. 1997. Evaluationof field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal Plant Science 77: 523-531.
12. Golestani, S.A., and Assad, M.T. 1998. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. Euphytica 103: 293-299. (In Persian with English Summary).
13. Kaiser, H.F. 1970. A second generation Little Jiffy. Psychometrika 35: 401-415.
14. Karasu, A., and OZ, M. 2010. A study on coefficient analysis and association between agronomical characters in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Bulgarian Journal of Agricultural Science 16(2): 203-211.
15. Keshavarznia, R., Mohammadi, B., and Abbasi, A. 2013. Evaluation of genetic diversity of common bean by using morphological traits in under two normal and drought stress condition. Iranian Journal of Crop Science 44(2): 305-315. (In Persian with English Summary).
16. Khaghani, Sh., Bihamta, M.R., Changizi, M., Dori, H.R., Khaghani, Sh., Bakhtiari, A., and Safapour, M. 2009. Compare quantitative and quality traits in white and red bean in common irrigation and drought stress. Journal of Environmental Stress in Plant Science 1(2): 169-181. (In Persian with English Summary).

17. Kristin, A.S., Senra, R.R., Perez, F.I., Enriques, B.C., Gallegos, J.A.A., Vallego, P.R., Wassimi, N., and Kelley, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Journal of Crop Science 37: 43-50.
18. Ludlow. M., and Munchow, R.C. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yield in water limited environments. Advances in Agronomy 43: 107-153.
19. Majnoun Hossini, N. 2008. Grain Legume Prudction. Jahad Daneshgahi Universib of Tehran. 283 pp. (In Persian with English Summary).
20. Manivannan, P., Jaleel, C.A., Kishorekumar, A., Sankar, B., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2008. Protection of (*Vigna unguiculata* L.) Walp. plants from salt stress by paclobutrazol. Colloids and surfaces. Biointerfaces 61(2): 315-318.
21. Mc Clean, P., Kami, J., and Gepts, P. 2004. Genomic and genetic diversity in common bean. In: R.F. Wilson, H.T. Stalker and E.C. Brummer (Eds.). Legume Crop Genomic. AOCS Press, Champaigh. 60-82.
22. Narouie Rad, M., and Aghaie, M. 2008. Genetic variation in some phenological and morphological traits masses of hot and dry lentils. Journal of Agriculture Research and Development 74(4): 40-48. (In Persian with English Summary).
23. Naseh-Ghafoori, I., Bihamta, M.R., Afzali, M., and Dori, H. 2012. Comparison of seed yield and related traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties under normal and water deficit conditions. Iranian Journal of Pulses Research 3(1): 93-104. (In Persian with English Summary).
24. Rosielle , A.A., and Hambilin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Journal of Crop Science 21: 43-46.
25. Sabokdast, M., and Khyalparast, F. 2007. A study of relationship between grain yield and yield components in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural of Resource 11 (42): 123-134. (In Persian with English Summary).
26. Safapour, M., Khaghani, Sh., Amir Abadi, M., Teymori, M., and Bezian, M.K. 2009. Compared the effects of water stress on agronomic traits and phenology of white beans. Findings of Modern Agricultural 4: 367-378. (In Persian with English Summary).
27. Santalla, M., Eseribano, M.R., and Ron, A.M. 1993. Correlations between agronomic and immature pod characters in population of French bean. Abstract Plant Breeding 63(4): 495.
28. Shafiee Khorshidi, M., Bihamta, M.R., Khialparast, F., and Naghavi, M.R. 2012. Comparison of some common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought tolerance. Iranian Journal of Field Crop Science 44(1): 95-107. (In Persian with English Summary).
29. Sharma, D., and Jodha, N.S. 1984. Pulse production in semi-arid region of India. Proceedings of Pulses Production, Constraints and Opportunities. pp. 241-265.
30. Upadhyaya, H.D., Bramel, P.J., and Singh, S. 2001. Development of a chickpea core collection using geographic distribution and quantitative traits. Journal of Crop Sciences 41: 206-210.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 8, No. 2, 2017, p. 69-83

Evaluation of traits and drought tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under well-watered and drought stress conditions

Gharajedaghi[1], F., Bihamta[2*], M.R., Peyghambari[2], S.A. & Rezaeinia[4], M.

1. M.Sc., College of Agronomy, University of Tehran
2. Professor, College of Agronomy, University of Tehran
3. M.Sc., College of Agronomy, University of Tehran

Received: 19 December 2015
Accepted: 15 March 2016

DOI: 10.22067/ijpr.v8i2.52302

Introduction

Pulse crops with 18-32% protein are the most important source of grain for human food. Protein of food legumes due to the presence of essential amino acids such as Lysine, have high nutritional value. Common beans are half of the beans used in the world, its grains rich in protein and carbohydrates. Common bean is very sensitive to weather conditions and soil quality and its performance even in short periods of stress. About two-thirds of the land under cultivation in Iran is in semi-arid areas, so the varieties with resistance to drought stress are the most important objectives of the breeding programs. Genetic diversity is the base for the selection of genotypes with desirable traits. In addition genetic resources have the fundamental role for agricultural development, as a source of useful genes for resistance to biotic and abiotic stresses and the development of genetic adaptation to environmental changes considered that the proper utilization of these varieties can be produced new and more desirable plants.

Materials & Methods

In order to evaluate genotypic and phenotypic variation and determine the relationship between grain yield with other traits in 35 common bean genotypes under normal and drought stress conditions, an experimental design was carried out in a randomized complete block design under two conditions in 2013 at the research field of college of Agriculture and natural resource of University of Tehran in Karaj state with latitude 35° and 56 minutes north and longitude 50° and 58 minutes east and 1112.5 m height above sea level. Treatments consisted of 33 common bean genotypes with three Khomein, Daneshkadeh and Goli Cultivars as control, were selected from the collections of College of Agriculture, University of Tehran, Karaj. Based on 30 years of data, mean annual precipitation of 243 mm and the test run of 47.7 mm rainfall during the growing season was over. Planting was done manually. Each plot consisted of three rows of two meters in length and with a spacing of 50 cm and 10 cm seeds space on the row and depth of planting was about five centimeters. Irrigation took place similar to both conditions at flowering stage, for seven days (Equivalent to 70 mm evaporation) and after the vegetative growth and loss of the risk sufficient to remove the bushes. Irrigation of water stress piece was performed each 11 days (Equivalent to 110 mm evaporation). Harvest was performed when 90% of plants were matured and the seven plants in compliance with marginal effect of each plot were collected to measure traits and then by using the mean yield genotypes per plot in non-stress (Ypi) and stress conditions (Ysi), drought tolerance indices including, Mean Productivity, Geometric Mean Productivity, Harmonic Mean Productivity, Stress Tolerance Index, Stress Susceptibility Index, Tolerance Index, Yield Index, Yield Stability Index, Stress Intensity and yield reduction rate were calculated for each genotype.

***Corresponding Author:** mrghanad@ut.ac.ir, Mobile: 09121594338

Results & Discussion

Results showed that among genotypes in the studied traits there were significant differences which displayed genetic variation among the genotypes. Based on the average of genotypes yield in normal conditions the highest and lowest seed yield pertained genotypes 27 and 12, respectively, and in the stress related to genotypes 32 and 12, respectively. According to the results of phenotypic correlations, stepwise regression, and path analysis in both normal and stress conditions, the traits of seed and pod weight, biological yield, number of seeds per plant, and number of seed per pod were the most important and effective traits affecting yield. The highest diversity was observed for these traits; therefore the selection of these traits can ideally improve the yield. Based on factor analysis, five factors were selected that the total variation were explained 83.76 and 80.79 percent under normal and drought stress conditions, respectively. The first and second factors were named yield and yield component factors. Geometric Mean Productivity, Harmonic Mean and Stress Tolerance Index, indices had the highest significant correlation with yield in both conditions, hence, were introduced as the best indices for screening tolerant genotypes. Based on biplot graph, genotypes 25, 27 and 28 were identified as tolerant genotypes with high yield, whereas genotypes 7, 10, 22 and 23 as drought-sensitive genotypes. Based on indicators STI, GMP, GMP, HRM and performance in normal and stress conditions, using Ward method genotypes were classified in three clusters 21 genotypes in first class, 3 genotypes in cluster II and 11 genotypes were in Cluster III and tolerant genotypes with the highest distance from sensitive genotypes (cluster I) in the third cluster.

Conclusion

Thus, according to genetic distance can be genotypes in breeding programs to produce hybrids with high yield and drought tolerance can be used.

Key words: Cluster analysis, Common bean, Factor analysis, Tolerance Indices