

ارزیابی ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش خشکی

زهرا طهماسبی^{۱*}، حسین محمدی دهبالایی^۲

۱. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام

۲. دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۳

چکیده

لوبیای سیاه یا **Black bean** (*Phaseolus vulgaris* L.) واریته‌ای از لوبیای معمولی است که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بالا است. به‌منظور ارزیابی واکنش ۱۱ ژنوتیپ لوبیا سیاه به همراه ۳ ژنوتیپ لوبیا از رنگ‌های دیگر (به‌عنوان شاهد) به تنش خشکی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود اجرا شد. تنش آبی در مرحله گلدهی اعمال شد. در پایان فصل رشد، ۵ گیاه از هر ردیف برداشت شد و صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، ارتفاع گیاه، عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه مرکب و مقایسه میانگین داده‌ها نشان دادند که کلیه صفات در اثر تنش تحت تأثیر قرار گرفتند و بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ صفات مورد مطالعه در هر دو محیط نرمال آبی و تنش تفاوت معنی‌داری وجود داشت. از بین شاخص‌های خشکی، شاخص‌های **HARM**، **STI** و **GMP** جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش انتخاب شدند بنابراین بر اساس این شاخص‌ها از بین ژنوتیپ‌های لوبیا سیاه، ژنوتیپ ۱۱۸۳ به‌عنوان متحمل‌ترین (با عملکرد ۸/۰۷ گرم در بوته) و ژنوتیپ‌های ۱۱۸۷ و ۱۱۷۷ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی (به ترتیب با عملکرد ۴/۱۷ و ۵/۲۲ گرم در بوته) انتخاب شدند. همچنین ژنوتیپ‌های شاهد (۲۵۶، تلاش و دانشکده) دارای عملکرد بالاتر (به ترتیب ۱۸/۷۲، ۱۳/۵۶ و ۱۴/۲۱ گرم در بوته) و از نظر اکثر شاخص‌ها مقاوم‌تر از ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه بودند.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، تجزیه مرکب، شاخص‌های تحمل خشکی، عملکرد

مقدمه

گلیکوزیدهای فنولی، آنتوسیانین‌ها، پروآنتوسیانیدین‌ها و ایزوفلاون و همچنین برخی از اسیدهای فنولیک است (Fernandes et al., 2010). یک لیوان لوبیا سیاه می‌تواند نزدیک به ۱۵ گرم فیبر و ۱۵ گرم پروتئین (معادل ۵۰ گرم گوشت مرغ یا ماهی) داشته باشد. ترکیب تقریباً جادویی فیبر و پروتئین لوبیا سیاه فواید مهمی برای سلامتی دستگاه گوارش، سیستم تنظیمی قند خون و سیستم قلبی عروقی دارد (Wang et al., 2011). عملکرد دانه لوبیا همانند سایر حبوبات به‌طور معمول کمتر از غلات است و روند افزایشی در تولید آن در دهه‌های گذشته مشاهده نشده است؛ یکی از علل این امر شرایط نامساعد محیطی تخصیص داده‌شده به این محصول است. همچنین سازوکار تشکیل اجزای اقتصادی

در کشورهای فقیر در حال توسعه که ۶۶٪ جمعیت دنیا را در خود جای داده‌اند، فقر غذایی وجود دارد. رژیم غذایی در این کشورها عمدتاً غلات است که بیشتر حاوی نشاسته است و مقدار پروتئین آن‌ها کم است و سوءتغذیه میلیون‌ها انسان ساکن این کشورها از مشکلات حاد آن‌هاست (Bagheri et al., 2001). با توجه به موارد فوق و پرهزینه بودن تولید پروتئین‌های حیوانی، تمرکز بر تولید حبوبات می‌تواند از راهکارهای حل این مشکلات باشد (Majnoun Hosseini, 2008).

لوبیا سیاه واریته‌ای از لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) و متعلق به خانواده بقولات است. لوبیا سیاه حاوی طیف گسترده‌ای از فلاونوئیدها، از جمله فلاونول‌ها،

کردند. مقدار بالای Tol نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش بوده و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر کمتر این شاخص و مقادیر بالای MP انجام می‌شود. فیشر و مائورر (Fisher and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index: SSI) را پیشنهاد کردند. مقدار کمتر SSI نشان‌دهنده تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index: STI) را معرفی کرد. ژنوتیپ‌های پایدارتر بر اساس این شاخص دارای مقادیر بالاتر STI هستند.

با توجه به موارد اشاره شده، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا سیاه و ارزیابی چگونگی واکنش این ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی با کمک شاخص‌های تحمل انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به منظور ارزیابی تحمل به خشکی ۱۱ ژنوتیپ لوبیای سیاه و ۳ ژنوتیپ دیگر (که این ژنوتیپ‌ها شاهد بودند) انجام شد. بذور ژنوتیپ‌های مورد مطالعه (جدول ۱) از بانک ژن پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج دریافت و در قالب دو طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو قطعه زمین مجاور هم در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه ایلام در شهرستان مهران، با عرض جغرافیایی ۳۳/۴۰ درجه شمالی از خط استوا و طول جغرافیایی ۴۶/۱۰ شرقی از نصف‌النهار مبدأ با ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۳۹۱ کشت شدند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم پاییزه، دو بار دیسک عمود برهم، تسطیح زمین و تهیه جوی و پشته بود. بذور ژنوتیپ‌ها در خطوط ۲ متری با فاصله ۵ سانتی‌متر روی ردیف‌ها و ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و عمق کاشت ۷ سانتی-متر کشت شدند. تراکم به صورت ۴۰ بوته در مترمربع بود. به دلیل شرایط آب و هوایی منطقه (جدول ۲) کشت در اسفندماه صورت گرفت. در آزمایش اول، آبیاری به صورت نرمال و دور آبیاری (سه روز یکبار) بر اساس میزان تبخیر از سطح تشتک تبخیر (که ۵۰ میلی‌لیتر بود) تا انتهای فصل رشد انجام گرفت. در آزمایش دوم که مشابه آزمایش اول کشت و مدیریت شد، آبیاری تا مرحله گلدهی (مرحله حساس گیاه) مشابه آزمایش اول صورت گرفت و پس از آن تنش آبی به صورت کاهش دور آبیاری (۶ روز یکبار) و بر اساس ۱۰۰

عملکرد لگوم‌ها نسبت به سایر گیاهان پیچیده است (Majnoun Hosseini, 2008). از معضلات دیگر تولید این محصول که باعث کاهش عملکرد می‌شود، تنش‌های غیر زیستی از جمله خشکی است. تنش خشکی، از عوامل اصلی کاهش محصول در سراسر جهان است و میانگین کاهش محصول ناشی از تنش خشکی در نقاط مختلف دنیا بیش از ۵۰ درصد گزارش شده است (Zlatev and Yordanov, 2004). کشور ما دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است و کمبود آب، یکی از مشکلات اساسی کشاورزی ایران است؛ لذا وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان امری اجتناب‌ناپذیر است. واکنش گیاهان مختلف و حتی رقم‌های مختلف نسبت به تنش خشکی متفاوت است (Zabet et al., 2003).

لوبیا در طی رشد و نمو خود به‌طور معمول بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر بارندگی نیاز دارد (Broughton et al., 2003) ولی حدود ۶۰ درصد سطح زیر کشت جهانی لوبیا در معرض خطر بروز خشکی‌های متناوب و یا آخر فصل است (Beebe et al., 2008). گیاهان استراتژی‌های مختلفی را برای تحمل به تنش توسعه داده‌اند. این استراتژی‌ها شامل تغییر در فرآیندهای متابولیکی، تغییرات ساختاری در غشاها، بیان ژن‌های ویژه و تولید متابولیت‌های ثانویه است (Kotchoni and Bartels, 2003). تنش خشکی متوسط تا شدید می‌تواند زیست‌توده، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد روز تا رسیدگی، شاخص برداشت، عملکرد دانه و وزن دانه لوبیا را کاهش دهد (Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998; Acosta-Gallegos and Adams, 1991). پادیل-رامیرز و همکاران (Padilla-Ramirez et al., 2005) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت می‌گردد. مونوز-پرا و همکاران (Munoz-Perea et al., 2005) گزارش کردند که تنش خشکی علاوه بر کاهش معنی‌دار عملکرد، باعث کاهش بازده مصرف آب نسبت به تیمار بدون تنش می‌شود و تنش خشکی شدید می‌تواند میزان کارایی مصرف آب و نیتروژن را در لوبیا کاهش دهد.

شاخص‌های متعددی برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آن‌ها ارائه شده است. روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص‌های تحمل (Tolerance: Tol) و میانگین حسابی (Mean Productivity: MP) را معرفی

تعداد غلاف آنها مورد شمارش قرار گرفت)، تعداد دانه در غلاف (بدین منظور تعداد دانه‌های ده غلاف فوق‌الذکر مورد شمارش قرار گرفت)، ارتفاع گیاه (در موقع رسیدگی با اندازه-گیری فاصله قاعده گیاه تا انتهای ۵ بوته در هر ردیف به دست آمد)، عملکرد دانه (برای این منظور وزن بذور ۵ گیاه برداشت‌شده از هر ردیف به کمک ترازوی دیجیتالی اندازه-گیری شد) و وزن ۱۰۰ دانه بودند.

میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر انجام گرفت (Assady et al., 2011). پس از اعمال تنش، در محل آزمایش بارندگی رخ نداد. برای جلوگیری از خسارت علف‌های هرز عملیات وجین دستی انجام گرفت. در تیرماه برداشت انجام شد. صفات موردبررسی: صفات اندازه‌گیری شده شامل تعداد غلاف در بوته (برای این کار پس از حذف بوته‌های ابتدا و انتهای ردیف، از هر ردیف ۵ گیاه به‌صورت تصادفی برداشت شد و

جدول ۱. ژنوتیپ‌های لوبیای موردبررسی

رنگ بذر	کد ژنوتیپ در بانک ژن	رنگ بذر	کد ژنوتیپ در بانک ژن
Seed color	Genotype code in Gene Bank	Seed color	Genotype code in Gene Bank
Black	سیاه 1187	Black	سیاه 1115
Black	سیاه 1158	Black	سیاه 1186
Black	سیاه 1170	Black	سیاه 1183
Black	سیاه 1185	Black	سیاه 1190
Black	سیاه 1179	Red	قرمز 256
Black	سیاه 1140	Chiti	چیتی Talash
Black	سیاه 1177	White	سفید Daneshkadeh

جدول ۲. خلاصه آمار هواشناسی محل اجرای آزمایش طی سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱

Table 2. Summary of meteorological data in the experiment location during the cropping season of 2011-12

تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	آماره هواشناسی
July	June	May	April	March	Meteorological statistics
46.5	39.1	31.3	31.1	25	حداکثر دمای مطلق (°C)
28.6	24.3	18.2	15.9	12.1	حداقل دمای مطلق (°C)
37.5	31.7	24.7	23.5	18.6	میانگین دما (°C)
20	30	47	43	69	رطوبت نسبی (%)
669.7	504.3	306.8	341	219.5	میزان تبخیر (mm)
					Evaporation rate

اطمینان از متجانس بودن واریانس‌های خطا، تجزیه واریانس مرکب انجام شد. مقایسه میانگین صفات با آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. به‌علاوه به‌منظور تعیین ارقام مقاوم و حساس به تنش، شاخص‌های مختلف مربوط به مقاومت به تنش خشکی طبق روابط زیر محاسبه شدند (Fisher and Maurer, 1978; Fernandez, 1992; Rosielle and Hamblin, 1981):

تجزیه و تحلیل آماری

پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا داده‌ها از لحاظ مفروضات تجزیه واریانس از جمله نرمال بودن و عدم وجود داده پرت با نرم‌افزار Minitab 16 آزمون شدند و سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه واریانس جداگانه دو آزمایش برای صفات مورد مطالعه انجام شد و سپس آزمون بارتلت برای اطمینان از متجانس بودن واریانس خطای صفات مختلف انجام و پس از

عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط نرمال، و YS : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش.

جهت محاسبه ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی با عملکرد در محیط نرمال و تنش و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل، از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه مرکب صفات

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر محیط برای کلیه صفات معنی‌دار است که بیانگر تغییر صفات مورد بررسی در اثر تنش خشکی است. اثر ژنوتیپ هم برای کلیه صفات در سطح یک درصد معنی‌دار است که نشان‌دهنده وجود تفاوت در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ واکنش به تنش خشکی است. همچنین برهمکنش ژنوتیپ در محیط برای همه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

SSI: شاخص حساسیت به تنش:

$$SSI = (1 - (YSi/YPi)) / SI$$

$$SI = 1 - (YS/YP) \quad [۱]$$

STI: شاخص تحمل به تنش:

$$STI = (YPi \times YSi) / (YP)^2 \quad [۲]$$

TOL: شاخص تحمل تنش:

$$TOL = YPi - YSi \quad [۳]$$

MP: شاخص بهره‌وری متوسط:

$$MP = (YPi + YSi) / 2 \quad [۴]$$

GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری:

$$GMP = \sqrt{(YSi) \times (YPi)} \quad [۵]$$

Harm: شاخص میانگین هارمونیک:

$$Harm = (2(YPi \times YSi)) / (YPi + YSi) \quad [۶]$$

که در آن Ypi : عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط نرمال؛ YSi : عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط تنش؛ YP : میانگین

جدول ۳. تجزیه مرکب صفات در ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال و تنش آبی

Table 3. Combine analysis of traits in common bean genotypes under normal irrigation and drought stress conditions.

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	Mean squares		میانگین مربعات		
		وزن صد دانه 100- seed weight	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	ارتفاع Height	عملکرد Yield
محیط Environment (E)	1	460.79**	21280.58**	2823.44**	17142.85**	38398.48**
تکرار در محیط Repeat * E	4	0.06	7.44	19.52	31.85	5.00
ژنوتیپ Genotype (G)	13	225.99**	919.81**	2631.91**	923.63**	2779.89**
ژنوتیپ در محیط E * G	13	24.37**	174.89**	397.05**	869.13**	747.54**
خطا Error	52	0.08	7.54	3.07	14.11	5.13
ضریب تغییرات (%) CV (%)		1.77	4.47	4.77	6.24	5.36

** : significant at 1% probability level

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین صفات

صد دانه در بین ژنوتیپ‌های لوبیا سیاه، ژنوتیپ ۱۱۸۳ با وزن ۱۸/۸۲ گرم و ژنوتیپ ۱۱۵۷ با وزن ۱۰/۳۲ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن صد دانه را دارا بودند. همچنین نتایج

جدول ۴ نتایج مربوط به مقایسات میانگین صفات مختلف را در ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. برای صفت وزن

۷۹ و ۴۷/۳۳ سانتی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین ارتفاع را داشتند. ازلحاظ عملکرد نیز ژنوتیپ‌های ۱۱۴۰ و ۱۱۸۷ با ۸/۹۳ و ۴/۱۷ گرم در بوته به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین عملکرد را در بین ژنوتیپ‌های لوبیا سیاه داشتند. ژنوتیپ‌های شاهد نسبت به ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه دارای وزن صد دانه و عملکرد بالاتری بودند.

مقایسه میانگین برای صفت تعداد غلاف در بوته نشان می‌دهد که ژنوتیپ ۱۱۸۶ با میانگین ۱۶/۶۷ و ژنوتیپ ۱۱۹۰ با میانگین ۹/۲۷ غلاف در بوته به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین این صفت را به خود اختصاص دادند. برای صفت تعداد دانه در غلاف در بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ ۱۱۱۵ و ۱۱۹۰ به ترتیب با ۴/۶۸ و ۲/۷۷ دانه در غلاف بیشترین و کمترین میانگین را دارا بودند. از نظر ارتفاع ژنوتیپ ۱۱۵۷ و ۱۱۷۷ با

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات در ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی

Table 4. Comparison of means for traits of black bean genotypes under drought stress conditions

ژنوتیپ Genotype	وزن صد دانه 100- seed weight (g)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	ارتفاع Height (cm)	عملکرد Yield (g plant ⁻¹)
1187	12.85 ^I	9.83 ^{GH}	3.1.8 ^{DE}	79.17 ^A	4.17 ^H
1157	10.32 ^L	12.10 ^{CD}	3.35 ^D	79.00 ^A	4.57 ^H
1170	13.23 ^H	14.20 ^B	4.18 ^B	75.17 ^A	7.53 ^E
1185	11.83 ^K	14.70 ^B	3.25 ^{CD}	65.50 ^B	5.68 ^G
1179	17.38 ^E	9.28 ^{IH}	4.55 ^B	62.00 ^{BC}	7.51 ^E
1140	13.65 ^G	14.13 ^B	3.68 ^C	49.67 ^{GF}	8.93 ^C
1177	12.40 ^J	10.37 ^{GF}	3.00 ^E	47.33 ^G	5.22 ^G
1115	14.35 ^F	10.57 ^F	4.68 ^A	51.83 ^F	8.25 ^D
1183	17.82 ^D	11.50 ^{DE}	4.17 ^B	56.66 ^{ED}	8.07 ^D
1186	14.68 ^F	16.67 ^A	3.22 ^D	76.00 ^A	6.88 ^F
1190	13.33 ^{GH}	9.27 ^I	2.77 ^F	49.17 ^{GF}	4.48 ^H
256	24.73 ^C	16.03 ^A	4.52 ^A	59.33 ^{CD}	18.72 ^A
Talash	29.66 ^A	11.40 ^E	3.68 ^C	41.50 ^H	13.56 ^B
Daneshkadeh	27.43 ^B	12.20 ^C	3.72 ^C	52.67 ^{EF}	14.21 ^B

حروف مشابه در یک ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون LSD در بین میانگین‌ها است.

Similar letters in each column indicate no significant differences at the 5% level as LSD test among the averages.

خشکی عمدتاً مربوط به کاهش تعداد غلاف در بوته است. باین‌وجود نونز باریوس و همکاران (Nunez Barrios et al., 2005) معتقدند که در تنش خشکی شدید، تعداد دانه در غلاف و وزن تک‌دانه‌ها نقش مهمی در افت شاخص برداشت و عملکرد نهایی دارند. در برخی از مطالعات دیگر (Abebe et al., 1998; Teran and Singh, 2002)، تفاوت‌های ژنوتیپی در عملکرد دانه لوبیا (از نظر مقاومت به خشکی) گزارش شده است. دیروست و همکاران (Deproost et al., 2004) نتیجه گرفتند که تنش متوسط طی گلدهی باعث کاهش ۷۰-۳۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد بدون تنش می‌گردد. بر اساس مطالعه اسدی و همکاران (Assady et al., 2011) تنش خشکی به‌طور متوسط منجر به کاهش

درصد تغییرات صفات در شرایط تنش

درصد تغییرات ناشی از تنش آبی بر صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۵ نشان داده شده است. به‌طورکلی همه صفات موردبررسی در اثر تنش دچار آسیب شده و میانگین آن‌ها در شرایط تنش کاهش یافت. درصد تغییرات عملکرد دانه تحت تنش ۶۷/۲۴ درصد برآورد گردید. بیشترین تغییرات مربوط به صفات عملکرد، تعداد غلاف در بوته و ارتفاع بوته بود. در واقع تنش آبی توانست به‌طور محسوس بر روی عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه تأثیر بگذارد و از بین اجزاء عملکرد بیشترین تأثیر را بر روی تعداد غلاف در بوته داشت.

طبق گزارش محققان (Lopez et al., 1996; Pilbeam et al., 1992) افت عملکرد لگوم‌های دانه‌ای در شرایط تنش

عملکرد به میزان ۴۶/۱۶ درصد شد. بر همین اساس بیشترین تأثیر تنش خشکی مربوط به عملکرد و تعداد دانه و تعداد دانه در بوته بود. اجزاء دیگر عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه) نیز متأثر از تنش خشکی بودند.

جدول ۵. میانگین و درصد تغییرات ناشی از تنش خشکی در صفات مختلف در ژنوتیپ‌های لوبیا سیاه

Table 5. Mean and percentage of changes due to drought stress in different traits of black bean genotypes

Traits	صفات	میانگین آبیاری مطلوب Optimum irrigation mean	میانگین تنش خشکی Drought stress mean	درصد تغییرات Percentage changes
100- seed weight(g)	وزن صد دانه (گرم)	19.03	14.35	24.60
Number of pods per plant	تعداد غلاف در بوته	15.47	8.50	41.15
Number of seeds per pod	تعداد دانه در غلاف	4.25	3.09	27.25
Height (cm)	ارتفاع (سانتی‌متر)	74.42	45.58	38.38
Yield (g plant ⁻¹)	عملکرد (گرم در بوته)	12.72	4.16	67.24

همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی

به‌منظور تعیین بهترین شاخص، همبستگی بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) با شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شد (جدول ۶). تمامی شاخص‌ها به‌جز SSI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با YS و YP هستند. ولی در مورد SSI همبستگی منفی و غیر معنی‌دار با YS و مثبت و غیر معنی‌دار با YP مشاهده شد که این همبستگی منفی با نتایج تحقیقات مشابه (Naseh-Ghafoori et al., 2010; Shafiee Khorshidi et al., 2013) همخوانی دارد. شاخص‌هایی که دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند، در هر دو محیط تنش و بدون تنش به‌عنوان بهترین شاخص شناخته می‌شوند (Fernandez et al., 1992). زیرا این شاخص‌ها قادر به جداسازی و شناسایی ارقامی هستند که علاوه بر تحمل به خشکی، پتانسیل عملکرد بالایی را هم دارا باشند. برای گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تحمل به خشکی، ابتدا ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های اندازه‌گیری شده رتبه‌بندی شدند (جدول ۷).

با توجه به بررسی همبستگی عملکرد در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (Yp) با شاخص‌های تحمل به خشکی، شاخص‌های STI، GMP و HARM به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۹۸۵، ۰/۹۸۶ و ۰/۹۱۱ به‌عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط تنش بودند. بنابراین می‌توان از این شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش آبی با عملکرد بالا بهره برد.

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی با عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش در ژنوتیپ‌های لوبیا سیاه
Table 6. Correlation coefficients between drought tolerance indices and yield in common bean genotypes under stress and non-stress conditions

Indices	YS	YP
YS	1	
YP	0.83**	1
SSI	-0.325	0.217
STI	0.985**	0.882**
TOL	0.608*	0.947**
MP	0.911**	0.986**
GMP	0.967**	0.944**
HARM	0.993**	0.880**

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد. Ys: عملکرد در شرایط تنش؛ Yp: عملکرد در شرایط عدم تنش؛ SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ STI: شاخص حساسیت به تنش؛ TOL: شاخص تحمل؛ MP: بهره‌وری متوسط؛ GMP: میانگین هندسی بهره‌وری؛ HARM: شاخص میانگین هارمونیک.
*: Significant at 1% probability level. YS: Yield in stress condition; YP: Yield in non-stress condition; SSI: Stress Susceptibility Index; STI: Stress Tolerance Index; TOL: Tolerance index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HARM: Harmonic Mean.

روزالس سرنا و همکاران (Rosales-Serna et al., 2000) و اشنایدر و همکاران (Schneider et al., 2004) جهت بررسی مقاومت به خشکی در لاین‌های لوبیا، شاخص بهره‌وری متوسط (GMP) را ملاک انتخاب قرار دادند. آیب و همکاران (Abebe et al., 1998) توانایی شاخص‌های مختلف

در بین ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه در شرایط بدون تنش بالاترین عملکرد (Y_p) مربوط به ژنوتیپ ۱۱۴۰ و کمترین مربوط به ژنوتیپ ۱۱۸۷ بود. در شرایط تنش خشکی بالاترین عملکرد (Y_s) مربوط به ژنوتیپ ۱۱۸۳ و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ ۱۱۸۶ بود. با توجه به شاخص HARM در شرایط تنش در بین ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه متحمل‌ترین ژنوتیپ، ژنوتیپ ۱۱۸۳ و کمترین تحمل مربوط به ژنوتیپ ۱۱۷۷ بود. با توجه به شاخص STI در بین ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه متحمل‌ترین ژنوتیپ، ژنوتیپ ۱۱۸۳ و کمترین تحمل مربوط به ژنوتیپ ۱۱۸۷ بود. با توجه به شاخص GMP در شرایط تنش در بین ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه متحمل‌ترین ژنوتیپ، ژنوتیپ ۱۱۸۳ و کمترین تحمل مربوط به ژنوتیپ ۱۱۸۷ بود. بنابراین بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های ۱۱۸۳ به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ ۱۱۸۷ و ۱۱۷۷ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی انتخاب شدند. همچنین ژنوتیپ‌های شاهد دارای عملکرد بالاتر و از نظر اکثر شاخص‌ها مقاوم‌تر از ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه بودند.

در شناسایی لاین‌های مقاوم لوبیا نسبت به تنش خشکی را مطالعه و گزارش کردند که فقط شاخص‌های میانگین هندسی تولید (GMP) و میانگین حسابی تولید (MP)، در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی با عملکرد همبستگی مثبت داشتند.

اسدی و همکاران (Assady et al., 2011) با ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های لوبیاچیتی به تنش خشکی نتیجه گرفتند که دو شاخص تحمل به تنش (STI) و حساسیت به تنش (SSI) بهترین شاخص‌ها در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل هستند. خاقانی و همکاران (Khaghani et al., 2009) با بررسی اثر تنش خشکی بر صفات کمی و کیفی لوبیا، شاخص‌های MP، STI و GMP را مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومت به خشکی معرفی کردند. شفیع خورشیدی و همکاران (Shafiee Khorshidi et al., 2013) برای شناسایی ژنوتیپ‌های لوبیای متحمل به خشکی از شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM به علت داشتن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش استفاده کردند.

جدول ۷. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های لوبیا بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 7. Ranking of common bean genotypes based on drought tolerance indices

ژنوتیپ Genotype	شاخص Indices							
	Y_{Si}	Y_{Pi}	SSI	رتبه Rank	TOL	رتبه Rank	MP	رتبه Rank
1187	13.42	28.26	0.77	14	14.86	14	84.2	2
1157	11.82	33.86	0.95	8	22.04	11	22.84	13
1170	17.43	57.88	1.02	7	40.45	5	37.65	8
1185	16	40.85	0.89	10	24.85	10	28.42	11
1179	21.08	54	0.90	9	32.92	8	37.54	9
1140	12.05	77.29	1.24	1	65.21	3	44.65	5
1177	10.58	41.64	1.09	3	31.06	9	26.11	12
1115	16.31	66.17	1.1	2	49.52	4	41.41	6
1183	23.12	57.62	0.88	11	34.5	7	40.37	7
1186	8.15	52.99	1.032	6	37.19	6	34.39	10
1190	13.56	31.19	0.83	12	17.63	13	22.37	14
256	59.55	127.62	0.78	13	68.07	2	93.58	1
Talash	29.95	112.19	1.08	4	82.24	1	71.07	3
Daneshkadeh	30.93	108.7	1.05	5	17.77	12	69.81	4

Y_{Si} : عملکرد در شرایط تنش، Y_{Pi} : عملکرد در شرایط عدم تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: بهره‌وری متوسط.

Y_{Si} : Yield in stress condition; Y_{Pi} : Yield in non-stress condition; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance index; MP: Mean Productivity.

Table 7. Continued

جدول ۷. ادامه

ژنوتیپ Genotype	شاخص Indices					
	رتبه Rank	رتبه Rank	رتبه Rank	رتبه Rank	رتبه Rank	رتبه Rank
1187	0.09	14	19.45	14	18.16	12
1157	0.099	13	20	13	17.51	13
1170	0.25	7	31.76	7	26.78	6
1185	0.16	10	25.55	10	22.96	9
1179	0.28	5	33.69	5	30.26	5
1140	0.23	8	30.51	8	20.84	10
1177	0.11	11	20.99	11	16.87	14
1115	0.26	6	32.76	6	26.08	7
1183	0.33	4	36.37	4	32.82	4
1186	0.21	9	28.90	9	24.30	8
1190	0.10	12	20.48	12	18.76	11
256	1.88	1	87.17	1	81.20	1
Talash	0.83	3	57.86	3	47.16	3
Daneshkadeh	0.84	2	57.98	2	48.16	2

STI: شاخص حساسیت به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HARM: شاخص میانگین هارمونیک.

STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometric Mean Productivity; HARM: Harmonic Mean.

اینکه مقادیر بالای این شاخص‌ها مطلوب هستند، اگر به مقادیر مثبت و بالای این مؤلفه توجه شود، می‌توان ژنوتیپ‌هایی را که دارای عملکرد بالایی در هر دو شرایط تنش و غیر تنش و دارای شاخص‌های بالای GMP و STI هستند را گزینش کرد. مؤلفه دوم ۳۰/۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد. بیشترین ترکیب خطی این مؤلفه مربوط به شاخص‌های SSI، HARM، و TOL بود و بیشترین ضریب منفی مربوط به YS بود. از این‌رو این مؤلفه با عنوان مؤلفه حساسیت به تنش خشکی نام‌گذاری شد. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که مقادیر پایین مؤلفه دوم را داشته باشند، دارای کمترین حساسیت به تنش خشکی هستند.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی در جدول ۸ آمده است. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی شش شاخص، Yp و Ys ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی، ملاحظه شد که دو مؤلفه اصلی ۹۸/۹ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند.

مؤلفه اول ۶۸/۲ درصد از کل تغییرات را بیان کرد. بیشترین ضریب مثبت در ترکیب خطی مؤلفه اول مربوط به Yp، Ys، MP، GMP، و STI بود. لذا این مؤلفه با عنوان مؤلفه عملکرد و تحمل به تنش نام‌گذاری شد. با توجه به

جدول ۸. ضرایب ترکیب خطی مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های لوبیا

Table 8. Linear combination principal components of drought tolerance indices in common bean genotypes

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigen values	واریانس تجمعی Cumulative Variance (%)	شاخص‌ها Indices							
			Yp	Ys	SSI	STI	TOL	MP	GMP	HARM
مؤلفه ۱ Component 1	5.49	68.2	0.42	0.40	0.015	0.41	0.37	0.43	0.42	0.018
مؤلفه ۲ Component 2	2.46	30.7	0.12	0.23	0.63	0.16	0.31	0.019	0.084	0.64

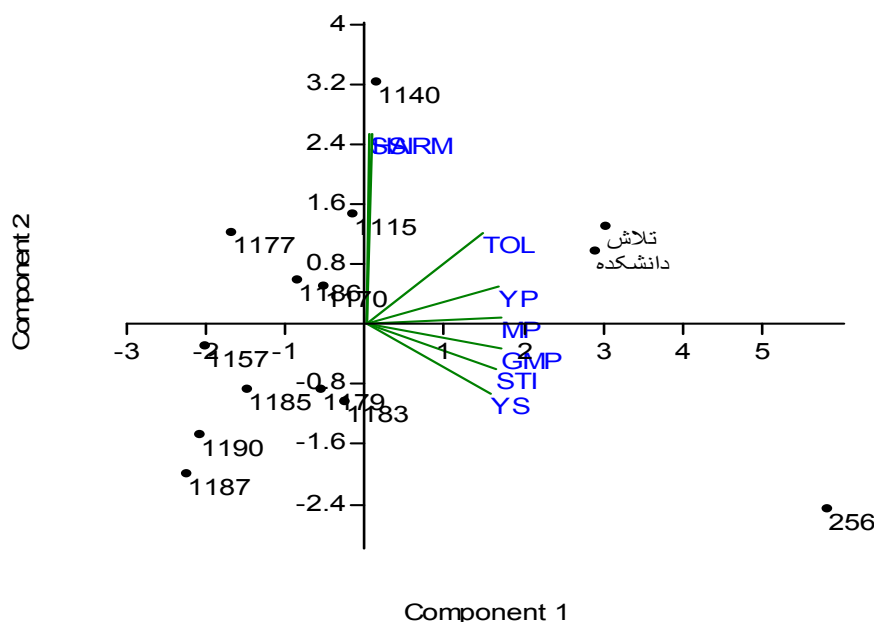
Ys: عملکرد در شرایط تنش، Yp: عملکرد در شرایط عدم تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص حساسیت به تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: بهره‌وری متوسط، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HARM: شاخص میانگین هارمونیک.

YS: Yield in stress condition; YP: Yield in non-stress condition; SSI: Stress Susceptibility Index; STI: Stress Tolerance Index; TOL: Tolerance index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HARM: Harmonic Mean.

شاخص حساسیت به خشکی (SSI) و پتانسیل عملکرد (YP) و همبستگی منفی و بالا با پایداری عملکرد (YS) این مؤلفه به نام عامل حساسیت به تنش خشکی و پایداری عملکرد نام‌گذاری شد.

با توجه به اینکه مقدار بالای مؤلفه اول و پایین مؤلفه دوم موردنظر است و با توجه به رابطه مثبت با شاخص SSI، قسمت مطلوب بای پلات (شکل ۱) سمت راست و پایین است. ژنوتیپ‌هایی که در این ناحیه واقع شده‌اند به‌عنوان ارقام با عملکرد بالا در شرایط نرمال و محدود آبیاری و متحمل به خشکی معرفی گردیدند. بررسی نتایج به‌دست‌آمده از بای پلات نشان داد که شاخص‌های GMP، MP و STI که در هر دو شرایط همبستگی بالایی با عملکرد داشتند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی گردیدند. زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند. همچنین با توجه به محل قرار گرفتن شاخص‌های HARM و SSI این شاخص‌ها قادر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش آبی نیستند. بنابراین با استفاده از بای پلات به‌دست‌آمده، ژنوتیپ ۱۱۸۳ به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ ۱۱۴۰ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی معرفی شدند.

شفیعی خورشیدی و همکاران (Shafiee Khorshidi et al., 2013) با مقایسه برخی ژنوتیپ‌های لوبیای معمولی از لحاظ تحمل به خشکی نتیجه گرفتند که دو مؤلفه اول در مجموع ۹۷/۴۹ درصد تغییرات را توجیه می‌کند به‌طوری‌که مؤلفه اول توجیه‌کننده ۹۶/۶۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها بوده و دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با YP، YS، MP، GMP، HARM و STI است. ناصح غفوری و همکاران (Naseh-Ghafoori et al., 2010) در نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی ۳۲ ژنوتیپ لوبیای قرمز نتیجه گرفتند که اولین مؤلفه ۶۰/۷۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و همبستگی بالا و مثبت با میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HARM) و شاخص تحمل به خشکی (STI) داشت و به نام عامل پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی، نام‌گذاری شد. با توجه به اینکه میزان بالای این شاخص‌ها موردنظر است و با توجه به رابطه منفی عامل اول با این شاخص‌ها، مقادیر منفی - تر این عامل برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و محدود آبیاری موردنظر است. مؤلفه دوم که ۳۶/۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌کند با توجه به همبستگی بالا و مثبت با شاخص میانگین حسابی (MP)،



شکل ۱. بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه و شاهد بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم
 Fig. 1. Biplot indices of drought tolerance in the genotypes of black bean and control based on the first and second principal components

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که از نظر تحمل به خشکی بین ژنوتیپ‌های لوبیای مورد بررسی تفاوت وجود داشت. بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌تواند در اجرای برنامه‌های اصلاحی برای به دست آوردن ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ تحمل به خشکی و همچنین ژنوتیپ‌هایی که عملکرد قابل قبولی در هر دو شرایط بدون تنش و تنش دارند، مفید و ارزشمند باشد. بر اساس یافته‌های این تحقیق افت عملکرد در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ‌های لوبیا سیاه عمدتاً مربوط به کاهش تعداد غلاف در بوته بود. با توجه به بررسی همبستگی عملکرد در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) با شاخص‌های تحمل به خشکی، شاخص‌های STI، GMP و HARM به‌عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط تنش انتخاب شدند. بنابراین بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های ۱۱۸۳ به‌عنوان

متحمل‌ترین و ۱۱۸۷ و ۱۱۷۷ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتخاب شدند. همچنین ژنوتیپ‌های شاهد دارای عملکرد بالاتر و از نظر اکثر شاخص‌ها مقاوم‌تر از ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه بودند. با توجه به خواص بالای آنتی‌اکسیدانی و غذایی لوبیا سیاه، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌تواند به توسعه کشت این ارقام در مناطق کم بارش کشور کمک کند. هرچند جهت انتخاب ارقام متحمل به خشکی تکرار آزمایش در سال‌ها و مکان‌های مختلف ضروری است.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های انجام این تحقیق از محل طرح تحقیقاتی مصوب قطب علمی تحقیقات حبوبات دانشگاه تهران تأمین شده است که از مساعدت به‌عمل‌آمده تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Abebe, A., Brick M.A., Kirkby R.A., 1998. Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. *Field Crops Research*. 58, 15-23.
- Abreu, I., Mazzafera, N.P., 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* choisy plant. *Physiology and Biochemistry*. 43, 241-248.
- Acosta-Gallegos, J.A., Adams, M.W., 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. *Journal of Agricultural Science*. 117, 213-219.
- Assady, B., Dorri, H.R., Ghadiri, A., 2011. Evaluation of Chitti Bean Genotypes to Drought Stress Using Stress Tolerance Indices. *Seed and Plant Improvement Journal*. 27(4), 615-630. [In Persian with English Summary].
- Bagheri, A., Mohamadi A., Dinghazali, F., 2001. *Agronomy and Breeding Beans (Translation)*. Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press [In Persian].
- Beebe, S.E., Rao, I.M., Cajiao, C., Grajales, M., 2008. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favourable environments. *Crop Science*. 48, 582-592.
- Broughton, W.J., Hernandez, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., Vanderleyden, J., 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. *Plant and Soil*. 252, 55-128.
- Deproost, P., Elsen, F., Geypens, M. 2004. High yields of mechanically harvested snap beans as induced by moderate water stress during flowering. *Acta Horticultura*. 664, 205-212.
- Fernandez, A.C., Nishida, W., da Costa Proenc, R.P., 2010. Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 45, 2209-2218.
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp: 257-270. In: Kuo, C.G. (ed.), *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. AVRDC, Shunhua, Taiwan.
- Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912.

- Khaghani, Sh., Bihamta, M.R., Changizi, M., Dori, H.R., Khaghani, Sh., Bakhtiari, A., 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 Sciences*. 1(2), 169-181. [In Persian with English Summary].
- Kotchoni, S.O., Bartels, D., 2003. Water stress induces the up-regulation of a specific set of genes in plants: Aldehyde dehydrogenases as an example. *Bulgarian Journal of Plant Physiology. Special Issue*, 37-51.
- Lopez, F.B., Johansen, Chauhan, C.Y.S., 1996. Effect of timing of drought stress on phenology, yield and yield components of a short-duration pigeon pea. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 177, 311-320.
- Majnoun Hosseini, N., 2008. Grain legume production. University of Tehran Press [In Persian].
- Munoz-Perea, C.G., Wright, R.A.J., Westermann, D., Teran, H., Dennis, M., Hayes, R., Singh, S.P., 2005. Drought resistance, water use efficiency and nutrient uptake by old and new dry bean cultivars. *Bean Improvement Cooperative*. 48, 144-145.
- Naseh-Ghafoori, I., Bihamta, M.R., Zali, A., Afzali mohamadabadi, M., Dori, H., 2010. Effect of drought stress on yield and yield components and determination of the best drought stress index in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Plant Production*. 17(4), 71-89. [In Persian with English Summary].
- Nunez Barrios, A., Hoogenboom, G., Nesmith, D.S., 2005. Drought stress and distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. *Scientia Agricola*. 62, 18-22.
- Padilla-Ramirez, K. S., Acosta-Gallegos, K. A., Acosta-Diaz, E., Mayek-Perez, N., Kelly, J. D., 2005. Partitioning and partitioning rate to seed yield in drought stressed and non-stressed dry bean genotypes. *Bean Improvement Cooperative*. 48, 153-153.
- Pilbeam, C.J., Akatse, J.K., Hebblethwaite, P.D., Wright, C.D., 1992. Yield production in two contrasting forms of spring-sown faba beans in relation to water supply. *Field Crops Research*. 29, 273-287.
- Ramírez-Vallejo, P., Kelly, J.D., 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99, 127-136.
- Rosales-Serna, R., Ramírez-Vallejo, P., Acosta-Gallegos, J.A., Castillo-González, F., Kelly, J. D., 2000. Grain yield and drought tolerance of common bean under field conditions. *Agrociencia*. 34, 153-165.
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 21(6), 943-946
- Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, R., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos J., Ramírez-Vallejo, A.P., Wassimi N., Kelly, J.D., 2004. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*. 37, 43-50.
- Shafiee Khorshidi, M., Bihamta, M.R., Khialparast, F., Naghavi, M.R., 2013. 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].
- Simon, J.E., Bubenheim, R.D., Joly, R.J., Chrles, D.J., 1992. Water stress induced alternation in essential oil content and composition of sweet basil. *Journal of Essential Oil Research*. 4, 71-75.
- Teran, H., Singh, S.P., 2002. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. *Crop Science*. 42, 64-70.
- Turtola, S., Manninen, A.M., Rikalaand, R., Kainulainen, P., 2003. Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in scots pine and Norway spruce seedling. *Journal of Chemical Ecology*. 29, 1981-1995.
- Wang, S., Meckling, K.A., Marcone, M.F., 2011. Synergistic, additive, and antagonistic effects of food mixtures on total antioxidant capacity. *Journal of Agriculture Food Chemistry*. 59(3), 960-8.
- Zabet, M., Hosein Zade, A.H., Ahmadi, A., Khialparast, F., 2003. Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vigna radiata*). *Iranian Journal of Agriculture Science*. 34, 889-898. [In Persian with English Summary].
- Zlatev, Z.S., Yordanov, I.T., 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 30, 3-18