

بررسی تأثیر تنش خشکی بر مولفه‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده در ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)

مریم حیدری^۱، علیرضا طالعی^{۲*} و علیرضا عباسی^۳

۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۱۴)

چکیده

تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تأثیر منفی در همه مراحل رشد و نمو گیاه، به‌ویژه مرحله جوانه‌زنی بذر می‌گذارد. به‌منظور بررسی و ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذرهای ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا، ۴۰ ژنوتیپ لوبیای معمولی در چهار سطح تیماری تنش خشکی (شاهد، -۴، -۸ و -۱۲ بار پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سال ۱۳۹۳ با سه تکرار بررسی شد. نتایج نشان داد، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و وزن تر و خشک ساقه‌چه می‌شود. به‌منظور بررسی اثرگذاری‌های بیوشیمیایی مقاومت به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی سه ژنوتیپ ۱۸، ۲۵ و ۲۸ حاصل از غربالگری آزمون جوانه‌زنی و رقم تجاری یاس در چهار سطح تیماری تنش خشکی (شاهد، -۲، -۴ و -۸) بررسی شدند. آنزیم‌های مورد بررسی در مرحله جوانه‌زنی کاتالاز و گاپاکول پراکسیداز بودند، که ژنوتیپ ۱۱۸۹ بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و گاپاکول پراکسیداز را نسبت به شاهد خود داشت، همچنین ژنوتیپ ۹۱۶ کمترین میزان فعالیت این آنزیم‌ها را داشت. با بررسی صفات مورد بررسی و شاخص‌ها، ژنوتیپ ۱۱۸۹ با مد نظر قرار دادن ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بهتر در قیاس با دیگر ژنوتیپ‌ها و رقم یاس به‌عنوان شاهد در مرحله جوانه‌زنی به تنش خشکی متحمل بوده و به‌عنوان بهترین ژنوتیپ در شرایط این پژوهش معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های پاداکسنده، تنش خشکی، لوبیا، مؤلفه‌های جوانه‌زنی.

Study of the effects of drought stress on seed germination factors and activity of antioxidant enzymes in bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.)

Maryam Heidari¹, Alireza Taleei^{2*} and Ali Reza Abbasi³

1, 2, 3. Former M. Sc. Student, Professor and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Aug. 28, 2016 - Accepted: Apr. 3, 2017)

ABSTRACT

Drought stress is one of the major environmental stresses which has negative effects on all developmental stages of plants especially seed germination stage. To evaluate the effects of drought stress on seed germination characteristics of common bean genotypes, 40 genotypes were tested in petri dishes containing polyethylene glycol 6000 with concentration equal to 0, -4, -8 and -12 bar, in factorial experiment using CRD design with three replications in year 1393. The results showed that drought stress decreased rate and percentage of germination, radice and caulice lengths, fresh and dry weight of radices, and fresh and dry weight of caulice. To study biochemical processes in germination stages, genotypes 18, 25, and 28 and commercial variety of Yas were screened for polyethylene glycol 6000 with concentration equal to 0, -4, -8 and -12 bar. By evaluating of the studied traits and indices, with considering physiological and biochemical characteristics, it could be conclude that genotype 1189 was drought tolerant one in seedling stage in comparison to the rest of genotypes and Yas as a check variety.

Keywords: Antioxidant enzymes, common bean, drought, photosynthetic pigments, proline.

* Corresponding author E-mail: ataleei@ut.ac.ir

مقدمه

تنش‌های محیطی یکی از مهم‌ترین عامل‌های کاهش‌دهنده عملکرد و تولید گیاهان زراعی به شمار می‌روند و رویارویی و یا تخفیف اثر تنش‌ها به‌عنوان راهکاری سودمند در جهت افزایش عملکرد این محصولات مد نظر قرار گرفته است. گیاهان در مقابل خشکی از راه تغییرهایی در فرآیند ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی)، فیزیولوژیکی و سوخت‌وسازی (متابولیکی) خود واکنش نشان می‌دهند (Cellier et al., 1998). بر پایه گزارش سازمان خواربار و کشاورزی (فائو)^۱ ۹۰ درصد از مساحت کشور ایران با میانگین بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2010). از مهم‌ترین ویژگی‌های مربوط به مقاومت به خشکی می‌توان به توان جوانه‌زنی بذرها و توسعه گیاهچه در شرایط کمبود رطوبت قابل دسترس اشاره کرد. چون استقرار مناسب گیاهچه در مزرعه و تولید گیاهچه‌های قوی به‌طور غیرمستقیم با عملکرد بیشتر گیاه ارتباط دارد (Baalbaki et al., 1999). تنش خشکی می‌تواند در کاهش سرعت جوانه‌زنی و هم درصد جوانه‌زنی تأثیرگذار باشد و ناکافی بودن رطوبت لازم برای جوانه‌زنی در لایه‌های سطحی خاک و به دنبال آن تنش خشکی در مرحله گیاهچه یکی از عامل‌های مهم در عدم استقرار مطلوب گیاهچه در مناطق خشک است (Paulsen, 1978). نتایج بررسی‌های چندی نیز نشان می‌دهند، با کاهش پتانسیل اسمزی، جذب آب به‌وسیله بذر کاهش یافته و قابلیت جوانه‌زنی پایین می‌آید (Mayer, 1989). مرحله جوانه‌زنی گیاهان یکی از مراحل مهم در طول دوره رشدی آن‌هاست که اغلب تحت تأثیر تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی قرار می‌گیرد (Zeinali & Soltani, 2002). زیرا جوانه‌زنی از نظر شمار گیاه سبز شده در واحد سطح برای تولید تعیین‌کننده است (Shekari et al., 1997).

گیاهان می‌توانند با تولید انواع ترکیب‌های آنزیمی پاداکسنده (آنتی‌اکسیدانت) مانند سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، آسکوربات

پراکسیداز (APX) و گایاکول پراکسیداز (GPX) و ترکیب‌های پاداکسنده غیرآنزیمی مانند کارتنوئید و آلفا توکوفرول اقدام به حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و اثر سمی آن‌ها کنند (Meloni et al., 2003). گایاکول پراکسیداز گلیکوپروتئین‌هایی هستند که در سیتوسول، دیواره یاخته‌ای و واکوئل قرار دارند و از اکسایش (اکسیداسیون) ترکیب‌های فنلی مانند گایاکول برای سم‌زدایی و تجزیه (H_2O_2) استفاده می‌کنند. ترکیب‌های فنلی مانند گایاکول به‌عنوان دهنده الکترون به پراکسید هیدروژن عمل می‌کنند (Asada, 1992). این آنزیم افزون بر فعالیت پاداکسندگی در چوبی شدن^۲ دیواره یاخته‌ای و تنظیم رشد نیز نقش دارد (Morales et al., 2012).

لگوم‌های دانه‌ای از عمده‌ترین منابع پروتئینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار آمده و نقش عمده‌ای در اقتصاد این مناطق دارد (Tesfaye et al., 2006). لوبیا مهم‌ترین لگوم غذایی جهان است. این محصول به‌طور عمده به‌عنوان یک غذای تا حدودی کامل به شمار می‌آید زیرا محتوی پروتئین بالا و فیبر فراوان، کربوهیدرات‌های پیچیده و نیازهای غذایی روزانه دیگر مانند ویتامین‌ها و مواد کانی (Cu, Ca, Fe, Mg, Mn, Zn) است (Miklas et al., 2006). گیاه لوبیا به شرایط آب‌وخاک و کیفیت آن خیلی حساس بوده و عملکرد آن حتی در دوره‌های کوتاه‌مدت تنش خشکی صدمه می‌بیند. کاهش آماس یاخته‌ای نخستین اثر خشکی است که موجب می‌شود سرعت رشد محصول و اندازه نهایی آن کاهش یافته و به دنبال آن سرعت رشد و نمو، رشد ساقه و برگ در اثر کم شدن مقدار واحدهای نورساخت (فتوسنتز)‌کننده، تولید مواد نورساختی و انتقال آن به بخش‌های نورساختی کم شده و در نهایت عملکرد کم شود (Jolaei, 2005).

Saidi (2007) در نتایج بررسی خود گزارش می‌کند که با کاهش پتانسیل اسمزی برخلاف درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه جوانه‌زنی با سرعت و شیب زیاد در ژنوتیپ‌های مختلف شروع به کاهش می‌کند.

ضدعفونی بذرهای، در آغاز ۱۲۰ بذر از هر ژنوتیپ (برای هر تکرار ده بذر) برای غربال اولیه در هیپوکلریت سدیم ۲/۵ درصد به مدت ۵ دقیقه قرار داده و پس از آن با آب مقطر شستشو داده شدند. بذرهای ضدعفونی شده درون پتری دیش‌هایی استریل شده قرار داده شدند. در این آزمایش تنش از محلول پلی‌اتیلن گلیکول (PEG 6000) با پتانسیل‌های اسمزی ۰، ۴، ۸ - و ۱۲- استفاده شد. برای هر پتری دیش ۱۰ میلی‌لیتر محلول در نظر گرفته شد، سپس پتری دیش‌ها درون دستگاه جوانه‌زنی (ژرمیناتور) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد قرار داده شدند (Michel, 1983). شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه انجام گرفت. در این آزمایش صفات زیر بررسی شد:

۱- درصد جوانه‌زنی: برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه زیر استفاده شد.

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده تا روز } i \text{ م}}{\text{تعداد کل بذر}}$$

۲- سرعت جوانه‌زنی: به منظور اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی بذرها از روش ماگویر استفاده شد (Maguire, 1962).

$$R_s = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{D_i}$$

R_s سرعت جوانه‌زنی ماگویر (شمار بذر در روز)، S_i شمار بذرهای جوانه‌زده در شمارش i ام و D_i شمار روز تا شمارش i ام است.

از صفات دیگر مورد بررسی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بود که در انتهای آزمایش (روز دهم) پنج گیاهچه به صورت تصادفی از درون هر پتری انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه اجزای یادشده در آن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه به وسیله ترازو اندازه‌گیری شد. با توجه به نمودار دووجهی (بای پلات) هفت ژنوتیپ (ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۸، ۲۸) به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و سه ژنوتیپ (ژنوتیپ‌های ۳۳، ۳۷، ۲۵) به عنوان

Oskoui (2010) کاهش رشد ساقه‌چه را با افزایش تنش خشکی گزارش می‌کند. Salehi (2010) کاهش درصد جوانه‌زنی را با کاهش پتانسیل اسمزی که توسط پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) ۶۰۰۰ ایجاد شده، گزارش کرده است. Kafi & Masoumi (2005) در نتایج بررسی خود بیان کرده، با کاهش پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت. Sarmadnia *et al.* (1987) در نتایج بررسی خود نشان می‌دهند، بذرهایی که در شرایط تنش خشکی جوانه‌زنی بهتری دارند در مراحل بعدی رشد، گیاهچه‌هایی با ریشه قوی‌تری تولید می‌کنند. شناخت فیزیولوژی و ژنتیک پاسخ گیاهان به تنش خشکی کمک شایانی به بهنژادی و ایجاد رقم‌های مقاوم می‌کند. متخصصان فیزیولوژی و بهنژادگران علاقه‌مندند عامل‌های و دلایل مقاومت و حساسیت گیاهان را کشف کرده و از آن‌ها در برنامه‌های بهنژادی استفاده کنند. برای آنکه بهنژادگر بتواند بیشترین بهره‌برداری را از پدیده دورگ برتری (هتروزیس) به عمل آورد در آغاز لازم است میزان تنوع موجود بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی را ارزیابی کند و آنگاه با دورگ‌گیری بین ژنوتیپ‌هایی که از نظر تنوع تفاوت عمده‌ای با یکدیگر دارند به دورگ (هیبرید)‌های پر محصول و با صفات مطلوب دست یابد (Romesburg, 1990). هدف از این تحقیق بررسی صفات مربوط به جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی و شناسایی رقم‌های متحمل و تعیین سازوکارهای بیوشیمیایی درگیر در مقاومت لوبیا به خشکی بود.

مواد و روش‌ها

آزمون جوانه‌زنی بذر

این تحقیق در سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه فیزیولوژی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی شامل چهار سطح تنش خشکی و چهل ژنوتیپ لوبیا (جدول ۱)، که از کلکسیون حبوبات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شده بود در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش برای

در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد) اضافه شد. pH تریس برابر ۱۱/۱۳ بود و با استفاده از محلول هیدروکلریدریک (HCL) pH روی ۷/۸ تنظیم شد. پس از ۲۴ ساعت نگهداری محلول در یخچال ۴ درجه سلسیوس، pH آن دوباره بررسی و تنظیم شد. سپس ۲۰CC گلیسرول به آن اضافه شد و با آب، حجم محلول نهایی به ۲۰۰ سی‌سی رسید، برای نگهداری محلول‌ها، از شیشه‌های تیره استفاده شد. پس از ۲ دقیقه ورتکس پودر نمونه‌ها و بافر استخراج، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور ۱۳۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. در نهایت سوپرناتانت به دست آمده درون لوله‌های جداگانه ۱/۵ میلی‌لیتری ریخته شده و درون نیتروژن مایع فریز شدند. استخراج همه نمونه‌ها در مدت کوتاهی انجام و همواره از بافر تازه استفاده شد. از عصاره به دست آمده برای خواندن میزان پروتئین کل و سنجش کمی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز استفاده شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس با استفاده از طیف‌سنج نوری (اسپکتروفوتومتر) و به روش Abedi Pakniat (2010) اندازه‌گیری شد. برای سنجش میزان فعالیت آنزیم از دستگاه طیف‌سنج نوری ساخت کشور ژاپن در طول موج ۲۴۰ نانومتر استفاده شد. محلول‌ها و مواد استفاده شده شامل ۳۰۰۰ میکرولیتر بافر فسفات (pH=7) ۵۰ میلی‌مولار، ۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن (H₂O₂) ۳۰ درصد و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیم بوده و فعالیت آنزیم به مدت ۵ دقیقه در فاصله‌های زمانی ۲۰ ثانیه‌ای ثبت شد. در نهایت فعالیت آنزیم کاتالاز بر پایه میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده بیان شد.

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) نیز همانند آنزیم کاتالاز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به روش Chance & Maehly (1955) اندازه‌گیری شد. نوع و میزان مواد لازم برای سنجش آنزیم گایاکول پراکسیداز شامل ۳۰۰۰ میکرولیتر بافر فسفات (pH=7) ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد، ۳ میکرولیتر محلول گایاکول ۲۰۰ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود.

ژنوتیپ‌های حساس برای غربال نهایی دوباره در همان شرایط و سطوح تیماری ۴-، ۸- و شاهد در پتری کشت داده شدند. از بین این ده ژنوتیپ، ژنوتیپ‌های ۱۸ (۱۱۸۹) و ۲۸ (۱۱۸۵) به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ ۲۵ (۹۱۶) به عنوان ژنوتیپ حساس انتخاب و با اضافه کردن رقم تجاری یاس دوباره با سطوح تیماری ۲-، ۴-، ۸- و شاهد در پتری دیش کشت داده شدند. در انتهای روز دهم نمونه‌برداری از ریشه‌چه برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز انجام شد.

جدول ۱. کدگذاری ۴۰ ژنوتیپ لوبیا

Table 1. Coding of 40 beans genotypes

NO.	Genotypes	NO.	Genotypes
1	883	21	882
2	904	22	742
3	914	23	915
4	1195	24	902
5	1175	25	916
6	1170	26	1201
7	1187	27	900
8	899	28	1185
9	912	29	1190
10	1177	30	1294
11	1183	31	918
12	1150	32	1196
13	1198	33	1238
14	986	34	1534
15	903	35	951
16	1194	36	919
17	1414	37	913
18	1189	38	1171
19	1120	39	1190
20	1173	40	907

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده

استخراج پروتئین کل شامل، آنزیم‌های پاداکسنده و سنجش آن‌ها بر پایه روش Vanacker *et al.* (1998) و Giannopolitis & Ries (1977) صورت گرفت. همه مراحل استخراج در دمای ۱±۵ درون یخ انجام شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها درون هاون چینی مقداری نیتروژن مایع روی آن‌ها ریخته شده و نمونه‌ها توسط هاون به‌خوبی سائیده شده و به حالت پودر درآمد. فالكون‌های ۱۵ میلی‌لیتری برحسب نمونه‌ها نشانه‌گذاری شده و درون نیتروژن مایع قرار داده شدند. ۰/۲۵ گرم از پودر حاصل با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن شده و به فالكون‌ها منتقل شد، سپس به آن ۲/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج (۲/۴۳۳ گرم تریس

استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

آزمون جوانه‌زنی بذر

اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها و سطوح تنش از نظر صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲).

مقایسه میانگین تأثیر سطوح تنش بر صفات جوانه‌زنی نشان داد، بیشترین درصد جوانه‌زنی به تیمار شاهد (آب مقطر) اختصاص یافت و کمترین میزان درصد جوانه‌زنی در سطح ۱۲- بار بود (جدول ۳).

دستگاه طیف‌سنج نوری روی ۴۷۰ نانومتر تنظیم و با محلول شاهد که شامل همه مواد یادشده به‌استثنای عصاره آنزیم بود، واسنجی (کالیبره) شد. فعالیت آنزیم به مدت ۵ دقیقه و در فاصله‌های زمانی ۲۰ ثانیه‌ای ثبت شد. میزان جذب با افزایش زمان روند افزایشی داشت. میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز بر پایه میزان جذب ترکیب نارنجی‌رنگ تتراگایاکول در میلی‌گرم غلظت پروتئین محاسبه شد.

تجزیه آماری

همه تجزیه‌وتحلیل‌های آماری بنا بر آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS، SAS و statgraphic و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel

جدول ۲. تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی ۴۰ ژنوتیپ لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۴، -۸، -۱۲ بار پتانسیل اسمزی

Table 2. Analysis of variance of germination indices of 40 beans genotypes in four levels of the treatment (Control, -4, -8 and -12 bar)

S.O.V	df	Germination	Germination rate	Radical length	Shoot length	Radical fresh weight	Shoot fresh weight	Radical dry weight	Shoot dry weight
Genotypes (A)	39	2292.45**	12.07**	12.649**	2.935**	0.00613**	0.0173**	0.000068**	0.000184*
Osmotic Potential (bar) (B)	3	187309.37**	906.44**	581.93**	834.227**	0.51119**	5.2401**	0.00335**	0.022791**
Interaction (AB)	117	1098.04**	2.342**	6.171**	2.14**	0.00663**	0.02178**	0.000057 ^{n.s}	0.0001895 ^{n.s}
Error	320	170.55	0.4425	1.1983	0.57139	0.00142	0.00766	0.0000106	0.0001113
(%CV)		15.63	15.9	21.68	12.53	4.86	10.52	0.422	1.36

*, **: Significantly difference at 5 and 1% levels of probability, respectively.

*و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر سطوح تنش بر صفات موردسنجش در ۴۰ ژنوتیپ لوبیا

Table 3. Mean comparison of levels of stress on traits measured in 40 beans genotypes

Osmotic Potential (bar)	Germination (%)	Germination rate	Radical length	Shoot length	Radical fresh weight	Shoot fresh weight	Radical dry weight	Shoot dry weight
Control	95.140 a	6.63 a	4.84 a	5.72 a	0.14 a	0.44 a	0.011 a	0.031 a
-4	88.231 b	4.22 b	3.91 b	1.42 b	0.085 b	0.07 b	0.009 b	0.013 b
-8	55.723 c	2.08 c	1.35 c	0.34 c	0.02 c	0.02 c	0.003 c	0.004 c
-12	8.66 d	0.28 d	0.10 d	0.002 d	0.001 d	0.0003 d	0.00008 d	0.00003 d

* ستون‌های دارای حرف متفاوت بر پایه آزمون دانکن در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری دارند.

* Different letters in each column indicate significant difference according to Duncan Test ($p < 0.01$) between treatments.

داشت. رقم‌هایی که سرعت جوانه‌زنی بالاتر داشته باشند، درصد جوانه‌زنی بیشتر داشته و بهتر می‌توانند در برابر سرمای زمستانه مقاومت کنند (Pessqraki, 1996). سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تحمل به خشکی در جوانه‌زنی است. زیرا هر چه سرعت جوانه‌زنی بیشتر باشد احتمال و شانس سبز شدن در شرایط تنش خشکی بیشتر خواهد بود.

مقایسه میانگین‌های صفات مربوط به جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های لوبیا نشان داد (جدول ۴)، افزایش شدت تنش باعث کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود. به‌طوری‌که ژنوتیپ ۷ با ۸۹/۱۸ درصد بالاترین درصد جوانه‌زنی و ژنوتیپ ۳۷ با ۳۵ درصد کمترین درصد جوانه‌زنی را داشتند. برای سرعت جوانه‌زنی نیز ژنوتیپ ۷ بالاترین و ژنوتیپ ۳۷ کمترین سرعت جوانه‌زنی را

ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۷، ۳۰، ۳۷، ۳۹ و ۴۰ بود (جدول ۴). برای وزن تر ساقه‌چه، ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۳۱ دارای بالاترین و ژنوتیپ ۲۹ دارای کمترین میزان وزن تر ساقه‌چه بود. برای وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۲۴ دارای بالاترین و ژنوتیپ‌های ۲۹، ۳۰ و ۳۵ دارای کمتری وزن خشک ریشه‌چه بودند، بالاترین وزن خشک ساقه‌چه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۱۴ و ۲۳ و پایین‌ترین وزن خشک ساقه‌چه مربوط به ژنوتیپ ۲۰ بود (جدول ۴).

برای طول ریشه‌چه، بیشترین طول ریشه‌چه از ژنوتیپ ۷ و پس‌از آن از ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۶ و کمترین طول از ژنوتیپ‌های ۳۰ و ۳۷ به دست آمد (جدول ۴). صفت ساقه‌چه در این آزمایش بیش از هر صفت دیگری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. ژنوتیپ‌های ۶، ۷، ۲۲، ۲۸، ۳۱، ۳۵ و ۳۸ بالاترین طول ریشه‌چه و ژنوتیپ‌های ۲ و ۳۷ کمترین طول ریشه‌چه را داشتند (جدول ۴). بیشترین وزن تر ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۲۴ و کمترین وزن تر

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های صفات مربوط به جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های لوبیا
Table 4. Mean comparisons of traits related to germination of beans genotypes

Genotypes	Germination (%)	Germination rate	Radical length	Shoot length	Radical fresh weight	Shoot fresh weight	Radical Dry weight	Shoot Dry weight
1	63.33efghi	3.25hij	2.75efghij	2.15bcdefgh	0.071bcdefghijk	0.19abcd	0.008cd	0.018ab
2	49.84klmno	2.91ijllm	1.89jklmno	0.64o	0.068cdefghijk	0.092fghij	0.0056efghijklm	0.010bcde
3	63.12gefhi	3.16 hijk	3.29def	1.73efghijklm	0.075abcdefghi	0.20abc	0.008cd	0.018ab
4	73.33cde	4.7bc	4.27b	2.22bcdefg	0.066defghijkl	0.084hij	0.0075cdef	0.008cde
5	75.73bcd	4.74bc	4.35b	2.005cdefghijk	0.065defghijkl	0.15bcdefgh	0.009bc	0.012bcde
6	75cd	4.98b	4.35b	2.62abc	0.068cdefghijk	0.6efghij	0.0067cdefghi	0.012bcde
7	89.18a	5.72a	2.15a	3.02a	0.063efghijklm	0.15bcdefghi	0.0066cdefghij	0.010bcde
8	63.33gefhi	3.16hij	2.34ghijklm	1.36klmn	0.035lmnop	0.084hij	0.0063cdefghijk	0.011bcde
9	74.9cd	4.38cde	4.22bc	2.11bcdefghi	0.057fghijklmn	0.11efghij	0.0059defghijkl	0.011bcde
10	74.16cd	4.01defg	2.84efghi	2.29bcde	0.039klmnop	0.13cdefgij	0.00516fghijklmn	0.010bcde
11	70cdef	3.82fg	3.42cdef	1.92defghijkl	0.101ab	0.16abcdefg	0.0071cdefg	0.010bcde
12	73.33cde	4.30cdef	2.14hijklmn	1.52hijklmn	0.076abcdefghi	0.16abcdefg	0.0046ghijklmno	0.011bcde
13	60fghi	3.29hi	2.67efghijk	1.85efghijklm	0.095abcd	0.15bcdefgh	0.008cde	0.013bcde
14	45.83lmnop	2.35nopq	2.12hijklm	1.6fghijklm	0.095abcde	0.23a	0.111ab	0.018ab
15	55ijkl	2.68klmno	1.65mnop	1.74efghijklm	0.076abcdefghi	0.14bcdefghi	0.0067cdefghi	0.012bcde
16	51.66mjkln	3.33 hijkl	3.21defg	1.66efghijklm	0.104a	0.13cdefgij	0.008cd	0.009cde
17	55.83gkli	2.63lmno	2.6fghijkl	1.75efghijklm	0.072bcdefghij	0.16abcdef	0.0075cdef	0.012bcde
18	75.83bcd	4.52bcd	3.91bcd	1.94defghijkl	0.088abcdef	0.096fghij	0.008cd	0.008cde
19	54.16mjkli	3.25hij	2.12hijklmn	1.42jklmn	0.063efghijklm	0.13cdefgij	0.0043hijklmno	0.008cde
20	77.5bcd	4.47cd	3.27def	1.73efghijklm	0.082abcdefg	0.086hij	0.0063cdefghijk	0.005e
21	40.83pqo	1.81rs	1.45mnop	1.25mn	0.077abcdefghi	0.17abcde	0.0073cdef	0.016bc
22	79.16bc	4.36cde	3.20defg	2.51abcd	0.046ijklmno	0.11defgij	0.0043hijklmno	0.016bc
23	50.83mjkln	2.76ijklmn	2.14hijklmn	1.58ghijklmn	0.071bcdefghij	0.16abcdef	0.0038klmno	0.025a
24	39.16pq	2.21opqr	2.13hijklmn	1.58ghijklmn	0.099abc	0.17abcde	0.125a	0.024bcd
25	43.23pqno	2.03pqr	1.55mnop	1.27mn	0.048hijklmno	0.1efghij	0.008cde	0.010bcde
26	55.83gkli	2.52lmnop	1.72lmnop	1.7efghijklm	0.028nop	0.12defgij	0.0031lmno	0.010bcde
27	44.16mpqno	1.93qr	1.1op	0.97no	0.012p	0.094fghij	0.0033lmno	0.012bcde
28	85.83ab	4.45cd	3.51bcde	2.48abcd	0.06fghijklm	0.13cdefgij	0.0037klmno	0.010bcde
29	79.16bc	3.90efg	2.97efgh	1.31lmn	0.056fghijklmno	0.070j	0.0028no	0.007de
30	68.33gefcd	3.23hij	0.86p	1.76efghijklm	0.020op	0.12defgij	0.0020o	0.009bcde
31	57.27jkhi	2.50 lmnop	2.14hijklmn	2.65ab	0.051ghijklmno	0.21ab	0.0061defghijk	0.011bcde
32	66.92	3.83fg	2.36ghijklm	2.06bcdefghij	0.069cdefghijk	0.32defgij	0.0045ghijklmno	0.008cde
33	57.5jkhi	2.49 lmnop	2.02ijklmn	1.83efghijklm	0.065defghijkl	0.13cdefgij	0.0039ijklmno	0.012bcde
34	59.16gfghi	3.25hij	1.77klmno	2.30bcde	0.039klmnop	0.077ij	0.0027no	0.006de
35	68.33gefcd	3.26hij	2.59fghijkl	2.48abcd	0.071cdefghijk	0.15bcdefgh	0.0069cdefgh	0.015bcd
36	48.16mpklno	2.06pqr	1.77klmno	1.52hijklmn	0.078abcdefgh	0.13cdefgij	0.0068cdefgh	0.014bcde
37	35q	1.39s	1.04op	1.52ijklmn	0.042ijklmnop	0.15bcdefghi	0.0041ijklmno	0.015bcd
38	40.83pqo	2.28nopqr	1.74lmno	2.58abc	0.05ghijklmno	0.12defgij	0.0039ijklmno	0.008cde
39	73.33ecd	3.60gh	2.15hijklmn	2.24bcdef	0.033mnop	0.089ghij	0.0041hijklmno	0.009bcde
40	62.5gfhi	2.74ijklmn	1.32nop	1.92defghijkl	0.026nop	0.14bcdefghi	0.0023no	0.012bcde

* ستون‌های دارای حرف متفاوت بر پایه آزمون دانکن در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری دارند.

* Different letters in each column indicate significant difference according to Duncan Test ($p < 0.01$).

معنی‌داری نسبت به شاهد نداشتند. در سطح ۸- بار به‌جز ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۳۱، ۳۳، ۳۴، ۳۶، ۳۷ و ۳۸ دیگر ژنوتیپ‌ها کاهش معنی‌داری نشان ندادند. در سطح ۱۲- بار همه ژنوتیپ‌ها کاهش معنی‌داری برای این

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × تنش (جدول ۵) نشان داد، برای صفت درصد جوانه‌زنی در سطح شاهد ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در سطح ۴- بار پتانسیل اسمزی به‌جز ژنوتیپ‌های ۱۴، ۲۴ و ۳۸ دیگر ژنوتیپ‌ها کاهش

۴- بار برای طول ساقه‌چه تنها ژنوتیپ‌های ۲۹، ۳۴، ۳۹ و ۴۰ کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نداشتند و در سطح ۸- و ۱۲- بار بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). (Jajarmi, 2012) در نتایج بررسی خود بیان کرده است، طول ساقه‌چه نسبت به طول ریشه‌چه در رقم‌های مورد بررسی کمتر بوده است که نتایج این آزمایش را تأیید می‌کند. کاهش شدید طول ساقه‌چه را می‌توان به تأثیر منفی پلی‌اتیلن گلیکول که بازدارنده طویل شدن محور زیرپله (هیپوکتیل) شده، ربط داد. علت کاهش رشد طولی ساقه و ریشه (ساقه‌چه و ریشه‌چه) در نتیجه تنش خشکی ممکن است مربوط به تحت تأثیر قرار گرفتن یاخته‌های انتهایی (مریستمی) ریشه‌چه و ساقه‌چه و اختلال در فرایند تقسیم و طویل شدن یاخته‌ای باشد. زیرا شرایط کم‌آبی و پتانسیل منفی روی جذب آب یاخته‌ها تأثیر گذاشته و در نتیجه فشار آماس (تورژانس) لازم برای بزرگ شدن یاخته‌ها کاهش یافته و توقف و کند شدن رشد را سریع می‌کند. درصد کاهش طول ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه در اثر تنش خشکی بیشتر بود که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این صفت در قبال تنش خشکی است و می‌توان از آن به‌عنوان معیاری برای مقاومت به خشکی استفاده کرد. در شرایط تنش خشکی، پسابش (دهیدراسیون) و کاهش حجم یاخته‌ای در ساقه‌ها بیشتر از ریشه‌ها به رخ می‌دهد (Sarmadnia & Kouchaki, 2001). برای وزن تر ریشه‌چه، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۳، ۳۴ و ۳۹ در سطح ۴- بار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان ندادند در حالی که دیگر ژنوتیپ‌ها کاهش معنی‌داری داشتند، در سطح ۸- و ۱۲- بار ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر وزن تر ریشه‌چه با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). برای وزن تر ساقه‌چه در سطح ۴- بار به جز ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۲۰، ۲۲، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۴، ۳۹ و ۴۰ دیگر ژنوتیپ‌ها کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند، در سطح ۸- بار به جز ژنوتیپ‌های ۴، ۶، ۲۰، ۲۸، ۲۹، ۳۴ و ۳۹ همه ژنوتیپ‌ها کاهش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان دادند و در سطح

صفت نشان دادند و ژنوتیپ ۷ دارای بالاترین میزان درصد جوانه‌زنی بود. تنش خشکی محتوای رطوبتی یاخته را کم می‌کند و می‌تواند روی ساخت پروتئین‌ها و ترشح هورمون‌هایی مانند جیبرلیک اسید اثر بگذارد و باعث کاهش درصد جوانه‌زنی شود. (Sepanlo & siyadat, 1998) علت کاهش درصد جوانه‌زنی را به کاسته شدن سطح تماس آب با بذرها و پایین آوردن هدایت هیدرولیکی آب پیرامون بذرها مرتبط دانستند. کمبود رطوبت می‌تواند فعالیت آنزیمی را تحت تأثیر قرار دهد و در پی آن درصد جوانه‌زنی را در پتانسیل اسمزی منفی‌تر کاهش دهد. جذب آب و تورم بذر به‌عنوان نخستین مرحله در جوانه‌زنی مطرح می‌شوند، در حالی که تقسیم و طویل شدن یاخته در مراحل بعدی قرار می‌گیرند، که در ظهور ریشه‌چه و تولید ساقه‌چه نتیجه می‌شود. با کاهش پتانسیل آب، جذب آب و همچنین تقسیم یاخته کاهش پیدا می‌کند (Asgharipour, 2011).

برای سرعت جوانه‌زنی، در سطح ۴- بار همه ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ‌های ۳، ۸، ۱۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۹ و ۴۰ کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد خود نشان دادند، در سطح ۸- بار همه ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ‌های ۲۸ و ۲۹ کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند و در سطح ۱۲- بار پتانسیل اسمزی ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). برای طول ریشه‌چه، تنها ژنوتیپ‌های ۱، ۲۱، ۲۴، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۶ و ۳۸ کاهش معنی‌داری در سطح ۴- بار نسبت به شاهد خود نشان دادند، در سطح ۸- بار به جز ژنوتیپ‌های ۴، ۷، ۲۲، ۲۵، ۲۸، ۲۹، ۳۹ و ۴۰ دیگر ژنوتیپ‌ها کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند در سطح ۱۲- بار برای این صفت ژنوتیپ ۷ دارای بالاترین میزان طول ریشه‌چه بود (جدول ۵). علت کاهش طول ریشه‌چه با افزایش تنش خشکی، ناشی از وجود مولکول‌های بزرگ پلی‌اتیلن گلیکول و همچنین پتانسیل اسمزی ایجادشده توسط آن است که جذب آب را توسط ریشه کاهش داده و سبب کاهش طول آن شده است. طول ریشه نشان مهمی از پاسخ گیاهان به تنش خشکی است (Mostafavi, 2011). در سطح

از وجود مولکول‌های بزرگ PEG است که جذب آب را توسط ریشه کاهش داده و سبب خشک شدن گیاه می‌شود، که این امر احتمال دارد به علت بسته شدن مسیر حرکت آب در گیاه باشد.

۱۲- بار وزن تر ساقچه تا حدودی در همه ژنوتیپ‌ها صفر بود (جدول ۵). بنا به نتایج به دست آمده وزن تر گیاهچه به شدت تحت تأثیر خشکی قرار گرفته و کاهش چشمگیری با افزایش تنش نشان داد. علت این امر ناشی

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × تنش در صفات مورد بررسی

Table 5. Mean comparison of interaction between genotype and level of drought

Genotype	Drought stress	Germination	Germination rate	Radical length	Shoot length	Radical fresh weight	Shoot fresh weight
1	control	100 a	7.61a-h	7.10 a-f	7.10 a-c	0.24 a-e	0.65 a-c
2	control	100 a	7.83 a-g	3.33 g-f'	2 p-x	0.22 a-f	0.30 h-u
3	control	100 a	6.16 g-q	5.98 a-m	5.93 b-j	0.17 b-j	0.52 b-j
4	control	100 a	9.33 a	5.27 a-p	7.06 a-c	0.11 g-x	0.27k-y
5	control	100 a	8.83 a-c	6.64 a-h	6.69 b-f	0.14 f-q	0.53 b-i
6	control	100 a	9.5 a	6.4 a-i	7.77 ab	0.16 c-k	0.30 i-v
7	control	100 a	9.16 ab	6.14 a-l	7.22 a-c	0.11 g-v	0.42 c-n
8	control	100 a	5.66 h-s	2 r-g'	4.55 f-o	0.04 q-z	0.27 k-x
9	control	100 a	7.77 a-g	6.81 a-g	6.09 b-h	0.07 k-z	0.34 g-t
10	control	100 a	7.16 c-j	5.48 a-n	6.99 a-d	0.11 g-w	0.45 c-n
11	control	100a	7.15 c-j	5 b-r	7.1 a-c	0.21 a-g	0.43 c-n
12	control	100a	9 a-c	4.23 f-x	5.61 b-k	0.16 c-l	0.59 b-e
13	control	100a	7.33 b-i	5.3 a-p	6.26 b-g	0.19 b-h	0.55 b-h
14	control	100a	6.16 g-q	4.83 d-s	5.6 b-k	0.25 a-d	0.85 a
15	control	96.67a	5.65 h-s	3.5 i-e'	5.46 c-k	0.11g-u	0.49 c-l
16	control	33.33 f-l	6.83 d-j	6.2 a-k	6.16 b-h	0.29 a	0.50 b-k
17	control	100a	6 g-r	4.86 c-s	6.03 b-i	0.15 e-p	0.57 b-g
18	control	96.67a	8.27 a-f	6.55 a-h	6.13 b-h	0.10 h-z	0.31 h-u
19	control	96.67a	7.83 a-g	5.36 a-p	5.03 c-m	0.19 b-i	0.50 b-k
20	control	100a	8.33 a-e	4.80 d-t	4.8 d-n	0.11 g-u	0.24 l-z
21	control	100a	5.13 k-r	4.97 b-r	4.44 g-o	0.26 ab	0.63 a-d
22	control	96.67a	6.5 e-o	2.91 n-g'	6.72 b-e	0.05 o-z	0.33 g-t
23	control	100a	6.5 e-o	7.9 ab	5.25 c-k	0.22 a-f	0.59 d-f
24	control	100a	6.75 e-l	6.83 a-g	6.16 b-h	0.29 a	0.74 ab
25	control	89.6ab	5 k-w	2.88 o-g'	3.86 i-q	0.05 o-z	0.35 e-r
26	control	100a	5.5 i-t	4.62 d-u	6.25 b-g	0.09 i-z	0.48 c-m
27	control	100a	4.83 k-y	3 m-g'	2.5 o-w	0.04 q-z	0.28 j-w
28	control	100a	6.38 f-p	3.21 k-g'	5.55 c-k	0.05 o-z	0.28 j-w
29	control	100a	6.61 e-n	2.22 q-g'	2.88 m-t	0.02 t-z	0.17 o-z
30	control	86.67a-c	5.27 j-u	1.25 x-g'	5.88 b-g	0.05 p-z	0.41c-o
31	control	96.67a	4.72 l-z	7.10 a-f	8.88 a	0.15 e-o	0.74 ab
32	control	100a	8.66 a-d	5.91 a-n	6.86 a-e	0.20 a-g	0.39 d-p
33	control	96.67a	4.83 k-y	5.99 a-m	5.10 c-l	0.15 e-o	0.42 c-n
34	control	93.33ab	6 g-r	4.80 d-t	5.25 c-k	0.11 g-u	0.22 n-z
35	control	86.61a-c	5.66 h-s	4.88 c-r	7.77 ab	0.16 d-l	0.51 b-k
36	control	96a	4.61 n-a'	5.16 a-q	4.65 e-o	0.26 a-c	0.44 c-n
37	control	76.67a-d	3.6 t-h'	2.66 o-g'	5.27 c-k	0.13 f-s	0.54 b-i
38	control	100a	6.49 e-o	5.66 a-n	6.66 b-g	0.16 d-m	0.38 d-q
39	control	96.67a	6.11 g-q	3.27 j-g'	5 c-m	0.06 n-z	0.23 n-z
40	control	86.67a-c	4.49 o-b'	3.10 m-g'	4.66 e-o	0.05 o-z	0.34 f-s
1	(-4 bar)	76.67a-d	3.56 t-h'	3.72 h-c'	0.5 vx	0.06 k-z	0.040 w-z
2	(-4 bar)	86.30a-c	3.48 t-i'	4.23 f-x	0.58 vx	0.04 q-z	0.06 u-z
3	(-4 bar)	100a	4.72 l-z	6.18 a-k	0.58 vx	0.11 g-u	0.23 m-z
4	(-4 bar)	100 a	5.52 i-t	7.07 a-f	1.26 t-x	0.12 g-t	0.045 v-z
5	(-4 bar)	100 a	5.5 i-t	7.33 a-e	0.83 u-x	0.07 j-z	0.033 w-z
6	(-4 bar)	100a	6.11 g-q	8.13 a	2.20 p-x	0.08 j-z	0.069 u-z
7	(-4 bar)	100a	6.66 e-m	7.83 a-c	3.99 h-p	0.09 h-z	0.14 q-z
8	(-4 bar)	96.67a	4.77 l-y	7.39 a-d	0.91t-x	0.09 i-z	0.059 u-z
9	(-4 bar)	96.30a	5.11 k-v	6.30 a-j	1.68 r-x	0.14 f-q	0.07 u-z
10	(-4 bar)	100 a	5.27 j-u	4.13 f-z	1.54 s-x	0.04 r-z	0.07 u-z
11	(-4 bar)	96.67a	4.46 o-c'	4.96 b-r	0.61 u-x	0.11 g-u	0.047 v-z
12	(-4 bar)	100a	4.93 k-x	4.33 e-v	0.5 v-x	0.14 f-r	0.061u-z
13	(-4 bar)	100a	4.35 p-d'	4.73 d-t	0.65 u-x	0.16 d-m	0.06 u-z
14	(-4 bar)	56.67b-i	2.30 e''-r'	2.9 n-g'	0.5 vx	0.10 g-y	0.040 w-z
15	(-4 bar)	63.33a-g	2.84 y-n'	2.43 p-g'	1 t-x	0.16 d-n	0.07 u-z
16	(-4 bar)	100a	4.88 k-x	6 a-m	0.5 v-x	0.12 g-t	0.046 v-z
17	(-4 bar)	90ab	3.24 u-l'	4.2 f-y	0.5 v-x	0.09 h-z	0.040 w-z
18	(-4 bar)	96.67a	5.16 k-v	6.83 a-g	1.13 t-x	0.22 a-f	0.05 v-z

ادامه جدول 5. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × تنش در صفات مورد بررسی

Continued table 5. Mean comparison of interaction between genotype and level of drought

Genotype	Drought stress	Germination	Germination rate	Radical length	Shoot length	Radical fresh weight	Shoot fresh weight
19	(-4 bar)	96.67a	4.44 p-c'	2.54 p-g'	0.66 u-x	0.06 m-z	0.045 v-z
20	(-4 bar)	96.67a	4.83 k-w	6 a-m	1.6 s-x	0.17 c-k	0.07 u-z
21	(-4 bar)	63.33a-g	5.13 k-v	0.83 b'-g'	0.58 v-x	0.04 r-z	0.07 u-z
22	(-4 bar)	96.67a	6.46 e-o	6.27 a-j	2.63 o-v	0.09 h-z	0.10 s-z
23	(-4 bar)	100a	4.55 o-a'	1.83 s-g'	1.15 t-x	0.09 h-z	0.069 u-z
24	(-4 bar)	36.67e-l	1.63 h''-w'	2.66 o-g'	0.66 u-x	0.15 e-o	0.026 w-z
25	(-4 bar)	60a-h	2.47 c''-q'	1.66 u-g'	0.5 vx	0.06 l-z	0.036 w-z
26	(-4 bar)	100a	3.99 r-f'	2.83 o-g'	1.16 t-x	0.04 s-z	0.08 u-z
27	(-4 bar)	76.67a-d	2.7 z-o'	1.33 w-g'	1 t-x	0.01 u-z	0.067 u-z
28	(-4 bar)	100a	6 g-r	4 g-a'	2.66 n-v	0.14 f-r	0.14 q-z
29	(-4 bar)	100a	4.66 za'	6.3 a-j	1.33 t-x	0.09 i-z	0.09 t-z
30	(-4 bar)	96.67a	4.55 o-a'	2.22 q-g'	1.16 t-x	0.03 s-z	0.08 u-z
31	(-4 bar)	73.33a-e	3.19 v-l'	0.25 g-h'	0.66 u-x	0.004 yz	0.02 x-z
32	(-4 bar)	96.67a	4.66 m-a'	1.5 v-g'	1.56 s-x	0.06 n-z	0.064 u-z
33	(-4 bar)	90ab	3.63 s-h'	1.08 z-g'	1.5 s-x	0.08 j-z	0.062 u-z
34	(-4 bar)	93.33ab	5.1 k-v	1.62 u-g'	3.81 j-r	0.033 t-z	0.069 u-z
35	(-4 bar)	96.67a	4.55 o-a'	3.66 h-d'	1.77 q-x	0.03 t-z	0.07 u-z
36	(-4 bar)	83.33a-c	3.19 v-l'	0.58 d'-g'	1.25 t-x	0.02 t-z	0.07 u-z
37	(-4 bar)	60a-h	1.91 g''-w'	1.5 v-g'	0.75 u-x	0.03 t-z	0.065 u-z
38	(-4 bar)	56.67b-i	2.41 d''-q'	1.33 w-g'	3.66 k-s	0.03 t-z	0.10 s-z
39	(-4 bar)	100a	4.88 k-x	3.33 j-f'	3.55 k-s	0.03 t-z	0.10 s-z
40	(-4 bar)	96.67a	4.16 q-e'	1.02 a'-g'	2.55 o-w	0.02 t-z	0.21 n-z
1	(-8 bar)	70a-f	2.16 f''-t'	0.83 b'-g'	0.83 u-x	0.009 w-z	0.011 yz
2	(-8 bar)	13.ijkl	0.36 r''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
3	(-8 bar)	25.83 g-l	0.92 m''-w'	1 a'-g'	0.41 v-x	0.005 y-z	0.039 w-z
4	(-8 bar)	90ab	3.86 s-g'	4.75 d-t	0.56 v-x	0.03 t-z	0.019x-z
5	(-8 bar)	100a	4.58 n-a'	3.43 j-e'	0.5 v-x	0.03 r-z	0.039 w-z
6	(-8 bar)	93.33ab	4.16 q-e'	2.79 o-g'	0.54 v-x	0.01 t-z	0.052 u-z
7	(-8 bar)	100a	4.54 o-a'	3.97g-a'	0.88 t-x	0.03 t-z	0.038 w-z
8	(-8 bar)	63.33a-g	2.15 f''-t'	0 h'	0 x	0 z	0 z
9	(-8 bar)	100a	4.36 p-d'	2.1 r-g'	0.7 u-x	0.01 w-z	0.021 x-z
10	(-8 bar)	93.33ab	3.55 t-h'	1.77 t-g'	0.65 u-x	0.003 z	0.021 x-z
11	(-8 bar)	83.33a-c	2.65 a''-p'	1 a'-g'	0.16 x	0.008 x-z	0.008 z
12	(-8 bar)	93.33ab	3.28 u-k'	0 h'	0 x	0 z	0 z
13	(-8 bar)	36.67e-l	1.38 k''-w'	0.66 c'-g'	0.5 v-x	0.02 t-z	0.02 x-z
14	(-8 bar)	26.67 g-l	0.94 m-w	0.75 c'-g'	0.33 v-x	0.01 t-z	0.029 w-z
15	(-8 bar)	56.67b-i	2.13 f''-u'	0.7 c'-g'	0.5 v-x	0.02 t-z	0.032 w-z
16	(-8 bar)	73.33a-e	0.8 o''-w'	0.66 c'-g'	0 x	0 z	0 z
17	(-8 bar)	33.33 f-l	1.27 l''-w'	1.33 w-g'	0.5 v-x	0.04 q-z	0.048 v-z
18	(-8 bar)	93.33ab	4.02 r-f'	1.6 u-g'	0.5 v-x	0.01 t-z	0.025 w-z
19	(-8 bar)	20 i-l	0.66 p''-w'	0.58 d'-g'	0 x	0 z	0 z
20	(-8 bar)	96.67 a	4.16 q-e'	1.95 r-g'	0.52 v-x	0.03 t-z	0.02 x-z
21	(-8 bar)	o l	o w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
22	(-8 bar)	85a-c	3.41 u-j'	3.12 l-g'	0.75 u-x	0.02 t-z	0.042 v-z
23	(-8 bar)	5 kl	0.25 s-w	0 h'	0 x	0 z	0 z
24	(-8 bar)	23.33 h-l	0.7 o''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
25	(-8 bar)	16.67 jkl	0.66 p''-w'	1.66 u-g'	0.75 u-x	0.07 k-z	0.033 w-z
26	(-8 bar)	13.33 jkl	0.32 r''-w'	0 h'	0 x	0.04 r-z	0 z
27	(-8 bar)	o l	o w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
28	(-8 bar)	90ab	4.5 o-b'	4.83 d-s	0.66 u-x	0.05 p-z	0.14 q-z
29	(-8 bar)	80a-c	2.19 x-m	4.5 d-v	0.62 u-x	0.02 t-z	0.03 w-z
30	(-8 bar)	65a-f	2.13 f''-u'	0 h'	0 x	0 z	0 z
31	(-8 bar)	40 d-k	1.26 l''-w'	0.5 e'-g'	0.16 x	0.03 t-z	0.012 yz
32	(-8 bar)	93.33ab	3.3 u-k	2.83 o-g'	0.5 v-x	0.03 s-z	0.049 v-z
33	(-8 bar)	40 d-j	1.45 j''-w'	1 a'-g'	0.75 u-x	0.02 t-z	0.043 v-z
34	(-8 bar)	50 c-j	1.89 g''-w'	0.66 c'-g'	0.16 x	0.006 yz	0.012 yz
35	(-8 bar)	86.67a-c	2.68 a''-o'	1.16 y-g'	0.29 wx	0.02 t-z	0.025 w-z
36	(-8 bar)	3.33 kl	0.16 t''-w'	1.33 w-g'	0.16 x	0.03 t-z	0.006 z
37	(-8 bar)	3.33 kl	0.066 v''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
38	(-8 bar)	6.67kl	0.22 s''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
39	(-8 bar)	83.33a-c	3.02 w-l'	1.99 r-g'	0.5 v-x	0.04 r-z	0.025 w-z
40	(-8 bar)	63.33a-g	2.23 e''-s'	1.16 y-g'	0.5 v-x	0.02 t-z	0.029 w-z
1	(-12 bar)	6.67 kl	0.25 s-w	0 h'	0 x	0.009 w-z	0 z
2	(-12 bar)	25 h-l	1.5 i''-w'	1.1 z-g'	1.56 s-x	0.03 t-z	0.15 p-z
3	(-12 bar)	26.67 g-l	0.83 o''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
4	(-12 bar)	3.33 kl	0.11 u''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z

ادامه جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × تنش در صفات مورد بررسی

Continued table 5. Mean comparison of interaction between genotype and level of drought

Genotype	Drought stress	Germination	Germination rate	Radical length	Shoot length	Radical fresh weight	Shoot fresh weight
5	(-12 bar)	3.33 kl	0.06 v''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
6	(-12 bar)	6.67kl	0.17 t''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
7	(-12 bar)	56.67b-i	2.51 b''-q'	2.66 o-g'	0 x	0.01 v-z	0 z
8	(-12 bar)	3.33 kl	0.08 v''w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
9	(-12 bar)	10kl	0.27 s''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
10	(-12 bar)	3.33 kl	0.08 v''w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
11	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
12	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
13	(-12 bar)	3.33 kl	0 w	0 h'	0 x	0 z	0 z
14	(-12 bar)	01	0.11 u''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
15	(-12 bar)	3.33 kl	0.11 u''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
16	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
17	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
18	(-12 bar)	16.67 jkl	0.63 q''-w'	0.66 c'-g'	0 x	0.005 y-z	0.0006 z
19	(-12 bar)	3.33 kl	0.08 v''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
20	(-12 bar)	16.67 jkl	0.58 q''-w'	0.33 f'g'	0 x	0.01 w-z	0.01 z
21	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
22	(-12 bar)	36.67 e-l	1.02 m''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
23	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
24	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
25	(-12 bar)	6.67 kl	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
26	(-12 bar)	10kl	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
27	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
28	(-12 bar)	50c-i	1.31 k-w	0 h'	0 x	0 z	0 z
29	(-12 bar)	23.33 h-l	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
30	(-12 bar)	23.33 h-l	0.84 n''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
31	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
32	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
33	(-12 bar)	3.33 kl	0.06 v''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
34	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
35	(-12 bar)	3.33 kl	0.16 t''-w'	0.66 c'-g'	0.08 x	0.02 t-z	0.003 z
36	(-12 bar)	10 kl	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
37	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
38	(-12 bar)	01	0 w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
39	(-12 bar)	13.33 jkl	0.38 r''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z
40	(-12 bar)	3.33 kl	0.11 u''-w'	0 h'	0 x	0 z	0 z

* ستون‌های دارای حرف متفاوت بر پایه آزمون دانکن در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری دارند.

* Different letters in each column indicate significant difference according to Duncan Test ($p < 0.01$).

تجزیه به عامل‌ها

برای بررسی رابطه‌های صفات مورد بررسی تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر پایه دو عامل اصلی در شرایط بدون تنش (شکل ۱) و شرایط تنش (شکل ۲) رسم شدند و آنگاه پراکنش‌های ژنوتیپ‌های موجود در گروه‌ها بر پایه عامل‌های اول و دوم تعیین شد (جدول‌های ۶ و ۷). در شرایط بدون تنش (شکل ۱) ژنوتیپ‌های گروه A دارای مقادیر بالا برای عامل دوم و مقادیر کم برای عامل اول بودند که با توجه به ضریب عامل‌ها نشان می‌دهد، در این ژنوتیپ‌ها صفات طول ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه،

وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه دارای مقادیر کم و صفات سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه دارای مقادیر بالا بودند. ژنوتیپ‌های گروه D دارای مقادیر پایین برای هر دو عامل بودند. ژنوتیپ‌های گروه E دارای مقادیر بالا برای هر دو عامل بودند که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌هایی که در این گروه قرار دارند دارای مقادیر بالا برای صفات طول ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه هستند.

عامل اول و مقادیر کم برای عامل دوم بودند که نشان می‌دهد، در این ژنوتیپ‌ها صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه دارای مقادیر زیاد و صفات طول ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه دارای مقادیر کم است. ژنوتیپ‌های گروه B دارای مقادیر پایین برای هر دو عامل بودند. ژنوتیپ‌های گروه D دارای مقادیر بالا برای هر دو عامل بودند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها دارای مقادیر بالایی برای صفات طول ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه هستند، پس به شرایط تنش نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر تحمل بیشتری نشان داده و در شرایط تنش می‌توانند انتخاب شوند.

ژنوتیپ‌های گروه B دارای میزان کم برای عامل دوم و میزان بسیار جزئی نزدیک به صفر برای عامل اول بودند و ژنوتیپ‌های گروه C دارای مقادیر بالا برای عامل اول و مقادیر کم برای عامل دوم بودند که نشان‌دهنده مقادیر بالا برای صفات طول ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه است.

در شرایط تنش (شکل ۲) ژنوتیپ‌های گروه A دارای مقادیر بالا برای عامل دوم و مقادیر کم برای عامل اول بودند که با توجه به ضریب عامل‌ها نشان می‌دهد که در این ژنوتیپ‌ها صفات طول ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه دارای مقادیر بالا و صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه دارای مقادیر کم هستند. ژنوتیپ‌های گروه C دارای مقادیر بالا برای

جدول ۶. نتایج تجزیه به عامل‌های چهل ژنوتیپ لوبیا در شرایط بدون تنش

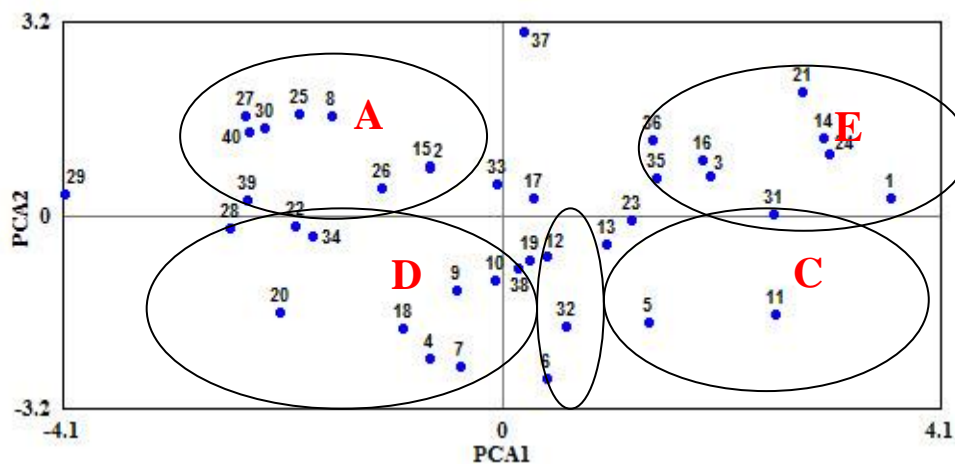
Table 6. Results factors analysis of 40 beans genotypes in control conditions

Traits	The first factor	The second factor	The third factor
Germination (%)	-0.052	0.338	0.926
Germination rate	0.079	0.872	0.017
Radical Length	0.694	0.582	-0.095
Shoot length	0.478	0.523	-0.256
Radical	0.854	0.011	-0.111
Fresh weight			
Shoot fresh weight	0.867	-0.216	0.093
Radical	0.853	-0.140	0.143
Dry weight			
Shoot Dry weight	0.730	-0.557	0.175
Eigenvalues	43.2	23.2	12.5
Cumulative	43.2	66.5	79

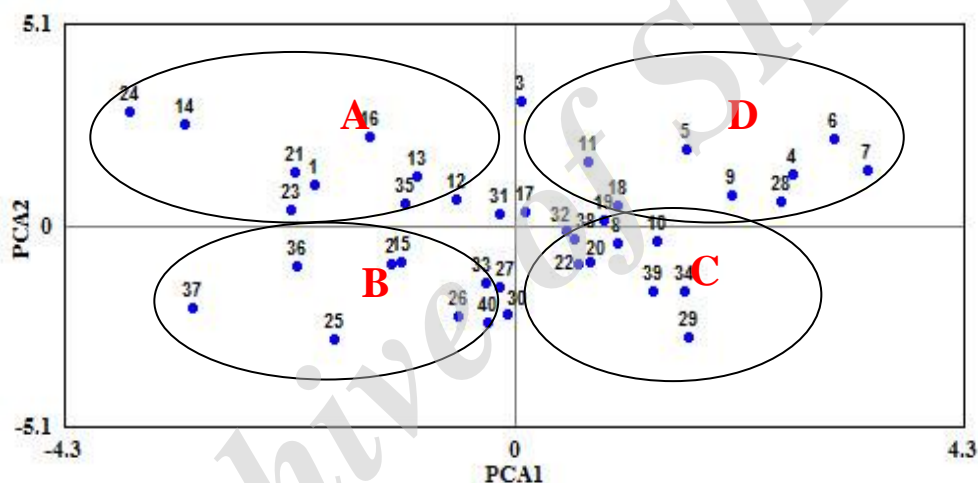
جدول ۷. نتایج تجزیه به عامل‌های چهل ژنوتیپ لوبیا در شرایط تنش

Table 7. Results factors analysis of 40 beans genotypes in stress conditions

Traits	The first factor	The second factor
Germination (%)	0.831	0.179
Germination rate	0.858	0.422
Radical Length	0.572	0.745
Shoot length	0.535	0.309
Radical	-0.295	0.800
Fresh weight		
Shoot fresh weight	-0.569	0.579
Radical	-0.373	0.792
Dry weight		
Shoot Dry weight	-0.593	0.408
Eigenvalues	36.7	32.8
Cumulative	36.7	69.6



شکل ۱. رسم ژنوتیپ‌ها بر پایهٔ عامل‌های اول و دوم در شرایط بدون تنش
Figure 1. Drawing genotypes based on the first and second factor in control conditions

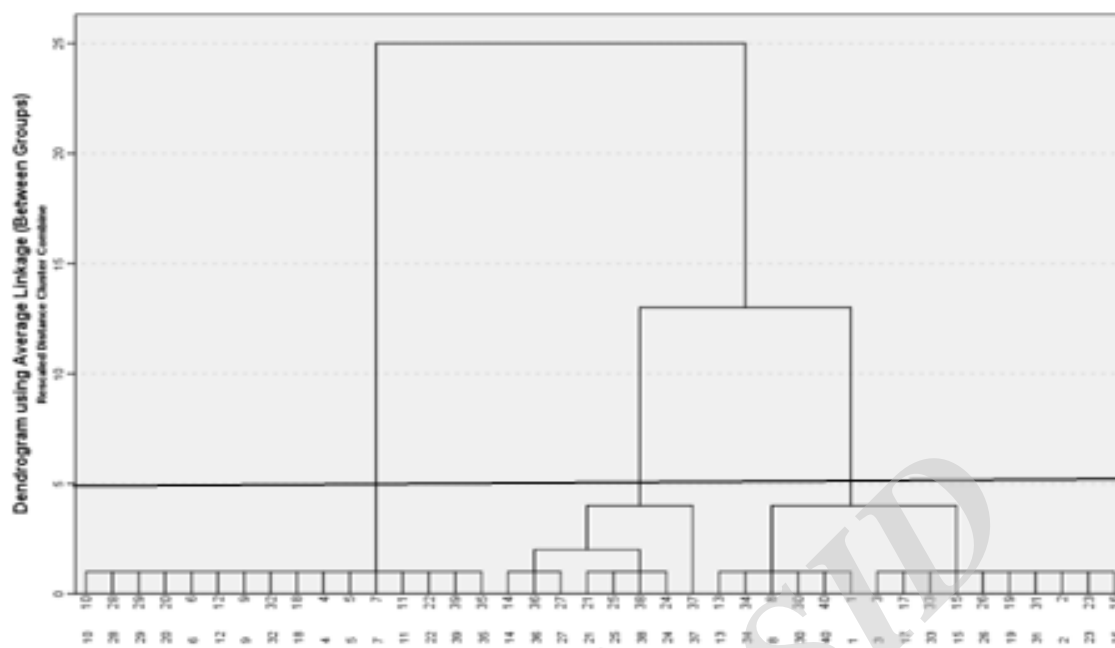


شکل ۲. رسم ژنوتیپ‌ها بر پایهٔ عامل‌های اول و دوم در شرایط تنش
Figure 2. Drawing genotypes based on the first and second factor in stress conditions

داشتند (گروه اول) و ژنوتیپ‌های ۳۷، ۳۶، ۲۵، ۳۰، ۲۷ در ۲۱ که در تجزیه به عامل‌های اصلی از نظر عامل اول و دوم منفی و پایین‌تر بودند در گروه دوم قرار گرفتند. مقایسهٔ میانگین گروه‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد، بیشترین میزان درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه به ژنوتیپ‌های گروه اول اختصاص داشت اما بین گروه‌ها برای صفات وزن تر ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد. ژنوتیپ‌های گروه دوم دارای بالاترین میزان وزن خشک ساقه‌چه بود، که از این لحاظ تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ‌های گروه سوم نداشتند (جدول ۸).

تجزیهٔ خوشه‌ای

به‌منظور تعیین خویشاوندی ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها بر مبنای صفات مورد بررسی، تجزیهٔ خوشه‌ای با روش UPGMA بر پایهٔ میانگین صفات در سطوح شاهد، ۴- و ۸- بار انجام شد، بر این پایهٔ ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سه گروه دسته‌بندی شدند. همان‌طوری که از نمودار شجره‌ای (دندروگرام) مربوطه مشاهده می‌شود (شکل ۳)، ۱۶ ژنوتیپ در گروه اول، ۸ ژنوتیپ در گروه دوم و ۱۶ ژنوتیپ در گروه سوم قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های ۷، ۲۸، ۱۸، ۴، ۵، ۶، ۹ و ۱۱ که در تجزیه به عامل‌های اصلی نیز از نظر عامل اول و دوم مثبت و بالاتر بودند، خویشاوندی بالایی نیز



شکل ۳. تجزیه خوشه‌ای ۴۰ ژنوتیپ لوبیا با استفاده از روش UPGMA
Figure 3. Cluster analysis of 40 bean genotype by using UPGMA method

جدول ۸. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر پایه میانگین صفات جوانه‌زنی در سه سطح تیماری (شاهد، -۴ و -۸ بار)
Table 7. Cluster analysis of genotypes based on the mean germination traits in three level of the treatment (Control, -4 and -8 bar)

Cluster	Genotype	Mean traits							
		GP	PR	RL	CL	RW	CW	RD	CD
First	10, 28, 29, 20, 6, 12, 9, 32, 18, 4, 5, 7, 11, 22, 39, 35	96.38 a	5.61 a	4.14 a	2.69 a	0.87 a	0.17 a	0.79 a	0.79 b
Second	21, 25, 14, 36, 27, 38, 24, 37	55.51 c	2.66 c	2.24 b	2.14 b	0.87 a	0.16a	0.79a	0.8 a
Third	13, 34, 8, 30, 40, 1, 3, 17, 33, 15, 26, 19, 31, 2, 23, 16	75.1 b	3.84b	2.86 b	2.32 b	0.86 a	0.16 a	0.79 a	0.8ab

GP: درصد جوانه‌زنی، PR: سرعت جوانه‌زنی، RL: طول ریشه‌چه، CL: طول ساقه‌چه، RW: وزن تر ریشه‌چه، CW: وزن تر ساقه‌چه، RD: وزن خشک ریشه‌چه، CD: وزن خشک ساقه‌چه.

* در هر ستون مقادیری که حرف‌های مشترکی با یکدیگر ندارند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم دارند.

GP: % Germination, PR: Germination rate, RL: Radical length, CL: Shoot length, RW: Radical fresh weight, CW: Shoot fresh weight, RD: Radical dry weight, CD: Shoot dry weight.

* Different letters in each column indicate significant difference according to Duncan Test ($p < 0.05$).

آنزیم کاتالاز

افزایش شدت تنش (۲-، ۴- و ۸- بار) میزان فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت، در پتانسیل اسمزی ۸- بار فعالیت این آنزیم نسبت به سطوح ۲- و ۴- بار کاهش یافت، ژنوتیپ ۱۱۸۵ در سطح تنش ۲- بار افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت در حالی که در پتانسیل‌های ۴- و ۸- بار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد، رقم تجاری یاس در سطوح ۴- و ۸- بار افزایش معنی‌داری از لحاظ فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد داشت، در سطح ۸- بار این رقم قادر به تشکیل ریشه‌چه نشد، ژنوتیپ ۹۱۶ در سطح ۲- بار افزایش معنی‌داری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۹) بین ژنوتیپ‌ها، سطوح تنش و اثر متقابل آن‌ها از لحاظ تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح آماری ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم در تیمار ۲- بار پتانسیل اسمزی به میزان ۰/۱۶۴ (میلی‌گرم پروتئین. واحد) و کمترین میزان فعالیت آن در تیمار ۸- بار پتانسیل اسمزی به میزان ۰/۰۴۸ (میلی‌گرم پروتئین. واحد) به‌دست آمد (جدول ۱۰). روند تغییرپذیری فعالیت آنزیم کاتالاز در آغاز به‌صورت افزایشی و پس‌از آن کاهش بود. در ژنوتیپ ۱۱۸۹ با

معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش همخوانی داشت. بنابراین می‌توان با تعیین سطح فعالیت‌های این آنزیم در جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گیاهان مختلف اقدام کرد.

جدول ۹. نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز ژنوتیپ‌های ۱۸، ۲۸، ۲۵ و رقم تجاری یاس لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۲، -۴ و -۸ بار

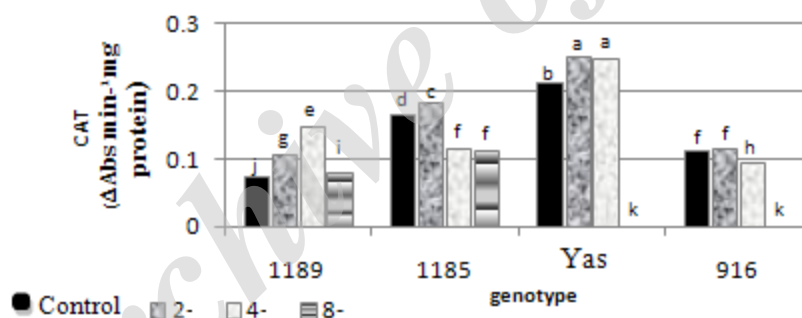
Table 8. Results of analysis of variance of CAT and GPX activities in 1189, 1185, 916 genotype and Yas variety in four level of the treatment, control, -2, -4 and -8 bar

S.O.V	df	Mean of Squares	
		CAT	GPX
Genotype	3	0.022**	0.023**
Stress	3	0.033**	0.0069**
Genotype × Stress	9	0.0087**	0.016**
Error	32	0.009	0.001
CV (%)		2.83	2.47

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** : Significantly difference at 1% levels of probability.

نسبت به شاهد نداشت و در پتانسیل اسمزی ۴- بار نیز کاهش معنی‌داری از نظر میزان فعالیت این آنزیم نشان داد (شکل ۴). با توجه به نتایج بالا می‌توان گفت که با افزایش تنش ژنوتیپ ۱۱۸۹ و رقم یاس می‌توانند واکنش مناسب‌تری با افزایش فعالیت آنزیم CAT از خود نشان دهند و میزان H_2O_2 تولیدشده در شرایط تنش را کاهش دهند، کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ ۹۱۶ می‌تواند حساسیت این ژنوتیپ به تنش خشکی را در تجزیه نمودار دوجبهی صفات جوانه‌زنی تأیید کند. Kafi *et al.* (2010) در نتایج بررسی خود گزارش کردند، افزایش فعالیت کاتالاز برای کاهش اثرگذاری‌های پراکسیداز در هنگام تنش های محیطی در گیاهانی چون گندم، جو، سویا و نخود نقش مهمی داشته است. نتایج بررسی‌های Saii (2004) در سورگوم علوفه‌ای نشان داد، فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر تنش خشکی نسبت به شاهد به‌طور



شکل ۴. فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ‌های ۱۱۸۹، ۱۱۸۵، ۹۱۶ و رقم تجاری یاس لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۲، -۴ و -۸ بار (در هر ژنوتیپ ستون‌های دارای حرف متفاوت بر پایه آزمون دانکن در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌دار دارند).

Figure 4. CAT activities in 1189, 1185, 916 genotype and Yas variety in four level of the treatment, control, -2, -4 and -8 bar (In each genotype, columns with different letters according to Duncan test have significant difference at $P < 0.01$).

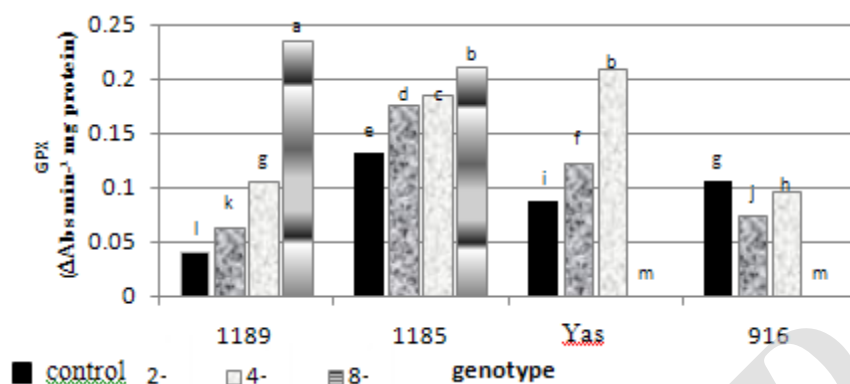
اسمزی ۲- و ۴- بار ژنوتیپ‌های ۱۱۸۹، ۱۱۸۵ و یاس افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند درحالی‌که روند این افزایش در ژنوتیپ ۱۱۸۹ شدیدتر بود، ولی ژنوتیپ ۹۱۶ در این سطوح از تنش کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد خود نشان داد، در سطح ۸- بار بیشترین میزان فعالیت آنزیم GPX در ژنوتیپ ۱۱۸۹ مشاهده شد (شکل ۵). تنش خشکی موجب تنش اکسایشی (اکسیداتیو) در گیاهان می‌شود و در نتیجه آن غشاء یاخته‌ای تخریب شده و زیست‌نشانگر

آنزیم گایاکول پراکسیداز

بین ژنوتیپ‌ها، سطوح تنش و اثر متقابل آن‌ها از لحاظ تغییرپذیری‌های فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) در سطح آماری ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۹). بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار ۴- بار پتانسیل اسمزی به میزان ۰/۱۴۹ (میلی‌گرم پروتئین. واحد) و کمترین میزان فعالیت آن در تیمار شاهد به میزان ۰/۰۹۲ (میلی‌گرم پروتئین. واحد) دیده شد (جدول ۱۰). در پتانسیل

اکسیژن‌های رادیکال آزاد جلوی این تخریب را بگیرد (GHorbani ghozhdi, 2005).

(بیومارکر) مالون‌دی آلدئید افزایش می‌یابد، لذا آنزیم GPX در یاخته افزایش یافته تا با از بین بردن



شکل ۵. تغییرپذیری‌های فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز بین ژنوتیپ‌های ۱۱۸۹، ۱۱۸۵، ۹۱۶ و رقم تجاری یاس لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۲، -۴ و -۸ بار (در هر ژنوتیپ ستون‌های دارای حرف متفاوت بر پایه آزمون دانکن در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌دار دارند).

Figure 5. GPX activities in 1189, 1185, 916 genotype and Yas variety in four level of the treatment, control, -2, -4 and -8 bar (In each genotype, columns with different letters according to Duncan test have significant difference at $P < 0.01$).

جدول ۱۰. مقایسه میانگین سطوح تنش برای آنزیم کاتالاز و گایاکول پراکسیداز

Osmotic Potential (bar)	CAT	GPX
Control	0.14 c	0.092 c
-4	0.164 a	0.010 b
-8	0.151 b	0.149 a
-12	0.048 d	0.112 b

* ستون‌های دارای حرف متفاوت بر پایه آزمون دانکن در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری دارند.
* Different letters in each column indicate significant difference according to Duncan Test
($p < 0.01$) between treatments.

کنترل) در قیاس با دیگر ژنوتیپ‌ها و رقم یاس در مرحله جوانه‌زنی به تنش خشکی متحمل بوده و به‌عنوان بهترین ژنوتیپ در شرایط این پژوهش معرفی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

با بررسی صفات مورد بررسی و شاخص‌ها، ژنوتیپ ۱۱۸۹ با مد نظر قرار دادن ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بهتر نسبت به تیمار شاهد (شرایط

REFERENCES

1. Abedi, T. & Pakniat, H. (2010). Antioxidant Enzyme Changes in Response to Drought Stress in Ten Cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics of Plant Breed*, 46(1), 27-34.
2. Asada, K. (1992). Ascorbate peroxidase—a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Jornal of Physiologia Plantarum*, 85(2), 235-241
3. Asgharipour, M. R. (2011). Effect of salinity on germination and seedling growth of lentils. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(11), 2002-2004.
4. Ashraf, M. A. (1988). Salt tolerance of mungbean at two growth stage. *Jornal of Plant and Soil*, 110, 63-67.
5. Baalbaki, R. Z., Bleik, M. M. & Talhouk, S. N. (1999). Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Science and Technology*, 27, 291-302.
6. Cellier, F., Conéjéro, G., Breitler, J. C. & Casse, F. (1998). Molecular and Physiological Responses to Water Deficit in Drought-Tolerant and Drought-Sensitive Lines of Sunflower: Accumulation of Dehydrin Transcripts Correlates with Tolerance. *Jornal of Plant Physiology*, 116(1), 319-328.

7. Chance, B. & Maehly A. C. (1955). *Assay of catalases and peroxidases*. Methods in Enzymology, Academic Press. Volume 2, 764-775.
8. Cokjizgin, A. (2012). Salinity Stress in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seed Germination. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(1), 182-177.
9. FAO (2010). World Food and Agriculture. FAO STATISTICAL YEARBOOK
10. Giannopolitis, C. N. & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 59(2), 309-314.
11. Golparvar, A., Ghannadha, M. R. & Zali, A. A. (2003). Determine of the best selection traits for yield improvement of bread wheat under drought stress. *Seed and Plant Improvement Journal*, 18, 144-155.
12. Ghorbani Ghozhdi, H. (2005). Grapes. In: H. Ghorbani Ghozhdi & A. Ladanmoghadam, *Intraduction to oxidative stresses and palnt strians*. (in Farsi)
13. Jajarmi, V. (2012). Effect of drought stress on germination indices in seven wheat cultivars (*T. aestivum* L.). *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 8(2), 183-192. (in Farsi)
14. Jolaei, M. (2005). *The effect of mild water stress on some physiological characteristics and the level of enzyme activity of anti-oxidants of different cultivars of wheat*. M.Sc. thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. (in Farsi)
15. Kafi, M. & Masoumi, A. (2005). The physiological effects of water stress by PEG6000 on germination of lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*. (in Farsi)
16. Kafi, M., Bagheri, A., Nabati, J., Zare Mehrjerdi, M. & Masoumi, A. (2010). Study of salinity stress effect on some physiological variables of 11 chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in hydroponic environments. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology*, 4, 55-69. (in Farsi)
17. Maguire, J. D. (1962). Speed of germination. Aid in selection and evaluation of seedling emergence and vigor. *Jornal of Crop Science*, 2, 176-177.
18. Mayer, A. M. (1989). *The germination of seeds*. Pergamon Press, New York, 270 p.
19. Miklas, P. N., Kelly, J. D., Beebe, S. E. & Blair, M. W. (2006). Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. *Euphytica*, 147(1), 105-131.
20. Meloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A. & Cambraia, J. (2003). Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 15(2), 12-21.
21. Morales, R., C., Duran-Aniotz, J., Castilla, L., Estrada, D. & Soto, C. (2012). De novo induction of amyloid-beta deposition in vivo. *Molecular Psychiatry*, 17(12), 1347-1353.
22. Mostafavi, K. (2011). An Evaluation of Safflower Genotypes (*Carthamus tinctorius* L.), Seed Germination and Seedling Characters in salt Stress conditions. *African Journal of Agricultural Resarch*, 7, 1667-1672.
23. Michel, B. E. (1983). Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 in both the absence and presence of other solutes. *Plant Physiology*, 72, 66-70.
24. Oskoui, B. (2010). Effect of drought stress on some cultivars of wheat cultivars (*T. aestivum* L.) in growth stage. In: Proceedings of 11th Ntional Iranian Crop Science Congress. SHahid Beheshti University. (in Farsi)
25. Paulsen, M. R. (1978). Fracture resistance of soybeans to compressive loading. *Transactions of ASAE*, 1210-1216.
26. Pessaraki, M. (1996). *Plant and crop stress*. Handbook. New York.
27. Romesburg, H. C. (1990). Cluster Analysis. For Research. Krieger Pub., Malabar, Florida, 85, 246-253.
28. Shekari, F., Rahimzade Khoii, F., Valizade, M., Alyari, H. & SHakiba, R. (1997). Effect of salinity stress on germination in oilseed rape (*Brassica napus* L.). In: Proceedings of 5th National Iranian Crop Science Congress. Karaj. 45. (in Farsi)
29. Saidi, M. (2007). Effect of osmotic stress on germination indices in wheat different genotype (*T. aestivum* L.). *Jornal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource*. (in Farsi)
30. Salehifar, M. (2010). Compare the effect of drought stress on germination and seedling growth of eight Genetics beans (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Proceedings of the 11th Ntional Iranian Crop Science Congress. SHahid Beheshti University. (in Farsi)
31. Sarmadniya, A. (1987). Study of Drought resistance of the masses of wheat (*T. aestivum* L.) on germination stage. In: Proceedings of 1st International Congress on Research dry land issues in Iran, Mashhad Ferdowsi University. (in Farsi)
32. Sepanlo, M. G. H. & Siyadat, H. (1998). Effects of water stress on germination characteristics of wheat (*T. aestivum* L.). *Iranian Journal of Soil Research*, 13, 87-97. (in Farsi)
33. Sarmadniya, A. & Kochaki, A. (2001). Grapes. In: R. Mishel & F. Pigardner, *Crop Physiology*. University of Mashhad, 45. (in Farsi)

34. Saii, M. (2004). *Evaluation of some morphological traits and drought tolerance of different Cultivars of Sorghum bicolor*. M.Sc. thesis. Islamic Azad University of Karaj. (in Farsi)
35. Tesfaye, K., Walker, S. & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy*, 25(1), 60-70.
36. Vanacker, H., Carver, T. L. W. & Foyer, C. H. (1998). Pathogen-Induced Changes in the Antioxidant Status of the Apoplast in Barley Leaves. *Journal of Plant Physiology*, 117(3), 1103-1114.
37. Zeinali, A. & Soltani, A. (2002). Response of germination components to salinity stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agriculture Science*, 36, 457-463. (in Farsi)

Archive of SID