علوم و تحقیقات بذر ایران
سال سوم/ شماره سوم/ ۱۳۹۵ (۸۷ - ۷۵)

گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی در گیاه عدس (*Lens culinaris* Medik.) از طریق سنجش پارامترهای جوانه‌زنی

راهله احمدپور[۱]، نظام آرمند[۲]، سعیدرضا حسین‌زاده*[۲]، سمیه چاشیانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۱۶

چکیده

تنش خشکی در مناطق دیم کشور از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد، عملکرد و محصول گیاه عدس می‌باشد. در این راستا به‌منظور بررسی درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه و میانگین مدت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، آندوسپرم مصرفی، طول و وزن خشک ساقه‌چه، طول، سطح، حجم، قطر و وزن خشک ریشه‌چه در ارقام گیاه عدس تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه تحقیقات فیزیولوژی گیاهی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان به اجراء درآمد. تیمارهای آزمایش شامل ۴ رقم عدس گچساران، کیمیا، زیبا و رباط و ۴ سطح تنش خشکی ۰، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال که توسط پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ ایجاد شد. هیچ‌یک از ارقام در پتانسیل آب ۰/۹- مگاپاسکال جوانه‌زنی نداشتند. نتایج نشان داد که در شرایط نرمال، رقم رباط در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی در تمامی صفات برتر بود. در شرایط تنش خشکی ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال، ارقام رباط و گچساران سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، بنیه جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر بالاتری نسبت به ارقام کیمیا و زیبا داشتند. با توجه به این‌که کشت عدس در زمین‌های دیم انجام می‌شود و استفاده از ارقام متحمل به تنش خشکی جهت کاشت به‌منظور افزایش عملکرد و محصول ضروری است، استفاده از رقم رباط به جای سایر ارقام مورد استفاده در شرایط دیم پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عدس، پلی اتیلن گلایکول، جوانه‌زنی، خشکی

۱- عضو هیئت علمی گروه زیست‌شناسی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان
۲- استادیار گروه زیست‌شناسی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان
۳- عضو هیئت علمی گروه ریاضی و آمار دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان
* نویسنده مسئول: hossinzadeh_tmu@yahoo.com

مقدمه

حبوبات با توجه به خصوصیات زراعی و غذایی قابل ملاحظه نظیر توانایی جوانه‌زنی بذرها در خاک‌های فقیر و نه چندان حاصلخیز، افزایش حاصلخیزی خاک با تثبیت نیتروژن، غنی از منابع پروتئینی، مواد مغذی (پتاسیم، فسفر، آهن و روی)، ویتامین‌ها و همچنین اسید آمینه‌های لوسین و تریپتوفان اهمیت ویژه‌ای در نظام‌های کشاورزی کشورهای در حال توسعه دارند (Erskine *et al*., 2009). در این بین عدس از مهم‌ترین حبوبات بوده و نقش بسزایی در تغذیه و سلامت انسان دارد (Parsa *et al*., 2013). این گیاه با نام علمی *Lens culinaris* Medik، خانواده *Fabaceae*، تعلق دارد (McVicar *et al*., 2005). کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک، مهم‌ترین فاکتور تهدیدکننده جوانه‌زنی بذرهای عدس است، به‌طوری‌که اغلب حبوبات به ویژه عدس در مرحله استقرار گیاهچه در مزرعه حساس بوده و در بیش‌تر موارد جوانه‌زنی آن‌ها به ذخایر رطوبتی خاک وابسته است (Ahmadpour *et al*., 2015). تنش خشکی در کاهش خصوصیات جوانه‌زنی از قبیل درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، شاخص بنیه بذر و آندوسپرم مصرفی نقش بسزایی در حبوبات دارد (Rahbarian *et al*., 2012; Ahmadpour *et al*., 2015). تنش خشکی با افزایش میزان گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS) نظیر رادیکال سوپر اکسید (O2-)، پراکسید هیدروژن (H2O2) و رادیکال هیدروکسیل (OH-) منجر به تغییر فعالیت‌های فیزیولوژیک بذر در جهت کاهش توانایی جوانه‌زنی می‌شود (Mensah *et al*., 2006; Nonogaki *et al*., 2010; Hosseinzadeh *et al*., 2015). از موثرترین عوامل برای مقابله با تنش خشکی، بهبود روش‌های زراعی و دستیابی به ارقام متحمل برای کشت است، بنابراین بررسی اثرات تنش خشکی و شناسایی ارقام متحمل و حساس به تنش خشکی در گیاه عدس از اهمیت زیادی برخوردار است (Kafi *et al*., 2005). مطالعات مختلف نشان داده است که جوانه‌زنی از مراحل بحرانی در گیاهان است، بدین صورت که بالا بردن توانایی جوانه‌زنی بذرها در شرایط تنش خشکی منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه، استقرار مناسب گیاهچه‌ها و ایجاد یک سیستم ریشه‌ای قوی می‌شود (Zakaria *et al*., 2009). جوانه‌زنی بذر با جذب آب شروع می‌شود و با ظاهر شدن جنین کامل می‌شود. در اکثر گونه ها ابتدا ریشه‌چه ظاهر می‌شود و بذر به عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته می‌شود (Nonogaki *et al*., 2010). پتانسیل آب محیط، تأثیر مستقیمی بر سرعت جذب آب و در نتیجه جوانه‌زنی گیاه دارد (Gamze *et al*., 2005). یک روش مناسب در مرحله جوانه‌زنی جهت انتخاب ارقام حساس و متحمل به تنش خشکی، مطالعه واکنش‌های ارقام گیاه مورد نظر در شرایط تنش خشکی مصنوعی (ناشی از پلی اتیلن گلایکول) می‌باشد (Kafi *et al*., 2005). برقراری پتانسیل آب لازم در محیط خاک، بسیار مشکل است لذا در آزمایشگاه با استفاده از پلی اتیلن گلایکول شرایطی مشابه با شرایط تنش خشکی در خاک می‌توان ایجاد کرد (Michel and Kaufman, 1976). پلی اتیلن گلایکول ماده‌ای با جرم ملکولی بالا و غیرسمی است که از طریق تغییر درتعادل اسمزی، جذب آب را کاهش می‌دهد و نیز در بافت‌های گیاه نفوذ نمی‌کند لذا برعکس موادی همچون کلرید سدیم، مانیتول و ساکارز باعث صدمه به گیاه نمی‌شوند (Emmerich and Hardegree, 1991). حداقل پتانسیل آب مورد نیاز برای آغاز فرآیند جوانه‌زنی بذر در ارقام گیاه عدس متفاوت است و تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و نوع رقم مورد استفاده است (Parsa *et al*., 2013). بنابراین با بررسی مهم‌ترین پارامترهای جوانه‌زنی در شرایط کنترل شده می‌توان ارقام حساس و متحمل به تنش خشکی جهت کشت را شناسایی کرد.

با توجه به کاهش منابع آب زیر زمینی و کمبود آن استفاده از ارقام متحمل جهت کشت گیاه عدس در استان خوزستان ضروری است. متاسفانه اطلاعات در ارتباط با ارقام متحمل و حساس عدس مورد استفاده در این استان محدود است، به این منظور این مطالعه با هدف بررسی اثرات تنش خشکی بر بنیه و تعیین مقاومت و حساسیت ارقام عدس به تنش خشکی به‌منظور انتخاب ارقام مناسب جهت کشت در مزارع استان خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در آزمایشگاه تحقیقات فیزیولوژی گیاهی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان در سال ۱۳۹۴ انجام شد. اولین عامل مورد بررسی ۴ رقم پرکاربرد

از گیاه عدس در ایران به‌نام گچساران، کیمیا، زیبا و رباط بود که بذر این ارقام از پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد و ایستگاه تحقیقاتی گچساران تهیه شدند. دومین عامل مورد بررسی سطوح تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول در ۴ سطح صفر، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال بود که طبق دستورالعمل موجود در جدول ۱ ایجاد شد (Michael and Kaufman, 1976). برای پتانسیل صفر بار (شاهد) از آب مقطر استفاده شد. آزمایش‌های مقدماتی و مطالعات گذشته مبنای انتخاب این سطوح بود اما با توجه به این‌که در هیچ یک از ارقام مورد استفاده در پتانسیل آب ۰/۹- مگاپاسکال جوانه‌زنی مشاهده نشد، لذا این سطح از آزمایش حذف شد.

جدول ۱- نحوه ایجاد پتانسیل خشکی

Table 1. Formation method of drought potential per experimental unit

نوع محلول (پتانسیل خشکی) Solution type (Drouth potential)	PEG 6000	مقدار محلول Content solution
-0.3 MPa	55.2 g	400 ml
-0.6 MPa	75.6 g	400 ml
-0.9 MPa	88.8 g	400 ml

برای انجام این آزمایش ابتدا کلیه بذرها و ظروف ضدعفونی شدند، بدین صورت که پتری‌ها و بستر بذر (کاغذ واتمن شماره ۱) به‌عنوان یک واحد آزمایشی در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت استریل شدند و سپس بذرهای مورد استفاده نیز به مدت ۳۰ ثانیه با قارچ‌کش بنومیل دو در هزار ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند (Hosseinzadeh, 2015). در هر واحد آزمایشی ۲۵ عدد بذر قرار داده شد و سپس ۸ میلی‌لیتر از محلول تهیه شده سطوح خشکی به آن اضافه گردید. به‌منظور کاهش تبخیر محلول افزوده شده و رعایت شرایط یکسان برای تمامی تیمارها، درب پتری‌ها با پارافیلم بسته و وزن اولیه آن‌ها ثبت گردید، سپس در ژرمیناتور با دمای ۲۵ °C و رطوبت ۴۵ درصد گذاشته شدند (Ahmadpour *et al*., 2015). بررسی تیمارها به‌طور روزانه یک‌بار و به مدت ۱۰ روز انجام شد و تعداد بذرهای جوانه‌زده (دارای گیاهچه‌های عادی) ثبت شدند (ISTA, 2009) درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، میانگین مدت جوانه‌زنی و بنیه با استفاده از روابط ذکر شده در جدول ۲ اندازه‌گیری شد.

پس از برداشت پتری‌دیش‌ها در ۱۴ روز پس از آغاز آزمایش، ریشه‌چه و ساقه‌چه از بذر جدا شدند و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به وسیله خط کش اندازه‌گیری شد. صفات مربوط به ریشه‌چه شامل سطح و قطر ریشه‌چه بوسیله دستگاه WINRHIZO Pro V ساخت کانادا اندازه‌گیری شد (Regent, Instruments Inc., QC, Canada). ساقه‌چه و ریشه‌چه با قرار گرفتن در دستگاه آون (دمای ۷۰ °C به مدت ۴۸ ساعت) خشک شدند و سپس وزن خشک آن ها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. میزان آندوسپرم مصرفی بذرها از طریق محاسبه اختلاف وزن آن‌ها قبل و بعد از جوانه‌زنی محاسبه شد (Hosseinzadeh, 2015).

آنالیزهای آماری بوسیله نرم‌افزار MASTAT-C انجام شد. به‌منظور تعیین سطح معنی‌داری شاخص‌های جوانه-زنی در برهم‌کنش ارقام گیاه نخود و تنش خشکی از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p\leq0.05$) مقایسه شدند.

جدول۲- روابط محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی

Table 2- Equations of germination indices

شماره معادله (Equation number)	شاخص (Index)	رابطه (Equation)	منابع مورد استفاده (References)
(۱)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	$GP\,\% = \sum \frac{ni}{N} \times 100$	(Agrawal, 1991)
(۲)	سرعت جوانه‌زنی Germination speed	$GS = \sum \frac{ni}{ti}$	(Agrawal, 1991)
(۳)	میانگین مدت جوانه زنی Mean germination time	$MGT = \frac{\sum (ti \times ni)}{\sum n}$	(Kulkarni *et al*., 2007)
(۴)	بنیه جوانه زنی Germination vigour	$GV = \frac{GR \times mean(PL + RL)}{100}$	(ISTA, 2009)
(۵)	شاخص بنیه بذر Seed vigour index	$SV = \frac{GP \times mean(PL + RL)}{100}$	(Agrawal, 1991)

n = کل بذر جوانه زده طی دوره، ni = تعداد بذرهای جوانه زده در یک فاصله زمانی مشخص، ti = تعداد روزهای پس از شروع جوانه زنی، N = تعداد بذرهای کاشته شده، PL = طول ساقه چه، RL = طول ریشه چه

n=Total of germinated seeds during period, ni = The number of germinated seeds at an interval of distinct period; ti, ti = The number of days after the start of germination, N =Number of sowed seeds, PL = Plumule length, RL = Radicle Length

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل رقم و تنش بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای عدس معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها در این ارتباط نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، رقم رباط با ۹۷/۳۳ درصد بیش‌ترین و رقم زیبا با ۷۳/۳۳ درصد کم‌ترین میزان درصد جوانه‌زنی را داشتند. درصد جوانه‌زنی ارقام زیبا و کیمیا تفاوت معنی‌داری باهم نداشت. تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال منجر به کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی ارقام زیبا و کیمیا در مقایسه با ارقام گچساران و رباط شد. ارقام رباط و گچساران به‌ترتیب با ۸۰/۶۷ و ۷۲/۶۷ درصد بیش‌ترین میزان درصد جوانه‌زنی را داشتند که در مقایسه با یکدیگر رقم گچساران کاهش معنی‌داری داشت. تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال منجر به کاهش معنی‌دار این صفت در ارقام زیبا (۴۸/۳۳ درصد)، کیمیا (۵۱/۳۳ درصد) و گچساران (۵۵ درصد) در مقایسه با رقم رباط (۶۵ درصد) شد (جدول ۴). نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش خشکی، رقم رباط بیش‌ترین میزان سرعت جوانه‌زنی را داشت که در مقایسه با دیگر ارقام این افزایش معنی‌دار بود اما رقم زیبا کم‌ترین میزان این صفت را داشت که اختلاف معنی‌داری با رقم کیمیا نداشت. در تیمارهای تنش خشکی ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال، سرعت جوانه‌زنی ارقام رباط و گچساران تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند اما در مقایسه با ارقام زیبا و کیمیا افزایش معنی‌داری داشتند (جدول ۴).

سرعت و درصد جوانه‌زنی از مهم‌ترین صفات جوانه‌زنی به‌منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی می‌باشند، به‌طوری‌که ارقام دارای سرعت و درصد جوانه‌زنی بالاتر در شرایط تنش خشکی، از شانس بیش‌تری برای رشد برخوردار هستند و به‌عنوان ارقام متحمل‌تر معرفی می‌شوند (Hosseinzadeh, 2015). تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول منجر به آسیب‌های احتمالی نظیر کاهش فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر، دناتوره شدن ساختمان سه بعدی آنزیم‌ها (بویژه آنزیم آلفا-آمیلاز) می‌شود که علت اصلی کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در گیاهان است (Armand *et al*., 2015). کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی در بررسی‌های انجام شده بر روی سایر گیاهان نظیر نخود فرنگی و لوبیا

نیز گزارش شده است (Roche *et* Gamze *et al*., 2005; *al*., 1997). کاهش جذب آب توسط بذر در اثر تنش خشکی منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی شده که در نهایت با تأثیر بر مکانیسم‌های فیزیولوژیک جوانه‌زنی، سرعت انجام این فرآیندها را کاهش می‌دهد و درنتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Ahmadpour *et al*., 2015).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های جوانه‌زنی ارقام گیاه نخود در سطوح مختلف تنش خشکی

Table 3. Analysis of variance of germination characteristics of lentil cultivars in different levels of drought stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Degree of freedom	درصد جوانه‌زنی Germintion percentage	سرعت جوانه‌زنی Germintion rate	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean germination time	بنیه جوانه‌زنی Germination vigor	طول ساقه‌چه Plumule length	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight
ارقام عدس Lentil cultivars(a)	3	666.028**	36.080**	9.569**	0.673**	3.866 **	4.665**
تنش خشکی Drought stress (b)	2	2656.361**	104.411**	31.483**	3.467**	15.814**	107.145**
a×b/رقم×تنش	6	15.917 *	3.564 *	0.662 *	0.171 *	0.170 *	0.911 *
Error/خطای آزمایش	24	18.528	0.552	0.205	0.011	0.149	0.140
CV /ضریب تغییرات	-	6.15	9.60	4.60	13.15	13.09	8.14

ns ، * ، ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی ارقام گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

Table 4. Mean comparison of germination indices of lentil cultivars under different levels of drought stress

تیمارها/ ارقام گیاه عدس Treatments/ Lentil cultivars	درصد جوانه‌زنی Germintion percentage (percent/day)	سرعت جوانه‌زنی Germintion speed (Seed/day)	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean germination time	بنیه جوانه‌زنی Germination vigor
بدون تنش خشکی (صفر مگاپاسکال) /Non-drought stress				
Gachsaran	89.33 b	10.44 b	12.21 b	1.21 b
Kimia	78.67 cd	9.37 bc	10.71 c	0.94 c
Ziba	73.33 cd	8.25 c	10.27 cd	0.81 cd
Robat	97.33 a	15.15 a	13.60 a	2.01 a
تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال / Drought stress at -0.3 MPa				
Gachsaran	72.67 d	8.57 c	9.85 d	0.61 e
Kimia	64.67 e	6.40 d	8.47 f	0.37 f
Ziba	63.33 e	6.09 d	8.32 f	0.35 f
Robat	80.67 c	8.93 c	10.17 cd	0.73 de
تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال / Drought stress at -0.6 MPa				
Gachsaran	55 f	5.88 d	8.92 ef	0.23 fg
Kimia	51.33 f	3.31 e	8.11 f	0.09 g
Ziba	48.33 f	3.57 e	8.14 f	0.12 g
Robat	65 e	6.90 d	9.48 de	0.33 f

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند مطابق آزمون چند دامنه ای دانکن $p \leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with one same letter in each column are not significantly differences at $p \leq 0.05$ according to Duncan's

در این مطالعه نیز سطوح تنش خشکی ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال منجر به کاهش معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی نسبت به شرایط بدون تنش شد. تنش خشکی با کاهش تولید و فعالیت هورمون ژیبرلین از دو طریق منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود: ۱- کاهش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز ۲- مختل‌شدن تقسیمات سلولی (Hosseinzadeh, 2015). در مطالعات مشاهده شد که بذرهای گیاهان در مواجه با تنش خشکی با کاهش میزان ژیبرلین و عدم توانایی در شکست خواب بذر روبه‌رو می‌شوند (Alivand *et al*., 2012; Eisvand *et al*.,

(2012). در نتایج مشابه با این مطالعه نیز گزارش شد که اعمال تنش خشکی بر روی ژنوتیپ‌های عدس منجر به کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی از قبیل سرعت و درصد جوانه‌زنی شد، این محققان علت را به واکنش‌های متفاوت ارقام عدس نسبت به تنش خشکی از جمله جذب کم‌تر آب در ارقام حساس مرتبط دانسته‌اند (Kafi *et al*., 2005).

بنیه و میانگین مدت جوانه‌زنی

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهم‌کنش ارقام نخود و تنش خشکی بر بنیه و میانگین مدت جوانه‌زنی معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، بیش‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی به رقم رباط اختصاص داشت که در مقایسه با سایر ارقام این افزایش معنی‌دار بود. کم‌ترین میزان این صفت نیز در رقم زیبا مشاهده شد که با رقم کیمیا تفاوت معنی‌داری نداشت. میانگین مدت جوانه‌زنی ارقام رباط و گچساران در تیمار ۰/۳- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند اما در مقایسه با ارقام زیبا و کیمیا این صفت افزایش معنی‌داری داشت. تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال منجر به کاهش معنی‌دار میانگین مدت جوانه‌زنی بذرهای زیبا و کیمیا در مقایسه با رباط شد (جدول ۴). مقایسه میانگین بنیه ارقام عدس نشان داد که رقم رباط در شرایط بدون تنش بیش‌ترین و رقم زیبا کم‌ترین میزان این صفت را داشتند. در تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال نیز رقم رباط بیش‌ترین بنیه را داشت که تفاوت معنی‌داری با رقم گچساران نداشت. بنیه بذرهای زیبا و کیمیا تحت تأثیر تنش ۰/۳- مگاپاسکال نسبت به دیگر ارقام کاهش معنی‌داری داشت. در تیمار ۰/۶- مگاپاسکال نیز مشاهده شد که بنیه بذرهای رقم رباط در مقایسه با ارقام زیبا و کیمیا افزایش معنی‌داری دارد اما نسبت به رقم گچساران تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

بنیه، میانگین زمان جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی از جمله پارامترهای تعیین کیفیت بذر محسوب می‌شوند (Soltani *et al*., 2006). بنیه بذر ارتباط مستقیم با طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و سرعت جوانه‌زنی دارد (ISTA, 2009). کاهش بنیه در ارقام عدس در شرایط تنش خشکی ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال در مقایسه با شرایط بدون تنش را می‌توان به کاهش سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه نسبت داد. آزمایشات مختلف بیانگر این مطلب است که در شرایط تنش خشکی، بنیه بذرهای متحمل به تنش افزایش می‌یابد و ارقامی که بتوانند در شرایط تنش خشکی، طول گیاهچه (مجموع طول ساقه‌چه و ریشه‌چه) خود را بیش‌تر افزایش دهند یا افت طول گیاهچه در آن‌ها با افزایش تنش خشکی کم باشد، ارقام متحمل در برابر تنش خشکی به شمار می‌آیند (Kafi *et al*., 2005; Bayat *et al*., 2014). نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که ارقام رباط و گچساران در شرایط تنش ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال در مقایسه با ارقام کیمیا و زیبا بنیه بیش‌تری دارند و نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر اند. بذرهای گیاهان در مواقعی که با تنش خشکی رو به رو می‌شوند، با کاهش زمان جوانه‌زنی و سبز شدن سریع‌تر سعی در فرار از این شرایط دارند (Hosseinzadeh, 2015). مطالعات نشان داده است که ارقام حساس به تنش‌های محیطی با توجه به کاهش شدید درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی را کاهش می‌دهند (Demir Kaya *et al*., 2006). کاهش مدت زمان جوانه‌زنی با استقرار نامناسب گیاه در محیط کشت همراه است، در این ارتباط مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های متحمل گندم به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی و شوری نشان داد که مدت زمان جوانه‌زنی بالاتر منجر به استقرار مناسب، یکنواخت و بهبود محصول در این گیاه می‌شود (Soltani *et al*., 2006). در این مطالعه مشاهده شد که ارقام رباط و گچساران در مقایسه با ارقام زیبا و کیمیا مدت زمان جوانه‌زنی و بنیه بیش‌تری دارند که نشان‌دهنده مقاومت این ارقام نسبت به تنش خشکی است (جدول ۴). تنش خشکی با عواملی نظیر کاهش تولید ژیبرلین، کاهش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز، دناتوره‌شدن پروتئین‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌های محافظت کننده در برابر رادیکال‌های اکسیژن تولید شده (ROS) می‌تواند نقش مهمی در کاهش مدت زمان و بنیه داشته باشد (Ahmadpour *et al*., 2015).

طول و وزن خشک ساقه‌چه

اثر متقابل رقم و تنش بر طول و وزن خشک ساقه‌چه ارقام عدس معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها در ارتباط با طول ساقه‌چه نشان داد که در شرایط بدون تنش ارقام رباط و گچساران به ترتیب با ۵/۲۰ و ۴/۳۳

سانتی‌متر بیش‌ترین و ارقام زیبا و کیمیا به‌ترتیب با ۳/۲۰ و ۳/۵۰ سانتی‌متر کم‌ترین میزان طول ساقه‌چه را داشتند. تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال منجر به کاهش معنی‌دار این صفت در ارقام زیبا (۲/۶۳ سانتی‌متر) و کیمیا (۲/۶۶ سانتی‌متر) نسبت به رقم رباط (۳/۱۶ سانتی‌متر) شد. در تیمار تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال مشاهده شد طول ساقه‌چه ارقام رباط و گچساران در مقایسه با زیبا و کیمیا کم‌تر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته است، به‌طوری‌که ارقام رباط و گچساران به‌ترتیب با ۲/۴۳ و ۲/۱۰ سانتی‌متر بیش‌ترین و ارقام زیبا و کیمیا به‌ترتیب با ۱/۳۳ و ۱/۲۰ سانتی‌متر کم‌ترین میزان طول ساقه‌چه را داشتند (جدول ۶).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های جوانه‌زنی ارقام گیاه نخود در سطوح مختلف تنش خشکی

Table 5. Analysis of variance of germination characteristics of lentil cultivars in different levels of drought stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Degree of freedom	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	اندوسپرم مصرفی Consumed endosperm	طول ریشه‌چه Radicle length	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	سطح ریشه‌چه Radicle area	قطر ریشه‌چه Radicle diameter
ارقام عدس Lentil cultivars(a)	3	24.025**	0.511 ns	3.623**	15.106**	0.001 **	0.0001**
تنش خشکی Drought stress (b)	2	169.844**	28.701**	82.401**	66.518**	0.014**	0.001**
a×b /رقم×تنش	6	2.228 *	0.181 *	0.044 *	0.363 *	0.0002 *	0.0003 ns
Error /خطای آزمایش	24	0.533	0.209	0.118	0.237	0.0001	0.0002
CV /ضریب تغییرات	-	12.19	9.8	7.91	8.09	4.53	10.63

ns ، * ، ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

تجزیه داده‌ها (جدول ۶) در ارتباط با وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که تنش خشکی شدید (۰/۶- مگاپاسکال) و تنش خشکی متوسط (۰/۳- مگاپاسکال) منجر به کاهش معنی‌دار این صفت در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه در شرایط بدون تنش خشکی با ۹/۵۷ و ۷/۸۵ میلی‌گرم به‌ترتیب در ارقام رباط و گچساران مشاهده شد که با دیگر ارقام اختلاف معنی‌داری داشتند. کم‌ترین میزان این صفت با ۶/۷۴ و ۶/۷۷ میلی‌گرم به ارقام زیبا و کیمیا اختصاص داشت. در تیمار ۰/۳- مگاپاسکال وزن خشک ساقه‌چه در ارقام زیبا و کیمیا به صورت معنی‌داری نسبت به ارقام رباط و گچساران کاهش یافت اما در تیمار ۰/۶- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری بین ارقام گیاه عدس مشاهده نشد (جدول ۶).

فرایندهای مرتبط با رشد طولی گیاهچه در مرحله جوانه‌زنی نظیر انبساط و طویل‌شدن سلول‌ها، سنتز کربوهیدرات‌های دیواره سلولی، تولید مواد غذایی و هورمونی مورد نیاز برای توسعه سلول به تنش خشکی حساس می‌باشد (Wenkert *et al*., 1978). کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی با کاهش انتقال مواد غذایی مورد نیاز برای رشد، به محور زیرلپه (هیپوکوتیل) مرتبط است (Hosseinzadeh, 2015). علاوه بر آن گزارش شده است که اختلال در جذب آب توسط بذر باعث کاهش ترشح هورمون‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه کاهش رشد گیاهچه شامل ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (Kafi *et al*., 2005). کاهش رشد ساقه‌چه در ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش خشکی گزارش شد که محققان علت آن را کاهش فعالیت آنزیم‌ها و اختلال در فرآیند جوانه‌زنی نسبت دادند (Bibi *et al*., 2009). در این مطالعه افزایش رشد طولی ساقه‌چه در رقم رباط در شرایط تنش ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال نسبت به ارقام زیبا و کیمیا معنی‌دار بود. با توجه به نتایج فوق می‌توان اظهار داشت که ارقام رباط و گچساران بدلیل کاهش کم‌تر طول ساقه‌چه، ژنوتیپ‌های متحمل‌تری در شرایط تنش خشکی هستند (جدول ۶). تجمع ماده خشک و رشد طولی در ساقه‌چه بذرهای جوانه‌زده همبستگی مثبت و بسیار بالایی باهم دارند، به‌طوری‌که بذرهای متحمل‌تر به تنش با طول ساقه‌چه بیش‌تر دارای وزن خشک ساقه‌چه بالاتری نیز بودند (Rahbarian *et al*., 2012). در مطالعات مشابه بر روی لوبیا و عدس نیز محققان علت افزایش وزن خشک ساقه‌چه را به افزایش رشد طولی ساقه‌چه نسبت دادند (Armand *et al*., 2015; Ahmadpour *et al*., 2015).

از مهم‌ترین دلایل کاهش وزن خشک ساقه‌چه در شرایط تنش ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال در ارقام عدس نسبت به شرایط بدون تنش خشکی علاوه بر کاهش طول ساقه‌چه در این سطوح، می‌توان به کاهش انتقال مواد غذایی به هیپوکوتیل نیز اشاره کرد (Ganjeali *et al*., 2008). در بررسی خصوصیات جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس نخود و عدس به تنش خشکی گزارش شد، کاهش انتقال مواد غذایی از آندوسپرم به هیپوکوتیل و کاهش جذب آب توسط بذر در محیط دارای پلی اتیلن گلایکول عامل اصلی کاهش طول و وزن خشک ساقه‌چه در ژنوتیپ‌های حساس است (Kiani *et al*., 1998; Bibi *et al*., 2009). در این مطالعه در شرایط بدون تنش و تیمار ۰/۳- مگاپاسکال ارقام رباط و گچساران در مقایسه با سایر ارقام وزن خشک ساقه‌چه بیش‌تری داشتند (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین ویژگی‌های ساقه‌چه و برخی شاخص‌های جوانه‌زنی ارقام گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

Table 6. Mean comparison of plumule features and some germination indices of lentil cultivars under different levels of drought stress

تیمارها/ ارقام گیاه عدس Treatments/ Lentil cultivars	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight (mg)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	اندوسپرم مصرفی Consumed endosperm (mg)
بدون تنش خشکی (صفر مگاپاسکال) /Non-drought stress				
Gachsaran	4.33 b	7.85 b	10.13 b	6.11 a
Kimia	3.50 c	6.77 c	7.94 c	6.04 ab
Ziba	3.20 cd	6.74 c	7.26 cd	5.32 abc
Robat	5.20 a	9.57 a	13.01 a	5.87 ab
تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال / Drought stress at -0.3 MPa				
Gachsaran	3.16 cd	4.54 d	5.23 e	5.19 bc
Kimia	2.66 de	3.82 e	3.84 f	4.97 c
Ziba	2.63 de	3.81 e	3.72 f	4.85 c
Robat	3.66 c	4.95 d	6.46 d	5.64 abc
تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال / Drought stress at -0.6 MPa				
Gachsaran	2.10 e	1.87 f	2.30 gh	2.95 d
Kimia	1.20 f	1.63 f	1.47 h	2.64 d
Ziba	1.33 f	1.49 f	1.41 h	2.83 d
Robat	2.43 e	2.14 f	3.42 fg	3.12 d

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند مطابق آزمون چند دامنه ای دانکن $p\leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.
The means with one same letter in each column are not significantly differences at $p\leq 0.05$ according to Duncan's

آندوسپرم مصرفی و شاخص بنیه بذر

برهم‌کنش ارقام گیاه عدس و تنش خشکی از نظر شاخص بنیه بذر و آندوسپرم مصرفی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که پتانسیل منفی آب در سطح ۰/۶- مگاپاسکال (تنش شدید) منجر به کاهش معنی‌دار شاخص بنیه بذر در تمامی ارقام گیاه عدس در مقایسه با شرایط بدون تنش شد (جدول ۶). در اثرات متقابل رقم و تنش بر شاخص بنیه بذر مشاهده شد که در شرایط بدون تنش و تنش ۰/۳- مگاپاسکال، رقم رباط بیش‌ترین میزان این شاخص را داشت که در مقایسه با سایر ارقام این افزایش معنی‌دار بود. رقم زیبا در هر دو تیمار بدون تنش و تنش متوسط (۰/۳- مگاپاسکال) کم‌ترین میزان شاخص بنیه بذر را داشت که با رقم کیمیا تفاوت معنی‌داری نداشت. در تیمار ۰/۶- مگاپاسکال، رقم رباط بیش‌ترین میزان شاخص بنیه بذر را داشت که این افزایش در مقایسه با سایر ارقام به جز گچساران معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات متقابل بر میزان آندوسپرم مصرفی ارقام گیاه عدس نشان داد که در هر ۳ تیمار تنش خشکی (بدون تنش، ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال) ارقام عدس با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند اما مقایسه بین سطوح تنش خشکی نشان داد که تنش خشکی شدید منجر به کاهش معنی‌دار این صفت در کلیه ارقام عدس نسبت به شرایط بدون تنش شد (جدول ۶).

آندوسپرم مصرفی پارامتری است که نشان‌دهنده استفاده جوانه ایجاد شده از مواد غذایی ذخیره شده در بذر است (Hosseinzadeh, 2015). با توجه به این‌که جوانه حاصل از بذر فاقد برگ‌های اولیه به‌منظور تامین مواد غذایی از طریق فتوسنتز است، به این منظور ذخایر اندوسپرم داخل بذر مهم‌ترین منبع تغذیه‌ای به شمار می-

آید (Kafi *et al*., 2005). در یک مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های نخود متحمل و حساس به تنش خشکی مشاهده شد که در سطوح تنش خشکی بالا (۰/۶- و ۰/۹ مگاپاسکال) به دلیل کاهش درصد نهایی جوانه‌زنی، کاهش رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه مصرف آندوسپرم کاهش یافت (Rahbarian *et al*., 2012). در این مطالعه نیز مشاهده شد که تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال در مقایسه با شرایط بدون تنش منجر به کاهش مصرف اندوسپرم در تمامی ارقام عدس شد. از شاخص بنیه بذر به‌عنوان یکی از صفات گزینشی نسبت به تنش‌های محیطی برای انتخاب بذرهای متحمل و حساس در گیاهان به منظور کاشت استفاده می‌شود (Mensah *et al*., 2006). شاخص بنیه بذر ارتباط مستقیم با طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و درصد جوانه‌زنی دارد (Agrawal, 1991)، شاخص بالاتر بنیه بذر در شرایط تنش‌های محیطی (خشکی، شوری و گرما) نشان‌دهنده کیفیت بهتر بذر در فرآیندهای جوانه‌زنی است به‌طوری‌که این بذرها در مقایسه با بذرهای دارای بنیه کم طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی بیش‌تری دارند، بنابراین می‌توان آن‌ها را به‌عنوان بذر متحمل به تنش معرفی کرد (Opoku *et al*., 1996). نتایج این مطالعه نشان داد که ارقام رباط و گچساران با داشتن درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه بالاتر نسبت به ارقام کیمیا و زیبا دارای شاخص بنیه بذر بالاتری بودند که نشان‌دهنده تحمل بیش‌تر این ارقام نسبت به تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول است (جدول ۶).

خصوصیات ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل رقم و تنش از نظر طول، سطح و حجم ریشه‌چه معنی‌دار بود اما بر قطر ریشه‌چه معنی‌دار نبود (جدول ۵). نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که طول و وزن خشک ریشه‌چه در تمامی ارقام عدس تحت تأثیر تنش خشکی شدید کاهش معنی‌داری داشت. بررسی طول ریشه‌چه در شرایط بدون تنش خشکی نشان داد که ارقام رباط و گچساران به ترتیب با ۸/۱۶ و ۷/۳۳ سانتی‌متر در مقایسه با ارقام زیبا (۶/۷۰ سانتی‌متر) و کیمیا (۶/۶۰ سانتی‌متر) افزایش معنی‌داری داشتند. در تیمار تنش ۰/۳- مگاپاسکال مشاهده شد که این صفت در ارقام رباط و گچساران کم‌تر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند به‌طوری‌که طول ریشه‌چه در این ارقام نسبت به ارقام زیبا و کیمیا افزایش معنی‌داری داشت. در تیمار ۰/۶- مگاپاسکال، طول ریشه‌چه در رقم رباط (۲/۸۰ سانتی‌متر) نسبت به دیگر ارقام افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۷). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که رقم رباط با ۱۰/۳۰ میلی‌گرم در تیمار بدون تنش خشکی بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه‌چه را داشت که در مقایسه با سایر سطوح معنی‌دار بود. کم‌ترین میزان این صفت نیز به رقم زیبا (با ۶/۹۵ میلی‌گرم) تعلق داشت که با رقم کیمیا تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج وزن خشک ریشه‌چه ارقام گیاه عدس در تیمارهای ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال مشابه بود، به‌صورتی‌که ارقام رباط و گچساران وزن خشک بیش‌تری در مقایسه با ارقام زیبا و کیمیا داشتند و این افزایش در هر دو شرایط معنی‌دار بود (جدول ۷).

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به سطح ریشه‌چه نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، ارقام گچساران، زیبا و کیمیا تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند اما رقم رباط با ۰/۲۱۰ سانتی‌متر مربع بیش‌ترین میزان سطح ریشه‌چه را داشت که به جز رقم گچساران با دیگر ارقام مورد استفاده اختلاف معنی‌داری داشت. در تیمار تنش ۰/۳- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری بین ارقام عدس مشاهده نشد. در تیمار تنش ۰/۶- مگاپاسکال رقم رباط با ۰/۱۴۴ سانتی‌متر مربع بیش‌ترین سطح ریشه‌چه را داشت که به جز رقم زیبا با دیگر ارقام اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). پلی اتیلن گلایکول با از دسترس خارج نمودن آب مورد نیاز بذر و ایجاد تنش خشکی منجر به کاهش فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک جوانه‌زنی شده که این رویداد در نهایت با کاهش رشد طولی، وزن خشک و سطح ریشه‌چه همراه است (Khalid *et al*., 2001; Gamze *et al*., 2005). کاهش آب قابل دسترس در محیط کشت بذر به‌دلیل تحت تأثیر قرار دادن تغییرات فشار آماس در سلول‌های ریشه‌چه، منجر به توقف رشد ریشه‌چه می‌گردد، بدین صورت که با کمبود آب پیوندهای موجود در دیواره سلول‌های ریشه‌چه سخت‌تر شده و در نتیجه توسعه‌پذیری، رشد طولی و تجمع ماده خشک ریشه‌چه محدود می‌شود (Hosseinzadeh, 2015). ریشه‌ها قبل از اندام

های دیگر گیاه از بذر بیرون می‌آیند و در نتیجه قبل از اندام‌های دیگر در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند، بنابراین اندازه طول و وزن خشک ریشه‌چه معیار مناسبی برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی می‌باشد (Mensah *et al*., 2006). کاهش طول و وزن خشک ریشه‌چه یکی از رخدادهای رایجی است که در اکثر گیاهان در شرایط تنش خشکی اتفاق می‌افتد، ولی شدت این کاهش بسته به ژنوتیپ و میزان مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی متفاوت است (Kalefetoglu Macar *et al*., 2009) یکی از راهبردهای مقاومت به تنش خشکی در جوانه‌های حاصل از بذر، اختصاص بیش‌تر مواد غذایی ذخیره‌ای به ریشه‌چه نسبت به ساقه‌چه است تا رشد ریشه‌چه محدود نگردد(Fabian *et al*., 2008). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش رشد بخش ریشه‌ای در ژنوتیپ‌های

جدول ۷- مقایسه خصوصیات ریشه‌چه ارقام گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

Table 7. Comparison of radicle features of lentil cultivars under different levels of drought stress

تیمارها/ ارقام گیاه عدس Treatments/ Lentil cultivars	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (mg)	سطح ریشه‌چه Radicle area (cm^2)	قطر ریشه‌چه Radicle diameter (mm^2)
بدون تنش خشکی (صفر مگاپاسکال) / Non-drought stress				
Gachsaran	7.33 b	9.37 b	0.198 ab	0.026 a
Kimia	6.60 c	7.18 c	0.189 b	0.022 a
Ziba	6.70 c	6.95 c	0.185 b	0.022 a
Robat	8.16 a	10.30 a	0.210 a	0.027 a
تنش خشکی ۰/۳- مگاپاسکال / Drought stress at -0.3 MPa				
Gachsaran	4.06 d	6.56 c	0.144 cd	0.013 a
Kimia	3.26 e	4.86 d	0.138 cde	0.010 a
Ziba	3.23 e	4.67 d	0.139 cde	0.009 a
Robat	4.56 d	7.26 c	0.153 c	0.014 a
تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال / Drought stress at -0.6 MPa				
Gachsaran	2.10 f	4.16 d	0.135 cde	0.006 a
Kimia	1.66 f	3.12 e	0.128 de	0.005 a
Ziba	1.63 f	2.80 e	0.121 e	0.005 a
Robat	2.80 e	4.92 d	0.144 cd	0.007 a

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند مطابق آزمون چند دامنه ای دانکن $p \leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with one same letter in each column are not significantly differences at $p \leq 0.05$ according to Duncan's

حساس نخود تأخیر در انتقال پروتئین از لپه عنوان شد و متعاقباً انتقال سریع‌تر پروتئین، در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی سبب رشد بهتر سیستم ریشه‌ای آن‌ها می‌گردد (Mensah *et al*., 2006). با توجه به نتایج جدول ۵ ارقام رباط و گچساران بخش ریشه‌ای (طول و وزن خشک ریشه‌چه) بیش‌تری نسبت به ارقام کیمیا و زیبا داشتند. افزایش شاخص‌های مورفولوژی ریشه‌چه از قبیل سطح، قطر و حجم ریشه‌چه، با توجه به این‌که می‌توانند در آینده به بهره‌برداری گیاه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در خاک کمک می‌کنند، بنابراین نقش بسزایی در مقاومت به تنش خشکی و انتخاب ارقام مناسب عدس به منظور کاشت در زمین‌های دیم دارند (Kiani *et al*., 1998). افزایش سطح ریشه‌چه از طریق افزایش نقاط ورودی آب و عناصر غذایی و همچنین افزایش سطح جذب می‌تواند کارایی جذب آب و عناصر غذایی را در مرحله گیاهچه‌ای افزایش دهد (Hosseinzadeh *et al*., 2012). سطح ریشه‌چه ارتباط مستقیمی با مجموع طول و وزن خشک ریشه‌چه دارد (Ganjeali *et al*., 2008)، به‌طوری‌که افزایش در طول و وزن خشک ریشه‌چه منجر به افزایش سطح ریشه‌چه می‌گردد. در این مطالعه رقم رباط در هر ۳ تیمار بدون تنش، ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال نسبت به دیگر ارقام بیش‌ترین میزان سطح ریشه‌چه را داشت که می‌توان به افزایش طول و وزن خشک ریشه‌چه نسبت داد (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

با بررسی مهم‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی ارقام عدس، رقم رباط (رقم بومی در استان خراسان شمالی) متحمل‌ترین رقم به تنش خشکی در بین ارقام مورد بررسی بود. این رقم در شرایط بدون

تنش خشکی، در تمامی صفات مورد بررسی از سایر ارقام برتر بود اما در شرایط تنش خشکی ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال اختلاف معنی‌داری از لحاظ شاخص‌های جوانه-زنی مورد بررسی بین ارقام رباط و گچساران (از ارقام اصلاحی عدس با خصوصیات زودرسی، دانه درشت و بازارپسندی) مشاهده نشد. ارقام گچساران و کیمیا مهم-ترین ارقام مورد استفاده برای کشت در استان خوزستان محسوب می‌شوند. با توجه به نتایج این مطالعه و این‌که معمولاً کشت عدس در زمین‌های دیم (با تنش خشکی همراه است) انجام می‌شود، بنابراین استفاده از ارقام متحمل در افزایش عملکرد و محصول گیاه عدس نقش بسزایی ایفا می‌کند. تحقیق حاضر استفاده از رقم رباط به جای سایر ارقام مورد استفاده در استان خوزستان (به خصوص کیمیا و زیبا) را پیشنهاد می‌دهد.

منابع

Agrawal, R.L. 1991. Seed Technology. Oxford and IBH.Publishing. 658 pp. **(Book)**

Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., Armand, N. and Fani, E. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under drought stress. Iranian Journal of Seed Research, 2: 83-96. (In Persian)**(Journal)**

Alivand, R., Tavakol Afshari, R. and Sharifzade, F. 2012. Effect of gibberellin, salicylic acid and ascorbic acid on seed germination characteristics in deteriorated rape seed. Iranian Journal of Field Crop Science, 43(4): 561-571. (In Persian)**(Journal)**

Armand, N., Amiri, H. and Ismaili A. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry) under drought stress condition. Iranian Journal of Pulses Research, 6: 42-53. (In Persian)**(Journal)**

Bayat, M., Rahmani, A., Amirnia, R. and Alavi Siney, M. 2014. Determine the best method and time of priming of *Echinacea purpurea* seed in vitro and pot conditions. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 1(1): 1-15. (In Persian)**(Journal)**

Bibi, N., Hameed, A., Ali, H., Iqbal, N. and Alam, S.S. 2009. Water stress induced variations in protein profiles of germinating cotyledons from seedlings of chickpeas genotypes. Pakistan Journal of Botany, 41:731-736. **(Journal)**

Demir Kaya, M., Gamze, O., Atak, M., Çikili, Y. and Kolsarici, O. 2006. Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annus* L.). Europian Journal of Agronomy, 83: 816-814. **(Journal)**

Eisvand, H.R., Azarnia, M., Nazarin, F. and Sharafi, R. 2012. Effect of gibberellin and ABA on emergence and some physiological characters in seed and seedling of chick pea under rainfed and irrigated conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 42(4): 787-797. (In Persian)**(Journal)**

Emmerich, W.E. and Hardegree, S.P. 1991. Seed germination in polyethylen glycol solution effect of filter paper exclusion and water vapor loss. Crop Science, 31: 454-458. **(Journal)**

Erskine, W., Muehlbauer, F., Sarker, A. and Sharma, B. 2009. The Lentil Botany, Production and Uses. CAB eBooks, 450p. **(Book)**

Fabian, A., Jager, K. and Barnabas, B. 2008. Effects of drought and combined drought and heat stress on germination ability and seminal root growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Acta Biologica Szegediensis, 52: 157-159. **(Journal)**

Gamze, O.K.U., Mehmet Demir, K.Y.A. and Mehmet, A.T.A. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). Turkish Journal of Agriculture, 29: 237-242. **(Journal)**

Ganjeali, A., Parsa M. and Khatib, M. 2008. Quantifying seed germination response of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) influenced temperature and drought stress regimes. Agricultural Research, 8: 77-88. **(Journal)**

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica, 54 (1): 87-92. **(Journal)**

Hosseinzadeh, S.R. 2015. Effect of vermicompost on germination, morphophysiological and biochimical characteristics of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L., cv. Pirouz) and (*Cicer*

arietinum L., cv. Karaj) under drought stress. Ph.D Dissertation, Lorestan University, Iran. **(Thesis)**

Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A. and Ahmadpour, R. 2012. Effects of foliar application of methanol on growth and root characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. European Journal of Experimental Biology, 2 (5):1697-1702. **(Journal)**

ISTA: International Seed Testing Association. 2009. International rules for seed testing. Annexes. Seed Science and Technology, 49: 86-41. **(Journal)**

Kafi, M., Nezami, A., Hosaini, H. and Masomi A. 2005. Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research, 3: 69-80. (In Persian)**(Journal)**

Kalefetoglu Macar, T., Turan, O. and Ekmekci, Y. 2009. Effect of water deficit induced by PEG and NaCl on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stage. Journal of Science, 22: 5-14. **(Journal)**

Khalid, M.N., Iqbal, H.F., Tahir, A. and Ahmad, A.N. 2001. Germination potential of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) under saline condition. Journal of Biology Science, 4: 395-396. **(Journal)**

Kiani, L.R., Bagheri, A. and Nezami, A. 1998. Reaction of lentil genotypes to water stress caused by PEG 6000 at germination stage. Journal of Agricultural Industry, 12: 42-55. (In Persian)**(Journal)**

Kulkarni, M.G., Street, R.A. and Staden, J. V. 2007. Germination and seedling growth requirements for propagation of *Diosscorea dregeana* Dur. and Schinz-A tuberous medicinal plant. South African Journal of Botany, 44: 646-649. **(Journal)**

McVicar, R., Pearse, P., Brenzil, C., Hartly, S., Panchuk, K. and Mooleki, P. 2005. Lentil in Saskatchewan. Saskatchewan Agriculture and Food Canada Publishing, 200 pp. **(Book)**

Mensah, J.K., Obadoni, B.O., Eruotor, P.G. and Onome-Irieguna, F. 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). Africian Journal Biology, 5: 1249-1253. **(Journal)**

Michael B.E. and Kaufman, M.R. 1976. The osmotic potential of polyethylenglycol-6000. Plant Physiology, 51: 914-916. **(Journal)**

Nonogaki, H., Bassel, G.W. and Bewley, J.D. 2010. Germination-Still a mystery. Plant Science, 179: 574–581. **(Journal)**

Opoku, G., Davies, F.M., Zetrio, E.V. and Camble, E.E. 1996. Relationship between seed vigor and yield of white beans (*Phaseolos vulgaris* L). Plant Variety Seed, 9: 119-125. **(Journal)**

Parsa, M., Ganjeali, A. and Beyk Khurmizi, A. 2013. Seed germination behavior of lentil genotypes (*Lens culinaris* Medik) under temperature and drought stress regimes. Iranian Journal of Pulses Research, 4(2): 65-76. (In Persian)**(Journal)**

Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., Najafi, F. 2012. Drought stress effect on germination and seedling for drought tolerance in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under control condition. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(3): 522-531. (In Persian)**(Journal)**

Roche, C.T., Thill, D.C. and Shafii, B. 1997. Estimation of base and optimum temperatures for seed germination in common crupina (*Crupina vulgaris* L.). Weed Science, 45: 529-533. **(Journal)**

Soltani, A., Ghalipoor, M. and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling of wheat as affected by drought and salinity. Journal of Environmental and Experience Botany, 44: 614- 866. **(Journal)**

Wenkert, W., Lemon, E.R. and Sinclair, T.R. 1978. Leaf elongation and turger pressure in field-growth soybean. Agronomy Journal, 70:761-764. **(Journal)**

Zakaria, M.S., Ashraf, H.F. and Serag, E.Y. 2009. Direct and residual effects of nitrogen fertilization, foliar application of potassium and plant growth retardant on Egyptian cotton growth, seed yield, seed viability and seedling vigor. Acta Ecological Science, 29: 116-123. **(Journal)**

Selection drought tolerant cultivars of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by measuring germination parameters

Raheleh Ahmadpour[1], Nezam Armand[2], SaeedReza Hoseinzadeh[2]*, Somayeh Chashiani[3]

Received: February 6, 2016 Accepted: April 4, 2016

Abstract

Drought stress is one of the most important factors in reducing the growth and yield of lentil plants under rain-fed condition. This study was performed to determine germination percent and rate, germination vigor and mean time, consumed andosperm, vigor index, plumule length and dry weight, radicle length, area, volume, diameter and dry weight lentil cultivars under drought stress, a factorial experiment done based on completely randomized design with four replications in 2015 at research Lab for plant physiology of Khatam Alanbia University of Behbahan. Treatments consisted of lentil cultivars (Gachsaran, Kimiya, Ziba and Robat) and drought stress in four levels (0, -0.3, -0.6 and -0.9 MP). Results showed that under non-stress, Robat cultivar compared to other cultivars was superior in all traits. Under -0.3 and -0.6 MPa, Robat and Gachsaran cultivars germination rate, mean germination time, germination vigor, plumule length, radicle dry weight and seed vigor was higher than the Kimiya and Ziba cultivars. Lentil cultivation done under rain-fed conditions and use of drought tolerant cultivars for planting to enhance product and yield is essential. This study suggests that the use of Robat cultivar instead of the cultivars used in rain-fed condition.

Key words: Drought tolerant, Germination, PEG, Lentil

1. Faculty member, Biology Department, Khatam-o-Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
2. Assistant Professor, Biology Department, Khatam-o-Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
3. Faculty member, Mathematics and Statistics Department, Khatam-o-Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Email: hossinzadeh_tmu@yahoo.com