

تأثیر تنش خشکی اعمال شده توسط پلی اتیلن گلیکول بر ویژگی های فیزیولوژیک و ریخت‌شناختی جوانه زنی بذرهای عدس (*Lens culinaris*) به منظور گزینش نژادگان های متحمل به خشکی

منیژه سبک دست^{۱*}، فرشاد صالحی^۲ و احمد رضایی زاده^۳

۱. استادیار گروه تحقیقات زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۳. دانشجوی دکتری گروه تحقیقات زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۶)

چکیده

تنش خشکی از مهم ترین عامل های ایجاد اختلال در رشد و نمو گیاهان به ویژه در مرحله جوانه زنی در مناطق خشک و نیمه خشک است. عدس از جمله گیاهان با ارزش بوده و بررسی نژادگان (ژنوتیپ) هایی که بتوانند تنش خشکی را در مرحله جوانه زنی تحمل کرده و گیاهچه های بیشتری تولید کنند اهمیت دارند. بدین منظور در این تحقیق واکنش ۴۹ نژادگان عدس به تنش خشکی در مراحل جوانه-زنی در سطوح خشکی ۰ (شاهد)، ۳-، ۶- و ۹- بار که با استفاده از محلول پلی اتیلن گلیکول اعمال شده بود، در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرحی کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط آزمایشگاه در سال ۱۳۹۵ بررسی شد. صفات مورد بررسی عبارت بودند از درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، وزن خشک ساقچه چه و ریشه چه، بنية بذر و ضریب رشد ناموزون (آلومتری). نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین نشان داد، در بیشتر صفات مورد بررسی، تأثیر سطوح پتانسیل، نژادگان و اثر متقابل آنها معنی دار بوده و کاهش پتانسیل باعث کاهش میزان صفات شده است. ضریب همبستگی ساده بین صفات نشان داد، درصد جوانه-زنی بیشترین میزان همبستگی را با بنية بذر ($r=0/85^{**}$) و سرعت جوانه زنی ($r=0/80^{**}$) دارد. همچنین نتایج به دست آمده از تجزیه به عامل ها نشان داد، دو عامل جوانه زنی و صفات مربوط به ساقچه چه حدود ۶۷ درصد تغییر را توجیه می کنند. در مجموع نتایج بیانگر وجود تنوع ژنتیکی شایان توجه در بین نژادگان ها بود و با توجه به صفات مورد بررسی، نژادگان های ۶، ۴ و ۴۸ از تحمل بالایی و نژادگان های ۳۴، ۲۸ و ۴۵ تحمل پایینی نسبت به خشکی دارند.

واژه های کلیدی: پلی اتیلن گلیکول، تنش خشکی، جوانه زنی، عدس، سرعت جوانه زنی.

Effect of drought-induced stress by PEG6000 on physiological and morphological traits of Lentil (*Lens culinaris*) seed germination in order to selection of drought tolerant genotypes

Manijeh Sabokdast^{1*}, Farshad Salehi² and Ahmad Rezaizadeh³

1. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. PhD. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3. PhD. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: February 25, 2017 - Accepted: August 28, 2017)

ABSTRACT

Drought stress is one of the most important factors in arid and semiarid regions that lead to disorder in growth and development of plants especially at germination stage. Because of importance lentil, achieving genotype(s) that are capable of the drought stress at initiating growth stage is necessary. For this purpose, germination and plantlet growth of 49 genotypes were tested in drought stress conditions at four levels including 0 (control), -4, -8 and -12 bar using PEG6000 as a factorial design in randomized complete block design (RCBD) with three replications in 2016. Studied traits including: germination percentage, germination rate, root length, shoot length, dry weight of roots and dry weight of shoots and allometry factor. Data were subjected to variance analysis and mean comparison. Results indicated that in most considered traits, effect of potential levels of genotypes and their interaction were significant. Result of simple correlation coefficient analysis indicated that germination percentage has the highest correlation with vigor germination ($r=0.855$) and speed germination ($r=0.798$). Factor analysis determined that two factors (germination and root traits) accounted 67% of the total variations among genotypes. In general, results represented that considerable genetic diversity was among genotypes. Regarding the studied traits, "6, 4 and 48" genotype had high tolerance to drought stress, "34, 28" and "45" had low tolerance at germination stage.

Keywords: drought stress, germination, Lentil, Poly Ethylene Glycol (PEG), germination rate.

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

مقدمه

جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. Duman (2006) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرد، تنش خشکی درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را کاهش می‌دهد. گزارش‌های چندی در زمینه تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذرها و رشد گیاهچه وجود دارد (Salehi & Rahimi *et al.*, 2006; Far, 2010). جوانه‌زنی گونه‌های مختلف و حتی رقم‌های مختلف یک‌گونه ممکن است تحت تأثیر تنش خشکی با یکدیگر متفاوت باشند. لذا بررسی واکنش گیاهان به شدت-های مختلف تنش خشکی و شناسایی میزان مقاومت آن‌ها ضروری است. با توجه به اینکه در بیشتر موارد بافت‌های گیاهی واکنش مناسبی در محیط‌های کنترل مصنوعی پتانسیل آب (مانند محلول شکر و نمک) نشان نمی‌دهند و این مواد با دخالت در تغذیه بافت‌ها، پتانسیل اسمزی را تعدیل می‌کنند، توجه به سوی مواد با جرم مولکولی بالا که نقشی در تغذیه بافت‌ها نداشته و جذب نمی‌شوند جلب شده است (Agili *et al.*, 2012; Michel & Kaufmann, 1973). از بین این مواد، پلی‌تیلن گلیکول (PEG) به دلیل ایجاد محلولی دارای شرایط همانند طبیعی، بیشترین کاربرد را پیدا کرده است (Khakwani *et al.*, 2011). این تحقیق به منظور غربالگری و بررسی تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی ۴۹ نژادگان (ژنوتیپ) عدس از بانک ژن گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی دانشگاه تهران برای شناسایی متحمل‌ترین نژادگان‌ها نسبت به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۵ انجام شد. در این آزمایش از ۴۹ نژادگان عدس (جدول ۱) و چهار تیمار خشکی شامل ۰ (شاهد)، ۳-، ۶- و ۹- بار استفاده شد. برای ایجاد سطوح تنش خشکی از پلی-اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ برابر رابطه Michel & Kaufmann (1973) به شرح زیر استفاده شد.

$$S = -(1.18 \times 10^{-2}) C - (1.8 \times 10^{-4}) C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) CT + (8.39 \times 10^{-7}) C^2 T$$

C = غلظت پلی اتیلن گلیکول (برحسب گرم در لیتر)

عدس (*Lens culinaris Medik*) به عنوان یکی از مهم‌ترین بقولات در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود. این گیاه نقش مهمی در بهبود سلامت انسان، حیوانات و خاک دارد (Grusak *et al.*, 2009). دانه‌های عدس غنی از مواد پروتئینی و مواد مغذی (پتاسیم، فسفر، آهن و روی)، ویتامین‌ها و همچنین اسیدآمینه‌های لوسین و تریپتوفان برای تغذیه انسان است (Bamdad *et al.*, 2009). بنابراین مصرف عدس با گندم یا برنج، باعث متعادل شدن اسیدآمینه‌های ضروری برای تغذیه انسان می‌شود. عدس یکی از نخستین گیاهان اهلی شده توسط بشر است. این گیاه انواع خاک‌ها از جمله خاک‌هایی با حاصلخیزی کم را تحمل می‌کند. عامل‌های محدودکننده رشد، باعث جوانه نزدن، توسعه آهسته برگ، ماده خشک خیلی کم، شاخص برداشت پایین و قرار گرفتن در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی این گیاه می‌شود. مهم‌ترین عامل غیرزیستی تهدیدکننده عدس، تنش رطوبتی است (Grusak *et al.*, 2009).

جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس در چرخه رشدی گیاهان به‌شمار می‌آید، زیرا نقش عمده‌ای را در تعیین تراکم نهایی گیاه از خود به جا می‌گذارد. در شرایط تنش رطوبتی و شوری، جوانه‌زنی گیاه در تعیین تراکم نهایی اهمیت زیادی دارد (Livington & Zan 1990). استقرار ضعیف گیاهچه به دلیل خشکی، نبود آب کافی و وجود شوری یکی از مهم‌ترین مشکلات مناطق نیمه‌خشک از جمله کشور ایران است (Okcu *et al.*, 2005). اغلب حبوبات و از جمله عدس به کمبود آب خاک به‌ویژه در مرحله استقرار گیاهچه در مزرعه حساس بوده و در بیشتر مواقع کشت آن‌ها بر ذخایر رطوبتی خاک پس از بارندگی متکی است (Singh & Saxena, 1993). نتایج آزمایش‌ها نشان داده، مرحله جوانه‌زنی یکی از مراحل بحرانی رشد در گیاهان زراعی است. بذرهایی که در شرایط تنش، جوانه‌زنی مناسب‌تری داشته‌اند در مراحل بعدی رشد، گیاهچه‌هایی با بنیه بهتر و شبکه ریشه‌ای قوی‌تری ایجاد کرده‌اند (Jaleel *et al.*, 2009).

بنابراین جوانه زدن و استقرار مناسب گیاهچه در اصل به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده در میزان عملکرد به‌شمار می‌آید. Rade & Kar (1995) در آزمایش خود روی ماش نتیجه گرفتند، در نتیجه تنش خشکی همه شاخص‌های

آب می‌شود، در=وش پتری‌ها با پارافیلیم گرفته شد. شمارش بذرهاى جوانه‌زده شده به‌صورت روزانه ۱۰ روز ادامه داشت. در پایان روز دهم جوانه‌های عادی (نرمال) در هر پتری جدا و ریشه‌چه و ساقه‌چه آن‌ها جداگانه در دمای ۸۰-۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک تا میانگین وزن خشک گیاهچه در هر تیمار به دست آید. معیار جوانه‌زنی یک بذر رشد غلاف برگ اولیه (کلئوپتیل) به میزان ۲ میلی‌متر فرض شده است. پس از پایان دوره جوانه‌زنی صفاتی مانند طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، ضریب رشد ناموزون (آلومتري) یا نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (Eftekhari et al., 2009) اندازه‌گیری شد.

T=دما (برحسب درجه سلسیوس)

S = پتانسیل اسمزی (برحسب بار)

برای هر تکرار شمار بیست عدد بذر سالم از رقم‌های مورد نظر انتخاب و با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت ۴۵ ثانیه کامل ضدعفونی شدند. بذرها پس از چند بار شستشو با آب مقطر درون پتری دیش‌های ۹ سانتی‌متری که کف آن‌ها با کاغذ صافی واتمن پوشیده شده بود، قرار گرفتند. در ادامه به پتری‌های هر تیمار میزان ۶ میلی‌لیتر از محلول با پتانسیل مربوطه اضافه شد و در تیمار شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد. پتری‌ها در اتاقک رشد در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد قرار داده شدند. به‌منظور کاهش تبخیر از پتری‌ها که منجر به تغییر پتانسیل

جدول ۱. نژادگان‌های عدس مورد استفاده در آزمایش

Table 1. List of lentil genotypes analyzed in this study

Number	Number of genotype	Code of genotype	Origin	Number	Number of genotype	Code of genotype	Origin	Number	Number of genotype	Code of genotype	Origin
1	550	۶۳۱۴۱	Syria	18	605	ill5816	Syria	35	661	P1299367-00468	Chile
2	559	۶۳۱۱۹	Syria	19	606	ill5753	Syria	36	663	pi374118	Morocco
3	562	63131	Syria	20	607	ill5817	Syria	37	665	ill4354	Jordan
4	563	۶۳۱۰۳	Syria	21	609	ill5754	Syria	38	673	ill5714	Syria
5	567	63115	Syria	22	610	ill5844	Syria	39	680	ill5803	Syria
6	568	63140	Syria	23	615	ill5593	Cyprus	40	693	ill6010	Syria
7	569	63128	Syria	24	616	ill5741	Syria	41	695	ill6014	Syria
8	572	p1299367	Chile	25	620	ill5825	Syria	42	698	ill6019	Syria
9	574	۷۳	Algeria	26	621	ill5839	Syria	43	703	ill6235	Syria
10	575	۳۲۰۹-۷۱	Algeria	27	631	1083	Dargaz	44	704	ill6238	Syria
11	580	ill5506	Syria	28	638	ill6195	Syria	45	705	ill6242	Syria
12	584	ill5699	Syria	29	648	ill6205	Syria	46	706	ill6249	Syria
13	585	ill5699	Syria	30	651	ill6208	Syria	47	714	26279-68	Turkey
14	588	ill5747	Syria	31	652	ill6209	Syria	48	715	ill4400	Syria
15	590	ill5753	Syria	32	655	ill6212	Syria	49	725	ill4507	Syria
16	591	ill5762	Syria	33	657	۱۱۱۴۱	Fars				
17	594	ill5751	Syria	34	660	p1299367-00465	Chile				

درنهایت داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS ver.9.2 تجزیه آماری شدند. برای ترسیم نمودارها و نیز نمودار دوجهی (بای‌پلات)‌ها از نرم‌افزارهای Excel و STATGRAPHICS استفاده شد. همچنین ضریب عامل‌ها پس از چرخش وریماکس بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برآورد شدند .

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد، تأثیر تنش خشکی، نژادگان و اثر متقابل خشکی و نژادگان بر

درصد جوانه‌زنی از تقسیم شمار بذرهاى جوانه‌زده به کل بذرهاى محاسبه شد (Agrawal 2005). به‌منظور محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = \sum ni / Di$$

Di شمار روز پس از آغاز آزمایش و ni شمار بذرهاى جوانه‌زده در روزهای شمارش است (Alizadeh & Isvand 2004)

شاخص بنیه با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (ISTA, 2010):

$$VI = Ls \times Gp$$

VI = شاخص بنیه ، Ls = طول گیاهچه (cm) ، Gp =

درصد جوانه‌زنی

یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Mensah *et al.*, 2006). در این ارتباط محققان در تحقیقی روی نژادگان‌های عدس گزارش کردند، شاخص‌های جوانه‌زنی مانند سرعت و درصد جوانه‌زنی تحت خشکی کاهش یافت (Zeng, 2010). (Kafi *et al.*, 2005). *et al.* نیز، کاهش جوانه‌زنی به دلیل محدودیت آب را یک راهکار تکاملی در گیاهان مناطق خشک می‌دانند. در واقع کاهش جوانه‌زنی در تنش‌های خشکی، یک راهکار سازشی است تا هنگامی که شرایط مساعدی برای جوانه‌زنی ایجاد شود.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

نتایج تجزیه واریانس مشاهده‌ها (جدول ۲) نشان داد، تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و نژادگان‌ها تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه دانه‌رست‌های عدس داشت. با افزایش شدت تنش، میزان طول ریشه‌چه و همچنین طول ساقه‌چه کاهش می‌یابد با این تفاوت که در ساقه‌چه این کاهش به صورت خطی بوده، اما در ریشه‌چه تفاوتی در بین سطح ۳- بار و ۶- بار مشاهده نشد (جدول ۳). کاهش رشد بخش ساقه‌چه و ریشه‌چه در نتیجه تنش خشکی، به دلیل کاهش جذب آب توسط بذر و در پی کاهش انتقال مواد غذایی مورد نیاز برای رشد، به محور زیر لپه است (Mensah *et al.*, 2006) افزون بر آن کاهش جذب آب توسط بذر، تنش خشکی باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه شامل ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (Kafi *et al.*, 2005) در نتایج بررسی روی نژادگان‌های نخود گزارش کردند، کاهش رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه در شرایط تنش خشکی در ارتباط با کاهش سرعت فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذر است (Bibi *et al.*, 2009). در این بررسی نیز کاهش طول ساقه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش مشاهده شد. نتایج این بررسی نیز با نتایج این محققان همخوانی دارد.

وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد، تأثیر تنش خشکی بر وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بذرهای عدس معنی‌دار است. با کاهش پتانسیل اسمزی وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه به شدت کاهش می‌یابد (جدول ۳).

درصد جوانه‌زنی بذرهای عدس معنی‌دار شد. در بین سطوح خشکی سطح شاهد (بدون تنش خشکی) با ۸۳/۵ درصد بیشترین میزان درصد جوانه‌زنی را داشت، اما سطح خشکی ۹- بار با ۴۵/۱ درصد کمترین میزان این صفت را به خود اختصاص داد (جدول ۳). جوانه‌زنی یکی از مراحل مهم و حیاتی رشد در گیاهان بوده و باور بر این است که جوانه‌زنی و سبز شدن سریع بذر، یک عامل مهم تعیین‌کننده عملکرد نهایی گیاهان است (Bewely and Black, 1994). محققان در نتایج بررسی که روی ویژگی‌های جوانه‌زنی گیاه نخود صورت گرفت، گزارش کردند، کاهش پتانسیل آب کمتر از ۳- بار جذب آب را در این گیاهان کاهش داده و فرایند جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد (Auld *et al.*, 1988) در این بررسی نیز کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی شد. کاهش جوانه‌زنی می‌تواند به دلیل کاهش جذب آب توسط بذر باشد که منجر به کاهش فرآیندهای فیزیولوژیکی و سوخت‌وسازی (متابولیسم) بذر شده و لذا وفور مواد لازم برای ادامه حیات گیاه را با مشکل روبه‌رو می‌سازد (Ghars *et al.*, 2009; Sosa *et al.*, 2005).

سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد، تأثیر تنش خشکی، نژادگان‌ها و اثر متقابل آن‌ها بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار است (جدول ۲). با کاهش پتانسیل آب سرعت جوانه‌زنی در همه نژادگان‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بدون در نظر گرفتن نوع نژادگان، بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۶/۵۱) مربوط به تیمار شاهد و کمترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۰۳) مربوط به تیمار ۹- بار بود (جدول ۳).

کاهش جذب آب و در پی آن کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرآیندهای بیوشیمیایی جوانه‌زنی، علت اصلی کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی است (Bybordi and Tabatabaei, 2009). در سطوح بالای تنش خشکی، آسیب‌های احتمالی ناشی از واسرشته شدن (Denaturation) ساختمان سه‌بعدی آنزیم‌ها می‌تواند یکی از دلایل اصلی کاهش سرعت جوانه‌زنی باشد (Bybordi and Tabatabaei, 2009) از سوی دیگر اگر جذب آب توسط بذر مختل و یا به‌کندی صورت گیرد، سرعت انجام فرآیندهای فیزیولوژیکی و سوخت‌وسازی درون بذر کاهش یافته و در نتیجه مدت‌زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش

بستگی دارد و هر دو فرآیند به آماس یاخته‌ای حساس هستند که میزان این حساسیت به گونه، رقم و شدت تنش بستگی دارد. به طوری که هنگامی بذرها در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، انعطاف‌پذیری دیواره یاخته‌های در خلال رشد کم شده و توسعه یاخته و در نتیجه رشد اندام‌ها کاهش می‌یابد. نتیجه کاهش رشد اندام‌ها (ریشه‌چه و ساقه‌چه) کاهش طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه است که ارتباط مستقیم با بنیه بذر دارد.

ضریب رشد ناموزون

محاسبه نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (ضریب رشد ناموزون) نشان داد، با افزایش پتانسیل اسمزی از ۰ به ۶- بار بر میزان این ضریب افزوده می‌شود (جدول ۳). یکی از فراسنجه (پارامتر)هایی که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه است (Rade & Kar, 1995). آزمایش‌های مختلف بیانگر این مطلب است، در نتیجه تنش خشکی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه هر دو کاهش ولی نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه افزایش می‌یابد. دلیل افزایش این نسبت به این خاطر است که در شرایط تنش خشکی رقم‌های مقاوم در مراحل اولیه تنش سرعت رشد ریشه بالاتری دارند، در نتیجه نسبت طول ریشه به ساقه در آن‌ها زیاد می‌شود (Singh et al., 1993). اما در شرایط ۹- بار میزان این ضریب به طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند که نشان‌دهنده نبود تولید ریشه‌های کارآمد برای جذب آب است (جدول ۳).

همبستگی بین صفات

نتایج همبستگی بین صفات (جدول ۴) نشان داد، صفت درصد جوانه‌زنی بیشترین میزان همبستگی را با صفت بنیه بذر (۸۵۵/۱) و سرعت جوانه‌زنی (۷۹۸/۱) دارد. صفت ضریب رشد ناموزون که یکی از صفات مهم در رابطه با تنش خشکی است، با هیچ‌یک از دیگر صفات همبستگی معنی‌داری نداشت. به طور کلی همبستگی‌های معنی‌دار مشاهده شده مثبت هستند و هیچ همبستگی منفی معنی‌دار مشاهده نشد. نژادگانی که توان جوانه‌زنی مناسبی داشته باشد، سرعت و بنیه جوانه‌زنی خوبی خواهد داشت و در نتیجه ریشه و ساقه بیشتری تشکیل خواهد داد که این طول ساقه و ریشه بزرگ‌تر باعث افزایش وزن ساقه و ریشه

کاهش وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه یکی از رخدادهای رایجی است که در بیشتر گیاهان در شرایط تنش خشکی رخ می‌دهد (Khalid et al., 2009). به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش وزن ساقه‌چه و ریشه‌چه در پتانسیل‌های آب پایین، تحرک کم مواد غذایی و انتقال کمتر آن‌ها از لپه به محور جنینی است. قابل یادآوری است عامل‌هایی که سرعت رشد محور جنینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توانند بر تحرک مواد غذایی و انتقال آن‌ها از لپه‌ها به محور جنینی تأثیر بگذارند (Mensah et al., 2006). افزایش پتانسیل اسمزی سبب ساخت (سنتر) بیشتر ترکیب‌ها با وزن مولکولی پایین مانند پرولین می‌شود و از ساخت ترکیب‌ها با وزن مولکولی بالاتر مانند پروتئین‌ها می‌کاهد (Yamamoto et al., 1997). محققان در نتایج بررسی که روی لوبیا در شرایط تنش خشکی صورت گرفت گزارش کردند، رابطه مستقیمی بین میزان تجمع ماده خشک و رشد طولی ساقه‌چه گیاهان متحمل وجود دارد (Opoku et al., 1996)؛ بنابراین کاهش وزن خشک ساقه‌چه در سطوح پایین‌تر پتانسیل آب را می‌توان به کاهش رشد ساقه‌چه در این سطوح نسبت داد. نتایج به دست آمده در این آزمایش با نتایج (Abeseker, 1992) همخوانی داشت.

شاخص بنیه بذر

نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد، بین نژادگان‌ها و سطوح تنش و اثر متقابل بین آن‌ها از نظر شاخص بنیه بذر اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. با کاهش پتانسیل اسمزی شاخص بنیه بذر به شدت کاهش می‌یابد (جدول ۳). با توجه به رابطه مستقیم شاخص بنیه با درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه، کاهش این شاخص با افزایش سطح تنش امری بدیهی بوده و ناشی از کاهش درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه همزمان با افزایش سطح تنش است. کاهش شاخص بنیه بذر به علت کاهش رطوبت قابل دسترس بذر است که موجب می‌شود تا فعالیت آنزیم‌ها در انتقال ذخایر داندرون (آندوسپرم) به شکل قابل استفاده برای رشد محورهای جنینی و ساخت ترکیب‌های بذر دچار مشکل شود (López et al., 2009). رشد اندام‌ها نیز به سرعت تولید یاخته‌های جدید و سرعت بزرگ شدن این یاخته‌ها

خواهد شد، بنابراین مثبت بودن همه همبستگی‌ها دور از ذهن نیست. نتایج همانندی در سویا و گندم در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Galeshi., 2005 ;Majnoni, 2002). (Farokhi & Hoseini *et al.*, 2002)

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات ۴۹ نژادگان عدس در سطوح مختلف اسمزی

Table 1. Analysis of variance of 49 lentil genotypes in different levels of osmotic potential

S.O.V	DF	Radicle length	Plumule length	Radicle weight	Plumule weight	Germination percentage	Germination rate	Seed vigor	Allometric coefficient
Stress	3	896.08**	732.70**	0.089**	0.260**	185421.93**	1116.65**	2349.35**	7.57**
Genotype	48	8.06**	6.42**	0.0036**	0.060**	1374.61**	5.680**	22.44**	6.94**
Stress*Genotype	144	2.50**	2.01**	0.00051**	0.0160**	318.61**	2.40**	6.71**	5.09**
Error	392	0.57	0.612	0.00000385	0.00000157	32.92	0.194	0.72	0.038
CV%		21.7	24.40	6.10	2.28	11.77	16.020	18.38	24.03

علامت ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

** : significant in probability levels of 1%.

جدول ۳. مقادیر میانگین \pm انحراف استاندارد ۴۹ نژادگان عدس در سطوح مختلف اسمزیTable 2. Mean \pm standard deviation of 49 lentil genotypes in different levels of osmotic potential

Stress level	Radicle length	Plumule length	Radicle weight	Plumule weight	Germination percentage	Germination rate	Seed vigor	Allometric coefficient
0 bar	6.11 \pm 1.8	4.71 \pm 1.4	0.05958 \pm 0.02	0.10210 \pm 0.1	83.55 \pm 17.4	6.51 \pm 1.9	9.30 \pm 2.9	0.85 \pm 0.5
-3 bar	3.98 \pm 1.1	5.04 \pm 1.4	0.03913 \pm 0.02	0.06102 \pm 0.08	66.34 \pm 18.4	2.86 \pm 0.9	6.16 \pm 2.3	0.97 \pm 0.7
-6 bar	3.77 \pm 1.4	2.90 \pm 1.3	0.02961 \pm 0.02	0.05529 \pm 0.08	43.61 \pm 14	1.61 \pm 0.5	2.99 \pm 1.3	1.05 \pm 1.2
-9 bar	0.16 \pm 0.4	0.17 \pm 0.5	0.00012 \pm 0.0005	0.00003 \pm 0.00008	1.45 \pm 3.9	0.03 \pm 0.1	0.03 \pm 0.1	0.60 \pm 0.3

جدول ۴. ضریب‌های همبستگی صفات مختلف ۴۹ نژادگان عدس تحت سطوح مختلف پتانسیل اسمزی

Table 3. Lentil genotypes characteristics correlation coefficients in different levels of osmotic potential

traits	Radicle length	Plumule length	Radicle weight	Plumule weight	Germination percentage	Germination rate	Seed vigor	Allometric coefficient
Radicle length	1	0.701**	0.426**	0.258ns	0.643**	0.467**	0.873**	0.068 ns
Plumule length		1	0.309*	0.266 ns	0.540**	0.494**	0.810**	-0.097 ns
Radicle weight			1	0.232 ns	0.407**	0.309*	0.435**	0.189 ns
Plumule weight				1	0.161 ns	0.251 ns	0.197 ns	-0.222 ns
Germination percentage					1	0.798**	0.855**	0.071 ns
Germination rate						1	0.660**	0.049 ns
Seed vigor							1	-0.029 ns
Allometric coefficient								1

علامت ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns عدم تفاوت معنی‌دار

ns: not significant, * and **: significant in probability levels of 5% and 1%, respectively.

میزان ویژه بیشتر از یک دارند. در عامل اول صفات بنیة

بذر، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و سرعت جوانه‌زنی با

تجزیه به عامل‌ها

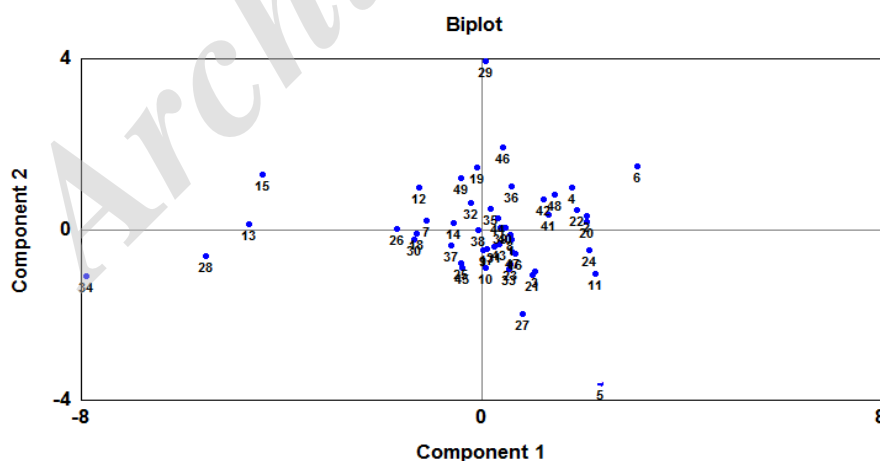
نتیجه تجزیه به عامل‌ها (جدول ۵) نشان داد، دو عامل

۳۴، ۲۸، ۳۰، ۳۷، ۲۵ و ۴۵ هم از نظر شاخص‌های جوانه-زنی و هم از نظر اندازه ساقه‌چه مقادیر پایینی داشتند که به‌عنوان نژادگان‌های حساس به پتانسیل اسمزی بالا شناخته می‌شوند. به‌طور کلی تنوع مناسبی بین نژادگان‌های مورد بررسی از نظر تحمل به پتانسیل‌های اسمزی مشاهده شد. Muscolo *et al.* (2014) در بررسی سطوح مختلف پلی‌اتیلن گلایکول بر جوانه‌زنی عدس نشان داد، تنش آبی سبب کاهش درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و محتوای آب ساقه‌چه و افزایش میزان پرولین و میزان قند محلول کل می‌شود.

بار عاملی مثبت بیشترین نقش را داشتند که می‌توان این عامل را جوانه‌زنی نام‌گذاری کرد. در عامل دوم صفات وزن ساقه‌چه و طول ساقه‌چه بیشترین بار عاملی مثبت را داشتند که این عامل را به نام صفات مربوط به ساقه‌چه می‌توان نام برد. هر دو عامل حدود ۶۷ درصد تغییرپذیری کل را توجیه کردند. بر پایه این دو عامل پراکنش نژادگان‌ها انجام گرفت (شکل ۱) و بر پایه این پراکنش، نژادگان‌ها به ۴ گروه تقسیم شدند. نژادگان‌های ۴، ۶، ۴۸، ۴۲ و ۴۱ هم از نظر صفات مربوط به جوانه‌زنی مقادیر بالایی داشته و هم ساقه‌چه مناسب و بزرگی داشتند که نشان از تحمل بالای این رقم‌ها به پتانسیل اسمزی است. در مقابل نژادگان‌های

جدول ۵. تجزیه به عامل با چرخش وریماکس نژادگان‌های عدس
Table 5. Factor analysis after varimax rotation in lentil genotypes

Traits	Factor 1	Factor 2
Radicle length	.851	.105
Plumule length	.769	-.299
Radicle weight	.585	-.163
Plumule weight	.254	.638
Germination percentage	.886	-.005
Germination rate	.771	.069
Seed vigor	.948	.144
Allometric coefficient	.160	-.864
% variance ratio	50.334	16.336
% cumulative variance	50.334	66.670



شکل ۱. پراکنش ۴۹ نژادگان عدس بر پایه دو مؤلفه اول و دوم
Fig. 1. The biplot display of 49 lentil genotypes based on the first and second main components

گیاهچه در عدس می‌شود. کاهش جوانه‌زنی بذر در نتیجه تنش اسمزی به کاهش رطوبت یاخته و تأثیر آن بر ساخت پروتئین‌ها و ترشح هورمون‌ها نسبت داده می‌شود. عمل

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، استفاده از پلی‌اتیلن-گلایکول موجب کاهش شایان توجه درصد جوانه‌زنی و رشد

توان یک بذر برای جوانه زدن و تولید گیاهچه در شرایط خشکی نشانگر این است که این گیاه ظرفیت ژنتیکی برای تحمل به خشکی را دارد، ولی تنها بدین معنی نیست که گیاهچه‌ای که در شرایط خشکی آغاز به رشد کرده، بتواند رشد خود را در همان شرایط ادامه دهد. بنابراین آزمایش‌های بعدی روی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد لازم است تا با توجه به این آزمایش‌ها متحمل-ترین نژادگان را غربال کرد.

آبکافت بافت‌های ذخیره‌ای برای تولید ریشه‌چه و ساقه‌چه با مشکل روبه‌رو شده و وزن خشک آن‌ها کاهش می‌یابد. در کل با توجه به صفات مورد بررسی نژادگان‌های ۴، ۶، ۴۸، ۴۲ و ۴۱ در بین نژادگان‌های مورد بررسی در این تحقیق و در شرایط آزمایشگاهی تحمل بالایی به پتانسیل اسمزی داشتند. در مقابل نژادگان‌های ۳۴، ۲۸، ۳۰، ۳۷، ۲۵ و ۴۵ به‌عنوان نژادگان‌های حساس به پتانسیل اسمزی بالا شناخته شدند. از آنجا که گیاهان در مراحل مختلف رشد خود واکنش‌های متفاوتی به خشکی از خود نشان می‌دهند و

REFERENCES

1. Abeseker, D.E.D.J. (1992). Seed Pre-treatment with Plant Growth Regulators and Osmoticum to Improve Temperature and Salinity Levels. La Guna College, Philippins, 181 pp. Agrawai, R.L. 1991. *Seed Technology*. Oxford and IBH Pub, 658 pp.
2. Agili, S., Nyende B., Ngamau K. & Masinde P. (2012). Selection, yield evaluation, drought tolerance indices of orange flesh sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam) Hybrid Clone. *Journal of Nutrition & Food Science*. 2:138
3. Agrawal, R. (2005). *Seed Technology*. Oxford and IBH Publishing Co. ITD. New Delhi.
4. Alizadeh, M.A. & Isvand, H.R. (2004). Evolution and the study of germination potential, speed of germination and vigor index of the seeds of two species of medicinal plants (*Eruca sativa* Lam., *Anthemis altissima* L.) under cold room and dry storage condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 20(3): 301-307. (In Farsi).
5. Auld, D.L., Bettis, B.L., Crock, J.E. & Kephart, K.D. (1988). Planting date and temperature effects on germination emergence and seed yield of chickpea. *Agronomy Journal*, 80(6): 909-914.
6. Bamdad, F., Dokhani, S. & Keramat, J. (2009). Functional assessment and subunit constitution of lentil (*Lens culinaris*) proteins during germination. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(6): 690-694
7. Bewley, J.D. & Black, M. (1994) *Seeds Physiology of Development and Germination*. 3rd Edition, Plenum Press, New York, 445 p.
8. Baybordi A, Tabatabaei J (2009). Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 37(1): 71-76.
9. Bibi, N., Hameed, A., Ali, H., Iqbal, N., Haq, M.A., Atta, B.M., Shah, T.M. & Alam, S.S. (2009). Water stress induced variations in protein profiles of germinating cotyledons from seedlings of Chickpeas genotypes. *Pakistan Journal of Botany*, 41(2): 731-736.
10. De, F. & Kar, R. K. (1995). Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiate*) under water stress induced by PEG 6000. *Seed Science and Technology*. 23: 301- 304.
11. Duman, I. (2006). Effects of Seed Priming with PEG or K3PO4 on Germination and Seedling Growth in Lettuce. *Pakistan Journal Biologic Science*. Vol: 923-928.
12. Eftekhari, S.Gh, FalahNosrat Abad, A.R., Akbari, Gh.A, Mohadesi, A. & Dadi, I. (2009). Effect of phosphate fertilizers and phosphate solubilizing bacteria on growth of rice. *Iranian Journal of Soil Research*. 23(2): 230-238 (In Farsi).
13. Farokhi, A. & Galeshi, S. (2005). Evaluation of effect of salinity and seed size on germination, conversion of seed reserves and seedling growth soybean (*Glycin max*. L). *Iranian Journal of Agricultural Science*. 36:5. 1233-1241(In Farsi).
14. Ghars, MA, Debez, A. & Abdelly, C. (2009). Interaction between salinity and original habitat during germination of the annual seashore halophyte *Cakile maritima*. *Communications in soil science and plant analysis* 40(19-20):3170-3180.
15. Gholami, P., Ghorbani, J. & Ghaderi, SH. (2010). Different levels of salinity and drought on seed germination properties *Secale monatum* in the early growth stages. *Plant Eco physiology*. 3:78-88. (In Farsi).
16. Grusak, M.A. (2009). Nutritional and health-beneficial quality. In: Erskine, W., Muehlbauer, F.J., Sarker, A., Sharma, B. (Ed), *The Lentil: Botany, Production and Uses*. Wallingford: CABI, 368390.

17. ISTA. (2010). International rules for seed testing. International seed testing association (ISTA).
18. Jaleel C.A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H. Jasim, R. Somasundaram, & R. Pannerselvam, (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture & Biology*.11:100-105.
19. Kafi, M., Nezami, A., Hosseini, H. & Massumi, A. (2005). The physiological effects of drought stress induced by PEG 6000 on germination of lentil genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Researches*, 3: 69-81. (In Farsi).
20. Khakwani AA, Dennett MD. & Munir M. (2011). Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. *Songklanakar Journal of Science & Technology*.33:135_142.
21. Khalid, R., Khan, K. S., Yousaf, M., Shabbir, G. & Subhani, A. (2009). Effect of sulfur fertilization on rapeseed and plant available sulfur in soils of Pothwar Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture*. 25(1), 65-71.
22. Livingston, N. J. & Jong, E. D. (1990). Matric and osmotic potential effects on seedling emergence at different temperatures. *Agronomy Journal*. 82: 995-998.
23. Lo'pez, R., Rodri'guez-Calcerrada, J. & Gil, L. (2009). Physiological and morphological response to water deficit in seedlings of five provenances of *Pinus canariensis*: potential to detect variation in drought-tolerance. *Trees*, 23:509–519.
24. Majnon Hoseini, N., Tavakol Afshari, R. & Ehsanfar, S. (2002). Effects of drought stress induced by PEG in seed germination indices of wheat. In: *7th Iranian national Congress of Crop Science*. 24-26 Aug. seed and Plant Improvement Institute. Karaj, Iran. pp. 559.
25. Mensah, J. K., Obadoni, B. O., Eruotor, P.G. & Onome-Irieguna, F. (2006). Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). *African Journal of Biotechnology*. 5(13): 1249-1253.
26. Michel, B. E. & Kaufman, M. R. (1973). The osmotic potential of poly ethylene glycol 6000. *Plant physiology*. 51:914-916.
27. Muscoloa, A., Sidaria, M., Anastasib, U., Santonocetoa, C. & Maggioc, A. (2014). Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 354-363.
28. Okcu, G., Kaya, M. D. & Atak, M. (2005). Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum arietinum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29: 237-242.
29. Opoku, G., Davies, F. M. Zetrio, E. V. & Camble, E. E. (1996). Relationship between seed vigor and yield of white beans (*Phaseolos vulgaris* L.). *Plant Variety Seed*. 9: 119-125.
30. Prisco, J.T., Babtista, C.R., Pinheiro, J.L. (1992). Hydration dehydration seed pre- treatment and its effects on seed germination under water stress condition. *Brazilian Journal of Botany*. 15(1), 31-35.
31. Rade, D. & Kar, R.K. (1995). Seed germination and seedling growth of mangle bean (*vigna vadiata*) under water stress induced by PEG 6000. *Seed Science and Technology*, 23:301-308.
32. Rahimi, A., Jahansoz, M.R., Rahimian Mashhadi, H.R., Postini, K. & Sharifzade F. (2006). Effect of iso-osmotic salt and water stress on germination and seedling growth of two *Plantago* species. *Pakistan Journal of Biological Science*, 9: 2812-2817.
33. Salehi Far, M. (2010). The effect of drought stress on seedling germination and growth in 8 genotypes of bean. In: *Proceeding of the 11th Iranian Congress of Crop Science*. 24-26 July 2010. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
34. Singh, K. B. & M. C. Saxena. (1993). *Breeding for Stress Tolerance in Cool-Season Food Legumes*. The Hague, the Netherlands: Martinus Nijhoff/Junk.
35. Soltani, A., Gholipoor, M., Zeinali, E. (2006). Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*. 55, 195-200.
36. Sosa L, Llanes A, Reinoso H, Reginato M, Luna V. (2005). Osmotic and specific ion effects On the germination of *Prosopis strombulifera*. *Annals of Botany*. 96(2):261-267.
37. Yamamoto, A., Turgeon, J. & Duich, J.M. (1997). Seedling emergence and growth of solid matrix primed Kentucky bluegrass seed. *Crop Science*.37:225.
38. Zeng, Y.J., Wang, Y.R. & Zhang, J.M. (2010). Is reduced seed germination due to water imitation a special survival strategy used by xerophytes in arid dunes? *Journal of Arid Environments*, 74(4): 508-511.