

مطالعه خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریشه ارقام عدس (*Lens culinaris Medik*) در پاسخ به تنش رطوبتی

راهله احمدپور^۱، سعیدرضا حسینزاده^{۱*}، سمیه چاشیانی^۲

^۱گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء، بهبهان، ایران
^۲گروه ریاضی و آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۹

چکیده

واکنش ریشه گیاهان نقش به‌سزایی در تحمل به تنش و استفاده بهینه از رطوبت ذخیره شده خاک دارد. بررسی مهمترین شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریشه ارقام گیاهان مختلف می‌تواند پارامتر مناسبی جهت گزینش ارقام متحمل به تنش رطوبتی باشد. این پژوهش در شرایط گلدانی و در محیط باز به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۴ رقم پرکاربرد گیاه عدس (گچساران، کیمیا، زیبا و رباط) و ۴ سطح تنش رطوبتی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود. نتایج نشان داد که اثرات متقابل رقم و تنش رطوبتی بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. ارقام رباط و گچساران در بسیاری از صفات نظیر طول، وزن خشک و سطح ریشه، غلظت پتاسیم و کلسیم، محتوای پروتئین و پروتئین محلول، فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز ریشه نسبت به ارقام کیمیا و زیبا در شرایط تنش شدید برتری محسوسی داشتند. رقم کیمیا نسبت به سایر ارقام مورد بررسی در تمامی سطوح تنش، کمترین ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد سنجش در ریشه را داشت. نتایج این بررسی نشان داد که ارقام رباط و گچساران با استفاده از مکانیسم‌های کارآمد ریشه در تحمل به تنش رطوبتی نظیر فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، میزان بالاتری از پروتئین و پروتئین، افزایش طول و سطح ریشه و میزان جذب بیشتر پتاسیم و کلسیم نسبت به ارقام کیمیا و زیبا، کمتر تحت تأثیر اثرات منفی تنش رطوبتی قرار گرفتند. باتوجه به نتایج این پژوهش ارقام رباط و گچساران به عنوان ارقام متحمل جهت کشت در شرایط کم‌آبی معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، حبوبات، مورفولوژی ریشه

مقدمه

آب و عناصر غذایی خاک می‌باشد (Gruber et al., 2013). خصوصیات ریشه مانند حجم، قطر، سطح و طول، عمق ریشه‌دهی و توسعه سیستم ریشه‌ای به عنوان عوامل مورفولوژیکی مؤثر برای تحمل به تنش رطوبتی در نظر گرفته می‌شوند، از این رو محققان گزارش کردند که نسبت بالاتر ریشه (اندام جذب کننده آب) به اندام هوایی (اندام مصرف کننده) توان گیاه را برای تحمل شرایط کمبود رطوبتی بهبود می-

عدس (*Lens culinaris Medik*) یکی از مهمترین حبوبات سرما دوست است که در ایران اغلب به صورت دیم کشت می‌شود (Parsa and Bagheri, 2008). رشد، گسترش و ساختار سیستم ریشه در سازگاری گیاهان به شرایط نامطلوب محیطی تأثیر فراوان دارد و یکی از عوامل تعیین‌کننده دسترسی به

*نویسنده مسئول: hossinzadeh_tmu@yahoo.com

بیوشیمیایی ریشه خواهد داشت (Hussain et al., 2000; Armand et al., 2016). یکی از مهمترین تغییرات فیزیولوژیک گیاهان در واکنش به کاهش رطوبت در خاک، تنظیم اسمزی و تجمع برخی مواد محلول در سلول‌های ریشه با هدف کاهش بیشتر پتانسیل اسمزی و حفظ شیب پتانسیل آب است (Hu and Schmidhalter, 2005). بسیاری از گیاهان به منظور تنظیم اسمزی از اسمولیت‌های سازگار مثل پرولین، پروتئین‌های محلول و یا تجمع یون‌های معدنی به ویژه کلسیم و پتاسیم استفاده می‌کنند (Cakmak, 2005; Tewfik, 2008).

پرولین منبع ذخیره برای کربن، نیتروژن و جاروب کننده گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در سلول‌ها می‌باشد (Abrishamchi et al., 2012; Sio-Se Mardeh et al., 2014). گیاهان متحمل به تنش، از توانایی بیشتر سنتز پرولین و متعاقب آن از پایداری بیشتر غشاء برخوردار هستند که نتیجه آن، هدررفت کمتر آب از طریق غشاهای سلولی می‌باشد (Valentovic et al., 2006). مطالعات متعدد نشان داده است که مکانیسم‌های کاهش دهنده تنش اکسیداتیو نقش مهمی در بهبود تحمل به تنش کم‌آبی دارد (Rahbarian et al., 2012). از مهمترین سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی که نقش مهمی در حذف رادیکال‌های آزاد تولید شده در ریشه را دارند، می‌توان به کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز اشاره کرد (Armand et al., 2016). جذب آب توسط گیاه به صفات مورفولوژیک ریشه، فعالیت و توزیع آن در خاک بستگی دارد، بنابراین به نظر می‌رسد برای فهم بیشتر مکانیسم‌های مقاومت و دستیابی به منابع ژنتیکی مورد نیاز در برنامه‌های اصلاحی، درک صفات مورفوفیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی ضروری است (Ganjeali and Bagheri, 2011).

بخشد (Puangbut et al., 2009; Ganjeali and Bagheri, 2011). در مطالعات متعدد مرتبط با پاسخ‌های ریشه در گیاهان گزارش شد که بسیاری از گونه‌های گیاهی با افزایش سهم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به رشد ریشه و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و جذب بیشتر آب قابل دسترس به کمبود رطوبت پاسخ می‌دهند (Khazaei and Kafi, 2003; Ganjeali et al., 2010). تغییرات مورفوفیزیولوژیک در ریشه حبوبات، در پاسخ به کاهش رطوبت خاک با توجه به شدت و مدت زمان تنش متغیر است و می‌توان در دو بخش آن را شرح داد. در تنش رطوبتی خفیف با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ورود CO_2 به کلروپلاست سلول‌های مزوفیل برگ فتوسنتز کاهش یافته (در حدود ۲۵ درصد) و در نهایت منجر به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها شده که این رخداد، کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه را بدنبال دارد. از طرف دیگر با بسته شدن روزنه‌ها فرآیند انتقال آب از ریشه به اندام هوایی در آوند چوب از طریق تعرق مختل شده و منجر به کاهش محتوای آب نسبی و عناصر مغذی در اندام‌های فتوسنتزکننده خواهد شد (Singh et al., 2005; Hosseinzadeh et al., 2016). در تنش رطوبتی شدید علاوه بر اثرات فوق و کاهش نسبی رشد ریشه، بدنبال ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS) تخریب سیستم فتوسنتزی (نظیر پروتئین D₁ در فتوسیستم نوری II، آنزیم فرودوکسین اکسیدوردوکتاز، پروتئین‌های دخیل در کمپلکس تجزیه کننده آب و سیتوکروم) و کاهش شدید تولید مواد فتوسنتزی مشاهده می‌شود. از سوی دیگر با کاهش شدید جذب آب از خاک توسط ریشه‌ها، روند انتقال شیره خام و پرورده به ترتیب در آوند چوب و آبکش دچار اختلال شده و در نهایت تأثیر شدید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و

زیبا و رباط) که بذرهاى آن از پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد و ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران تهیه شده بود، به‌عنوان اولین عامل مورد بررسی در نظر گرفته شد. دومین عامل سطوح تنش رطوبتی در ۴ سطح ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود که براساس آزمایش‌های مقدماتی و نتایج تحقیقات سایر محققان انتخاب شد. به منظور سهولت در اندازه‌گیری صفات ریشه، شستشو و برداشت آن‌ها برای هر واحد آزمایشی (گلدان پلاستیکی) به حجم ۲/۵ کیلوگرم از خاک گلدان (جدول ۱) نرم و ماسه شسته شده با نسبت ۲ به ۱ استفاده شد.

این مطالعه با هدف بررسی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی سیستم ریشه‌ای ۴ رقم عدس انجام شد، تا علاوه بر استفاده از این صفات به عنوان معیارهایی برای گزینش ارقام متحمل به تنش کم‌آبی، در بین ارقام مورد مطالعه رقم مناسب‌تر جهت کشت در مناطقی که در طول فصل رشد یا بخشی از آن گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود، معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در شرایط گلدانی و در محیط باز انجام شد. ۴ رقم عدس (گچساران، کیمیا،

جدول ۱: خصوصیات خاک مورد استفاده در آزمایش

pH	هدایت الکتریکی	کربن/نیتروژن	پتاسیم (%)	سدیم (%)	کلسیم (%)	فسفر (%)	نیتروژن کل (%)
۷/۱	۱/۳	۱۵/۱	۱/۹	۰/۹	۳/۲	۱/۵	۱/۵

بذرهاى گیاه عدس پس از ضدعفونی و تعیین قوه نامیه در پتری‌دیش کشت شدند و ۳ گیاهچه دو برگی به هر گلدان منتقل شد. سطوح تنش رطوبتی (کم‌آبی)، بر اساس درصد رطوبت وزنی ایجاد شدند و از طریق توزین روزانه گلدان‌ها و تأمین کسری آب موجود در محیط، میزان رطوبت گلدان‌ها در طول دوره رشد، به طور ثابت حفظ گردید (Abrishamchi et al., 2012; Ahmadpour et al., 2016). ده روز پس از کاشت، سطوح مختلف تنش بر روی ارقام مورد بررسی اعمال شد و تا پایان دوره رشد، ادامه یافت.

به منظور تعیین وزن خشک ریشه، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آن ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن آن‌ها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد.

تعیین غلظت عناصر: به‌منظور تعیین عناصر بافت ریشه، از روش (Chapman and Patt, 1982) استفاده شد و در نهایت غلظت سدیم، پتاسیم و کلسیم با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب گرم در صد گرم وزن خشک بافت ریشه محاسبه شد.

تعیین صفات مورفولوژی: در پایان دوره رشد (۶۵ روز پس از کاشت) خاک موجود در هر گلدان، به آرامی با آب جاری شستشو داده شد تا خاک گلدان نرم شده و در نهایت کل ریشه به‌طور کامل و با حداقل آسیب، استحصال گردید. سطح، قطر و حجم ریشه‌ها با استفاده از دستگاه WinRHIZO Pro V ساخت کانادا اندازه‌گیری شد (Regent, Instruments)

تعیین صفات فیزیولوژی

سنجش پرولین و پروتئین: اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد و در نهایت با استفاده از فرمول زیر غلظت پرولین ریشه محاسبه گردید.

دیسموتاز و کاتالاز بافت ریشه به ترتیب بوسیله روش‌های Beauchamp & Fridovich (۱۹۷۱) و Scandalios & Chandlee (۱۹۸۴) انجام شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار -MSTAT C انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p \leq 0.05$) استفاده شد.

نتایج

صفات مورفولوژی: تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که برهم‌کنش تنش آبی و نوع رقم تأثیر معنی‌داری بر کلیه صفات مورفولوژیک ریشه داشت. در شرایط بدون تنش رطوبتی، رقم گچساران بیشترین میزان طول ریشه (۲۸/۱۷ سانتی‌متر) را داشت که در مقایسه با سایر سطوح افزایش معنی‌داری داشت اما در این شرایط ارقام کیمیا، زیبا و رباط اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند. در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد بررسی از لحاظ طول ریشه مشاهده نشد اما در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی رقم کیمیا کمترین میزان طول ریشه (۱۷/۶۷ سانتی‌متر) را دارا بود که نسبت به ارقام گچساران و رباط این کاهش معنی‌داری بود (جدول ۳).

= میکرومول پرولین در گرم وزن تر

$$\left(\frac{\mu\text{g prolin}}{\text{ml}} \times \frac{\text{ml toloen}}{115.5 \left(\frac{\mu\text{g}}{\mu\text{mol}} \right)} \right) / \frac{\text{gr sample}}{5}$$

سنجش پروتئین کل: اندازه‌گیری محتوای پروتئین محلول در بافت ریشه به روش لوری انجام شد (Lowry, 1951). جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۶۰ نانومتر خوانده شد و غلظت پروتئین بر مبنای منحنی استاندارد آلبومین سرم گاوی تعیین شد و مقدار آن بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه گردید.

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز در بافت ریشه، ۲ میلی‌لیتر تامپون استات ۰/۲ مولار با ۰/۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۰/۳ درصد و ۰/۱ میلی‌لیتر بنزیدین ۰/۰۲ مولار محلول در متانول ۵۰ درصد در حمام یخ مخلوط شدند و سپس ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه شد و سپس هر ۳۰ ثانیه به مدت ۳ دقیقه جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۳۰ نانومتر رسم شد و در نهایت فعالیت ویژه آنزیم بر حسب تغییرات واحد آنزیم در دقیقه به ازاء هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد (Holy, 1972). سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات مورفولوژیک ریشه ارقام گیاه عدس در سطوح مختلف تنش رطوبتی

منابع تغییر	درجه آزادی	حجم ریشه	قطر ریشه	سطح ریشه میانگین مربعات	وزن خشک ریشه	طول ریشه
ارقام عدس	۳	۰/۰۰۰۲ **	۰/۰۰۰۴ **	۵/۱۷۳ **	۰/۶۴۵ **	۱۰/۸۸۱ **
تنش رطوبتی	۳	۰/۰۰۰۲ **	۰/۰۲۳۱ **	۳۴/۰۳۲ **	۹/۶۵۵ **	۸۴/۰۱۷ **
رقم × تنش	۹	۰/۰۰۰۳ *	۰/۰۰۱ *	۱/۰۶۲ **	۰/۰۹۷ *	۲/۹۹۵ **
خطای آزمایش	۳۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۰۹۵	۰/۰۵۱	۱/۲۹۴
ضریب تغییرات	-	۳/۹۴	۸/۲۷	۴/۰۶	۶/۳۳	۵/۱۱

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

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص‌های مورفولوژی ارقام گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف تنش رطوبتی

تیمارها/ ارقام گیاه عدس	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	قطر ریشه (میلی‌متر)	سطح ریشه (میلی‌متر مربع)	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)
بدون تنش رطوبتی					
گچساران	۰/۰۸۵ ^a	۰/۵۷۲ ^{ab}	۱۰/۲۶ ^{ab}	۴/۶۶ ^a	۲۸/۲۲ ^a
کیمیا	۰/۰۷۲ ^{abc}	۰/۵۳۲ ^{ab}	۸/۳۰ ^{cd}	۴/۲۸ ^{bc}	۲۳/۶۰ ^{bc}
زیبا	۰/۰۷۸ ^{ab}	۰/۵۴۵ ^{ab}	۸/۲۷ ^{cd}	۴/۷۱ ^a	۲۴/۳۳ ^{bc}
رباط	۰/۰۸۵ ^a	۰/۵۸۶ ^a	۱۰/۷۷ ^a	۴/۹۶ ^a	۲۵/۰۷ ^b
۷۵ درصد ظرفیت زراعی					
گچساران	۰/۰۷۲ ^{abc}	۰/۵۱۷ ^b	۸/۴۱ ^c	۴/۱۰ ^c	۲۳/۸۷ ^{bc}
کیمیا	۰/۰۶۳ ^{bcd}	۰/۵۱۴ ^b	۷/۷۷ ^d	۳/۶۹ ^d	۲۲/۶۳ ^{dc}
زیبا	۰/۰۶۹ ^{abcd}	۰/۵۱۸ ^b	۷/۸۹ ^{cd}	۳/۵۱ ^{de}	۲۲/۷۰ ^{cd}
رباط	۰/۰۷۱ ^{abc}	۰/۵۲۸ ^{ab}	۹/۸۲ ^d	۴/۲۳ ^c	۲۳/۸۳ ^{bc}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی					
گچساران	۰/۰۶۰ ^{bcd}	۰/۴۲۹ ^c	۶/۹۴ ^e	۳/۰۳ ^f	۲۲/۲۷ ^{cde}
کیمیا	۰/۰۵۳ ^{cde}	۰/۳۹۹ ^c	۶/۹۱ ^e	۳/۱۵ ^{ef}	۲۰/۷۷ ^{def}
زیبا	۰/۰۵۶ ^{cde}	۰/۴۱۰ ^c	۶/۹۸ ^e	۲/۸۵ ^{fg}	۲۰/۳۰ ^{ef}
رباط	۰/۰۵۹ ^{cde}	۰/۴۲۶ ^c	۶/۹۴ ^e	۳/۵۶ ^d	۲۲/۳۰ ^{cde}
۲۵ درصد ظرفیت زراعی					
گچساران	۰/۰۵۲ ^{de}	۰/۳۰۷ ^d	۵/۸۰ ^f	۲/۶۱ ^{gh}	۲۰ ^f
کیمیا	۰/۰۴۹ ^e	۰/۲۱۹ ^e	۵/۱۸ ^g	۲/۳۸ ^h	۱۷/۶۷ ^g
زیبا	۰/۰۵۱ ^{de}	۰/۲۲۰ ^e	۵/۲۲ ^g	۲/۵۸ ^{gh}	۱۹ ^{fg}
رباط	۰/۰۵۳ ^{cd}	۰/۲۴۶ ^e	۶/۱۲ ^f	۲/۷۷ ^{gh}	۱۹/۶۷ ^f

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

داد که در شرایط بدون تنش، ۲۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی ارقام گچساران و رباط افزایش معنی‌داری نسبت به ارقام کیمیا و زیبا داشتند اما در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری بین ارقام مورد بررسی مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قطر ریشه ارقام عدس مورد بررسی، در تیمارهای بدون تنش، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت اما در تیمار تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، رقم گچساران در مقایسه با سایر ارقام این افزایش معنی‌داری بود (جدول ۳). حجم ریشه در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط فراهمی رطوبت در

مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات متقابل تنش و رقم بر وزن خشک ریشه نشان داد که در تیمار فراهمی رطوبت، رقم زیبا با ۴/۲۸ گرم کاهش معنی‌داری نسبت به ارقام دیگر داشت. رقم رباط در سطوح تنش ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با ارقام کیمیا و زیبا افزایش معنی‌داری داشت اما نسبت به رقم گچساران در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی این افزایش معنی‌داری بود. در تیمار تنش رطوبتی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) تفاوت معنی‌داری بین ارقام عدس از لحاظ وزن خشک ریشه وجود نداشت (جدول ۳). نتایج بررسی سطح ریشه ارقام عدس تحت تأثیر تیمارهای تنش رطوبتی نشان

گچساران و رباط به صورت معنی‌داری نسبت به ارقام کیمیا و زیبا افزایش داشت. در مقایسه بین ارقام مورد بررسی در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها در ارتباط با غلظت سدیم ریشه نشان داد که با افزایش شدت تنش از ۷۵ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، غلظت سدیم ریشه در هر ۴ رقم مورد مطالعه نسبت به شرایط بدون تنش افزایش معنی‌داری داشت اما در مقایسه بین ارقام عدس در هر سطح تنش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

تمامی ارقام مورد بررسی کاهش معنی‌داری داشت اما اختلاف معنی‌داری بین ارقام عدس مورد مطالعه در هر یک از تیمارهای تنش مشاهده نشد (جدول ۳).
غلظت عناصر ریشه: جدول ۴ نشان می‌دهد که اثرات متقابل تنش رطوبتی و ارقام عدس بر غلظت عناصر ریشه (پتاسیم، سدیم و کلسیم) معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش، بیشترین غلظت پتاسیم در رقم رباط بود که به جز رقم گچساران در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی (کیمیا و زیبا) این افزایش معنی‌دار بود. در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، غلظت پتاسیم ریشه در ارقام

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس غلظت عناصر ریشه ارقام گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف تنش رطوبتی

منابع تغییر	درجه آزادی	کلسیم ریشه	سدیم ریشه میانگین مربعات	پتاسیم ریشه
ارقام عدس	۳	۰/۲۶۵**	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۵۰۸**
تنش رطوبتی	۳	۷/۹۷۳**	۲/۰۵۹**	۳/۶۷۷**
رقم×تنش	۹	۰/۲۰۱*	۰/۰۰۳*	۰/۰۱۷*
خطای آزمایش	۳۲	۰/۲۰۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۲
ضریب تغییرات	-	۲/۳۹	۸/۹۴	۶/۹۶

^{ns}، *، ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد بررسی معنی‌دار است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها در این صفت نشان داد که در شرایط بدون تنش، تفاوت معنی‌داری بین ارقام عدس وجود نداشت اما در تمامی تیمارهای تنش رطوبتی (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) ارقام گچساران و رباط افزایش معنی‌داری نسبت به ارقام کیمیا و زیبا داشتند. در مقایسه بین دو رقم کیمیا و زیبا، در تیمار تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی محتوای پرولین ریشه در رقم کیمیا کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۷).

در شرایط فراهمی رطوبت و تنش‌های ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، در ارقام گچساران و رباط نسبت به ارقام کیمیا و زیبا غلظت کلسیم ریشه به صورت معنی‌داری افزایش یافت اما در شرایط تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) اختلاف معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه وجود نداشت (جدول ۵).

بررسی صفات فیزیولوژیکی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل رقم و تنش رطوبتی بر محتوای پرولین، پروتئین و

جدول ۵: مقایسه میانگین غلظت عناصر ریشه ارقام گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف تنش رطوبتی

پتاسیم ریشه (g/100g root DW)	سدیم ریشه (g/100g root DW)	کلسیم ریشه (g/100g root DW)	تیمارها/ ارقام گیاه عدس
بدون تنش رطوبتی			
۲/۹۰ ^{bc}	۱/۳۴ ^c	۴/۱۶ ^a	گچساران
۲/۵۳ ^c	۱/۴۴ ^c	۳/۱۷ ^{bcd}	کیمیا
۲/۵۱ ^c	۱/۴۲ ^c	۳/۲۸ ^{bcd}	زیبا
۳ ^a	۱/۳۳ ^c	۴/۱۶ ^a	رباط
۷۵ درصد ظرفیت زراعی			
۲/۵۰ ^c	۱/۹۰ ^b	۳/۸۹ ^{abc}	گچساران
۲/۱۰ ^d	۱/۹۷ ^b	۳/۱۹ ^d	کیمیا
۲/۱۶ ^d	۱/۹۸ ^b	۳ ^d	زیبا
۲/۶۰ ^c	۱/۸۵ ^b	۳/۶۶ ^{abc}	رباط
۵۰ درصد ظرفیت زراعی			
۱/۹۰ ^{de}	۱/۷۸ ^b	۳/۷۱ ^{abc}	گچساران
۱/۵۶ ^f	۱/۷۸ ^b	۲/۸۷ ^d	کیمیا
۱/۶۳ ^f	۱/۷۷ ^b	۲/۹۳ ^d	زیبا
۲/۱۳ ^d	۱/۷۶ ^b	۳/۶۵ ^{abc}	رباط
۲۵ درصد ظرفیت زراعی			
۱/۵۶ ^f	۲/۳۵ ^a	۲/۹۶ ^d	گچساران
۱/۴۰ ^f	۲/۴۴ ^a	۲/۸۶ ^d	کیمیا
۱/۴۶ ^f	۲/۴۲ ^a	۲/۹۰ ^d	زیبا
۱/۶۶ ^f	۲/۳۳ ^a	۳ ^d	رباط

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

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس شاخص های بیوشیمیایی ریشه ارقام گیاه عدس در سطوح مختلف تنش رطوبتی

پرویلین	محتوای پروتئین	فعالیت کاتالاز	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز	فعالیت پراکسیداز	درجه آزادی	منابع تغییر
میانگین مربعات						
۰/۱۸۲**	۳۰/۷۲۵**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۳**	۰/۰۱۶**	۳	ارقام عدس
۵/۸۸۹**	۳۰۵/۹۴۴**	۰/۰۶۱**	۰/۳۸۸**	۱/۲۴۷**	۳	تنش رطوبتی
۰/۰۲۳**	۴/۵۹۲**	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۳*	۰/۰۰۲**	۹	رقم×تنش
۰/۰۰۴	۱/۴۶۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۳۲	خطای آزمایش
۱/۳۸	۱/۷۶	۱/۳۰	۱/۳۲	۱/۱۳	-	ضریب تغییرات

^{ns}، *، ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

معنی داری بین ارقام گیاه عدس وجود نداشت اما در تیمارهای تنش ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی،

مقایسه میانگین داده های مرتبط با محتوای پروتئین ریشه نشان داد که در شرایط بدون تنش اختلاف

فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز به رقم رباط در شرایط تنش شدید اختصاص داشت که با سایر سطوح اختلاف معنی‌داری نشان داد اما کمترین میزان فعالیت این آنزیم به رقم کیمیا در شرایط بدون تنش تعلق داشت که به جز ارقام مورد بررسی در شرایط بدون تنش با سایر سطوح تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۷).

محتوای پروتئین در ارقام گچساران و رباط به طرز معنی‌داری نسبت به ارقام کیمیا و زیبا افزایش داشت. در شرایط تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، رقم کیمیا نسبت به سایر ارقام محتوای پروتئین کمتری داشت که این کاهش معنی‌دار بود (جدول ۷). با توجه به جدول ۷، نتایج مقایسه میانگین‌ها در ارتباط با فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان داد که در تمامی ارقام مورد بررسی، تنش رطوبتی (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) منجر به افزایش معنی‌دار

جدول ۷: مقایسه میانگین شاخص‌های بیوشیمیایی ارقام گیاه عدس تحت تأثیر سطوح مختلف تنش رطوبتی

پرولین ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$)	محتوای پروتئین ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)	فعالیت کاتالاز Unit μg^{-1} Protein	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز Unit μg^{-1} Protein	فعالیت پراکسیداز Unit μg^{-1} Protein	تیمارها/ ارقام گیاه عدس
بدون تنش رطوبتی					
۴/۲۱ ^g	۶۴/۱۸ ^e	/۴۲۰ ^c	/۵۶۵ ^g	۱/۶۱۵ ⁱ	گچساران
۴/۱۹ ^g	۶۳/۴۹ ^{ef}	/۴۱۲ ^c	/۵۲۵ ^h	۱/۶۱۱ ⁱ	کیمیا
۴/۲۱ ^g	۶۴/۳۵ ^e	/۴۱۳ ^c	/۵۳۱ ^h	۱/۶۱۳ ⁱ	زیبا
۴/۲۳ ^g	۶۴/۲۹ ^e	/۴۱۸ ^c	/۵۷۲ ^g	۱/۶۲۱ ⁱ	رباط
۷۵ درصد ظرفیت زراعی					
۴/۵۳ ^f	۶۷/۷۴ ^d	/۴۸۷ ^b	/۶۷۴ ^e	۱/۷۶۸ ⁱ	گچساران
۴/۲۴ ^g	۶۱/۵۴ ^f	/۴۷۷ ^b	/۶۲۴ ^f	۱/۶۹۹ ^k	کیمیا
۴/۲۸ ^g	۶۳/۷۴ ^e	/۴۸۱ ^b	/۶۳۰ ^f	۱/۷۴۴ ^j	زیبا
۴/۵۰ ^f	۶۷/۵۲ ^d	/۴۹۰ ^b	/۶۶۳ ^e	۱/۸۱۹ ^h	رباط
۵۰ درصد ظرفیت زراعی					
۵/۱۱ ^d	۷۳/۸۹ ^{ab}	/۵۵۶ ^a	/۸۲۷ ^{cd}	۲/۱۹۶ ^e	گچساران
۴/۸۵ ^e	۷۰/۳۵ ^c	/۵۴۷ ^a	/۸۱۱ ^d	۲/۰۸۶ ^g	کیمیا
۴/۹۵ ^e	۷۱/۲۲ ^c	/۵۴۹ ^a	/۸۱۴ ^{cd}	۲/۱۶۶ ^f	زیبا
۵/۰۸ ^d	۷۳/۵۵ ^{ab}	/۵۵۴ ^a	/۸۲۹ ^d	۲/۱۸۵ ^e	رباط
۲۵ درصد ظرفیت زراعی					
۵/۹۴ ^a	۷۵/۴۳ ^a	/۵۸۶ ^a	/۹۶۲ ^a	۲/۳۱۳ ^b	گچساران
۵/۴۷ ^c	۷۱/۸۳ ^{bc}	/۵۶۲ ^a	/۹۲۸ ^b	۲/۲۳۶ ^d	کیمیا
۵/۷۱ ^b	۷۴/۸۵ ^a	/۵۶۵ ^a	/۹۴۳ ^b	۲/۲۸۹ ^c	زیبا
۵/۹۲ ^a	۷۴/۵۸ ^a	/۵۸۰ ^a	/۹۶۵ ^a	۲/۳۴۲ ^a	رباط

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن $p \leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.

در مقاومت به تنش ایفا کند (Farooq et al., 2009; Ganjeali and Bagheri, 2011). مطالعات متعددی گزارش کردند که با کاهش آب قابل دسترس در خاک، پتانسیل فشاری لازم برای توسعه سلول کاهش می‌یابد، به طوری که سرعت رشد و تقسیم سلولی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Safaei Chaekar et al., 2008; Abrishamchi et al., 2012). از طرف دیگر در شرایط تنش آب علاوه بر تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش کارایی فتوسیستم II و سطح برگ، ورود CO₂ به داخل سلول‌های روزنه کاهش یافته و منجر به کاهش فتوسنتز خالص در حدود ۵۰ درصد می‌شود، در نتیجه وزن خشک ریشه کاهش یافته و گیاه به مرور زمان ضعیف می‌شود (Siva et al., 2007; Saeidi and Abdoli, 2015). در مطالعه بر روی ارقام نخود مشاهده شد که کاهش رطوبت در خاک منجر به افزایش سختی پیوندهای دیواره سلول‌های ریشه شده که منجر به کاهش توسعه پذیری و رشد خصوصياتی از قبیل سطح، حجم و طول ریشه می‌شود (Rahbarian et al., 2011). Parsa و Bagheri (۲۰۰۸) و Rahbarian و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تنش خشکی منجر به کاهش برخی خصوصیات ریشه نظیر قطر و حجم ریشه در حبوبات می‌شود که با نتایج این مطالعه منطبق می‌باشد. در بررسی نتایج به صورت کلی می‌توان اشاره کرد که ارقام رباط و گچساران در صفات مورفولوژیک مورد بررسی ریشه در بیشتر سطوح تنش رطوبتی افزایش معنی‌داری نسبت به ارقام کیمیا و زیبا داشت. در مطالعات متعددی گزارش شد که جذب مواد غذایی از خاک توسط ریشه‌ها ارتباط مستقیم با وضعیت آب قابل دسترس برای گیاه دارد به طوری که با کاهش رطوبت خاک جریان انتشاری مواد غذایی از خاک به سطح ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Arndt et al., 2001). محدودیت در فرآیند تعرق، کاهش انتقال

مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات متقابل تنش و رقم بر آنزیم سوپراکسیددیسموتاز نشان داد که در شرایط بدون تنش، تنش‌های ۲۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، ارقام گچساران و رباط در فعالیت این آنزیم در مقایسه با ارقام کیمیا و زیبا افزایش معنی‌دار بود. در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، رقم رباط در مقایسه با رقم کیمیا افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز داشت (جدول ۷). در نتایج مرتبط با فعالیت آنزیم کاتالاز اختلاف معنی‌داری بین ارقام مورد بررسی در تیمارهای تنش رطوبتی مشاهده نشد اما تنش رطوبتی در تمامی سطوح منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم در مقایسه با شرایط بدون تنش شد (جدول ۷).

بحث

رشد و نمو گیاهان تحت تأثیر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیک و بیوشیمیایی از قبیل فتوسنتز، تنفس، انتقال مواد، جذب یون و متابولیسم مواد غذایی قرار می‌گیرد که این فرآیندها رابطه مستقیم با میزان آب قابل دسترس و تداوم آن دارد (Khan, 2010; Ghaderi et al., 2015). وجود رطوبت کافی و مناسب، خصوصیات مورفولوژی ریشه‌ها را افزایش می‌دهد و با فاصله از مقدار بهینه رطوبت، این خصوصیات کاهش می‌یابد. با کاهش رطوبت خاک، توسعه و گسترش سیستم ریشه‌ای به لایه‌های بالایی خاک محدود می‌شود و منجر به پیری زودرس و پوسیدگی در ریشه شده که این شرایط سبب کاهش طول، وزن خشک، سطح، قطر و حجم ریشه می‌گردد (Ganjeali and Bagheri, 2011; Soltani et al., 2001). با توجه به اینکه افزایش خصوصیات مورفولوژیک ریشه موجب دستیابی گیاه به رطوبت و عناصر غذایی موجود در خاک می‌گردد، بنابراین در شرایط کمبود رطوبت این ویژگی می‌تواند نقش مهمی

سلول‌ها در جهت حفظ فشار تورگر نقش اساسی دارند، بدین صورت که با کاهش پتانسیل اسمزی و در نتیجه کاهش پتانسیل آب منجر به جذب بیشتر آب به درون سلول می‌شود (Abrishamchi et al., 2012; Sio-Se Mardeh et al., 2014). افزایش گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن، در غلظت‌های پایین به‌عنوان پیک ثانویه در مسیرهای ترانسسانی علامت برای پاسخ سلول‌ها به تنش عمل می‌کنند اما در غلظت‌های بالا موجب اکسید شدن لیپیدها، تغییر ساختار غشا، تخریب سیستم‌های نوری فتوسنتزی و رنگدانه‌ها، می‌شود (Bahadoran et al., 2015). نتایج تحقیقات مؤید این است که همبستگی مثبت و بسیار بالایی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو، که به دلیل تنش رطوبتی ایجاد می‌شود و افزایش غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان وجود دارد (Helal and Samir, 2008; Rahbarian et al., 2016; Armand et al., 2012). در این زمینه مطالعات نشان داد که در تنش‌های کمبود آب شدید، غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تا دو برابر افزایش یافته که نتیجه آن، مقاومت بیشتر گیاه به تنش‌های اکسیداتیو است (Abrishamchi et al., 2012; Bahadoran et al., 2015). در مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های نخود مشاهده شد که تنش کم‌آبی منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت پراکسیداز و کاتالاز در مقایسه با تیمار بدون تنش شد (Rahbarian et al., 2012). در مطالعه‌ای که بر روی ریشه‌های ذرت انجام گرفت، گزارش شد که افزایش فعالیت کاتالاز، سبب افزایش پتانسیل دفاعی گیاه در مقابل تنش خشکی شده و میزان تحمل آن را به تنش خشکی بهبود می‌بخشد (Helal and Samir, 2008). در بررسی صفات بیوشیمیایی نتایج به صورت کلی نشان داد که ریشه‌های ارقام رباط و گچساران در مقایسه با ارقام کیمیا و زیبا مقاومت بیشتری به تنش رطوبتی دارند، بدین صورت که در تمامی خصوصیات بیوشیمیایی مورد مطالعه (محتوای پرولین

فعال و قابلیت نفوذ غشا از جمله عواملی است که در اثر کمبود آب بوجود آمده و منجر به کاهش انتقال عناصر از محیط ریشه به داخل گیاه می‌شود (Hosseinzadeh et al., 2016). Beyk Khurmizi همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که جذب پتاسیم و کلسیم در گیاه لوبیا با اعمال تنش شوری (خشکی فیزیولوژیک) به صورت معنی‌داری کاهش یافت. در این مطالعه نیز با کاهش رطوبت محیط اطراف ریشه غلظت پتاسیم و کلسیم ریشه کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۲). با کاهش رطوبت خاک، حرکت کلسیم و پتاسیم از خاک به سطح ریشه‌ها کاهش یافته و این کاهش به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و به دنبال آن محدود شدن سرعت تعرق، افزایش می‌یابد (Cakmak, 2005). مطالعات نشان می‌دهد که در هنگام تنش خشکی، میزان سدیم در ریشه افزایش می‌یابد و برای جلوگیری از سمیت آن، گیاه سعی در خروج و یا به واکوئل فرستادن آن دارد (Tester and Davenport, 2003). در مطالعه بر روی گیاه لوبیا مشاهده شد که در شرایط تنش کمبود آب، میزان غلظت سدیم در ریشه‌های این گیاه نسبت به شرایط فراهمی رطوبت کاهش معنی‌داری یافت (Armand et al., 2016).

تجمع پرولین و پروتئین‌های محلول در ریشه برای تنظیم اسمزی و حفظ تورژسانس سلول‌های گیاهی، قسمتی از مکانیسم‌های مقاومت در برابر تنش رطوبتی است (Yordanov et al., 2003; Sio-Se Mardeh et al., 2014). از مهمترین دلایل تجمع پرولین در شرایط تنش آبی می‌توان به فعال‌سازی آنزیم‌های بیوسنتزی پرولین، کاهش تخریب آن در اثر اکسیداسیون و کاهش استفاده از پرولین در سنتز پروتئین‌ها اشاره کرد (Abrishamchi et al., 2012; Salehifar et al., 2014). انباشت پرولین و پروتئین‌های محلول در ریشه با تنظیم اسمزی این

Ahmadpour, R. and Hosseinzadeh, S.R. (2017). Change in growth and photosynthetic parameters of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to methanol foliar application and drought stress. *International Journal Agriculture and Biosciences*. 6(1): 7-12.

Armand, N., Amiri, H. and Ismaili, A. (2016). Interaction of methanol spray and water-deficit stress on photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 92(1):102-110.

Arndt, S.K.K., Clifford, S.C., Wanek, W., Jones, H.G. and Popp, M. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiology*. 21: 705-715.

Bahadoran, M., Abrishamchi, P., Ejtehadi, H. and Ghassemzadeh, F. (2015). Study on some physiological characteristics of *Salsola richteri* in drought condition in the two desert regions of the South Khorasan province. *Plant Biology*. 7(24): 1-14. (In Persian with English abstract).

Bates, L.S., Waldern R.P. and Teare I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil Environment*. 39: 205-207.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acryl amide gels. *Annual Review of Biochemistry*. 44: 276-287.

Beyk Khurmizi, A., Ganjeali, A., Abrishamchi, P. and Parsa, M. (2013). Interactions of vermicompost and salinity on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Iranian Journal of Pulses Research*. 4(1): 81-98. (In Persian with English abstract).

Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Plant Nutrition Soil Science*. 168: 521-530.

Chandlee, J.M. and Scandalios, J.G. (1984). Analysis of variants affecting the

و پروتئین، فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز) برتری محسوسی داشتند.

نتیجه گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد ارقام گچساران و رباط در بیشتر صفات نظیر طول، سطح و وزن خشک ریشه برتری محسوسی نسبت به ارقام کیمیا و زیبا داشتند. در شرایط بدون تنش و سطوح تنش ملایم نظیر ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، ارقام گچساران و رباط نسبت به دیگر ارقام افزایش معنی داری در غلظت پتاسیم و کلسیم ریشه، محتوای پرولین و پروتئین محلول، فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز داشتند. در حالت کلی می توان نتیجه گیری نمود که ارقام رباط و گچساران با استفاده از مکانیسم های مرتبط با تحمل به تنش کم آبی نظیر فعالیت بیشتر آنزیم های آنتی اکسیدان، محتوای بیشتر پرولین و پروتئین ریشه، افزایش طول و سطح ریشه و میزان جذب بیشتر پتاسیم و کلسیم نسبت به ارقام کیمیا و زیبا از مقاومت بیشتری در برابر تنش رطوبتی برخوردار بودند. بنابراین بر مبنای نتایج این مطالعه ارقام رباط و گچساران جهت کشت گلدانی به عنوان ارقام متحمل به تنش رطوبتی پیشنهاد می شود.

References

- Abrishamchi, P., Ganjeali, A. and Sakeni, H. (2012).** Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal Pulses Research*. 3 (2): 17-30. (In Persian with English abstract).
- Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R. and Armand, N. (2016).** Evaluation of methanol role in reducing the negative effects of water deficit stress in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Iranian Journal Plant Process and Function* 5 (17): 1-13. (In Persian with English abstract).

- plants. *Plant Nutrition Soil Science*. 168: 541-549.
- Hussain, M.M., Reid, J.B., Othman, H. and Gallagher, YN. (2000).** Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate root and shoot adaptation to drought stress. *Field Crop Research*. 23: 1-17.
- Khan, S. (2010).** Resistance mechanisms in plants under stress conditions. *American Science*. 6: 34-41.
- Khazaei, H. and Kafi, M. (2003).** Effect of drought stress on root growth and dry matter partitioning between roots and shoots of winter wheat. *Field Crops Research*. 1(1): 33-41. (In Persian with English abstract).
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randapp, R.J. (1951).** Protein measurement with the folin phenol reagent. *Research Chemistry*. 191: 265-275.
- Parsa, M. and Bagheri, A. (2008).** Legumes. Mashhad University Jihad Press. (In Persian).
- Puangbut, D., Jogloy, S., Vorasoot, N., Akkasaeng, C., Kesmala Rao, T., Achaputi, C.N., Wright, G.C. and Patanothai, A. (2009).** Association of root dry weight and transpiration efficiency of peanut genotypes under early season drought. *Agriculture Water Management*. 96: 1460-1466.
- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., Najafi, F. and Roshanfekr, M. (2012).** Use of biochemical indices and antioxidant enzymes as a screening technique for drought tolerance in Chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *African Journal Biotechnology*. 7: 5372 - 5380.
- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R. and Najafi, F. (2011).** Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biomaterialia*. 53: 47-56.
- Saeidi, M. and Abdoli, M. (2015).** Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits catalase development program in Maize scutellum. *Apply Genetic* 69: 71-77.
- Chapman, H.D. and Pratt, P.F. (1982).** Method of Analysis for Soil, Plants and Water, Chapman Publisher: Riverside, CA.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M. (2009).** Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29: 185-212.
- Ganjeali, A. and Bagheri, A. (2011).** Evaluation of morphological characteristics of root chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. *Pulses Research*. 1(2): 101-110. (In Persian with English abstract).
- Ganjeali, A., Kaffi, M. and Sabet Teimouri, M. (2010).** Evaluation of root and shoot physiological indices in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Environmental Stress Crop Science*. 3(1): 35-45. (In Persian with English abstract).
- Ghaderi, N., Normohammadi, S. and Javadi, T. (2015).** Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria ananassa*) to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal of Agricultural and Technology*. 17 (1):167-178.
- Gruber, B.D., Giehl, R.F.H., Friedel, S. and Wirén, N.V. (2013).** Plasticity of the Arabidopsis Root System under Nutrient Deficiencies. *Plant Physiology*. 163: 161-179.
- Helal, R.M. and Samir, M. (2008).** Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Crop Science*. 1: 31-36.
- Holy, M.C. (1972).** Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. *Plant Physiology*. 50: 15-18.
- 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.
- Hu, Y.C. and Schmidhalter, U. (2005).** Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of

- Siva, M.A., Da Silva J.A. and Sharma, S. (2007).** Use of physiology parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal Plant Physiology*. 19: 193-201.
- Soltani, A., Khoie, F.R., Ghassemi-Golzani, K. and Moghaddam, M. (2001).** Assimilation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid environment. *Agriculture Water Management*. 49: 225-237.
- Tester, M. and Davenport, R. (2003).** Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annual Botany*. 91: 503-527.
- Tewfik, K.M. (2008).** Effect of water stress in addition to potassium application on mungbean. *Australian Journal Basic Science*. 2: 42-52.
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. and Gasparicova, O. (2006).** Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil Environment*. 52: 186-191.
- Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. (2003).** Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgharian Journal of Plant Physiology*. 2: 187-206.
- of wheat cultivars. *Journal of Agricultural and Tecnology*. 17 (4): 885-898.
- Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H. and Esfahani, M. (2008).** Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Iranian Journal Crop Science*. 9 (4): 315-331. (In Persian with English abstract).
- Salehifar, M., Rabiei, B., Afshar Mohammadian, M. and Asghari, J. (2014).** Effect of IAA and Kinetin application on plant characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in rice seedlings under drought stress condition. *Iranian Journal Crop Science*. 16(4): 293-307. (In Persian with English abstract).
- Singh, G., Sekhon, H.S. and Kolar, J.S. (2005).** Pulses. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.
- Sio-Se Mardeh, A., Gholami, S., Bahramnejad, B., Kanouni, H. and Sadeghi, F. (2014).** Effect of drought stress on compatible osmolytes content, enzyme activity and grain yield in chickpea (*Cicer arietinum* L) genotypes. *Iranian Journal Crop Science*. 16(2): 109-124. (In Persian with English abstract).