

Comparison of physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to drought and salt stress and salicylic acid foliar application

Mohsen Movahhedi Dehnavi*, Nasrin Niknam, Yaqoub Behzadi, Raham Mohtashami, Reza Bagheri

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Abstract

In order to compare the physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum* L.) in drought and salinity stress conditions and salicylic acid foliar application, a greenhouse experiment was conducted based on completely randomized design with three replications in Yasouj university in 2015. Treatments including different levels of salinity and drought with similar osmotic potentials (-2, -4, -7 and -9 bar) in 8 levels and a control treatment were applied in Hoagland solution. Second factor was salicylic acid foliar application in 2 levels (0 and 0.5 mM). Salinity and drought applied using sodium chloride and polyethylene glycol 6000, respectively. The results showed that leaf protein content, catalase activity, total chlorophyll and carotenoid significantly decreased compared to control by increasing salinity and drought levels, however salicylic acid could prevent this trend. Proline soluble sugars and malodealdehyde content significantly increased compared to control by increasing salinity and drought. However salicylic acid could not prevent this trend. Shoot and root dry weights significantly decreased in salinity and drought stress treatments, compared to control and salicylic acid could prevent this decrease. Generally regarded to the most of the measured traits, impact of drought was more than salinity and salicylic acid could compensate the stress impacts on linseed.

Keywords: Catalase, Drought, Proline, Salinity, Soluble sugars

* Corresponding Author: Movahhedi1354@yu.ac.ir

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال نهم، شماره سی و سوم، پاییز ۱۳۹۶، صفحه 39-62

تاریخ دریافت مقاله: 1396/01/21

تاریخ بررسی مجدد: 1396/02/27

تاریخ پذیرش نهایی: 1396/04/12

مقایسه پاسخ‌های فیزیولوژیک کتان (*Linum usitatissimum* L.) به تنش خشکی و شوری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک

محسن موحدی دهنوی^{*}، نسرين نیکنام، یعقوب بهزادی، رهام محتشمی، رضا باقری
گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده

برای مقایسه پاسخ‌های فیزیولوژیک کتان *Linum usitatissimum* L. به تنش خشکی، شوری و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید، پژوهش حاضر به صورت گلدانی و در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال 1394 به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف تنش شوری و خشکی با پتانسیل‌های اسمزی 2-، 4-، 7- و 9- بار در 8 سطح بودند که با یک تیمار شاهد (در محلول هو گلند) اعمال شدند. عامل دوم شامل محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در دو سطح صفر (شاهد) و 0/5 میلی‌مولار بود. شوری با سدیم کلرید و خشکی با پلی اتیلن گلیکول 6000 اعمال شدند. نتایج نشان دادند که شوری و خشکی کاهش پروتئین محلول برگ، فعالیت آنزیم کاتالاز، محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید را باعث شد؛ ولی سالیسیلیک اسید توانست اندکی از این کاهش جلوگیری کند. محتوای پرولین و قندهای محلول و مالون دی‌آلدهید با افزایش شوری و خشکی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. سالیسیلیک اسید نتوانست از افزایش مالون دی‌آلدهید جلوگیری کند. وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمارهای مختلف تنش شوری و خشکی نسبت به سطوح بدون تنش (شاهد)، کاهش معنی‌داری نشان داد و سالیسیلیک اسید نتوانست از کاهش وزن جلوگیری کند. به‌طور کلی در بیشتر صفات، صدمه خشکی بیشتر از شوری بود و سالیسیلیک اسید نتوانست از صدمات تنش بر کتان جلوگیری کند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، خشکی، شوری، قندهای محلول، کاتالاز، مالون دی‌آلدهید

* نگارنده مسئول: نشانی پست الکترونیک: Movahhedi1354@yu.ac.ir، شماره تماس: 07431006165

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

مقدمه

افزایش تنش خشکی میزان پرولین، فلاونوئید و آنتوسیانین در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند؛ ولی میزان کاروتنوئید نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت. همچنین تجمع پرولین در اندام هوایی بیشتر از ریشه بود. تنش شوری همچنین موجب تغییرات شیمیایی، مرفولوژیک و فیزیولوژیک متعددی در گیاهان می‌شود. این تنش، رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپیدها، تنفس و تولید انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آثار زیان‌آور شوری بر گیاهان به شیوه‌های مختلف از جمله، مرگ یا کاهش تولید گیاهان نمایان می‌شود (Parida and Das, 2005). سدیم کلراید فروان‌ترین نمکی است که موجب شوری خاک می‌شود (Koca et al., 2007).

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند سالیسیلیک اسید باعث مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود و به عنوان یک راهکار برای جلوگیری از آثار مخرب تنش‌های محیطی به شمار می‌رود (Singh and Usha, 2003). سالیسیلیک اسید از طریق تحریک سامانه آنتی‌اکسیدانی، بهبود یکپارچگی غشا و کاهش تلفات آب منجر به تاخیر در لوله شدن برگ گیاهان (Kadioglu et al., 2011)، همچنین باعث محافظت رنگدانه‌های گیاهی، آنتی‌اکسیدان‌ها و آنزیم‌ها می‌شود (Chaves et al., 2009). در بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان صفر و 3 میلی‌مولار روی گل حنا تحت تنش خشکی که توسط پلی اتیلن گلاایکول در یک دوره تنش خشکی 60 روزه ایجاد شد، محتوی کلروفیل، محتوی آب نسبی، میزان رشد، وزن تازه،

کتان روغنی یا بزرک با نام علمی *Linum usitatissimum* L. از گیاهان زراعی است که در زمینه تولید روغن‌های گیاهی و بندرت الیاف و تأمین علوفه کاربرد دارد. روغن کتان علاوه بر امگا 3، ویتامین E نیز دارد. مصرف آن مصونیت بدن را در برابر بیماری‌ها بالا برده و از بروز سرطان پیشگیری می‌کند (Iran Nejad, 2005). تنش‌های غیر زنده، به ویژه خشکی و شوری از تنش‌های اصلی و مهم هستند که سبب کاهش تولیدات زراعی در سراسر جهان می‌شوند (Bybordi, 2010). یکی از شاخص‌های فیزیولوژیک متأثر از تنش خشکی محتوی کلروفیل و کاروتنوئید برگ است. برخی از گیاهان در طول تنش خشکی کلروفیل خود را حفظ می‌کنند و برخی دیگر کلروفیل خود را از دست می‌دهند (Muller et al., 2010). کاهش در محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی به علت خسارت به کلروفیل با اکسیژن فعال است (Mafakheri et al., 2010). یکی از سازوکارهای گیاهان برای مقابله با تنش خشکی تنظیم اسمزی است، که تا حدی شرایط لازم برای جذب آب، و حفظ آماس سلولی را فراهم می‌کند. افزایش در میزان قندهای محلول و پرولین از جمله واکنش‌هایی است که گیاهان مختلف برای تنظیم اسمزی و کاهش پتانسیل اسمزی برای مقابله با تنش خشکی از خود بروز می‌دهند (Sanchez et al., 1998). Ghorbanli و همکاران (2012) در بررسی اثر تنش خشکی بر واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه کتان نتیجه‌گیری کردند که با

کاهش یافتند. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید 3 میلی‌مولار و آسکوربیک اسید 1/5 میلی‌مولار به عنوان بهترین تیمار جهت تخفیف اثرات سمی شوری شناخته شدند.

باتوجه‌به اینکه آثار تنش‌های همزمان شوری و خشکی بر کتان روغنی بررسی نشده است، همچنین باتوجه‌به اهمیت نقش تنظیم‌کنندگی سالیسیلیک اسید در مقابله با تنش‌ها و بخصوص تنش خشکی و شوری، انتظار می‌رود که کاربرد آن بتواند تا حدودی از آثار مخرب تنش‌های خشکی و شوری بکاهد. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش مقایسه پاسخ‌های فیزیولوژیک کتان به تنش خشکی و شوری و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید گیاه کتان بود.

مواد و روش‌ها

برای مقایسه پاسخ‌های فیزیولوژیک کتان به تنش خشکی و شوری و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید، این پژوهش به صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در پاییز و زمستان 1394 به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل سطوح مختلف تنش شوری و خشکی با پتانسیل اسمزی برابر (-2، -4، -7 و -9 بار) در 8 سطح به اضافه یک تیمار شاهد بود که در محلول هوگلد اعمال شد. عامل دوم شامل سالیسیلیک اسید در دو سطح صفر (شاهد) و 0/5 میلی‌مولار بودند. شوری با سدیم کلرید و خشکی با پلی اتیلن گلیکول 6000 اعمال شدند. واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌های پلاستیکی به قطر 20 و ارتفاع 30 سانتیمتر بودند.

نمو برگ و ساقه کاهش یافت. خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول از دست دادن آب برگ را افزایش داد و باعث تجمع پرولین، H_2O_2 و مالون‌دی‌آلدید گردید. در پاسخ به تنش خشکی میزان فعالیت کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز افزایش یافت. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (SA) بجز تجمع پرولین، آثار پلی اتیلن گلیکول بر رشد و شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را خنثی کرد. سالیسیلیک اسید به‌طور ویژه میزان رشد اندام هوایی و آب برگ را افزایش داد و رنگدانه‌ها و غشاهای فتوسنتزی را از صدمات اکسیداتیو محافظت کرد (Antonic *et al.*, 2016). در بررسی کاربرد سالیسیلیک اسید در بهبود رشد و فتوسنتز خردل روغنی تحت تنش خشکی، با محلول‌پاشی غلظت صفر و 0/5 میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمارهای تنش آبی 100 و 50 درصد ظرفیت زراعی، نتایج نشان داد که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش رشد، شاخص‌های فتوسنتزی، فعالیت رویسکو، نترات رداکتاز و ATP سولفوریلاز شد؛ درحالی‌که افزایش معنی‌داری در میزان متابولیسم پرولین مشاهده شد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به میزان 0/5 میلی‌مولار، با افزایش تولید پرولین و کاهش گلوتامین کیناز، اثر تنش خشکی را کاهش داد (Nazar *et al.*, 2015). Shahbazi Zadeh و همکاران (2015) در بررسی اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیک سویا تحت تنش شوری نشان دادند که با افزایش شدت تنش میزان فتوسنتز، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، هدایت روزنه‌ای، پروتئین و سطح برگ به‌طور معنی‌داری

شوری و خشکی در محلول هو گلند اعمال شد. در دفعات بعدی آبیاری، به‌طور متناوب این مقادیر در هر سطح اضافه گردید. اعمال تیمارهای خشکی و شوری تا پایان مرحله رویشی و هم‌زمان با نیاز آبی گیاه ادامه یافت و در زمان مشاهده شوره در سطح گلدان‌ها، برای جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک، علاوه بر زه‌کشی گلدانی، آب شویی با آب معمولی به‌طور یکنواخت برای همه تیمارها انجام شد (Javadipour *et al.*, 2013). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت‌های صفر و 0/5 میلی‌مولار دقیقاً قبل از اعمال تیمارهای شوری و خشکی به‌صورتی که سطح گیاه کاملاً پوشانده و خیس شود، اعمال شد. 20 روز بعد از شروع اعمال تنش‌ها، برای اندازه‌گیری‌های پرولین، پروتئین محلول، قندهای محلول، آنزیم کاتالاز، مالون‌دی‌آلدهید، کلروفیل کل، کاروتنوئید، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی به ریشه از هر گلدان 4 نمونه گرفته شد. ارتفاع بوته‌ها نیز ثبت گردید و نمونه‌ها در دمای 40- درجه سانتی‌گراد تا زمان اندازه‌گیری صفات نگهداری شدند. میزان کلروفیل با روش پیشنهادی Arnon (1949) و کاروتنوئید با روش Lichtenthder (1987) اندازه‌گیری شد. برای سنجش فعالیت کاتالاز از روش Aebi (1984)، پرولین با روش Paquine و Lechasseur (1979)، قندهای محلول با روش Irrigoyen و همکاران (1992)، پروتئین محلول برگ به روش Kar و Mishra (1976) و مالون‌دی‌آلدهید با روش Heat و Pacher (1969) اندازه‌گیری شدند.

تعداد 108 گلدان با ماسه نرم و شسته شده، پر و در دستگاه ضدعفونی با بخار (شاهرضایی، ایران) ضدعفونی شدند. در هر گلدان 20 عدد بذر جوانه‌زده در عمق یک سانتی‌متری کشت شدند. زمانی که 50 درصد سبز شدن انجام شد، گلدان‌ها با یک‌چهارم غلظت عناصر غذایی محلول هو گلند (جدول 1) آبیاری شدند. بعد از اینکه گیاهچه‌ها بیشتر رشد نمودند، با نصف غلظت عناصر غذایی محلول هو گلند، آبیاری شدند. دو هفته بعد از استقرار، گیاهان تنک شدند و در هر گلدان 10 بوته نگهداری شد. در مرحله 4 برگگی محلول‌پاشی‌ها صورت گرفت و با افزودن تدریجی کلرید سدیم و پلی اتیلن گلیکول در محلول هو گلند اعمال شوری و خشکی آغاز شد. برای تهیه هر پتانسیل آب لازم از سدیم کلرید، محاسبات با رابطه 1 به نام رابطه Van't Hoff (1887) انجام شد.

$$\text{رابطه 1: } -CIRT = \Psi$$

در این رابطه C مولاریته محلول، I ضریب یونیزاسیون، R ثابت گازها و T درجه حرارت محلول بر حسب کلوین و Ψ پتانسیل اسمزی بر حسب مگا پاسکال بود، که برای رسیدن به پتانسیل‌های مدنظر بترتیب صفر، 2/92، 5/84، 8/76 و 11/68 گرم نمک سدیم کلرید در محلول هو گلند حل می‌شد. محاسبه میزان پلی اتیلن گلیکول 6000 مورد نیاز، از قرار به ترتیب صفر، 127، 190، 238 و 280 گرم در یک کیلوگرم آب، با رابطه Michel and Kaufmann (1973) انجام می‌شد؛ به‌طوری‌که ابتدا در هر نوبت آبیاری به هر کدام از گلدان‌ها به جزء سطح شاهد پتانسیل اسمزی 2- بار در هر سطح

تنش خشکی نسبت به تنش شوری کاهش بیشتری نشان داد. در واقع اثر اسمزی بر اثر سمیت غالب بوده است؛ اما در سایر سطوح اثر تنش خشکی و شوری یکسان بود. کاهش در محتوای پروتئین محلول در شرایط تنش، ممکن است به علت کاهش فعالیت آنزیم نیتريت ريداكزاز و گلوتامين سنتتاز باشد (Dolat Abadeyan et al., 2009). این نتایج با نتایج Jahantigh و همکاران (2016) در گیاه زوفا مبنی بر افزایش پروتئین محلول برگ با افزایش شدت تنش شوری همخوانی ندارد.

در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید، بین تیمارهای شوری بیشترین میزان پروتئین محلول در تیمار شاهد و 2- بار تنش شوری، و کمترین آن در تیمار 9- بار تنش شوری بود. در تیمارهای مربوط به تنش خشکی نیز بیشترین میزان پروتئین محلول کتان در تیمار 2- بار بود که با تیمار 4- بار تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن در تیمار 9- بار مشاهده شد (شکل 1). به نظر می‌رسد که در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید نسبت به شرایط عدم مصرف، تأثیر منفی تنش خشکی و تنش شوری شدت کمتری داشته‌است. در واقع مصرف سالیسیلیک اسید تا حدودی باعث تعدیل تنش خشکی و شوری شده است. همچنین به نظر می‌رسد تأثیر مثبت مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری و خشکی، در همه سطوح موثر بود. استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند سالیسیلیک اسید مقاومت گیاهان را به تنش‌های زنده و غیرزنده سبب می‌شود و راهکاری برای جلوگیری از آثار مخرب تنش‌های محیطی بوده است (Singh and Usha 2003).

تحلیل آماری: محاسبات آماری و رسم نمودارها با نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین آثار اصلی با آزمون حداقل میانگین مربعات (LSD) در سطح 5 درصد و مقایسه میانگین آثار متقابل با روش L.S.Means انجام شد.

نتایج و بحث

محتوای پروتئین محلول برگ: برهمکنش پتانسیل اسمزی و سالیسیلیک اسید بر پروتئین محلول برگ کتان معنی‌دار ($P < 0/01$) بود (جدول 1). در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، میزان پروتئین محلول کتان در سطوح مختلف تیمارهای تنش شوری و خشکی نسبت به عدم تیمار تنش (شاهد) کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل 1). همچنین بیشترین میزان پروتئین محلول در شرایط 2- بار تنش شوری و خشکی، و کمترین میزان پروتئین محلول کتان در تیمار 9- بار تنش شوری و خشکی بدست آمد (شکل 1). طبق گزارش Bajji و همکاران (2001) غلظت پروتئین‌های محلول در اثر تنش خشکی به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها، کاهش سنتز پروتئین و تجمع آمینواسید پرولین، کاهش می‌یابد. کاهش محتوای پروتئین برگ در اثر شوری در آویشن نیز گزارش شده است (Razavizadeh and Mohagheghian, 2015). همبستگی منفی و معنی‌دار محتوای پروتئین محلول با میزان پرولین ($r^2 = -0/93^{**}$) نیز بر این موضوع تأکید می‌کند که کاهش پروتئین محلول برگ به تولید بیشتر پرولین منجر می‌گردد (جدول 2). همچنین به نظر می‌رسد که، با توجه به پتانسیل 2- تنش شوری و خشکی، محتوای پروتئین محلول با

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سطوح مختلف شوری، خشکی و سالیسیلیک اسید بر پروتئین محلول، پرولین، قند محلول، مالوندی آلدهید، کاتالاز، کلروفیل کل، کلروفیل a/b، کارتنوئید، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه

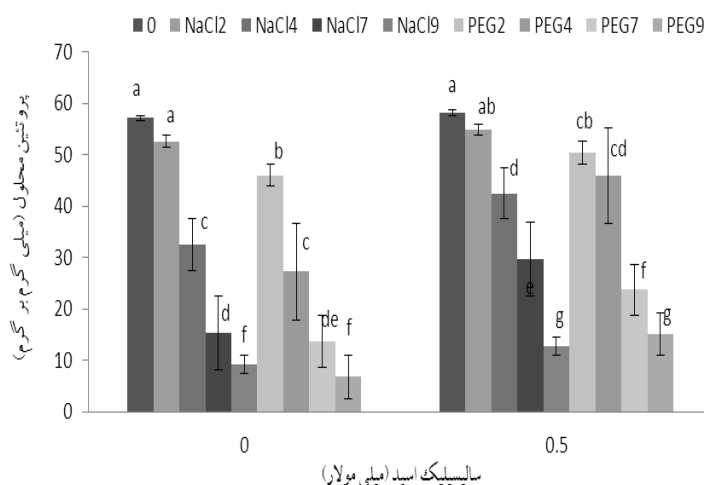
منابع تغییرات	درجه آزادی	پروتئین محلول	پرو لین	قند محلول	مالوندی آلدهید	کاتالاز	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کارتنوئید	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	ساقه
سالیسیلیک اسید (SA)	1	880/074**	6016/66**	3552/0**	105/3**	0/13**	0/92**	0/0004	0/05**	0/0016**	0/003**	0/32**
پتانسیل اسمزی (OP)	8	1937/97**	443/25**	54047**	203/5**	0/039**	1/19**	0/04**	0/05**	0/0036**	0/002**	0/59**
SA*OP	8	51/67**	251/08°	1144°	17/12°	0/0012 ^{ns}	0/044°	0/004°	0/004°	0/00007**	0/00001 ^{ns}	0/16**
خطا	53	9/4	111/42	122/98	1/0	0/0027	0/0013	0/0014	0/00006	0/00001	0/00002	0/38
ضریب تغییرات	-	9/3	6/3	6/9	10/8	13/42	3/9	5/5	6/2	9/98	11/62	33/81

* و **، به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد و ns نشان دهنده معنی دار نبودن تفاوت است.

جدول 2- همبستگی بین صفات ارزیابی شده در کتان در سطوح مختلف تیمارهای شوری، خشکی و سالیسیلیک اسید

پروتئین	پرو لین	قندهای محلول	مالوندی آلدهید	کاتالاز	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
پروتئین	1									
پرو لین	-0/92**									
قندهای محلول	-0/88**	1								
مالوندی آلدهید	-0/83**	0/95**	0/82**							
کاتالاز	0/74**	-0/67**	-0/59**	-0/65**						
کلروفیل کل	0/94**	-0/89**	-0/87**	-0/87**	0/76**	0/9**				
کلروفیل a/b	0/29**	-0/42**	-0/18**	-0/18 ^{ns}	0/19 ^{ns}	-0/18 ^{ns}	0/2 ^{ns}			
کارتنوئید	0/86**	-0/78**	-0/7**	-0/68**	0/82**	0/77**	0/86**	0/27**		
وزن خشک اندام هوایی	0/89**	-0/85**	-0/75**	-0/7**	0/82**	0/78**	0/86**	0/91**	0/86**	
وزن خشک ریشه	0/91**	0/8**	-0/78**	0/08**	0/78**	0/88**	0/92**	0/84**	0/86**	0/86**
وزن خشک ریشه به اندام هوایی	-0/44**	0/48**	0/35**	0/19	-0/43**	-0/19	-0/37**	-0/55**	-0/56**	-0/21 ^{ns}

* و **، به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد و ns نشان دهنده معنی دار نبودن تفاوت است.



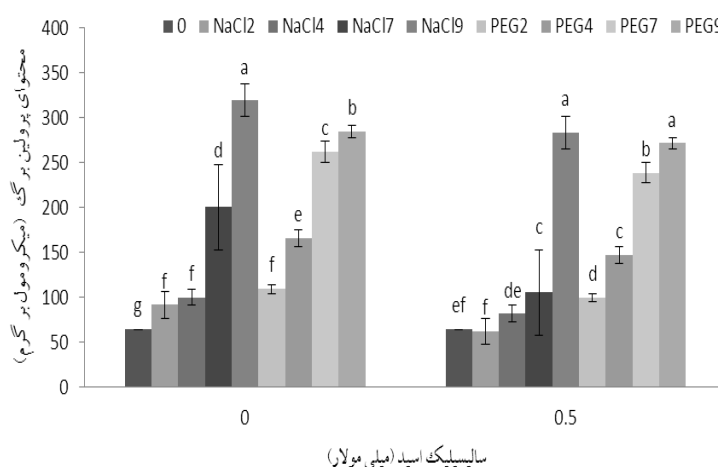
شکل 1- مقایسه محتوای پروتئین محلول برگ در برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی - مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با رویه L.S.Means است. 0 = شاهد (هوگ‌لند)، NaCl2 = پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4 = پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7 = پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9 = پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2 = پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4 = پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7 = پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9 = پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

(2015). افزایش سطح پرولین در شرایط تنش به این علت است که پرولین، اسمولیت سازگاری است که اکسیژن‌های آزاد تولید شده در تنش‌های محیطی را حذف و از مولکول‌های بزرگ حفاظت می‌کند (Rahdari *et al.*, 2012). همچنین پرولین حفظ فعالیت‌های آنزیمی را در شرایط شوری موجب می‌شود (Ozturk *et al.*, 2012). همچنین افزایش پرولین در هنگام تنش نشان‌دهنده نقش این آمینواسید در تنظیم اسمزی است (Ashraf *et al.*, 1994). تنظیم اسمزی در گیاهان سازوکار عمده تحمل تنش خشکی است. پرولین علاوه بر تنظیم اسمزی به‌طور مستقیم و غیر مستقیم با ماکرومولکول‌ها اثر متقابل داشته و به حفظ شکل و ساختار طبیعی آنها در شرایط تنش کمک می‌کند (Koc *et al.*, 2010).

برهمکنش تیمار شوری و خشکی بر محتوای پرولین برگ کتان معنی‌دار ($P < 0/01$) بود (جدول 1). در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، میزان پرولین کتان در سطوح مختلف تیمارهای تنش شوری و خشکی نسبت به عدم تیمار تنش (شاهد) افزایش معنی‌داری و چندین برابری نشان داد (شکل 2). یعنی تیمارهای شوری 2- و 4- بار، کمترین میزان محتوای پرولین را داشتند، که با تیمار 9- و 7- بار تنش شوری تفاوت معنی‌داری داشت. افزایش تنش خشکی نیز منجر به افزایش محتوای پرولین کتان شد؛ به طوری که بیشترین میزان محتوای پرولین برگ کتان در تیمار 9- بار و کمترین آن در تیمار 2- بار خشکی مشاهده شد (شکل 2). افزایش پرولین برگ در اثر شوری در آویشن گزارش شده است (Razavizadeh and Mohagheghian,

متوسط شوری اثر سمیت یونی مشاهده نشد و سدیم کلرید، القای تنظیم اسمزی را باعث شد؛ ولی در تنش شدید (غلظت زیاد نمک) تأثیر سمیت نمک نیز علاوه بر اثر اسمزی، مشاهده شده و تأثیر بیشتری بر تجمع پرولین داشته است.

با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که در پتانسیل‌های یکسان تنش شوری و خشکی محتوای پرولین محلول با افزایش تنش خشکی نسبت به تنش شوری افزایش بیشتری نشان داد (به استثنای پتانسیل 9- بار). بنابراین در تنش ملایم تا



شکل 2- مقایسه محتوای پرولین برگ در برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی - مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیر مشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با رویه L.S.Means است. 0= شاهد (هوگلند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

پتانسیل اسمزی (ناشی از تنش شوری) بر محتوای پرولین نسبت به شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، کمتر شده است (به استثنای پتانسیل 9- بار). در واقع مصرف سالیسیلیک اسید باعث تعدیل تنش خشکی و به خصوص شوری شده است، و در شرایط تنش شوری تأثیر بهتری نسبت به تنش خشکی نشان داد. از آنجایی که پرولین اغلب یک محلول سازگاری در تنظیم اسمزی در شرایط تنش است، افزایش مقدار پرولین نشان‌دهنده آثار

در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید، بین تیمارهای 4- و 2- بار تنش شوری با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار 9- بار تنش شوری بود. افزایش تنش خشکی نیز منجر به افزایش پرولین کتان شد؛ به طوری که بیشترین میزان پرولین کتان در تیمار 9- بار بود که با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت (شکل 2). به نظر می‌رسد که با مصرف سالیسیلیک اسید تأثیر منفی افزایش

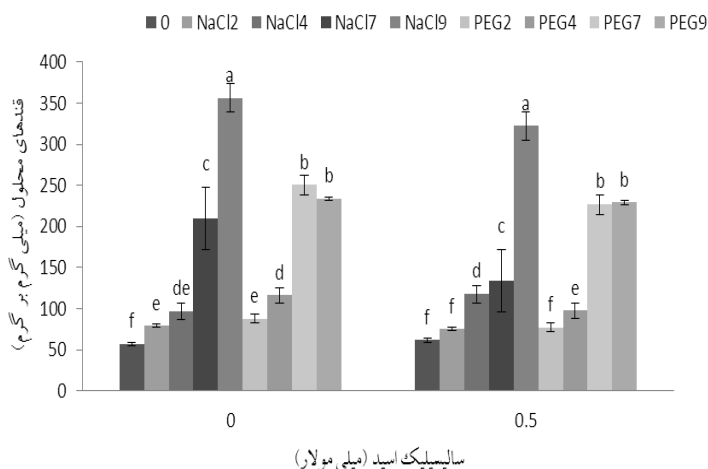
قندهای محلول در تنش‌های شدید خشکی می‌تواند به علت مصرف قندها در سنتز متابولیت‌هایی چون پرولین باشد (Irrigoyen *et al.*, 1992).

در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید، در شرایط تنش شوری کمترین میزان قندهای محلول کتان مربوط به تیمار 2- بار تنش شوری بود و بیشترین آن در تیمار 9- بار بود. در شرایط تنش خشکی کمترین میزان قندهای محلول کتان مربوط به تیمار 2- بار و بیشترین آن در تیمار 9- بار بود که با تیمار 7- بار تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل 3). تأثیر افزایش پتانسیل اسمزی بر محتوای قندهای محلول، در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید نسبت به شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، کمتر بود. در واقع به نظر می‌رسد مصرف سالیسیلیک اسید باعث کاهش اثر تنش شده است، و در شرایط تنش شوری (بخصوص در تیمار 7- بار) تجمع قند را کاهش می‌دهد. استفاده از سالیسیلیک اسید از کاهش اکسین و سیتوکینین در گیاهان جلوگیری می‌کند، تقسیمات سلولی بهبود می‌یابد و رشد گیاه بهتر می‌شود (Hayat *et al.*, 2010)؛ در نتیجه، کاربرد سالیسیلیک اسید می‌تواند مصرف متابولیک فعال قندها را به صورت محلول در ترکیبات سلول جدید، به عنوان مکانیسمی برای افزایش رشد در شرایط تنش شوری و خشکی باعث شود. برخلاف نتایج این آزمایش افزایش قندهای محلول با کاربرد سالیسیلیک اسید در توتون گزارش شده است (Habibi *et al.*, 2015).

نامطلوب تنش شوری و خشکی بر گیاه می‌باشد. بنابراین با کاربرد سالیسیلیک اسید گیاه از وضعیت تنش خارج شده و بهبود یافته است و در نتیجه این روند، مقدار پرولین در گیاه اندکی کاهش یافته است.

محتوای قندهای محلول کل برگ: نتایج نشان داد که برهمکنش تیمار شوری و خشکی بر محتوای قند محلول برگ کتان معنی‌دار ($P < 0/01$) بود (جدول 1). مقایسه میانگین نشان داد که در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، میزان قند محلول کتان در سطوح مختلف تیمارهای تنش شوری و خشکی نسبت به عدم تیمار تنش (شاهد) افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل 3). بین تیمارهای شوری کمترین میزان قند محلول مربوط به تیمار شاهد بود و بیشترین میزان قند محلول در شرایط تیمار 9- بار تنش شوری بود. با افزایش تنش خشکی تا سطح 7- بار میزان قند محلول کتان افزایش یافت و سپس ثابت ماند. در پتانسیل‌های یکسان تنش شوری و خشکی (به استثنای پتانسیل 9- بار) محتوای قندهای محلول با افزایش تنش خشکی نسبت به تنش شوری افزایش بیشتری نشان داد.

به نظر می‌رسد علت افزایش اولیه قندهای محلول در تنش خشکی ملایم و متوسط، افزایش مقاومت گیاه با تنظیم فشار اسمزی بوده است. در شرایط تنش، گیاه با افزایش قندهای محلول و تأثیر بر پتانسیل اسمزی در حفظ عملکرد غشای سلولی نقش دارد (Kaur *et al.*, 2000). عدم افزایش

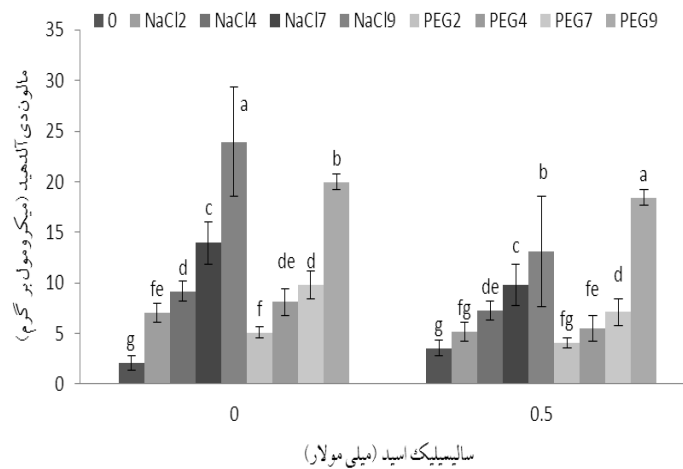


شکل 3- مقایسه قندهای محلول برگ در برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی- مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیرمشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با رویه L.S.Means است. 0= شاهد (هو گلند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

تنش شوری، بخصوص سطوح بالای تنش میزان مالون‌دی‌آلدئید کتان نسبت به تنش خشکی افزایش بیشتری نشان داد. به نظر می‌رسد اثر سمیت یونی بر روی مالون‌دی‌آلدئید بیشتر از اثر اسمزی بوده است.

در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید، در شرایط تنش شوری میزان مالون‌دی‌آلدئید کتان با افزایش تنش روند افزایشی نشان داد و بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید در تیمار 9- بار بود (شکل 4). از طرفی در تیمارهای تنش خشکی با افزایش تنش تا سطح 4- تفاوت معنی‌داری در میزان مالون‌دی‌آلدئید مشاهده نشد. و تنها در سطح 7- و 9- تفاوت معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد با توجه به نتایج سالیسیلیک اسید نتوانسته است میزان مالون‌دی‌آلدئید را در مواجهه با تنش کاهش دهد.

مالون‌دی‌آلدئید: برهمکنش تیمار شوری و خشکی بر مالون‌دی‌آلدئید برگ کتان معنی‌دار ($P < 0/01$) بود (جدول 1). نتایج نشان داد که در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، میزان مالون‌دی‌آلدئید کتان در سطوح مختلف تیمارهای تنش شوری و خشکی نسبت به عدم تیمار تنش (شاهد) افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل 4). کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید مربوط به تیمار شاهد بود. در شرایط تنش شوری بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تیمار 9- بار تنش شوری بود، که با سایر سطوح تفاوت معنی‌داری داشت. در بین تیمارهای خشکی تیمار 2- بار تنش خشکی کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید را دارا بود، و با افزایش تنش خشکی تا سطح 9- بار میزان مالون‌دی‌آلدئید کتان به بیشترین سطح رسید (شکل 4). به‌طور کلی در پتانسیل‌های یکسان در



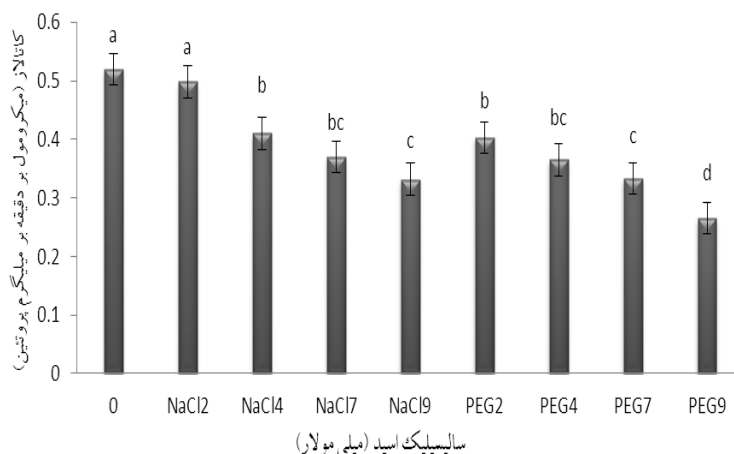
شکل 4- مقایسه محتوای مالون دی آلدئید برگ در برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی- مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشابه، بیان کننده اختلاف معنی دار با رویه L.S.Means است. 0= شاهد (هوگلدند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

کاتالاز: نتایج نشان داد که اثر ساده پتانسیل اسمزی و سالیسیلیک اسید بر محتوای کاتالاز برگ کتان معنی دار ($P < 0/01$) بود (جدول 1). بین تیمارهای شوری کمترین میزان محتوای کاتالاز در شرایط 9- بار تنش شوری بود که با تیمار 7- بار تنش شوری تفاوت معنی داری نداشت، و بیشترین میزان محتوای کاتالاز کتان در تیمار شاهد بدست آمد که با تیمار 2- بار تفاوت معنی داری نداشت. بین تیمارهای خشکی افزایش تنش خشکی تا سطح 4- بار تأثیر معنی داری روی محتوای کاتالاز کتان نداشت؛ ولی در تیمار 7- و 9- بار تنش خشکی کاهش معنی داری مشاهده شد (شکل 5). به نظر می رسد که در پتانسیل های یکسان تنش شوری و خشکی، تأثیر تنش خشکی بر کاهش محتوای کاتالاز بیشتر بود. گیاهان در شرایط تنش به

به طور کلی بسیاری از گیاهان وقتی در شرایط تنش خشکی قرار می گیرند غشای سلولی آنها آسیب جدی می بینند و مقدار مالون دی آلدئید سلولی آنها افزایش می یابد. رادیکال های سوپراکسید که با تنش خشکی تولید می شود، باعث پراکسیداسیون لیپید می شود. حاصل پراکسیداسیون لیپیدهای غشا ترکیباتی مانند مالون دی آلدئید است (Heat and Pacher, 1969). پراکسیداسیون لیپیدها و تولید مالون دی آلدئید، شاخصی برای میزان خسارت تنش اکسیداسیو می باشد. گزارش شده که سالیسیلیک اسید ممکن است با پاکسازی رادیکال های آزاد، از پراکسیداسیون چربی ها جلوگیری نموده و مانع افزایش مالون دی آلدئید شود؛ اما در این پژوهش این اثر در تنش شدید شوری تا حدودی دیده شد.

کممک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و آنتی‌اکسیدانهایی مانند آسکوربات، گلوکاتیون و کارتنوئید تشکیل شده است.

سازوکارهای دفاعی مانند چرخه گزانتوفیل، چرخه گلوکاتیون-آسکوربات و تنفس نوری برای مقابله با تأثیرات تخریبی و مضر انواع اکسیژن فعال یا ممانعت از تولید آنها، می‌پردازند. که این چرخه‌ها با



شکل 5- اثر پتانسیل اسمزی بر محتوای کاتالاز- مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیرمشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD است. 0= شاهد (هوگلند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

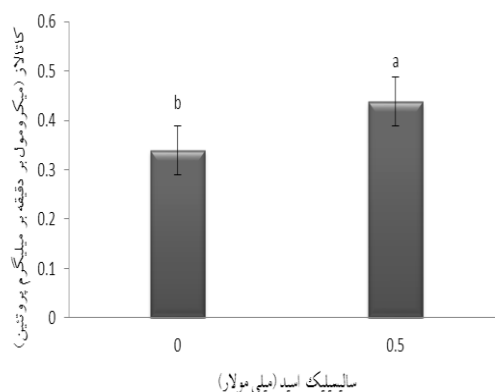
توسط پژوهشگران دیگر از جمله Esfandiari و همکاران (2013) نیز گزارش شده است. در پژوهش بر آویشن، در تنش شوری کاتالاز افزایش نشان داده است (Razavizadeh and Mohagheghian, 2015). برخی از پژوهشگران معتقدند، از آنجا که سنتز پروتئین‌ها بر اثر تنش‌های شدید شوری کاهش می‌یابد، فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در تنش‌های شدید شوری ممکن است کاهش یابد (Khanna-Chopra and Selote, 2007). همبستگی مثبت معنی‌دار بین میزان فعالیت کاتالاز و محتوای پروتئین محلول ($r^2=0/74^{**}$) نیز بر این موضوع تأکید می‌کند (جدول 2).

به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر، آنزیم کاتالاز در کاهش آثار تنش خشکی و شوری نقش چندانی نداشته است. نتیجه این کار، تجمع پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید خواهد بود که در این آزمایش مشاهده شد. همبستگی منفی و معنی‌دار مالون‌دی‌آلدئید با کاتالاز ($r^2=-0/65^{**}$) نیز بر این موضوع تأکید می‌کند (جدول 2). بررسی‌های انجام‌شده در زمینه تنش‌های شوری و خشکی، افزایش و یا کاهش فعالیت کاتالاز را گزارش داده‌اند. این تفاوت‌ها می‌تواند مربوط به تفاوت در گونه‌های گیاهی، شدت تنش و یا زمان‌های نمونه‌برداری باشد. کاهش آنزیم کاتالاز با افزایش تنش

کلروفیل کل نسبت به تیمار عدم تنش (شاهد) کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل 7). بین تیمارهای شوری بیشترین میزان محتوای کلروفیل کل در 2- بار و کمترین میزان محتوای کلروفیل کل در تیمار 9- بار تنش شوری بدست آمد. بین تیمارهای خشکی بیشترین میزان محتوای کلروفیل کل کتان در تیمار 2- بار و کمترین آن در تیمار 9- بار تنش خشکی مشاهده شد (شکل 7). تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال در کلروپلاست، به‌علت کاهش فعالیت فتوسیستم II، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و مهار سنتز ATP، افزایش می‌یابد. لذا به نظر می‌رسد تخریب کلروفیل با گونه‌های اکسیژن فعال، باعث کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش شده است. کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به‌علت تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن به سمت ساخت ترکیباتی مانند پرولین باشد، که در تنظیم اسمزی به کار می‌رود (Lawlor, 2002). همبستگی منفی و معنی‌دار بین محتوای کلروفیل کل با محتوای پرولین ($r^2 = -0/89^{**}$) نیز این موضوع را تأیید می‌کند (جدول 2). به نظر می‌رسد که در تیمار بدون سالیسیلیک اسید در پتانسیل‌های یکسان تنش شوری و خشکی، تأثیر منفی تنش خشکی و شوری (به استثنای پتانسیل 7- بار) بر روی محتوای کلروفیل کل یکسان بود.

در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید، روندی مشابه شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل 7). به نظر می‌رسد که تأثیر منفی تنش خشکی و شوری با افزایش سطوح آنها، در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید نسبت به شرایط عدم

با مصرف سالیسیلیک اسید، روندی افزایشی در محتوای کاتالاز مشاهده شد (شکل 6). بر اساس مشاهدات Pasandy pour و همکاران (2013) پیش تیمار سالیسیلیک اسید، موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. افزایش فعالیت این آنزیم، همراه با کاهش مقدار پراکسیداسیون لیپید، پراکسید هیدروژن و نشت یونی می‌باشد. بنابراین کاربرد سالیسیلیک اسید با فعال کردن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی مقاومت گیاهان به تنش‌های شوری و خشکی را باعث می‌شود.



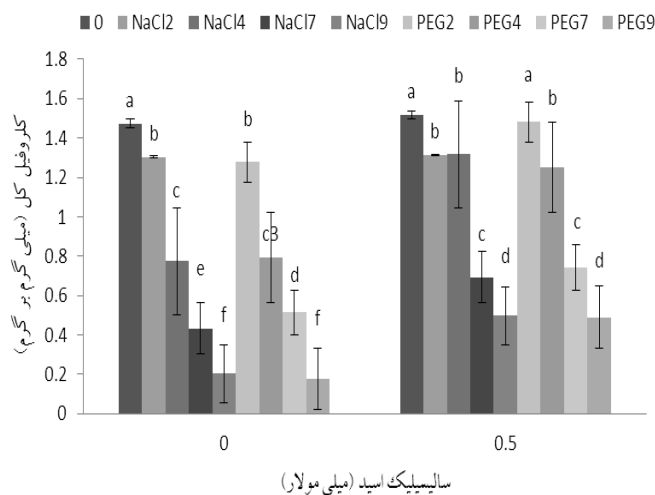
شکل 6- اثر سالیسیلیک اسید بر محتوای کاتالاز- مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیر مشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD است.

کلروفیل کل: نتایج نشان داد که برهمکنش

پتانسیل اسمزی و سالیسیلیک بر محتوای کلروفیل کل برگ کتان معنی‌دار بود ($P < 0/01$) (جدول 1). مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل اسمزی و کاربرد سالیسیلیک برای کلروفیل کل نشان داد که در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف تیمارهای تنش شوری و خشکی محتوای

اثر تنش خشکی و جبران و افزایش کلروفیل در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی در گیاه توتون گزارش شده است (Habibi *et al.*, 2015). آثار مثبت سالیسیلیک اسید ممکن است به افزایش آسیمیلاسیون و درصد فتوسنتز و افزایش جذب مواد معدنی توسط گیاهان تنش دیده تحت تیمار سالیسیلیک اسید نسبت داده شود (Khan *et al.*, 2003).

مصرف سالیسیلیک اسید، کمتر شده است. همچنین به نظر می‌رسد تأثیر مثبت مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری و خشکی، در پتانسیل‌های اسمزی 4-، 7- و 9- بار بیشتر است. سالیسیلیک اسید به طور ویژه میزان رشد اندام هوایی و نقصان آب برگ را افزایش داده و رنگدانه‌ها و غشاهای فتوسنتزی را از صدمات اکسیداتیو محافظت می‌کند (Antonic *et al.*, 2016). کاهش کلروفیل کل در



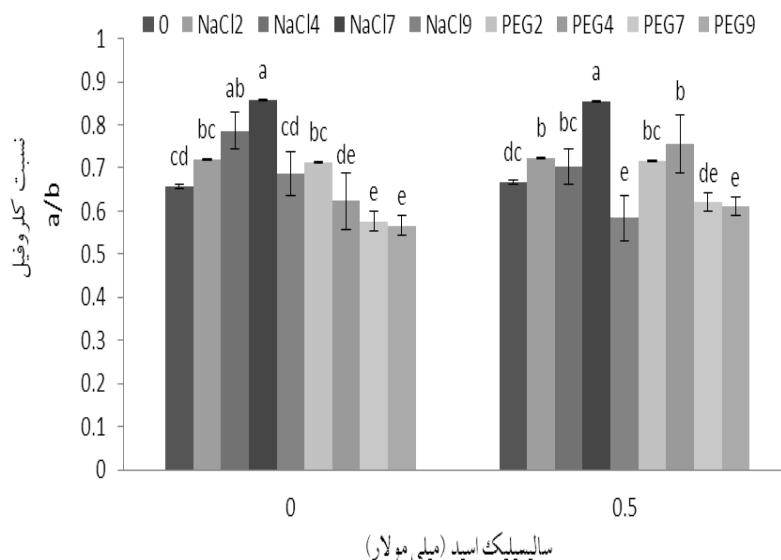
شکل 7- مقایسه محتوای کلروفیل کل در برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی- مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیرمشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با رویه L.S.Means است. 0= شاهد (هو گلند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

تنش شوری از 0 به 7- بار، نسبت کلروفیل a/b افزایش و سپس در تنش 9- کاهش یافت. یعنی با افزایش تنش شوری غلظت کلروفیل b کاهش بیشتری نسبت به غلظت کلروفیل a داشت و در تنش شدیدتر غلظت کلروفیل a بیشتر از کلروفیل b کاهش یافت؛ اما افزایش تنش خشکی منجر به

نسبت کلروفیل a/b: برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی بر نسبت کلروفیل a/b برگ کتان معنی‌داری بود ($P < 0/01$) (جدول 1). مقایسه میانگین برهمکنش پتانسیل اسمزی و کاربرد سالیسیلیک برای نسبت کلروفیل a/b نشان داد که در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، با افزایش

در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید، با افزایش تنش شوری از 0 به 4- دسی زیمنس نسبت کلروفیل a/b تغییر معنی‌داری نشان نداد؛ سپس در تنش 7- افزایش در تنش 9- کاهش یافت. یعنی با افزایش تنش شوری غلظت کلروفیل b کاهش بیشتری نسبت به غلظت کلروفیل a داشت و در تنش شدیدتر غلظت کلروفیل a بیشتر از کلروفیل b کاهش یافت. نتایج دیگر نشان می‌دهد که افزایش تنش خشکی تا سطح 4- تأثیر معنی‌داری روی نسبت کلروفیل a/b نداشت و با افزایش بیشتر تنش تا سطح 7- نسبت کلروفیل a/b کاهش یافت که با سطح 9- تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل 8).

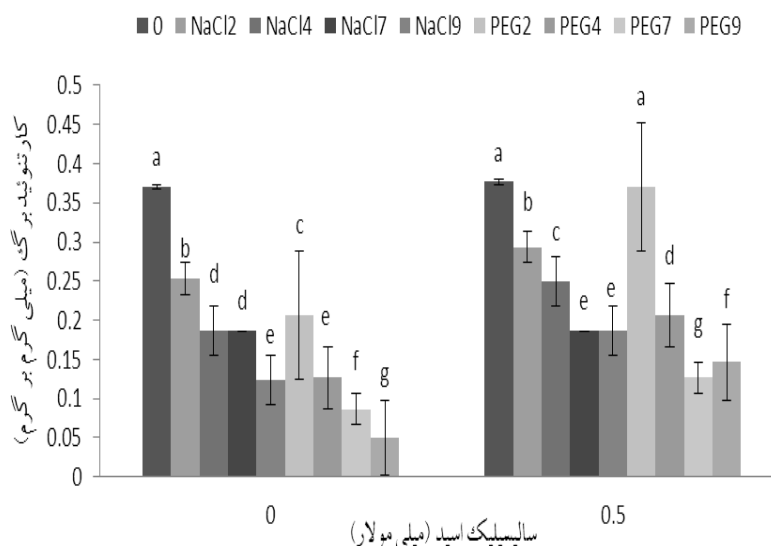
کاهش نسبت کلروفیل a/b کتان شد. نتایج ضد و نقیضی در ارتباط با تأثیر تنش شوری و خشکی بر نسبت کلروفیل a/b وجود دارد. Setayeshmehr و Ganjali (2013) گزارش دادند که با افزایش تنش خشکی، نسبت کلروفیل a/b به صورت معنی‌داری کاهش یافت. در تنش‌های خشکی و شوری، به علت حساسیت بیشتر کلروفیل a به تنش خشکی و شوری، کاهش محتوای کلروفیل a بیشتر از کلروفیل b بود (Jaleel et al., 2009)؛ در حالی که Ashraf و همکاران (1994) گزارش دادند که تنش خشکی غلظت کلروفیل b را بیشتر از کلروفیل a در گندم کاهش می‌دهد، که باعث افزایش نسبت کلروفیل a/b می‌شود (شکل 8).



شکل 8- مقایسه نسبت کلروفیل a/b در برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی-مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیرمشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با رویه L.S.Means است. 0= شاهد (هوگلند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

شد (شکل 9). به نظر می‌رسد که در پتانسیل‌های یکسان تنش شوری و خشکی، تأثیر منفی تنش خشکی نسبت به تنش شوری بیشتر بود. در واقع اثر اسمتیک بر اثر سمیت غالب بوده است، که در نهایت، کاهش میزان کارتنوئید برگ کتان را موجب می‌شود. Das و Parida (2005) بیان کردند که محتوای کلروفیل و کارتنوئیدهای گیاهان، در شرایط شوری کاهش پیدا می‌کند. به این ترتیب برگ‌ها بر اثر شوری، ابتدا به کلروز دچار می‌شوند؛ سپس شروع به ریزش می‌کنند. کاهش در رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهان در شرایط شوری بیشتر بر اثر جلوگیری از بیوسنتز یا تجزیه آنها انجام می‌شود.

محتوای کارتنوئید برگ: نتایج نشان داد که برهم‌کنش پتانسیل اسمزی و سالیسیلیک اسید بر محتوای کارتنوئید برگ کتان معنی‌دار ($P < 0/01$) بود (جدول 1). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، محتوای کارتنوئید برگ کتان در سطوح مختلف تیمارهای تنش شوری و خشکی نسبت به عدم تیمار تنش (شاهد) کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل 9). بین تیمارهای شوری بیشترین میزان کارتنوئید برگ در شرایط 2- بار و کمترین میزان در تیمار 9- بار تنش شوری بدست آمد. بین تیمارهای خشکی بیشترین میزان کارتنوئید برگ کتان در تیمار 2- بار و کمترین آن در تیمار 9- بار تنش خشکی مشاهده



شکل 9- مقایسه محتوای کارتنوئید برگ در برهم‌کنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی- مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیرمشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با رویه L.S.Means است. 0= شاهد (هو گلند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

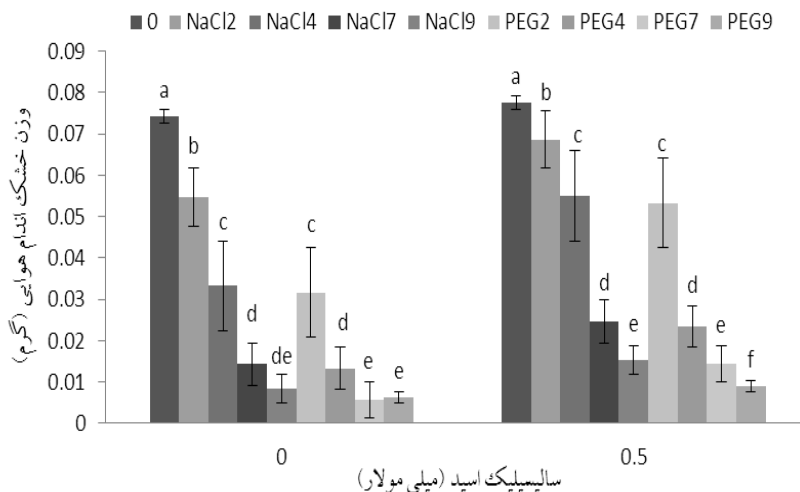
خشک اندام هوایی مربوط به تیمار 9- تنش شوری و خشکی بود. از دلایل عمده کاهش ماده خشک در بسیاری از گیاهان، کاهش سطوح فتوسنتز کننده و مصرف بیش از حد انرژی در جهت کنترل و کاهش اثر تنش شوری برای برقراری تعادل اسمزی برای حفظ آماس سلولی است (Kabiri *et al.*, 2012). همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفت با محتوای کلروفیل ($r^2 = 0.86^{**}$) نیز بر این موضوع تأکید می‌کند (جدول 2). به نظر می‌رسد در پتانسیل‌های یکسان تنش شوری و خشکی، با افزایش خشکی وزن خشک اندام هوایی کتان کاهش بیشتری نشان داد. بنابراین اثر اسمتیک بر روی وزن خشک اندام هوایی کتان بیشتر از اثر سمیت یونی بوده است.

در شرایط مصرف سالیسیلیک نیز، با افزایش تنش شوری و خشکی روند کاهش در وزن خشک اندام هوایی مشاهده شد. البته به نظر می‌رسد آثار منفی تنش شوری و خشکی بر وزن خشک اندام هوایی با مصرف سالیسیلیک اسید در مقایسه با شرایط عدم مصرف، کمتر شده است. وزن خشک اندام هوایی در تیمارهایی که سالیسیلیک اسید مصرف شده بود، در مقایسه با همان تیمار در شرایط بدون مصرف سالیسیلیک اسید بالاتر بود. همچنین اثر مثبت مصرف سالیسیلیک اسید بر وزن خشک اندام هوایی در تنش شوری بیشتر از تنش خشکی بود. سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با عدم مصرف آن

در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید، نیز روند کاهش میزان کارتنوئید برگ با کاهش پتانسیل اسمزی مشاهده شد؛ به طوری که بین تیمارهای شوری، کمترین میزان کارتنوئید برگ در تیمار 9- بار، و بیشترین آن در تیمار 2- بار تنش شوری بود. بین تیمارهای خشکی بیشترین میزان کارتنوئید برگ کتان در تیمار 2- بار، و کمترین آن در تیمار 9- بار مشاهده شد (شکل 9). به نظر می‌رسد که تأثیر منفی تنش خشکی و تنش شوری با افزایش غلظت آنها، در شرایط مصرف سالیسیلیک اسید نسبت به شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، شدت کمتری پیدا کرده است. در واقع مصرف سالیسیلیک اسید باعث تعدیل تنش خشکی و شوری در همه سطوح تیمارها شده است. افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در پاسخ به پیش تیمار سالیسیلیک اسید ممکن است به القای پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی، که سلول را از آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش محافظت می‌کند، مربوط باشد (Hayat *et al.*, 2009).

وزن خشک اندام هوایی: برهمکنش پتانسیل اسمزی و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک اندام هوایی کتان معنی‌دار ($P < 0.01$) بود (جدول 1). در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید، وزن خشک اندام هوایی کتان در سطوح مختلف تیمارهای شوری و خشکی نسبت به عدم تیمار تنش (شاهد) کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل 10). به طور کلی بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار شاهد و کمترین وزن

در شرایط تنش خشکی می‌شود (Arvin et al., 2011)



شکل 10- مقایسه وزن خشک اندام هوایی در برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی- مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیر مشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با رویه L.S.Means است. 0= شاهد (هو گلد)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

شرایط تنش خشکی نشان داد. بنابراین اثر سمیت یونی بر روی وزن خشک ریشه کتان بیشتر از اثر اسمتیک بوده است. احتمال دارد فراهمی یون سدیم در شرایط تنش شوری و جایگزین شدن آن با یون پتاسیم در محلول غذایی و در نتیجه، جذب بیشتر آن توسط ریشه ایجاد سمیت یونی را باعث شده است. کاهش رشد ریشه‌ها ممکن است به علت اثر سمیت یونی تنش شوری و عدم تعادل در جذب عناصر غذایی باشد. همچنین ممکن است قابلیت سامانه ریشه‌ای در کنترل یون‌های ورودی به اندام‌های هوایی برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش شوری علت دیگر باشد (Belkheiria and Mulas, 2011)

با مصرف سالیسیلیک اسید، روندی افزایشی در

وزن خشک ریشه: نتایج برهمکنش پتانسیل اسمزی و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک ریشه کتان معنی‌دار ($P < 0/01$) نبود؛ ولی اثر اصلی پتانسیل اسمزی و سالیسیلیک اسید بر این صفت معنی‌دار بود (جدول 1). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای شوری در شرایط عدم تیمار تنش (شاهد) وزن خشک ریشه کتان بیشترین مقدار بود که نسبت به شرایط 9- بار تنش شوری اختلاف معنی‌داری نشان داد (شکل A-11).

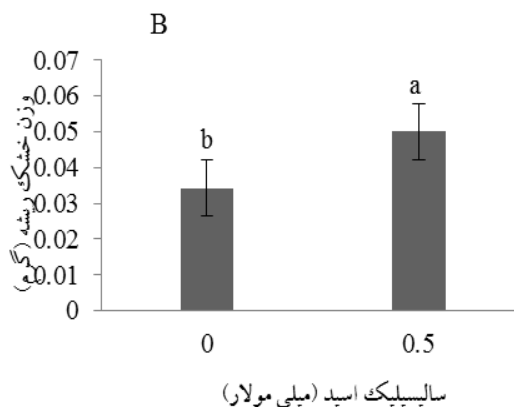
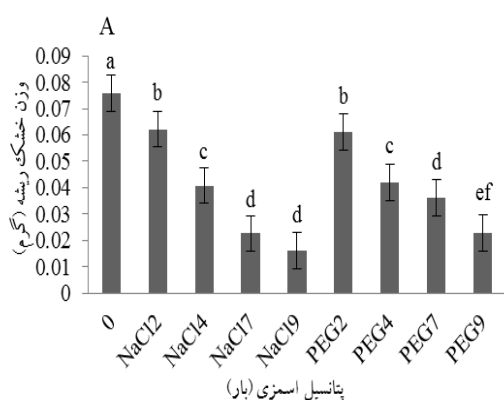
افزایش تنش خشکی نیز منجر به کاهش میزان وزن خشک ریشه کتان گردید. البته به نظر می‌رسد که در پتانسیل‌های یکسان، با افزایش تنش شوری وزن خشک ریشه کاهش بیشتری در مقایسه با

افزایش تنش خشکی تا سطح 7- بار، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی افزایش یافت و با شدیدتر شدن تنش تا سطح 9- بار نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی کاهش یافت. در واقع در تنش‌های ملایم تا متوسط (2- بار تا 7- بار) تأثیر منفی تنش خشکی بر اندام هوایی بیشتر از ریشه بود؛ ولی در تنش شدید (9- بار) تأثیر منفی تنش خشکی بر وزن ریشه بیشتر بود.

با مصرف سالیسیلیک اسید، با افزایش تنش شوری اختلاف معنی‌داری در وزن خشک ریشه به اندام هوایی مشاهده نشد (شکل 12)؛ اما با افزایش تنش خشکی تا سطح 7- بار، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی افزایش یافت و در سطح 9- بار ثابت ماند. در واقع مصرف سالیسیلیک اسید از کاهش شدید ریشه در تنش شدید جلوگیری نمود.

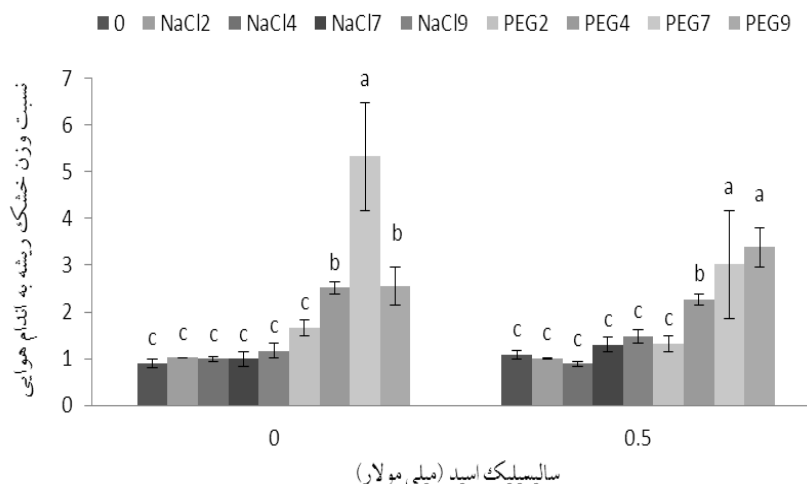
وزن خشک ریشه کتان مشاهده شد (شکل B-11). در واقع سالیسیلیک اسید باعث کاهش آثار منفی تنش خشکی و شوری بر وزن خشک ریشه شده است. احتمال دارد که سالیسیلیک اسید تعادل هورمونی را در گیاه تغییر داده و تحت شرایط تنش، سبب افزایش اکسین، آبسزیک اسید و مانع از کاهش سیتوکینین شود (Shakirova et al., 2003). Hayat و Ahmad (2007) نیز گزارش دادند که در گیاه لوبیا، سالیسیلیک اسید باعث بهبود آثار اکسین در سیستم ریشه‌دهی شد.

نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی: برهمکنش پتانسیل اسمزی و سالیسیلیک اسید بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی کتان معنی‌دار ($P < 0/01$) بود (جدول 1). نتایج نشان داد که در شرایط عدم مصرف سالیسیلیک اسید با افزایش تنش شوری اختلاف معنی‌داری در وزن خشک ریشه به اندام هوایی مشاهده نشد (شکل 12)؛ اما با



شکل 11 - A- اثر پتانسیل اسمزی بر وزن خشک ریشه؛ B- اثر سالیسیلیک اسید بر وزن خشک ریشه. مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیر مشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD است. 0= شاهد (هو گلند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با

NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG



شکل 12- مقایسه نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در برهمکنش سالیسیلیک اسید و پتانسیل اسمزی- مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار است. حروف غیرمشابه، بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار با رویه L.S.Means است. 0= شاهد (هوگلند)، NaCl2=پتانسیل اسمزی 2- بار با NaCl، NaCl4=پتانسیل اسمزی 4- بار با NaCl، NaCl7=پتانسیل اسمزی 7- بار با NaCl، NaCl9=پتانسیل اسمزی 9- بار با NaCl، PEG2=پتانسیل اسمزی 2- بار با PEG، PEG4=پتانسیل اسمزی 4- بار با PEG، PEG7=پتانسیل اسمزی 7- بار با PEG و PEG9=پتانسیل اسمزی 9- بار با PEG

جمع‌بندی

دیگر با افزایش تنش خشکی تا سطح 7- بار، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه افزایش یافت و با شدیدتر شدن تنش تا سطح 9- بار نسبت وزن خشک ریشه به ساقه کاهش یافت. در واقع در تنش‌های ملایم تا متوسط (2- بار تا 7- بار) تأثیر منفی تنش خشکی بر اندام هوایی بیشتر از ریشه بود؛ ولی در تنش شدید (9- بار) تأثیر منفی تنش خشکی بر ریشه بیشتر بود. افزایش میزان قندهای محلول و محتوای پرولین می‌تواند عامل مهمی در بالا بردن میزان مقاومت گیاهان به تنش باشد. ظرفیت و توانایی فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها تحت شرایط تنش که می‌تواند از آسیب تنش شوری جلوگیری کند، به مقاومت گیاه بستگی دارد، چرا که فعالیت

کاهش رشد در شرایط شوری در گیاه، نتیجه تأثیر سمیت نمک، به هم خوردن تعادل یونی، عکس‌العمل بیوشیمیایی یا ترکیبی از این فاکتورها می‌باشد (Kashem et al., 2000). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش حاکی از این است که افزایش تنش شوری و خشکی منجر به کاهش میزان وزن خشک اندام هوایی کتان گردید. به علت آثار منفی پتانسیل اسمزی بالای محلول خاک و جذب کم آب و عناصر غذایی و تأثیر سوء شوری بر فتوسنتز و محتوای کلروفیل، انرژی لازم برای رشد مناسب ریشه و اندام هوایی در اختیار آن‌ها قرار نمی‌گیرد (Ashraf and Foolad, 2007). از طرف

- in *Enzymology* 105: 121-126.
- Antonic, D., Milosevic, S., Cingel, A., Lojić, M., Trifunovic-Momcilov, M., Petric, M., Subotic, A. and Simonović, A. (2016) Effects of exogenous salicylic acid on *Impatiens walleriana* L. grown *in vitro* under polyethylene glycol-imposed drought. *South African Journal of Botany* 105: 226-233.
- Arnon, D. I. (1949) Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24(1): 15-18
- Arvin M. J., Beidshki, A., Kramt, B. and Maghsodi, K. (2011) The study salicylic acid (SA) role in contrast with drought stress by affecting on morphological and physiological parameters in garlic plant. In: *Proceeding of 7th Iranian Horticultural Science Congress, Isfahan Industrial University, Isfahan, Iran* (in Persian).
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. and Ala, S. A. (1994) Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologia Plantarum* 16(3): 185-191.
- Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J. M. (2001) Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Journal of Plant Science* 160: 669-681.
- Belkheiria, O. and Mulas, M. (2011) The effects of salt stress on growth, water relations and ion accumulation in two halophyte *Atriplex* species. *Journal of Environmental and Experimental Botany* 86: 17-28.
- Bybordi, A. (2010) Effects of salinity on آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان نشان دهنده مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های مختلف است. به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر آنزیم کاتالاز نقش چندانی در کاهش آثار تنش خشکی و شوری نداشته است. نتیجه این کار تجمع پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید خواهد بود که در این آزمایش مشاهده گردید. از سوی دیگر کتان در واکنش به تنش شوری و خشکی، محتوای پروتئین محلول را کاهش و محتوای پرولین برگ، قندهای محلول را افزایش داده و از طریق آن، تحمل خود را در برابر تنش بهبود می‌بخشد.
- به نظر می‌رسد مصرف سالیسیلیک اسید 0/5 میلی مولار در مقایسه با شرایط عدم مصرف، تا حدودی آثار منفی تنش شوری و خشکی را کاهش داده است. با توجه به این که خشکی و شوری مشکل اصلی اکثر مناطق ایران می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد به استفاده از هورمون‌های گیاهی بویژه سالیسیلیک اسید جهت کاهش آثار منفی تنش شوری و خشکی توجه بیشتری شود. همچنین پیشنهاد می‌شود تأثیر غلظت‌های بالاتر از 0/5 میلی مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی و شوری در کتان آزمایش شود.
- سپاسگزاری**
- نگارندگان سپاسگزاری خود را از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه یاسوج به‌علت حمایت مادی از این پژوهش، اعلام می‌کنند.
- References**
- Aebi, H. (1984) *Catalase in vitro*. *Methods*

- (2009) Photosynthesis under drought and salt stress. regulation mechanisms from whole plant. *Annals of Botany* 103: 551-560.
- Dolat Abadeyan, A., Modares Sanavi, S. A. M. and Sharifi, M. (2009) The effect of foliar feeding with ascorbic acid on antioxidant enzymes activities, proline and lipid peroxidation in rapeseed under salt stress. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources* 13: 611-620 (in Persian).
- Esfandiari, E. A., Javadi, A. and Shokrpour, M. (2013) Biochemical and physiological changes in response to salinity on wheat genotypes at seedling stage. *Journal of Crop Improvement* 15 (1): 27-38 (in Persian).
- Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, Gh. and Zakeri, A. (2012) Investigation on the effects of water stress on antioxidant compounds of *Linum usitatissimum* (L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 27(4): 647-658 (in Persian).
- Habibi, G., Sadeghipour, Z. and Hajiboland, R. (2015) Effect of salicylic acid on tobacco (*Nicotiana rustica*) plant under drought conditions. *Iranian Journal of Plant Biology* 25: 17-28 (in Persian).
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. (2010) Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 68: 14-25.
- Hayat, S. and Ahmad, A. (2007) *Salicylic acid: a plant hormone*. Springer publication, Indian.
- Hayat, S., Masood, A., Yusef, M., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. (2009) Growth of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) in response to salicylic acid under high-temperature stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 21: 187-195.
- Heat, R. L. and Pacher, L. (1969) Photo yield and component characters in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Notulae Scientia Biologicae* 2(1): 81- 83.
- Chaves, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. peroxidation in isolated chloroplast. 1. kinetic and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125: 186-198.
- Iran Nejad, H. (2005) *Agronomy of medicinal plants. Cannabis, flax and castor oil*. Aeej Press, Tehran (in Persian).
- Irrigoyen, J. H., Emerich, D. W. and Sanchez Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum* 84: 55-66.
- Jahantigh, O., Najafi, F., Naghdi Badi, H., Khavari-Nejad, R. A. and Sanjarian, F. (2016) Study of some physiological parameters hyssop (*Hyssopus officinalis*) in the vegetative stage under the influence of salinity. *Iranian Journal of Plant Biology* 27: 81-95 (in Persian).
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Jasim, H., Somasundaram, R. and Pannerselvam, R. (2009) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology* 11: 100-105.
- Javadipour, Z., Movahhedi Dehnavi, M. and Balouchi, H. (2013) Changes in leaf proline, soluble sugars, glycinebetaine and protein content in six spring safflower under salinity stress. *Journals Plant Process and Function* 1(2):13-23.
- Kabiri, R., Farahbakhsh, H. and Nasibi, F. (2012) Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on black cumin (*Nigella sativa*) germination and seedling growth. *World Applied Science Journals* 18: 520-527.
- Kadioglu, A., Saruhan, N., Saglam, A.,

- Terzi, R. and Acet, T. E. (2011) Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. *Plant Growth Regulation* 64: 27-37.
- Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology* 57: 315-319.
- Kashem, M., Asultana, N., Ikeda, T., Hori, H., Loboda, T. and Mitsui, T. (2000) Alteration of starch-sucrose transition in germination wheat seed under sodium chloride salinity. *Journal of Plant Biology* 43: 121-127.
- Kaur, S., Gupta, A. K. and Kaur, N. (2000) Effect of GA₃, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. *Plant Growth Regulation* 30: 61-70.
- Khan, W., Prithviraj, B. and Smith, D. I. (2003) Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160: 485-492.
- Khanna-Chopra, R. and Selote, D. S. (2007) Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than -susceptible wheat cultivar under field conditions. *Journal of Environmental and Experimental Botany* 60: 276-283.
- Koc, E., İslək, C. and Ustun, A. S. (2010) Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science* 23(1): 1-6.
- Koca, H., Bor, M., Ozdemir, F. and Turkan, I. (2007) The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 60(3): 344-351.
- Lawlor, D. W. (2002) Limitation to photosynthesis water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany* 89: 671-885.
- Lichtenthder, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymology* 147: 350-382.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C. and Sohrabi, Y. (2010) Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science* 4(8): 580-585.
- Michel, B. E. and Kaufmann, M. R. (1973) The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology* 51: 914-916.
- Muller, T., Lutchwager, D. and Lentzsch, P. (2010) Recovery from drought stress at the shooting stage in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 196: 81-89.
- Nazar, R., Umar, S., Khan, N. A. and Sareer, O. (2015) Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany* 98: 84-94.
- Ozturk, L., Demir, Y., Unlukara, A., Karatas, I., Kurunc, A. and Duzdemir, O. (2012) Effects of long-term salt stress on antioxidant system, chlorophyll and proline contents in pea leaves. *Romanian Biotechnological Letters* 17(3): 7227-7236.
- Paquine, R. and Lechasseur, P. (1979) Observations sur one method dosage la Libra dans les de planets. *Canadian Journal of Botany* 57: 1851-1854.
- Parida, A. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.

- Pasandy pour, A., Farahbakhsh, H., Safari, M. and Keramat, B. (2013) The effect of salicylic acid on some physiological reactions of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) under salinity stress. *Journal of Crop Ecophysiology* 2(26): 215-228 (in Persian).
- Rahdari, P., Tavakoli, S. and Hosseini, S. M. (2012) Studying of salinity stress effect on germination, proline, sugar, protein, lipid and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) Leaves. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry* 8(1): 182-193.
- Razavizadeh, R. and Mohagheghian, N. (2015) An investigation of changes in antioxidant enzymes activities and secondary metabolites of thyme (*Thymus vulgaris*) seedlings under *in vitro* salt stress. *Iranian Journal of Plant Biology* 26:41-58 (in Persian).
- Sanches, F. J., Manzanares, M., Andres, E. F., Temorio, J. L., Ayerbe, L. and De Andres, E. F. (1998) Turger maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and praline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research* 59: 225-235.
- Setayeshmehr, Z. and Ganjali, A. (2013) Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of *Anethum graveolens* L. *Journal of Horticultural Science* 27(1): 27-35 (in Persian).
- Shahbazi Zadeh, E., Movahhedi Dehnavi, M. and Balouchi, H. (2015) Effects of foliar application of salicylic and ascorbic acids on some physiological characteristics of soybean (cv. Williams) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function* 4(11): 13-22 (in Persian).
- Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bozrutkova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. (2003) Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science* 164: 317-322.
- Singh, B. and Usha, K. (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation* 39:137-141.
- Van't Hoff, J. H. (1887) The role of osmotic pressure in the analogy between solution and gases. *Zeitschrift Physicalische Chemie* 1: 481- 508.