

## تأثیر سالیسیلیک اسید بر محتوای عناصر معدنی و برخی صفات فیزیولوژیک سه ژنوتیپ سویا (*Glycine max* L.) در شرایط تنش کم آبی

نسرین رزمی\*<sup>۱</sup>، علی عبادی<sup>۱</sup>، جهانفر دانشیان<sup>۳</sup> و سدابه جهانبخش<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، <sup>۲</sup> بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس آباد، ایران، <sup>۳</sup> سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۲۷، تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۱۶)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و محتوای عناصر معدنی آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار در سال ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. عامل اول شامل سه سطح تنش کم آبی (۰/۸، ۰/۶۵، ۰/۴۵٪ ظرفیت زراعی) و عامل دوم شامل ۳ سطح محلول پاشی سالیسیلیک اسید (صفر یا آب مقطر، ۰/۴ و ۰/۸ میلی مول) و عامل سوم ژنوتیپ‌های سویا با نام‌های *L17*، *D42X19* و *Williams* بود. نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش کم آبی میزان غلظت سدیم، سدیم/پتاسیم، نشت الکترولیتی، غلظت مالون دآلدئید و گلاسیسین بتائین افزایش یافت و میزان غلظت فسفر، کلسیم، پتاسیم، محتوای نسبی رطوبت برگ و مساحت برگ در بوته کاهش یافت. واکنش ژنوتیپ‌های سویا نسبت به تنش کم آبی متفاوت بود. ویلیامز و *L17* به ترتیب بیشترین و کمترین میزان غلظت کلسیم، پتاسیم، محتوای نسبی رطوبت و مساحت برگ در بوته را داشتند. سالیسیلیک اسید موجب کاهش میزان مالون دآلدئید، نشت الکترولیتی و افزایش غلظت گلاسیسین بتائین و مساحت برگ در بوته شد. اثر متقابل سالیسیلیک اسید و ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. کاربرد ۰/۴ میلی مول سالیسیلیک اسید با کاهش محدودیت در جذب و تجمع یون‌های کلسیم، پتاسیم و فسفر و افزایش محتوای نسبی رطوبت برگ و حفظ انسجام و یکپارچگی غشای سلولی، تأثیر تنش کم آبی را در ژنوتیپ‌های سویا به خصوص در رقم ویلیامز کاهش داد. رقم ویلیامز در تیمار محلول پاشی با غلظت ۰/۴ میلی مول سالیسیلیک اسید بیشترین میزان مساحت برگ در بوته را در شرایط تنش کم آبی نشان داد.

کلمات کلیدی: گلاسیسین بتائین، مالون دآلدئید، محتوای نسبی رطوبت برگ، نشت الکترولیتی

### مقدمه

فتوسنتزی، مهار فرایندهای متابولیکی، کلروز، پراکسایش لیپیدها، تغییر در نفوذپذیری غشا و نشت یون‌ها نقش ویژه‌ای دارد (Silvent *et al.*, 2012). تجمع موادی با وزن مولکولی پایین و محلول در آب مانند گلاسیسین بتائین که تحت عنوان محلول‌های سازگاری یا اسمولیت‌ها شناخته شده‌اند یکی از متداول‌ترین مکانیسم‌های تحمل تنش خشکی در بسیاری از

گیاهان به تنش خشکی در سطوح فیزیولوژیکی، سلولی و مولکولی پاسخ می‌دهند. این پاسخ به گونه و ژنوتیپ گیاه، طول دوره و شدت کمبود آب، سن و مرحله نموی بستگی دارد (Sanchez-Rodriguez *et al.*, 2010). تنش خشکی باعث ایجاد تنش اکسایشی می‌شود که این فرآیند در تخریب سیستم

سالیسیلیک اسید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانته، گیاه را از صدمات به دست آمده از واکنش‌های اکسیداتیو حفظ می‌کند، همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید میزان پلی آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می‌دهد که می‌تواند به یکپارچگی و حفظ غشا در شرایط تنش خشکی کمک کند (Nemeth *et al.*, 2002). در شرایط تنش کم‌آبی سالیسیلیک اسید از طریق تنظیم اسمزی موجب افزایش محتوای نسبی رطوبت برگ و کاهش میزان نشت سلولی در ذرت (Gunes *et al.*, 2005)، گندم (El Tayeb and Ahmed 2010)، لوبیا (Sadeghipour and Aghaei, 2012) و سویا (Khan *et al.*, 2003) شد.

تنش خشکی از طریق تأثیر بر قابلیت دسترسی، انتقال و توزیع عناصر معدنی در گیاهان کارآبی جذب عناصر معدنی را دچار اختلال می‌کند. مطابق گزارش El Tayeb و Ahmed (۲۰۱۰) با افزایش شدت تنش خشکی، میزان عناصر پتاسیم و کلسیم در قسمت‌های مختلف گیاه گندم کاهش پیدا کرد ولی کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش غلظت این عناصر معدنی شد. به نظر می‌رسد که سالیسیلیک اسید با ممانعت از جذب سدیم و افزایش جذب فسفر، کلسیم و نیتروژن اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهد (Gunes *et al.*, 2005). کاربرد ۰/۵ میلی‌مول سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار جذب سدیم و نشت الکترولیتی و افزایش عناصر کلسیم و پتاسیم در گیاه لوبیا شد (Khan *et al.*, 2010). کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت‌های کم (۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌مولار) کارآیی بیشتری در کاهش تأثیر نامطلوب تنش کم-آبی نسبت به غلظت‌های بالاتر (۱ میلی‌مولار) دارد (El Tayeb and Ahmed, 2010).

برای تأثیر گذاری بیشتر و اقتصادی نمودن کاربرد سالیسیلیک اسید برای ایجاد تحمل به شرایط تنش کم‌آبی، شناسایی مکانیسم‌های عمل این ماده، غلظت مناسب و مرحله مطلوب رشد گیاه در زمان استفاده باید به دقت بررسی گردد. هدف از این آزمایش بررسی تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و تجمع عناصر معدنی

گونه‌های گیاهی می‌باشد، در گیاه سویا نیز افزایش غلظت این ماده در شرایط تنش کم‌آبی گزارش شده است (Rezaei *et al.*, 2012). دو کارکرد اساسی برای گلاسیسین بتائین تنظیم اسمزی و سازگاری سلولی می‌باشد. تنظیم اسمزی به واسطه تغییر غلظت و جذب آب بیشتر اتفاق می‌افتد، در مکانیزم‌های سازگاری سلول این ترکیبات در واکنش‌های بیوشیمیایی جایگزین آب شده بنابراین در دوران تنش متابولیسم طبیعی حفظ می‌شود (Wani *et al.*, 2013).

در شرایط تنش کم‌آبی یکی از اولین بخش‌های گیاهی که آسیب می‌بیند غشای پلاسمایی است، زیرا در شرایط تنش کم-آبی، تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن نظیر هیدروژن پراکسید ( $H_2O_2$ )، هیدروکسیل ( $OH^-$ ) و رادیکال‌های سوپراکسید ( $O_2^-$ ) افزایش می‌یابد. این رادیکال‌ها به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زنند و با تغییر ساختمان غشا، در اثر پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها، تراوایی غشای سلولی را افزایش می‌دهند که منجر به نشت الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به سمت بیرون می‌شود (Liang *et al.*, 2003). افزایش نشت الکترولیتی در شرایط تنش خشکی توسط محققین مختلف در باقلا (Garg *et al.*, 2004)، لوبیا (Sadeghipour and Aghaei, 2012) و سویا (Rezaei *et al.*, 2012) گزارش شده است.

سالیسیلیک اسید (۲- هیدروکسی بنزوئیک اسید) از ترکیبات فنلی و یکی از هورمون‌های گیاهی است که در همه اندام‌های گیاهی وجود دارد و هنگامی که سلول، اندام‌ها یا کل گیاه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی مواجه می‌شوند، غلظت این هورمون افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان سالیسیلیک اسید را به عنوان مولکول پیام رسان داخلی در نظر گرفت که در پاسخ اختصاصی به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارد (Senaratna *et al.*, 1999). سالیسیلیک اسید در تنظیم فرآیندهای متفاوت شامل رشد و نمو گیاه، جوانه‌زنی بذر، جذب و انتقال یون‌ها، توزیع عناصر، هدایت روزنه‌ای، گلدهی و تنفس نقش مهمی ایفا می‌کند (Yildirim *et al.*, 2008).

در برگ‌های ارقام سویا در شرایط تنش کم‌آبی در شرایط گلخانه‌ای بود.

### مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت گلدانی و در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه دانشکده‌ی علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در تابستان ۱۳۹۳ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه سویا در این بررسی ویلامز، L17 و D42X19 بودند که متعلق به گروه‌های رشدی ۳ با عادت رشدی نامحدود می‌باشند. بدین منظور گلدان‌های پلاستیکی با ظرفیت ۷ کیلوگرم به قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر انتخاب و به آنها مقدار مساوی خاک به نسبت ۲ به ۱ لوم به شنی بر اساس نیاز گیاه سویا اضافه شد (Porcel et al., 2003). ظرفیت زراعی گلدان‌ها با استفاده از روش اتافک فشاری محاسبه شد (حق‌نیا، ۱۳۷۰). با تفاضل وزن خاک در حد ظرفیت زراعی و وزن خاک خشک مقدار آب لازم برای رسیدن خاک هر گلدان به حد ظرفیت زراعی مشخص و در سطوح ۸۵، ۶۵ و ۴۵ درصد این مقدار آب محاسبه شد و در طول دوره آزمایش برای سطوح مختلف رطوبتی گلدان‌ها مورد استفاده قرار گرفت. گلدان‌ها روزانه توزین و مقدار آب لازم برای رسیدن به هر کدام از سطوح اضافه می‌شد. بذور سویا پس از تلقیح با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* در عمق ۵ سانتیمتری در گلدان‌ها کاشته شدند. بذور و مایه تلقیح مورد استفاده در این بررسی به ترتیب از بخش دانه‌های روغنی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر و بخش بیولوژی موسسه خاک و آب تهیه شد. پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها در مرحله توسعه کامل اولین برگ اصلی، تیمارهای تنش کم‌آبی (۸۵، ۶۵ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی) اعمال شد (Zhang et al., 2011). تیمار محلول پاشی با اسید سالیسیلیک در ۳ سطح (صفر یا آب مقطر، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مول) به صورت محلول پاشی بر روی برگ‌ها در گلخانه در دو مرحله، قبل از اعمال تنش در مرحله V2 توسعه برگ سه برگچه‌ای بر روی دومین گره) و مرحله شروع گلدهی انجام شد (Khan et al., 2003).

سطح برگ در هر بوته با استفاده از دستگاه سطح سنج LI-

COR 3100 در ابتدای مرحله غلاف دهی اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر پتاسیم، کلسیم و سدیم توسط دستگاه طیف-سنج شعله‌ای (فلم فتومتر) و با استفاده از روش William (۲۰۰۰) خوانده شد. غلظت فسفر نیز در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Fiske and Subba Row, 1995). محتوای نسبی رطوبت برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Mishra and Choudhuri, 1999)

$$100 \times \frac{(\text{وزن تر} - \text{وزن خشک})}{(\text{وزن آماس} - \text{وزن خشک})} = \text{محتوای نسبی رطوبت برگ}$$

سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدها: اندازه‌گیری غلظت مالون دآلدئید (MDA) به روش Heath و Packer (۱۹۶۸) انجام شد. برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی معادل  $1.55 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1}$  بر اساس فرمول  $A = \epsilon bc$  استفاده گردید. در این فرمول A برابر با میزان جذب خوانده شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر،  $\epsilon$  ضریب خاموشی مورد نظر، b قطر کووت و مساوی ۱ و c غلظت ماده مورد نظر می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب میکرومول در گرم وزن تر محاسبه شد. نشت الکتریکی با استفاده از روش Lutts و همکاران (۱۹۹۵) اندازه‌گیری شد. بعد از اینکه آلودگی سطح برگ‌ها با استفاده از آب مقطر پاک شد، نمونه‌های برگ‌ها به صورت قطعات یک سانتی‌متری بریده و در لوله آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر گذاشته و در دمای اتاق (۲۵ °C) به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد و سپس هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد (EC<sub>1</sub>). در مرحله بعد همان نمونه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ °C اتوکلاو شده و بعد از سرد شدن در دمای اتاق مجدداً هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد (EC<sub>2</sub>) و با استفاده از رابطه EC<sub>1</sub>/EC<sub>2</sub> نشت الکتریکی محاسبه و به صورت درصد ثبت گردید.

اندازه‌گیری گلاسیسین بتائین با استفاده از روش Greive و Grattans (۱۹۸۳) به شرح زیر انجام شد. نیم گرم از برگ‌های خشک شده گیاه را آسیاب نموده، پودر حاصل با ۲۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیرشده مخلوط شد. محلول حاصل پس از تکان دادن (شیکر) به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در مرحله بعد نمونه‌ها از کاغذ صافی

عبور داده شدند و عصاره با اسیدسولفوریک ۲ نرمال به نسبت ۱:۱ رقیق گردید. ۰/۵ میلی لیتر از محلول رقیق شده در لوله‌های آزمایش به مدت یک ساعت در آب یخ قرار داده شد، سپس معرف یدید - یدین پتاسیم خنک به میزان ۰/۲ میلی لیتر به آن اضافه شد و به آهستگی توسط ورتکس مخلوط شد. در مرحله بعد محلول‌ها به مدت یک ساعت در حمام یخ قرار گرفتند. بعد از آن نمونه‌ها با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۸ درجه سانتیگراد سانتریفوژ شدند. سپس فاز بالایی محلول را با میکروپیپت جدا و مقدار ۹ میلی لیتر ۱،۲ - دی کلرواتان به آن اضافه و به مدت یک دقیقه ورتکس شد و بعد از ۲ تا ۲/۵ ساعت میزان جذب در طول موج ۳۶۵ نانومتر قرائت گردید. مقدار گلاسیسین بتائین موجود در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

برای تجزیه و تحلیل داده های به دست آمده از این تحقیق، از نرم افزار SAS و برای انجام مقایسات میانگین از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

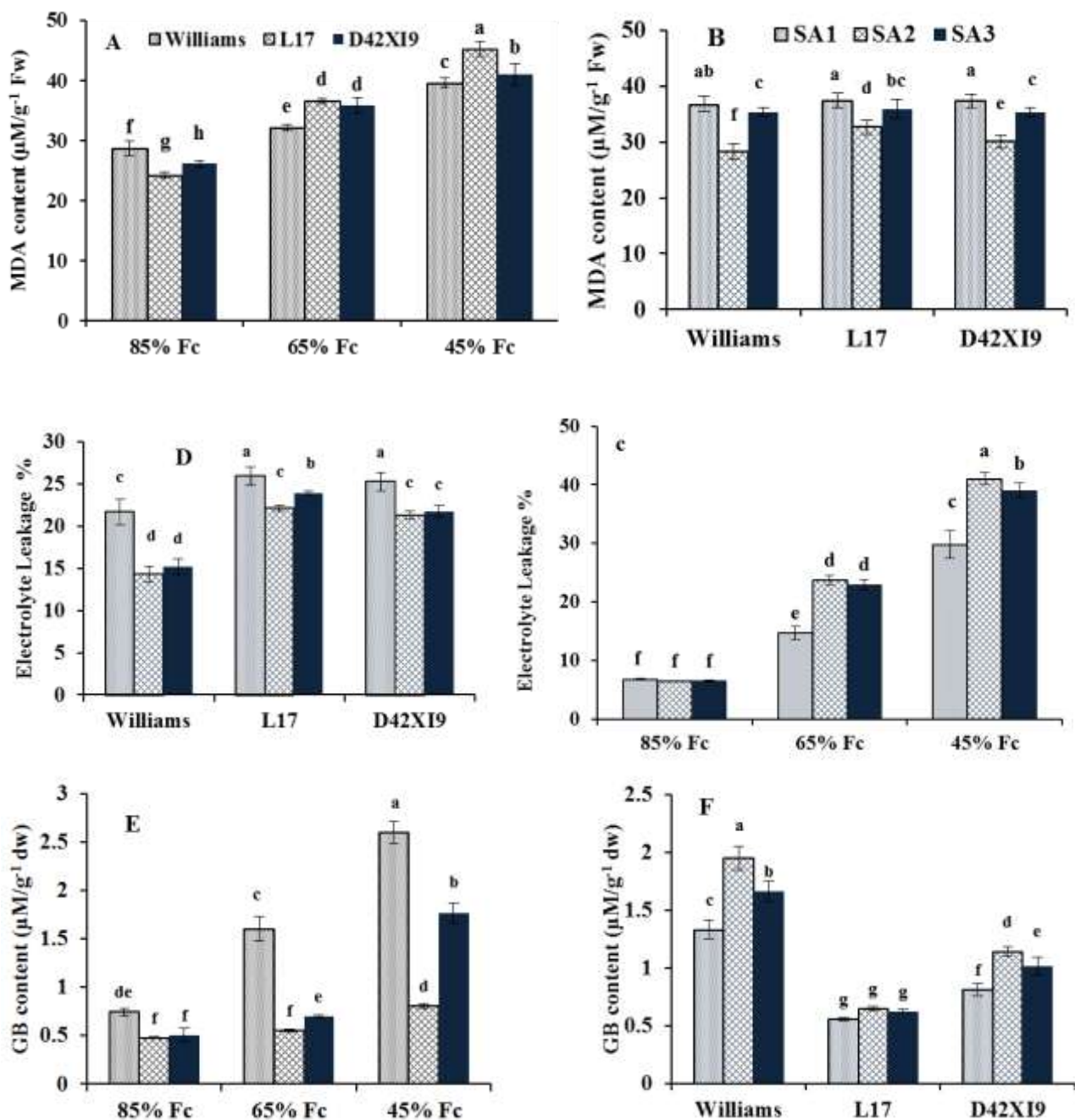
با کاهش میزان رطوبت خاک از ۸۵٪ به ۶۵٪ و ۴۵٪ ظرفیت زراعی، میزان عناصر معدنی موجود در برگ ارقام سویا تغییر یافت. میزان سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم با افزایش شدت تنش کم آبی افزایش یافت و میزان کلسیم، فسفر و پتاسیم کاهش قابل توجهی نشان داد. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و ژنوتیپ سویا بر میزان غلظت عناصر معدنی موجود در برگ نشان داد که بیشترین غلظت کلسیم (۱۷/۷۶ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به رقم ویلامز و بیشترین میزان فسفر (۱۰/۶۲ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به ژنوتیپ L17 و بیشترین میزان پتاسیم (۱۲/۲۲ میلی گرم در گرم وزن تر) متعلق به ژنوتیپ D42XI9 در ۸۵٪ ظرفیت زراعی بود، همچنین بیشترین غلظت سدیم (۱۴/۵۲ میلی گرم در گرم وزن تر) و نسبت سدیم به پتاسیم (۲/۹۲) در ژنوتیپ L17 در ۴۵٪ ظرفیت زراعی بود (جدول ۱). اثر متقابل

ژنوتیپ‌های سویا و سالیسیلیک اسید بر میزان غلظت عناصر معدنی در جدول ۲ نشان داده شده است. محلول پاشی سالیسیلیک اسید میزان تجمع عناصر معدنی در برگ را تحت تاثیر قرار داد. کاربرد ۰/۴ میلی مول سالیسیلیک اسید موجب افزایش معنی دار غلظت فسفر، کلسیم و پتاسیم شد. میانگین بیشترین و کمترین میزان غلظت سدیم به ترتیب (۱۴/۱۱ میلی - گرم در گرم وزن تر) در واریته L17 و تیمار محلول پاشی ۰/۸ میلی مول سالیسیلیک اسید و (۷/۰۷ میلی گرم در گرم وزن تر) در رقم ویلامز و تیمار ۰/۴ میلی مول سالیسیلیک اسید وجود داشت.

بررسی‌های انجام شده توسط Al-Hakimi (۲۰۰۶) نشان داد در شرایط تنش کم آبی سالیسیلیک اسید اثر بازدارنده‌ای در جذب سدیم داشت ولی میزان جذب پتاسیم و کلسیم را در گیاه سویا بهبود بخشید. افزایش جذب پتاسیم، فسفر و کلسیم و ممانعت از جذب سدیم در شرایط تنش محیطی با استفاده از سالیسیلیک اسید توسط Yildirim و همکاران (۲۰۰۸) در بوته خیار و Gunes و همکاران (۲۰۰۵) در ذرت گزارش شده است.

تنش کم آبی غلظت مالون دآلدئید را در ژنوتیپ‌های سویا به طور معنی داری افزایش داد (شکل ۱ A). در مطالعه اثر تنش خشکی بر گیاه سویا افزایش غلظت مالون دآلدئید همراه با کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در برگ و ریشه که نشان دهنده‌ی بروز تنش اکسیداتیو می‌باشد گزارش شده است (Silvente et al., 2012). بررسی‌های Khan و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که در هر سه رقم لوبیای مورد آزمایش با کاهش میزان آب، غلظت مالون دآلدئید افزایش پیدا کرده و میزان این افزایش در رقم ناز نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود. در کاهش میزان غلظت مالون دآلدئید کاربرد ۰/۴ میلی مول نسبت به غلظت ۰/۸ میلی مول سالیسیلیک اسید تاثیر بیشتری نشان داد (شکل ۱ B).

با کاهش میزان رطوبت خاک درصد نشت الکترولیتی به شدت افزایش پیدا کرد. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری در ژنوتیپ نشان داد که در رژیم آبیاری FC ۸۵٪ درصد نشت



شکل ۱- اثر برهمکنش رژیم آبیاری و ژنوتیپ‌های سویا (A-C-E) و ژنوتیپ و غلظت‌های سالیسیلیک اسید (B-D-F) بر میزان فعالیت مالون دآلدئید، نشت الکترولیتی و میزان گلاسیسین بتائین، داده‌ها میانگین سه تکرار  $\pm$  SE می‌باشد.

حفظ کند محققین ثبات غشا سلولی تحت شرایط تنش رطوبتی را به عنوان یک جزء اصلی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مقاوم در گیاه سویا مطرح کرده‌اند (Spaeth *et al.*, 1984). در این آزمایش محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید موجب کاهش درصد نشت الکترولیتی در ژنوتیپ‌های سویا شد (شکل ۱ D). گزارش Senaratna و همکاران (۱۹۹۹) کاربرد سالیسیلیک

الکترولیتی هر سه ژنوتیپ در یک گروه آماری قرار داشت ولی با افزایش شدت تنش کم‌آبی در تیمار ۴۵٪ FC درصد نشت الکترولیتی در ژنوتیپ L17 به طور معنی‌داری نسبت به دو واریته دیگر افزایش یافت (شکل ۱ C). یکی از راهکارهای مهم برای افزایش مقاومت به خشکی این است که غشای سلولی پس از مواجه شدن با تنش آبی انسجام و یکپارچگی خود را

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر برهمکنش رژیم آبیاری × ژنوتیپ های سویا بر صفات بررسی شده

رژیم آبیاری	ژنوتیپ	سدییم / پتاسیم (میلی گرم در گرم وزن تر)					مساحت برگ در بوته (سانتی متر مربع)	محتوای نسبی رطوبت برگ (%)
		سدیم	پتاسیم	کلسیم	فسفر	سدیم / پتاسیم		
۸۵FC	ویلیامز	۸/۲۲±۰/۱۵ <sup>g</sup>	۱۰/۰۶±۰/۳۳ <sup>c</sup>	۱۷/۷۶±۱/۵۰ <sup>a</sup>	۷/۶۱±۰/۵۹ <sup>c</sup>	۰/۹۰±۰/۰۲ <sup>g</sup>	۰/۹۲±۰/۰۲ <sup>a</sup>	۴۱۹/۶±۱۷/۱ <sup>b</sup>
٪	L17	۹/۷۸±۰/۶۸ <sup>d</sup>	۱۰/۹۱±۰/۶۲ <sup>b</sup>	۱۵/۷۸±۱/۱۸ <sup>b</sup>	۱۰/۶۲±۰/۹۳ <sup>a</sup>	۰/۹۴±۰/۱۱ <sup>g</sup>	۰/۹۲±۰/۰۱ <sup>a</sup>	۵۲۰/۴±۲۱/۰ <sup>a</sup>
٪	D42XI9	۹/۲۸±۰/۵۷ <sup>e</sup>	۱۲/۲۲±۰/۸۹ <sup>a</sup>	۱۵/۷۰±۱/۳۶ <sup>b</sup>	۱۰/۱۱±۰/۶۳ <sup>b</sup>	۰/۷۶±۰/۰۹ <sup>h</sup>	۰/۹۲±۰/۰۱ <sup>a</sup>	۳۲۴/۶±۱۲/۹ <sup>c</sup>
۶۵FC	ویلیامز	۸/۶۳±۰/۶۵ <sup>f</sup>	۸/۳۲±۰/۸۱ <sup>d</sup>	۱۳/۸۹±۱/۱۷ <sup>c</sup>	۶/۰۶±۰/۵۰ <sup>d</sup>	۱/۱۴±۰/۱۵ <sup>f</sup>	۰/۷۸±۰/۰۵ <sup>b</sup>	۳۳۵/۳±۱۶/۶ <sup>c</sup>
٪	L17	۱۲/۲۸±۰/۶۰ <sup>b</sup>	۶/۵۶±۰/۲۶ <sup>f</sup>	۱۰/۷۸±۰/۶۵ <sup>d</sup>	۵/۱۲±۰/۵۲ <sup>e</sup>	۱/۹۲±۰/۰۹ <sup>c</sup>	۰/۷۳±۰/۰۸ <sup>d</sup>	۲۲۴/۵±۸/۵ <sup>de</sup>
٪	D42XI9	۱۲/۰۰±۰/۴۱ <sup>b</sup>	۷/۴۴±۰/۵۰ <sup>e</sup>	۱۳/۴۷±۰/۹۱ <sup>c</sup>	۵/۴۰±۰/۴۳ <sup>e</sup>	۱/۷۰±۰/۰۵ <sup>e</sup>	۰/۷۶±۰/۰۴ <sup>bc</sup>	۲۵۰/۹±۱۰/۷ <sup>d</sup>
۴۵FC	ویلیامز	۱۱/۰۲±۰/۷۲ <sup>c</sup>	۶/۲۲±۰/۲۲ <sup>f</sup>	۱۰/۱۷±۱/۱۱ <sup>e</sup>	۴/۷۰±۰/۳۳ <sup>f</sup>	۱/۸۲±۰/۰۸ <sup>d</sup>	۰/۷۴±۰/۰۶ <sup>cd</sup>	۲۳۸/۹±۱۷/۵ <sup>de</sup>
٪	L17	۱۴/۵۲±۰/۴۸ <sup>a</sup>	۵/۰۴±۰/۱۷ <sup>g</sup>	۷/۲۶±۰/۵۸ <sup>g</sup>	۳/۹۲±۰/۳۱ <sup>g</sup>	۲/۹۲±۰/۱۹ <sup>a</sup>	۰/۶۴±۰/۰۴ <sup>e</sup>	۱۶۹/۸±۱۴/۱ <sup>f</sup>
٪	D42XI9	۱۴/۲۲±۰/۹۶ <sup>a</sup>	۶/۱۷±۰/۲۲ <sup>f</sup>	۸/۸۰±۰/۷۹ <sup>f</sup>	۵/۱۹±۰/۴۷ <sup>e</sup>	۲/۳۷±۰/۲۳ <sup>b</sup>	۰/۷۳±۰/۰۵ <sup>d</sup>	۲۰۴/۳±۱۳/۵ <sup>ef</sup>

حروف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارها می باشد (دانکن، ۰/۵). داده ها میانگین سه تکرار  $\pm$  SE می باشد.

سایر اجزاء روابط آبی منعکس کند، لذا آن را شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانسته اند. Silvent و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایش خود نشان دادند که در شرایط تنش خشکی ارقام متحمل سویا محتوای نسبی رطوبت برگ بیشتری نسبت به ارقام حساس داشتند.

با افزایش شدت تنش کم آبی غلظت گلاسیسین بتائین به طور معنی داری افزایش یافت. بیشترین و کمترین میزان گلاسیسین بتائین به ترتیب ۲/۶ میکروگرم در وزن خشک مربوط به رقم ویلیامز در تیمار آبیاری ۴۵٪ ظرفیت مزرعای و ۰/۴۷ میکروگرم در وزن خشک در تیمار آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعای توسط ژنوتیپ L17 مشاهده شد (شکل ۱ E). مطابق گزارشات سویا در گروه گیاهان با تجمع غلظت پایین (۴ تا ۴۰ میکروگرم در وزن تر) گلاسیسین بتائین طبقه بندی شده است (Agboma et al., 1997). گلاسیسین بتائین از تجمع گونه های فعال اکسیژن در کلروپلاست و میتوکندری جلوگیری کرده و موجب حفظ یکپارچگی غشای سلولی می گردد. گلاسیسین بتائین در حفظ ساختار طبیعی پروتئین ها و آنزیم ها نقش اساسی داشته و از تجمع و تجزیه آن ها جلوگیری کرده و حفظ کارکرد طبیعی پروتئین ها را موجب می گردد (Giri, 2011).

اسید به صورت محلول پاشی روی برگ ها میزان نشت الکترولیت را در گیاهان گوجه فرنگی و لوبیا در شرایط تنش خشکی کاهش داد. در بررسی بیات و همکاران (۱۳۹۰) غلظت ۰/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید مقدار نشت یونی را در دانهال های خیار به طور نزولی کاهش داد ولی با افزایش غلظت آن به ۱ میلی مولار میزان نشت یونی اندکی افزایش یافت.

محتوای نسبی رطوبت بالاتر گیاه، به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است. با کاهش میزان رطوبت خاک محتوای نسبی رطوبت برگ ها در ژنوتیپ های سویا کاهش پیدا کرد، هر چند که در تیمار آبیاری ۸۵٪ ظرفیت زراعی هر سه ژنوتیپ مورد مطالعه در یک گروه آماری قرار داشتند ولی با افزایش شدت تنش کم آبی در تیمار آبیاری ۴۵٪ ظرفیت زراعی محتوای نسبی رطوبت در ژنوتیپ L17 نسبت به دو ژنوتیپ دیگر کاهش بیشتری نشان داد (جدول ۱). محتوای نسبی آب بالاتر برگ ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل شود (Ganji et al., 2012). Sanchez-Rodriguez و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشته اند که محتوای نسبی آب برگ ممکن است تعادل بین آب تأمین شده برای برگ و سرعت تعرق را بهتر از

جدول ۲ - مقایسه میانگین اثر برهمکنش ژنوتیپ های سویا × محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات بررسی شده

ژنوتیپ	محلول پاشی	سدیم	پتاسیم	کلسیم	فسفر	محتوای نسبی		مساحت برگ در بوته (سانتی متر مربع)
						سدیم / پتاسیم	رطوبت برگ (%)	
شاهد		۱۰/۷۰±۰/۳۸ <sup>c</sup>	۷/۴۰±۰/۴۴ <sup>d</sup>	۱۳/۲۰±۰/۳۵ <sup>d</sup>	۴/۸۵±۰/۳۵ <sup>d</sup>	۱/۵۱±۰/۱۳ <sup>e</sup>	۰/۷۷±۰/۰۳ <sup>de</sup>	۳۰۴/۲±۲۷/۸ <sup>b</sup>
ویلیامز	SA1	۷/۰۷±۰/۳۱ <sup>f</sup>	۱۰/۷۲±۱/۰ <sup>a</sup>	۱۸/۴۸±۰/۴۲ <sup>a</sup>	۸/۵۰±۰/۸۲ <sup>a</sup>	۰/۷۴±۰/۱۱ <sup>g</sup>	۰/۸۰±۰/۰۳ <sup>bc</sup>	۳۸۰/۱±۲۸/۶ <sup>a</sup>
	SA2	۱۰/۱۱±۰/۴۵ <sup>d</sup>	۶/۴۸±۰/۲۹ <sup>e</sup>	۱۰/۱۳±۰/۰۹ <sup>g</sup>	۵/۰۱±۰/۱۳ <sup>d</sup>	۱/۶۱±۰/۱۸ <sup>d</sup>	۰/۸۶±۰/۰۲ <sup>a</sup>	۳۰۹/۶±۲۹/۵ <sup>b</sup>
شاهد		۱۲/۳۰±۰/۶۰ <sup>b</sup>	۷/۲۰±۰/۸۵ <sup>d</sup>	۱۰/۸۴±۰/۰۱ <sup>f</sup>	۴/۹۴±۰/۲۵ <sup>d</sup>	۱/۹۶±۰/۰۷ <sup>c</sup>	۰/۷۷±۰/۰۴ <sup>de</sup>	۲۹۹/۴±۵۳/۷ <sup>b</sup>
	SA1	۱۰/۱۸±۰/۴۵ <sup>d</sup>	۸/۷۶±۰/۱۶ <sup>b</sup>	۱۴/۱۸±۰/۶۵ <sup>c</sup>	۸/۴۹±۰/۲۱ <sup>a</sup>	۱/۴۲±۰/۲۵ <sup>e</sup>	۰/۷۶±۰/۰۵ <sup>e</sup>	۳۲۲/۵±۵۵/۱ <sup>b</sup>
	SA2	۱۴/۱۱±۰/۳۳ <sup>a</sup>	۶/۵۶±۰/۶۷ <sup>e</sup>	۸/۸۱±۰/۰۷ <sup>b</sup>	۶/۲۴±۰/۳۶ <sup>b</sup>	۲/۴۱±۰/۳۳ <sup>a</sup>	۰/۷۶±۰/۰۵ <sup>e</sup>	۲۹۲/۸±۶۰/۲ <sup>b</sup>
شاهد		۱۲/۰۲±۰/۲۲ <sup>b</sup>	۸/۰۱±۰/۱۰ <sup>c</sup>	۱۱/۸۱±۰/۷۸ <sup>e</sup>	۵/۸۷±۰/۲۴ <sup>c</sup>	۱/۶۵±۰/۱۳ <sup>d</sup>	۰/۷۷±۰/۰۳ <sup>de</sup>	۲۳۲/۶±۱۸/۹ <sup>c</sup>
	SA1	۹/۶۲±۰/۳۵ <sup>e</sup>	۱۰/۸۲±۰/۳۹ <sup>a</sup>	۱۶/۵۰±۰/۳۸ <sup>b</sup>	۸/۷۹±۰/۸۹ <sup>a</sup>	۱/۰۶±۰/۱۷ <sup>f</sup>	۰/۸۰±۰/۰۳ <sup>cd</sup>	۲۹۷/۸±۱۶/۹ <sup>b</sup>
	SA2	۱۳/۸۹±۰/۲۹ <sup>a</sup>	۷/۴۷±۰/۱۳ <sup>d</sup>	۹/۰۴±۰/۱۰ <sup>g</sup>	۶/۱۶±۰/۹۹ <sup>bc</sup>	۲/۱۲±۰/۰۹ <sup>b</sup>	۰/۸۴±۰/۰۲ <sup>ab</sup>	۲۴۹/۵±۲۱/۳ <sup>c</sup>

حروف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارها می باشد (دانکن، ۵٪). داده ها میانگین سه تکرار ± SE می باشد.

رسید (جدول ۱). اثر متقابل سالیسیلیک اسید و ژنوتیپ بر مساحت برگ در بوته معنی دار بود، در حالیکه کاربرد ۰/۴ میلی مول سالیسیلیک اسید موجب افزایش ۲۵٪ سطح برگ در بوته در رقم ویلیامز شد در ژنوتیپ L17 کاربرد سالیسیلیک اسید تفاوت معنی داری ایجاد نکرد (جدول ۲). در شرایط تنش کم آبی سالیسیلیک اسید با کمک به حفظ محتوای نسبی رطوبت در برگها موجب کاهش کمتر میزان سطح برگ شد. مطابق گزارش Sadeghipour و Aghaei (۲۰۱۲) بذوری که با سالیسیلیک اسیدپیش تیمار شده بودند چه در شرایط مطلوب و چه در شرایط تنش خشکی شاخص سطح برگ بالاتری نسبت به بذورتیمارنشده داشتند. افزایش میزان سطح برگ در شرایط تنش خشکی در اثر استفاده از سالیسیلیک اسید در سویا و ذرت (Khan et al., 2003) و در گندم (El Tayeband Ahmed, 2010) گزارش شده است.

با توجه به نتایج ضرایب همبستگی (جدول ۳) غلظت سدیم رابطه منفی معنی داری در سطح احتمال یک درصد با غلظت پتاسیم نشان داد. این رابطه منفی به خاطر رقابت برای اتصال به جایگاههای مشترک عبور به داخل سلول برای هر دو کاتیون (Watad et al., 1991) و یا به خاطر تحت تاثیر قرار

این ترکیب به عنوان بک اسمولیت با وزن مولکولی پایین حتی در غلظت های پایین در حفظ رطوبت نسبی و فشار تورژسانس نقش اساسی دارد (Chen and Murata, 2008). کاربرد سالیسیلیک اسید و به خصوص کاربرد ۰/۴ میلی مول موجب افزایش معنی داری در میزان غلظت گلاسیسین بتائین در رقم ویلیامز شد، در حالیکه غلظت گلاسیسین بتائین در ژنوتیپ L17 با کاربرد سالیسیلیک اسید تغییر معنی داری نکرد (شکل ۱ F). افزایش غلظت گلاسیسین بتائین در سویا در شرایط تنش خشکی توسط Agboma و همکاران (۱۹۹۷) و در شرایط تنش شوری توسط Rezaei و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است. در بررسی های انجام شده همبستگی مثبت و معنی داری بین غلظت گلاسیسین بتائین و رشد و عملکرد دانه سویا در شرایط تنش های محیطی گزارش شده است (Ashraf and Foolad, 2007).

تنش خشکی به طور معنی داری مساحت برگ هر بوته را کاهش داد، ژنوتیپ L17 در تیمار آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه ای بیشترین میزان سطح برگ در بوته (۵۲۰/۴ سانتی مترمربع) را داشت، ولی با افزایش شدت تنش سطح برگ در این ژنوتیپ به شدت کاهش یافت و به ۱۶۹/۸ سانتی متر مربع

جدول ۳- ضریب همبستگی بین صفات بررسی شده در ژنوتیپ های سویا

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
سطح برگ	محتوای	گلايسين	مالون	نشت	سدیم/پتاسیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	سدیم	
در بوته	رطوبت نسبی	بتائین	دآلدئید	الکترولیتی						
									۱	۱
								۱	-۰/۶۷۲**	۲
							۱	۰/۸۸۱**	-۰/۷۴۸**	۳
						۱	۰/۸۷۵**	-۰/۷۷۸**	-۰/۸۶۵**	۴
					۱	-۰/۸۹۰**	-۰/۸۴۳**	-۰/۷۷۴**	۰/۹۳۴**	۵
				۱	۰/۸۱۱**	-۰/۷۱۱**	-۰/۷۵۸**	-۰/۶۹۵**	۰/۷۲۰**	۶
			۱	۰/۹۱۵**	۰/۶۱۱**	-۰/۸۰۹**	-۰/۸۶۰**	-۰/۸۳۷**	۰/۷۵۳**	۷
		۱	۰/۲۹۷**	۰/۳۷۹**	-۰/۱۵۵ <sup>ns</sup>	-۰/۲۳۵*	-۰/۳۱۰**	-۰/۲۸۹**	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۸
	۱	-۰/۳۰۵**	-۰/۷۸۷**	-۰/۸۵۱**	-۰/۶۷۰**	۰/۵۷۵**	۰/۷۰۱**	۰/۶۶۶**	۰/۵۴۳**	۹
۱	۰/۷۳۴**	-۰/۲۶۰**	-۰/۸۲۷**	-۰/۸۰۰**	-۰/۷۴۱**	۰/۷۲۵**	۰/۶۸۹**	۰/۷۳۸**	-۰/۶۷۷**	۱۰

ns بدون معنی و \* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

شرایط تنش کم آبی می باشد. کارکرد بیولوژیکی غشای سلولی تحت تاثیر تنش خشکی با پر اکسیداسیون لیپیدهای غشای دچار اختلال شده و نشت الکترولیتی غشا افزایش پیدا می کند. مالون دآلدئید محصول تجزیه اسیدهای چرب غیراشباع غشا و شاخصی از پر اکسیداسیون لیپیدهای غشایی می باشد (Al-Hakimi 2006). افزایش نشت الکترولیتی در اثر آسیب غشا و افزایش غلظت مالون دآلدئید در لوبیا (Sadeghipour and Aghaei 2012) و در سویا (Silvents et al., 2012) گزارش شده است. در این بررسی برقراری همبستگی مثبت معنی دار در سطح احتمال یک درصد بین محتوای نسبی رطوبت برگ با میزان سطح برگ بوته نشان دهنده تاثیر این صفت بر تداوم رشد در شرایط تنش کم آبی می باشد (جدول ۳).

#### نتیجه گیری

با افزایش شدت تنش کم آبی از ۸۵٪ به ۶۵٪ و ۴۵٪ ظرفیت زراعی میزان سدیم، سدیم/پتاسیم، نشت الکترولیتی، غلظت مالون دآلدئید و گلايسين بتائین افزایش یافته و میزان فسفر، کلسیم، پتاسیم، محتوای نسبی رطوبت برگ و مساحت برگ در بوته کاهش یافت. واکنش ژنوتیپ های سویا نسبت به تنش

گرفتن غشای سلولی به خاطر افزایش سدیم و نشت پتاسیم از غشا به بیرون از سلول (Khan et al., 2010) می باشد. برقراری همبستگی مثبت معنی دار بین نشت الکترولیتی و غلظت سدیم در این بررسی تاییدی بر این مطلب می باشد. همبستگی مثبت معنی دار بین مساحت برگ در بوته با فسفر، پتاسیم و کلسیم نشان دهنده نیاز رشد برگ به این عناصر می باشد. فسفر با افزایش تحمل خشکی از طریق حفظ یکپارچگی غشا و کاهش نشت الکترولیتی و افزایش میزان نسبی آب برگ (Waraich et al., 2011) پتاسیم با حفظ فشار تورژسانس سلولی و کاهش خسارت فتواکسیداتیو به کلروپلاست (Ganji et al., 2012) و کلسیم با برگرداندن موادی که در اثر تنش به بیرون تراوش شده به داخل سلول (Palta, 2000) موجب کاهش نشت الکترولیتی و افزایش محتوای نسبی آب برگ شدند. همبستگی مثبت و معنی دار این عناصر با محتوای نسبی آب برگ و همبستگی منفی و معنی دار با میزان نشت الکترولیتی نشان دهنده تاثیر این عناصر بر صفات فوق می باشد. همبستگی مثبت معنی دار در سطح احتمال یک درصد بین مالون دآلدئید و نشت الکترولیتی غشا، نشان دهنده آسیب غشا از نظر تغییر در نفوذ پذیری، نشت یون ها و حفظ انسجام و یکپارچگی آن در



کم‌آبی متفاوت بود. ویلیامز و L17 به ترتیب بیشترین و کمترین میزان کاهش محتوای نسبی رطوبت و مساحت برگ در بوته را داشتند، D42X19 بین این دو ژنوتیپ قرار داشت. کاربرد سالیسیلیک اسید به خصوص در غلظت ۰/۴ میلی‌مول تا حدی تاثیر تنش کم‌آبی را با افزایش جذب فسفر، کلسیم و پتاسیم و کاهش نشت الکترولیتی در ژنوتیپ‌های سویا کاهش داد. رقم ویلیامز در تیمار محلول پاشی با غلظت ۰/۴ میلی‌مول سالیسیلیک اسید بیشترین میزان پایداری غشا و سطح برگ را در شرایط تنش کم‌آبی نشان داد.

## منابع

بیات، ح.، مردانی، ح.، آرویی، ح. و سلاح ورزی ی. (۱۳۹۰) تأثیر سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دانه‌های خیار (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus) تحت شرایط تنش خشکی، مجله پژوهش‌های تولید گیاهی ۱۸: ۷۶-۷۶.

۶۳

حقوق‌نیا، غ. ح. (۱۳۷۰) خاکشناخت. انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد

- Agboma, P.C., Sinclair, T.R., Jokinen, K., Peltonen-Sainio, P. and Pehu, E. (1997) An evaluation of the effect of exogenous glycine betaine on the growth and yield of soybean: timing of application, watering regimes and cultivars. *Field Crops Research* 54: 51-64
- Al-Hakimi, A. M. A. (2006) Contraction of drought stress on soybean plants by seed soaking in salicylic acid. *International Journal of Botany* 4: 421-426.
- Ashraf, M. and Foolad, M.R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
- Chen, T.H. and Murata, N. (2008) Glycine betaine an effective protectant against abiotic stress in plants. *Trends in Plant Science* 13:499-505.
- El Tayeb, M. A. and Ahmed, N. L. (2010) Response of wheat cultivars to drought and salicylic acid. *American-Eurasian Journal of Agronomy* 3: 01-07.
- Fiske, C. H. and Subba Row, Y. (1995) The colorimetric determination of phosphorus. *Journal of Biological Chemistry* 66:375-400.
- Heath, R.L. and Packer, L. (1968). Photo peroxidation in isolated chloroplast, kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
- Ganji Arjenaki, F., Jabbari, R. and Morshedi, A. (2012) Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4: 726-729.
- Greive, C.M. and Grattans, R. (1983) Rapid assay for determination of water soluble quaternary-amino compounds. *Plant and Soil* 70: 303-307.
- Giri, J. (2011) Glycine betaine and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signaling and Behavior* 6(11):1746-1751.
- Garg, B.K., Burman, U. and Kathju, S. (2004) The influence of phosphorus nutrition on the physiological response of mongbean genotypes to drought. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167: 503- 508.
- Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, N. Cicek, E. Guneri, F. Eraslan and Guzelordu T. (2005) Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*. 51: 687-695.
- Khan, W., Prithviraj, B. and Smith, D.L. (2003) Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160: 485-492.
- Khan, N. A., Syeed, Sh., Masood, A., Nazar, R. and Iqbal, N. (2010) Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mongbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology* 1:1-8.
- Liang, Y. Chen, Q. Liu, Zhang, W. and Ding, R. (2003) Exogenous silicone (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid per oxidation in roots or salt- stressed barley (*Hordeum Vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology* 99:872-878.
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. (1995) Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany* 46: 1843-1852.
- Mishra, A., and Choudhuri, M. A. (1999) Effects of salicylic acid on heavy metal induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. *Biologia Plantarum* 42(3):409-415.
- Nemeth, M., Janda, T., Hovarth, E., Paldi, E. and Szali, G. (2002) Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Science* 162: 569-574.

- Palta, J.P. (2000) Stress interactions at the cellular and membrane levels. *Horticultural Science* 25: 1377-1381.
- Porcel, R., Barea, J.M. and Ruiz-Lozano, J.M. (2003) Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. *New Phytologist* 157: 135-143.
- Rezaei, M. A., Kaviani, B. and Kharabian Masouleh, A. (2012) The effect of exogenous glycine betaine on yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in two contrasting cultivars Pershing and DPX under soil salinity stress. *Plant Omics Journal* 5:87-93.
- Sadeghipour, O. and Aghaei, P. (2012) Impact of exogenous salicylic acid application on some traits of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under water stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4:685-690.
- Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M.A., Romero, L. and Ruiz, J.M. (2010) Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science* 178:30-40.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. and Dixon, K. (1999) Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation* 30: 157-161.
- Silvente, S., Sobolev, A. P. and Lara, M. (2012) Metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive soybean genotypes in response to water stress. *PLOS ONE* 7: 1-11.
- Spaeth, S. C., Randau, H. C., Sinclair T. R. and Vendeland, J.S. (1984) Stability of soybean harvest index. *Agronomy Journal* 76: 482-486.
- Wani, Sh. H., Singh, N. B., Haribhushan, A. and Mir, J. I. (2013) Compatible solute engineering in plants for abiotic stress tolerance -role of glycine betaine. *Current Genomics* 14: 157-165.
- Waraich, E. A., Rashid Ahmad, Saifullah, M. Y. Ashraf Ehsanullah (2011) Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science* 5:764-777.
- Watad, A. A., Reuveni, M., Bressan, R. A. and Hasegawa, P. M. (1991) Enhanced net k<sup>+</sup> uptake capacity of NaCl-adapted cells. *Plant Physiology* 95: 1265-1269.
- William, H. (2000) Official methods of analysis of AOAC international. 17nd ed. USA: Association Official Analytical Chemists. 100p.
- Yildirim, E., Turan, M. and Guvenc, I. (2008) Effect of foliar salicylic acid applications on growth, of chlorophyll and mineral content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 31: 593-612.
- Zhang, J., L. Smith, D., Liu, W., Chen, X. and Yang, W. (2011) Effects of shade and drought stress on soybean hormones and yield of main-stem and branch. *African Journal of Biotechnology* 10:14392-14398.