

اثر محلول پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی سویا (*Glycine max* L.) تحت شرایط آبیاری با آب شور

حمیده غفاری و محمودرضا تدین*

گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۱۲/۷)

چکیده

شوری یکی از موانع اصلی افزایش تولید محصولات زراعی است. بر این اساس، به منظور ارزیابی محلول پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات شوری بر گیاه سویا (*Glycine max* L.)، آزمایشی به صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در سال ۱۳۹۵ در جعبه‌های کاشت در فضای باز دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اصلی شامل آبیاری با آب شور و با هدایت‌های الکتریکی ۲ (آب مزرعه)، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و عامل فرعی محلول پاشی با ۱۰ میلی‌مولار پرولین، اسید سالیسیلیک ۳ میلی‌مولار، ترکیب پرولین ۱۰ میلی‌مولار با اسید سالیسیلیک ۳ میلی‌مولار و شاهد (محلول پاشی با آب) بودند. نتایج نشان داد اثرات اصلی سطح شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم به ترتیب باعث افزایش و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به شاهد شدند. تحت تنش شوری محتوای پرولین و قندهای محلول افزایش یافتند، در حالیکه شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافتند. اثر متقابل سطوح شوری و تیمارهای محلول پاشی نشان داد که سطح ۵ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم و تیمار ترکیبی پرولین و اسید سالیسیلیک بالاترین محتوای کلروفیل b، کاروتنوئید و پرولین را با افزایش به ترتیب ۹۳، ۵۳ و ۱۴۳ درصد نسبت به شاهد داشتند. شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و محلول پاشی با آب به ترتیب کاهش ۶۳ و ۳۸ درصدی نسبت به شاهد داشتند. بنابراین محلول پاشی پرولین ۱۰ میلی‌مولار به همراه اسید سالیسیلیک ۳ میلی‌مولار بر شاخص‌های فیزیولوژیک سویا به عنوان بهترین تیمار جهت کاهش اثرات سمی شوری شناخته شد. بنابراین، کاربرد پرولین به عنوان املاح سازگار در تنظیم اسمزی گیاه و اسیدسالیسیلیک نقش حفاظتی از طریق واکنش‌های فیزیولوژیکی تحت تنش شوری مؤثر می‌باشد.

کلمات کلیدی: پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص پایداری غشا، قندهای محلول

مقدمه

سطح جهان دارا می‌باشد (پاشایی و همکاران، ۱۳۹۳). گیاهانی که در خاک‌های شور رشد می‌کنند، به دلیل خواص اسمزی، علاوه بر تنش شوری با تنش کم آبی مواجه شده که این عامل سبب کاهش سرعت رشد گیاه می‌شود. این پدیده موجب اختلال در تقسیم سلول و بزرگ شدن سلول‌ها شده و تمام

شوری، ۷ درصد از زمین‌های دنیا یعنی حدود ۹۳۰ میلیون هکتار را تحت تأثیر قرار داده و روز به روز این مناطق شور در حال گسترش می‌باشند. براساس آمار موجود، ایران پس از چین، هند و پاکستان بیشترین درصد اراضی زراعی شور را در

کاربرد غلظت‌های پایین (۱ میلی مولار) اسید سالیسیلیک بیشترین اثر مثبت را بر روی بازدارندگی کلرید سدیم داشت و توانست در بین پارامترهای بیوشیمیایی مقدار آنتوسیانین‌ها را در مقایسه با نمونه شاهد و شرایط تنش افزایش دهد. دلاوری و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقاومت گیاه ریحان سبز به تنش شوری را بررسی کردند و نتیجه گرفتند در حضور اسید سالیسیلیک اثرات شوری کاهش می‌یابد. Deef (۲۰۰۷) هم در گندم گزارش کرد که کاربرد سالیسیلیک اسید رشد را در گندم افزایش داد، اثرات شوری را مهار کرد و در بین دو غلظت مختلف، غلظت پایین تر آن (۱ میلی مولار) تأثیر بیشتری داشت. شهبازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) بیان کردند اسید سالیسیلیک در شرایط شوری باعث افزایش سرعت فتوسنتز در گیاه سویا شده است. در سویا افزایش مقدار رنگدانه‌ها و افزایش میزان فتوسنتز تحت اثر تیمار سالیسیلات ایجاد شده است.

کمبود آب و شوری موجب تغییرات گسترده در تقسیم کربن و نیتروژن در گیاهان می‌گردد. مریستم، بافت‌های در حال توسعه و اندام‌های تولیدمثلی معمولاً اسیدهای آمینه را وارد می‌کنند تا رشد و توسعه خود را تضمین کنند. پرولین یکی از این اسیدهای آمینه است که وزن ملکولی کم و قابلیت انحلال بالایی دارد و در شرایط تنش غیر زنده بسته به گونه و شدت تنش در غلظت‌های خیلی کم در حد میلی‌مولار تجمع می‌یابد و این غلظت، به دلیل افزایش سنتز و کاهش تجزیه آن در این شرایط است (Kishor *et al.*, 2005). کاربرد خارجی پرولین باعث حفظ پتانسیل اسمزی در سلول گیاه می‌شود (Ali *et al.*, 2008). همچنین Yan و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند محلول پاشی پرولین، میزان کاهش محتوای کلروفیل و فتوسنتز خالص را تحت تنش شوری در برگ‌های هندوانه تقلیل داد. محلول‌پاشی پرولین کاهش در فعالیت فتوسنتزی و روابط آبی برگ را در طول تنش شوری در *Olea europaea* L. تقلیل داد و میزان این کاهش به غلظت پرولین بستگی داشت. این به خوبی مشخص شده که پرولین، گیاهان را در برابر تنش از طریق استقرار انتقال الکترون میتوکندریایی کمپلکس II، غشاها و پروتئین‌ها و آنزیم‌هایی مانند رایبیسکو حفظ می‌کند (Hayat *et al.*, 2012).

واکنش‌های متابولیک گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین افزایش یون‌های سدیم و کلر موجب کاهش جذب یون‌های ضروری از جمله پتاسیم، کلسیم، آمونیوم و نترات شده و از فعالیت آنزیم‌ها کاسته و ساختار غشا را بر هم می‌زند (Kaya *et al.*, 2006). به طور کلی تنش شوری با ایجاد تنش یونی، تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو موجب تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و شیمیایی متعددی در گیاهان می‌شود و رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپید، تنفس و تولید انرژی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Parida and Das, 2005).

سویا گیاهی یکساله از خانواده بقولات و زیرخانواده پروانه‌آسا است. سویا به واسطه داشتن درصد بالای پروتئین و روغن و همچنین توانایی تثبیت نیتروژن بالا (۱۷ تا ۱۲۴ کیلوگرم در هکتار در سال) یکی از مهم‌ترین لگوم‌های دانه‌ای به شمار می‌رود. سویا گیاه زراعی است که در برابر شوری مقاومت چندانی ندارد، از این رو آب‌های شور به ویژه در زمین‌هایی که با محدودیت زهکشی و انباشت نمک روبرو هستند، سبب کاهش عملکرد آن می‌شود (پاشایی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه تولید بخش قابل توجهی از گیاهان زراعی با مشکل آب یا خاک شور مواجه است، به‌کارگیری روش‌هایی که امکان رشد و حصول عملکرد مطلوب تحت چنین شرایطی را برای گیاهان فراهم کند، اهمیت بالایی دارد.

کارایی کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی روی شاخساره گیاهان در مقابل انواع تنش‌های زنده و غیرزنده ثابت شده است. اسید سالیسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید وابسته به گروهی از ترکیبات فنلی هستند و نقش محوری در فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف مانند رشد و نمو گیاه و فتوسنتز ایفا می‌کنند (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که سطح اسید سالیسیلیک درونی و فعالیت آنزیم سنتزکننده اسید سالیسیلیک (SA) یعنی بنزوئیک اسید ۳ هیدروکسی‌لاز توسط شوری در گیاهچه برنج ساخته می‌شود. که نشان دهنده آن است که SA در پاسخ به شوری نقش دارد (Sawada *et al.*, 2006). بهنام نیا و شنوایی (۱۳۹۲) در گیاه شیرین بیان هم گزارش کردند که

آب) (شهبازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) و Jasim و همکاران (۲۰۱۲)) بود. محلول پاشی روی گیاه در مرحله ۴ برگی به میزانی انجام گرفت که برگ‌ها کاملاً خیس شده و قطرات محلول از برگ بریزد.

اعمال تیمارهای شوری و محلول پاشی: پس از دوره استقرار گیاهان و زمانی که گیاهان به مرحله ۴ برگی رسیدند، محلول پاشی ترکیبات آغاز شد و در دو مرحله و با فاصله زمانی ۷ روز صورت گرفت. گیاهان شاهد تنها بوسیله آب خالص محلول پاشی شدند. ۷ روز بعد از محلول پاشی دوم با افزودن تدریجی کلرید سدیم به آب آبیاری، اعمال شوری انجام شد. آبیاری با آب شور به فاصله زمانی هر سه روز یکبار صورت گرفت پس از هر بار آبیاری زه آب ۵ جعبه از هر تیمار بطور تصادفی برداشت و میزان قابلیت هدایت الکتریکی آنها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی (مدل Cyberscan Singapore) اندازه‌گیری شد و در مواردی که میزان قابلیت هدایت الکتریکی محلول ورودی بیشتر بود آبشویی با آب مقطر انجام گرفت. در طی روز زه آبهای خارج شده به خاک هر جعبه برگشت داده شد تا غلظت نمک در خاک بر اساس مقادیر تیمارها ثابت باقی بماند. رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی مزرعه نگه داشته شد. مقدار آب مورد نیاز هر جعبه با وزن کردن جعبه و اختلاف وزن آن در شرایط آبیاری شده و خشک بدست آمد.

اندازه‌گیری صفات: در مرحله گلدهی صفات زیر اندازه‌گیری شدند.

رنگی‌های فتوسنتزی: برای سنجش غلظت رنگی‌های a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید از روش Arnon (۱۹۹۶) و آنتوسیانین از روش Sims and Gamon (۲۰۰۲) استون ۸۰٪ استفاده شد. استخراج کلروفیل از برگ بالغ و فعال با کمک استون ۸۰٪ انجام شد. سپس حجم محلول با استون به ۲۵ میلی لیتر رسید. محلول حاصل بمدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ rpm سانتیفریژ و جذب نوری در طول موج‌های (abs) ۶۶۳، ۶۴۶، ۴۷۰ و ۵۳۷ نانومتر، بوسیله اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار کلروفیل بر حسب میلی

بنابراین استفاده از ترکیباتی که ضمن آلوده‌نکردن محیط زیست به طور مؤثری، اثرات شوری را بر رشد و تولیدات کشاورزی کاهش دهند، در راستای اهداف این مطالعه هستند. با توجه به اینکه هر ساله منابع آبهای شیرین در حال شور شدن بوده و خاک‌های زمین‌های زراعی در معرض انباشت نمک و شوری شدت می‌یابد که می‌تواند بر تولید گیاه مهم و راهبردی سویا اثر نامطلوب گذارد. از این رو، هدف از این مطالعه بررسی اثر اسید سالیسیلیک و پرولین در شرایط آبیاری با آب شور و تیمار ترکیبی پرولین و اسید سالیسیلیک به منظور مقایسه این دو تیمار بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه سویا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تیمارها و طراحی طرح: این تحقیق در فضای آزاد دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۵ بر روی گیاه سویا (*Glycine max L.*) (رقم سامان با گروه رسیدگی زودرس) در جعبه‌های کاشت به ابعاد ۳۰×۳۰×۳۰ سانتی‌متر انجام شد. آزمایش به صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار طراحی و اجرا شد. پس از تهیه بذر سویا از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، بذور با هیپوکلرید سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۵ دقیقه استریل شدند و دو مرتبه با آب مقطر دیونیزه شستشو داده شدند. برای خاک جعبه‌های کاشت از ترکیب خاک مزرعه و خاکبرگ با نسبت ۱:۳ استفاده شد. در هر جعبه ۸ عدد بذر کاشته شد و پس از استقرار گیاهچه‌ها و در مرحله ۳ برگی بوته‌های اضافی تنک شدند و در هر جعبه تنها ۴ گیاه نگه‌داشته شد. نیاز کودی مزرعه بر حسب نتایج آزمون خاک (جدول ۱) صورت گرفت. تا قبل از شروع اعمال تیمارها، آبیاری با آب با شوری نرمال (با هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر) انجام گرفت. عامل اصلی شامل آبیاری با آب شور و با هدایت‌های الکتریکی ۲ (آب مزرعه)، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و عامل فرعی شامل پرولین ۱۰ میلی‌مولار، اسید سالیسیلیک ۳ میلی‌مولار، ترکیب اسید سالیسیلیک ۳ میلی‌مولار با پرولین ۱۰ میلی‌مولار، و شاهد (محلول پاشی با

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک

| عمق خاک (cm) | pH | EC (dS m ⁻¹) | OC (%) | نیتروژن کل (%) | فسفر قابل جذب (mg/kg) | پتاسیم قابل جذب (mg/kg) | شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | بافت |
|--------------|-----|--------------------------|--------|----------------|-----------------------|-------------------------|--------|----------|--------|----------|
| ۰-۳۰ | ۷/۷ | ۰/۴۱ | ۱/۱۱ | ۰/۱۲ | ۱۷/۱ | ۴۵۸ | ۲۶ | ۳۴ | ۳۹ | لومی رسی |

گرم کلروفیل در گرم برگ تازه تخمین زده شد.

$$\text{a (mg g}^{-1}\text{)} = (12.7 \times \text{abs } 663) - (2.6 \times \text{abs } 646) \text{ mL acetone/mg}$$

$$\text{b (mg g}^{-1}\text{)} = (22.9 \times \text{abs } 646) - (4.68 \times \text{abs } 663) \text{ mL acetone/mg}$$

$$\text{(mg g}^{-1}\text{)} = (7.05 \times \text{Chl a}) + (18.09 \times \text{Chl b}) \text{ mL acetone/mg}$$

$$\text{(mg g}^{-1}\text{)} = (1000 \times \text{abs } 470) - (1.9 \times \text{abs } 663) - (63.14 \times \text{abs } 646) / 214$$

$$\text{(mg g}^{-1}\text{)} = (81.73 \times \text{abs } 537) - (6.97 \times \text{abs } 646) - (2.228 \times \text{abs } 663) \text{ mL acetone/mg}$$

پایداری غشای سلولی: برای تعیین پایداری غشای

سیتوپلاسمی از روش اندازه گیری نشت الکترولیتی استفاده شد (Valentovic *et al.*, 2006). برای این کار، ۲۰۰ میلی گرم برگ

از هر گلدان انتخاب و در ویال های حاوی آب دوبار تقطیر شده قرار داده شد. بعد از ۲۴ ساعت، نشت الکترولیت ها توسط

دستگاه هدایت سنج (EC متر) (مدل Cyberscan Singapore) اندازه گیری شد (EC₁). به منظور اندازه گیری میزان کل نشت

الکترولیت ها در اثر مرگ سلول، ویال ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد در اتوکلاو قرار داده شدند. سپس

نمونه ها به محیط آزمایشگاه انتقال داده و بعد از رسیدن دمای نمونه ها به دمای محیط، دوباره نشت الکترولیت های نمونه ها

اندازه گیری شدند (EC₂). در نهایت میزان نشت یونی از رابطه زیر به دست آمد:

$$\text{میزان نشت یونی} = [1 - (\text{EC}_1 / \text{EC}_2)] \times 100$$

پرویلین: برای اندازه گیری پرویلین محتوای بافت برگ از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. ۰/۵ گرم از بافت

برگ در هاون چینی کاملاً کوبیده شد تا به حالت خمیری در آید. سپس ۱۰ میلی لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد به آن

اضافه شد و محتوی هاون از کاغذ صافی عبور داده شد. به ۲

میلی لیتر محلول، ۲ میلی لیتر اسید ناین هیدرین (۱۲۵ میلی گرم ناین هیدرین + ۲ میلی لیتر اسید فسفریک ۶ مولار + ۳ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال + ۲ میلی لیتر اسیداستیک) اضافه شد. محتوی حاصل مخلوط شد و در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت گذاشته شد و سپس لوله های محتوی محلول حاصل در یخ قرار داده، پس از یکی شدن دمای آن با دمای محیط به آن ۴ میلی لیتر تولوئن اضافه گردید و به مدت ۲۰-۱۵ ثانیه بهم زده شدند. استانداردهای پرویلین را در مقادیر ۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳ و ۰/۰۴ میکرومول بر میلی لیتر تهیه شد، نمونه های حاصل و استانداردها در طول موج ۵۲۰ نانومتر با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC): نمونه برداری در برگ های جوان کاملاً توسعه یافته انجام و نمونه ها بلافاصله درون یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه وزن تر آنها با ترازوی دقیق اندازه گیری شدند. سپس تمامی نمونه ها در آب مقطر قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ ها اندازه گیری و برگ ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون قرار گرفتند و وزن خشک هر کدام اندازه گیری شد و مقدار آب نسبی برگ از طریق معادله زیر محاسبه گردید (Banchio *et al.*, 2008):

$$\text{(وزن تر - وزن خشک)} / (\text{وزن تورژسانس} - \text{وزن خشک}) \times 100$$

غلظت قندهای محلول: برای اندازه گیری میزان قندهای محلول از روش Dubois و همکاران (۱۹۵۶) استفاده شد. در ابتدا، برای تهیه عصاره الکلی، ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی به همراه ۱۵ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد داغ در داخل هاون چینی کوبیده و له شد. سپس سوسپانسیون همگن شده از کاغذ

برای صفات آنتوسیانین، شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد و برای صفات محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پرولین برگ و غلظت قندهای محلول در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت درحالی‌که برای صفت کلروفیل کل تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد (جدول ۲).

محتوای کلروفیل: مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر شوری منجر به افزایش غلظت کلروفیل a، b و کل شد، این در حالی است که تیمار شوری ۱۰ دسی-زیمنس بر متر باعث کاهش محتوای کلروفیل a، b و کل نسبت به شاهد شد، این کاهش برای کلروفیل a، ۳۷ درصد و برای کلروفیل b و کل، ۳۶ درصد نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۳). براین اساس Ashraf و Naqvi (۱۹۹۲) نشان دادند که تنش شوری شدید، موجب تخریب کلروپلاست، تغییر تعداد و اندازه کلروپلاست‌ها و کاهش کلروفیل شد. نتایج هر دو مطالعه با یافته‌های این آزمایش مطابقت دارد. همه تیمارهای محلول‌پاشی باعث افزایش محتوای کلروفیل شدند، با این حال، بالاترین محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل مربوط به تیمار ترکیبی پرولین و اسید سالیسیلیک به ترتیب با افزایش ۵۳، ۲۸ و ۳۶ درصد نسبت به محلول‌پاشی با آب بود (جدول ۳). براساس تحقیقات انجام شده توسط Mittler (۲۰۰۲) کاربرد محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک منجر به افزایش رنگدانه‌ها در کلزا شده است. از دلایل بهبود پارامترهای رشد تحت تأثیر تیمار اسیدسالیسیلیک را می‌توان تأثیر SA بر دستگاه فتوسنتزی و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی، مقدار فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش تنش اکسیداتیو و نشت یونی و افزایش همبستگی غشاهای زیستی نام برد (Popova et al., 2009). مقایسات میانگین اثر متقابل سطوح شوری و تیمارهای محلول‌پاشی حاکی از آن است که بالاترین محتوای کلروفیل a مربوط به تیمار شاهد + محلول‌پاشی ترکیب پرولین و اسید سالیسیلیک با افزایش ۵۸ درصدی بوده است، در حالی‌که کمترین میزان محتوای کلروفیل a در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر + محلول

صافی عبور داده شد و ۵ میلی‌لیتر سولفات روی ۵ درصد و ۴/۷ میلی‌لیتر هیدروکسیدباریم ۰/۳ درصد به آن اضافه شد و مجدد صاف گردید. در مرحله بعد ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف شده به لوله‌های جدید منتقل شد و ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و بلافاصله ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد به آن اضافه شد. در این مرحله ماده رنگی که به رنگ زرد تا قهوه‌ای تیره است تشکیل شد و واکنش خاتمه یافت. در انتها میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. غلظت قندهای محلول با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با غلظت‌های مشخص گلوکز (۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و لحاظ کردن حجم الکل استفاده شده جهت عصاره‌گیری تعیین شد. از ترکیب الکل، فنل و اسید سولفوریک به‌عنوان شاهد استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت، مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد و هم‌چنین مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها با نرم‌افزار MSTAT-C، ترسیم نمودارها با نرم افزار Excel و همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده (آزمون پیرسون در سطح احتمال ۵ درصد) با نرم‌افزار SPSS version 23.0 انجام شد.

نتایج و بحث

تحمل شوری تابعی از فعالیت یک اندام یا یک صفت گیاهی نیست، بلکه برآیندی از تعداد زیادی صفات مهم گیاهی است (Munns and Teste, 2008)، لذا بررسی صفات فیزیولوژیک جهت یافتن مکانیسم‌های دخیل در تحمل شوری ضروری می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مورد بررسی نشان داد محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، پرولین، غلظت قندهای محلول، شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر شوری و تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). اثر متقابل سطوح شوری در تیمارهای محلول‌پاشی

جدول ۲- تجزیه واریانس محلول پاشی اسید سالیسیلیک و پرولین بر صفات محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب گیاه سویا تحت شرایط آبیاری شور

| منابع تغییرات | درجه آزادی | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئید | آنتوسیانین | پرولین | قندهای محلول | شاخص پایداری غشا | محتوای نسبی آب |
|-------------------|------------|-----------|-----------|--------------------|------------|------------|---------|--------------|------------------|----------------|
| تنش شوری | ۲ | ۰/۵۴** | ۰/۲۸** | ۲۰۷/۴** | ۳۱/۲** | ۰/۰۴۵** | ۵/۰۸۱** | ۴۶۶/۳** | ۲۴۰۰/۲** | ۸۶۲/۴** |
| خطای a | ۹ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۱ | ۰/۲۵۵ | ۰/۱۰۲ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۰۳۴ | ۲/۳۲ | ۲۴/۹۲ | ۷/۸۱ |
| محلول پاشی | ۳ | ۰/۱۷** | ۰/۰۱۴** | ۲۵/۴۸** | ۷/۰۲** | ۰/۰۰۷** | ۱/۸۹** | ۹۴/۳۹** | ۲۷۱/۱** | ۵۳/۷۵** |
| شوری × محلول پاشی | ۶ | ۰/۰۱* | ۰/۰۰۵* | ۱/۳۳ ^{ns} | ۰/۳۳۳* | ۰/۰۰۷** | ۰/۱۳۱* | ۲۰/۱۰* | ۱۵۱/۷** | ۲۸/۹۸** |
| خطای b | ۲۷ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۱ | ۰/۸۵۵ | ۰/۱۰۲ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۰۳۹ | ۴/۵۸ | ۱۵/۴۲ | ۴/۰۳ |
| ضریب تغییرات | | ۷/۳ | ۷/۹ | ۵/۹ | ۳/۸ | ۵/۶۷ | ۶/۳۱ | ۴/۱۴ | ۵/۸۴ | ۳/۲۱ |

ns. * و ** به ترتیب بیانگر معنی دار نبودن، معنی دار بودن در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات محلول پاشی اسید سالیسیلیک و پرولین بر صفات محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب گیاه سویا تحت شرایط آبیاری شور.

| عامل آزمایشی | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئید | آنتوسیانین |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | میلی گرم بر گرم وزن تر برگ | | | | |
| سطوح شوری | | | | | |
| ۲ دسی زیمنس بر متر (شاهد) | ۱/۱۰ ^a | ۰/۴۷ ^b | ۱۶/۲۲ ^b | ۸/۸۳ ^b | ۰/۲۱ ^b |
| ۵ دسی زیمنس بر متر | ۱/۱۷ ^a | ۰/۶۸ ^a | ۲۰/۵۳ ^a | ۱۰/۱۱ ^a | ۰/۳۳ ^a |
| ۱۰ دسی زیمنس بر متر | ۰/۶۹ ^b | ۰/۳۰ ^c | ۱۰/۳۹ ^c | ۶/۲۴ ^c | ۰/۲۰ ^b |
| محلول پاشی | | | | | |
| شاهد (محلول پاشی با آب) | ۰/۷۸ ^d | ۰/۴۳ ^c | ۱۳/۳۶ ^d | ۶/۹۹ ^d | ۰/۲۰ ^b |
| پرولین ۱۰ میلی مولار | ۰/۹۵ ^c | ۰/۴۶ ^b | ۱۴/۹۵ ^c | ۸/۲۳ ^c | ۰/۲۵ ^a |
| پرولین ۱۰ میلی مولار + اسید سالیسیلیک | ۱/۱۹ ^a | ۰/۵۵ ^a | ۱۸/۲۱ ^a | ۹/۵۶ ^a | ۰/۲۷ ^a |
| ۳ میلی مولار | | | | | |
| اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۱/۰۵ ^b | ۰/۵۰ ^{ab} | ۱۶/۳۲ ^b | ۸/۷۹ ^b | ۰/۲۶ ^a |

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارد.

ترتیب افزایش ۹۳ و کاهش ۴۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد + محلول پاشی با آب داشتند (جدول ۴). شهبازی زاده و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود بر گیاه سویا نشان دادند مقدار رنگیزه‌ها در گیاهان سویای تیمار شده با اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار افزایش یافته است. همچنین Yan و

پاشی با آب با کاهش ۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد + محلول پاشی با آب مشاهده شد (جدول ۴). بیشترین محتوای کلروفیل b مربوط به تیمار ۵ دسی زیمنس بر متر + محلول پاشی ترکیب پرولین و اسید سالیسیلیک و کمترین در تیمار ۱۰ دسی زیمنس بر متر شوری + محلول پاشی با آب بود که به

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و تیمارهای محلول پاشی بر صفات محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و آنتوسیانین گیاه سویا

| سطوح شوری | محلول پاشی | کلروفیل a | کلروفیل b | کاروتنوئید | آنتوسیانین |
|-----------|---|----------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| | | میلی گرم بر گرم وزن تر برگ | | | |
| ۲ | شاهد (محلول پاشی با آب) | ۰/۹۰ ^{de} | ۰/۴۳ ^c | ۷/۶۶ ^d | ۰/۱۶۲ ^{ef} |
| | پرولین ۱۰ میلی مولار | ۰/۹۶ ^d | ۰/۴۶ ^c | ۸/۸۲ ^c | ۰/۱۹۲ ^e |
| | پرولین ۱۰ میلی مولار + اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۱/۴۲ ^a | ۰/۵۰ ^c | ۹/۹۵ ^b | ۰/۲۴۰ ^d |
| | اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۱/۱۴ ^{bc} | ۰/۴۹ ^c | ۸/۹۱ ^c | ۰/۲۴۲ ^d |
| ۵ | شاهد (محلول پاشی با آب) | ۱/۰۰ ^{cd} | ۰/۶۲ ^b | ۸/۷۵ ^c | ۰/۲۷۴ ^c |
| | پرولین ۱۰ میلی مولار | ۱/۱۸ ^b | ۰/۶۱ ^b | ۹/۷۸ ^b | ۰/۴۳۴ ^a |
| | پرولین ۱۰ میلی مولار + اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۱/۲۹ ^{ab} | ۰/۸۳ ^a | ۱۱/۶۹ ^a | ۰/۳۱۲ ^b |
| | اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۱/۲۳ ^b | ۰/۶۶ ^b | ۱۰/۲۳ ^b | ۰/۳۱۲ ^b |
| ۱۰ | شاهد (محلول پاشی با آب) | ۰/۴۵ ^g | ۰/۲۶ ^d | ۴/۵۸ ^f | ۰/۱۳۴ ^f |
| | پرولین ۱۰ میلی مولار | ۰/۷۱ ^f | ۰/۳۰ ^d | ۶/۰۹ ^e | ۰/۱۵۰ ^{ef} |
| | پرولین ۱۰ میلی مولار + اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۰/۸۵ ^{def} | ۰/۳۲ ^d | ۷/۰۶ ^d | ۰/۲۶۲ ^{cd} |
| | اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۰/۷۷ ^{ef} | ۰/۳۴ ^d | ۷/۲۳ ^d | ۰/۲۳۶ ^d |

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

برانگیخته، تولید اکسیژن تکی در کلروپلاست سلول‌های فتوسنتزکننده را کاهش می‌دهند (Abogadallah, 2010). افزایش این رنگدانه‌ی کلیدی در شرایط شور، ظرفیت حفاظت نوری و آنتی‌اکسیدانی گیاه را بهبود می‌بخشد (Parida et al., 2007). کاهش محتوای کاروتنوئیدها تحت شرایط شوری بالا می‌تواند به دلیل اکسید شدن آن‌ها توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها باشد (رمضان‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). تیمار محلول‌پاشی ترکیب پرولین و اسید سالیسیلیک در بین تیمارهای محلول-پاشی با افزایش کاروتنوئید و آنتوسیانین به ترتیب ۳۷ و ۳۵ درصدی نسبت به محلول‌پاشی با آب بیشترین تغییر را داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و تیمارهای محلول‌پاشی حاکی از آن است که بالاترین محتوای کاروتنوئید در سطح ۵ دسی‌زیمنس بر متر + محلول پاشی ترکیب پرولین و اسید سالیسیلیک و کمترین در سطح ۱۰

همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل مورد مطالعه شد، در حالیکه در کرت‌های تحت محلول‌پاشی پرولین کاهش محتوای کلروفیل تحت شرایط شوری به طور معنی‌داری کم بود.

محتوای کاروتنوئید و آنتوسیانین: مقایسه میانگین‌ها نشان داد درصد محتوای کاروتنوئید و آنتوسیانین در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت، این افزایش برای کاروتنوئید و آنتوسیانین به ترتیب ۱۴ و ۵۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بود، در حالیکه در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاروتنوئید و آنتوسیانین به ترتیب ۲۹ و ۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند (جدول ۳). کاروتنوئیدها یکی از مهمترین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی هستند که همراه با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، گونه‌های فعال اکسیژن را خنثی می‌کنند. کاروتنوئیدها از طریق دریافت مازاد انرژی کلروفیل‌های

اکسیژن (ROS) و بافر کردن پتانسیل احیایی سلول، تحت شرایط تنش است. مکانیسم مولکولی مهار ROSها توسط پرولین مربوط به ویژگی‌های بیوشیمیایی پیرولیدین است، که پرولین را بطور مؤثری قادر می‌سازد با اکسیژن تکی و گروه هیدروکسیل واکنش دهد و اثرات مخرب ROSها بر مولکول‌های مهمی نظیر DNA و آنزیم‌ها را خنثی کند (Matysik et al., 2002). علاوه بر این طبق گزارش Skopelitis و همکاران (۲۰۰۶) ROSهای تولید شده طی تنش‌های غیر زیستی می‌توانند علامتی برای بیان گلوتامات دهیدروژناز آنیونی که تشکیل گلوتامات (پیش ساز پرولین) را کاتالیز می‌کند باشند.

محافظت‌کننده‌های اسمزی مثل قندها و قندهای الکلی از طریق کمک به پایداری ساختار غشاها و پروتئین‌ها از گیاه در برابر تنش اسمزی محافظت می‌کنند (Valliyodan and Nguyen, 2006). تصور می‌شود قندها با گروه‌های قطبی غشاها برهمکنش دارند و مانع از بین رفتن غشاها می‌شوند (Bartels and Sunkar, 2005). افزایش تجزیه کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل آنها به قندهای محلول، تولید مواد اسمتیک از مسیرهای غیرفتوستنتزی، توقف رشد، کاهش در انتقال (صادرات) مواد و فعالسازی آنزیم ساکارز فسفات سنتاز و افزایش سنتز ساکارز از جمله دلایل افزایش سطوح قندهای محلول در گیاهان تحت تنش هستند (خاکشور و همکاران، ۱۳۹۰) که با یافته‌های این مطالعه مطابقت دارد.

بین تیمارهای محلول‌پاشی، بالاترین میزان پرولین و قندهای محلول در تیمار ترکیب پرولین و اسید سالیسیلیک بود که به ترتیب افزایش ۵۴ و ۲۰ درصدی نسبت به تیمار محلول پاشی با آب داشتند (جدول ۵). طبق گزارشات Khodary (۲۰۰۴) اسید سالیسیلیک به علت تعدیل در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوستنتزی و احتمالاً با حفظ ساختار و فعالیت رویسکو باعث افزایش مقدار قندها می‌شود. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و تیمارهای محلول‌پاشی برای محتوای پرولین و قندهای محلول نشان داد که همه تیمارها نسبت به تیمار شاهد + محلول‌پاشی با آب افزایش یافتند.

دسی‌زیمنس بر متر + محلول‌پاشی با آب بود که به ترتیب افزایش ۵۳ درصدی و کاهش ۴۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد + محلول‌پاشی با آب داشتند (جدول ۴). بیشترین محتوای آنتوسیانین در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر + محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار پرولین و کمترین در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر + محلول‌پاشی با آب بود که به ترتیب افزایش ۱۶۷ درصدی و کاهش ۱۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد + محلول‌پاشی با آب را نشان دادند (جدول ۴). بهنام نیا و شنوایی (۱۳۹۲) گزارش کردند که کاربرد غلظت‌های پایین (۱ میلی‌مولار) اسید سالیسیلیک بیشترین اثر مثبت را بر روی بازدارندگی کلرید سدیم داشت و توانست در بین صفات بیوشیمیایی مقدار آنتوسیانین‌ها را در مقایسه با نمونه شاهد و شرایط تنش افزایش دهد. در مطالعه Bakry و همکاران (۲۰۱۴) بر گیاه بزرک (*Linum usitatissimum L.*) نشان دادند محلول‌پاشی پرولین باعث افزایش محتوای کاروتنوئید و کلروفیل تحت سطوح شوری شد، که با یافته‌های این مطالعه مطابقت داشت.

غلظت اسمولیت‌ها در گیاه سویا: شوری منجر به افزایش غلظت پرولین و قندهای محلول کل برگ شد، ولی این افزایش غلظت برای پرولین با افزایش سطوح شوری به صورت خطی نبود (جدول ۵). بیشترین افزایش غلظت پرولین در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر و افزایش ۶۴ درصدی و کمترین افزایش در سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و افزایش ۲۱ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۵). در حالیکه بیشترین افزایش غلظت قندهای محلول در سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش ۳۵ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. پرولین یکی از رایج‌ترین محلول‌های سازگار است که در بیشتر گیاهان زراعی تحت تنش شوری و خشکی تجمع می‌یابد. برخی از محققین معتقدند (Shalata and Tal, 1998) افزایش سطح پرولین نشانه آسیب وارد شده به گیاه تحت تنش است نه شاخصی از تحمل شوری. همچنین نقش حفاظتی پرولین به‌غیر از تنظیم اسمزی مربوط به توانایی این ماده در حفظ پایداری غشاهای سلولی و پروتئین‌ها، مهار کردن گونه‌های فعال

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات محلول پاشی اسید سالیسیلیک و پرولین بر صفات پرولین، قندهای محلول، شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب گیاه سویا تحت شرایط آبیاری شور

| عامل آزمایشی | پرولین برگ میکرومول بر گرم وزن تر برگ | قندهای محلول کل برگ میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ | شاخص پایداری | |
|---|---|--|--------------------|---------------------|
| | | | غشا | محتوای نسبی آب |
| درصد | | | | |
| سطوح شوری | | | | |
| ۲ دسی زیمنس بر متر (شاهد) | ۲/۴۳ ^c | ۴۳/۲۶ ^c | ۸۲/۰۳ ^a | ۷۰/۸۵ ^a |
| ۵ دسی زیمنس بر متر | ۳/۹۹ ^a | ۵۳/۴۶ ^b | ۷۱/۵۴ ^b | ۶۵/۴۱ ^b |
| ۱۰ دسی زیمنس بر متر | ۲/۹۴ ^b | ۵۸/۲۰ ^a | ۴۸/۱۹ ^c | ۵۰/۷۸ ^c |
| محلول پاشی | | | | |
| شاهد (محلول پاشی با آب) | ۲/۳۱ ^c | ۴۶/۵۵ ^c | ۵۸/۰۲ ^c | ۶۶/۳۲ ^a |
| پرولین ۱۰ میلی مولار | ۳/۴۰ ^{ab} | ۵۳/۳۷ ^{ab} | ۶۶/۵۳ ^b | ۶۰/۹۲ ^{bc} |
| پرولین ۱۰ میلی مولار + اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۳/۵۶ ^a | ۵۵/۸۴ ^a | ۷۱/۸۵ ^a | ۵۹/۳۷ ^c |
| اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | ۳/۲۱ ^b | ۵۰/۸۲ ^b | ۷۲/۶۰ ^a | ۶۲/۷۸ ^b |

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

کاهش یافتند (جدول ۵)، این کاهش برای سطح ۱۰ دسی- زیمنس بر متر بیشتر بود که به ترتیب کاهش ۴۱ و ۲۸ درصدی نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۵). یکی از آسیب‌های جدی تنش شوری خسارت به غشاهای سلولی و رها سازی یون‌ها از سلول به فضای بین سلولی است. این پدیده نتیجه تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که منجر به پراکسیداسیون لیپید و در پی آن افزایش نفوذ پذیری غشاء و خسارت به سلول می‌شود (آذری و همکاران، ۱۳۹۱). کاهش در محتوای نسبی آب در گیاهان تحت تنش‌هایی نظیر شوری ممکن است اشاره به دلیل از دست رفتن فشار تورگر (تورژسانس) که در نتیجه محدود شدن دسترسی آب برای سلول باشد (Karimi et al., 2005).

در بین تیمارها محلول پاشی اسید سالیسیلیک بالاترین درصد پایداری غشا را داشت که اختلاف معنی‌داری با محلول پاشی ترکیب پرولین و اسید سالیسیلیک نداشت که به ترتیب

بیشترین افزایش محتوای پرولین در سطح ۵ دسی زیمنس بر متر + محلول پاشی ترکیب پرولین و اسید سالیسیلیک و کمترین در سطح ۱۰ دسی زیمنس بر متر + محلول پاشی با آب بدست آمد که به ترتیب افزایش ۱۴۳ و ۱۲ درصدی نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۶). بیشترین محتوای قندهای محلول در سطح شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر + ترکیب پرولین و اسید سالیسیلیک مشاهده شد که افزایش ۷۳ درصدی نسبت به شاهد داشت (جدول ۶). همچنین Bakry و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند محتوای قندهای محلول و پرولین در گیاه بزرگ تحت محلول پاشی پرولین نسبت به محلول پاشی با آب افزایش یافتند و این باعث ایجاد مقاومت گیاه تحت شرایط تنش می‌شود.

شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ: مقایسه میانگین صفات مرتبط به شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ حاکی از آن است که با افزایش سطوح شوری،

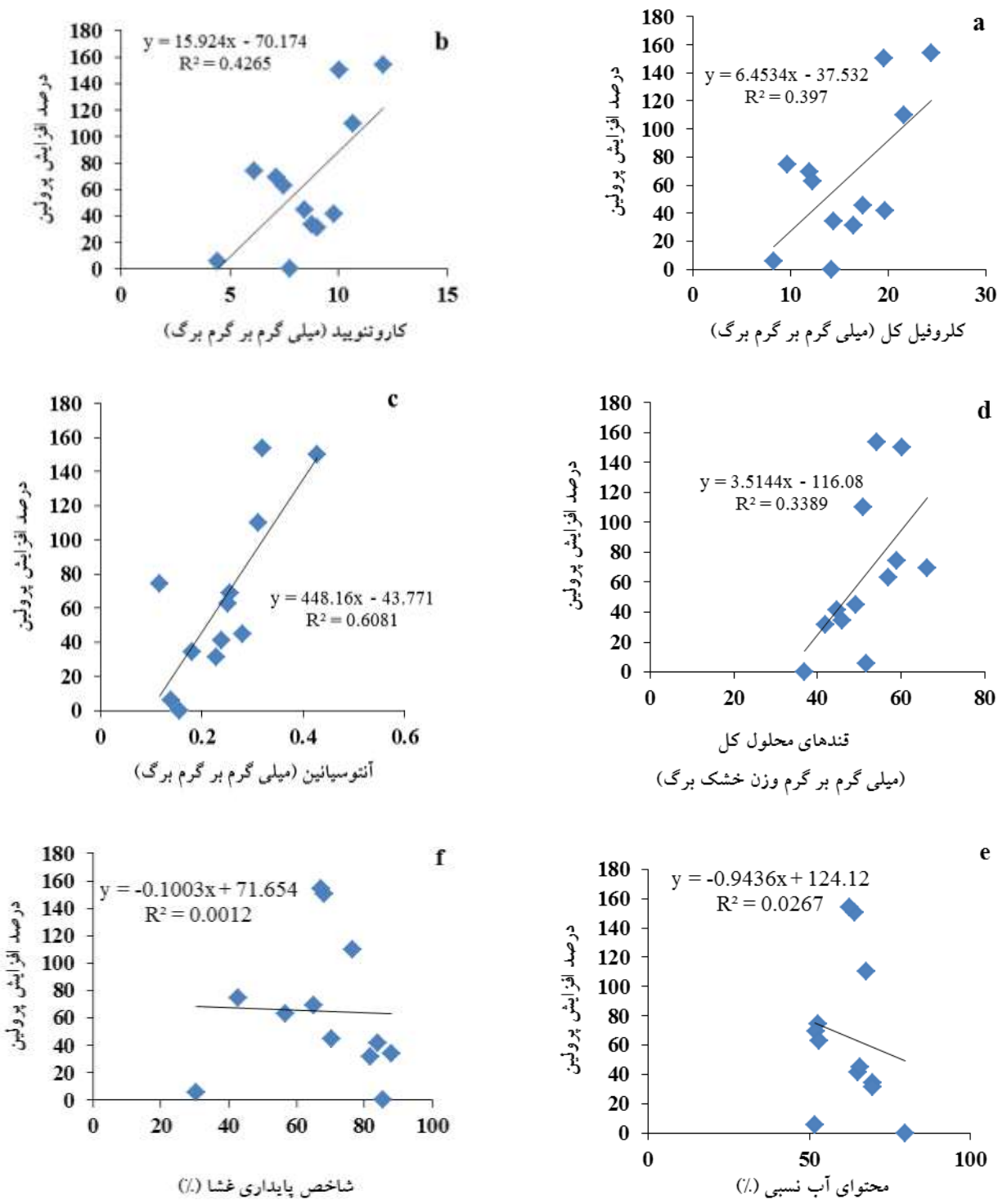
جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی و سطوح شوری بر صفات محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب گیاه سویا

| محتوای نسبی آب | شاخص پایداری غشا | قندهای محلول | | محلول پاشی | سطوح شوری |
|---------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|---|------------------------------|
| | | میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ | میکرومول بر گرم وزن تر برگ | | |
| ۸۰/۷ ^{ab} | ۷۷/۸ ^{bc} | ۳۸/۸۵ ^g | ۱/۹۴ ^h | شاهد (محلول پاشی با آب) | ۲ دسی زیمنس بر متر (شاهد) |
| ۶۷/۵ ^{bcd} | ۸۷/۰ ^a | ۴۶/۴۵ ^{ef} | ۲/۶۱ ^f | پرولین ۱۰ میلی مولار | |
| ۶۴/۱ ^{cd} | ۸۲/۰ ^{ab} | ۴۵/۱۵ ^{ef} | ۲/۶۸ ^{ef} | پرولین ۱۰ میلی مولار + اسیدسالیسیلیک ۳ میلی مولار | |
| ۷۱/۱ ^b | ۸۱/۳ ^{ab} | ۴۲/۶۰ ^{fg} | ۲/۴۸ ^{fg} | اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | |
| ۶۸/۰ ^{bc} | ۶۷/۲ ^{de} | ۴۸/۹۰ ^{de} | ۲/۸۱ ^{def} | شاهد (محلول پاشی با آب) | ۵ دسی زیمنس بر متر |
| ۶۴/۷ ^{cd} | ۷۱/۲ ^{cd} | ۵۷/۶۰ ^b | ۴/۳۸ ^{ab} | پرولین ۱۰ میلی مولار | |
| ۶۳/۰ ^d | ۷۰/۱ ^{cd} | ۵۵/۱۵ ^{bc} | ۴/۷۲ ^a | پرولین ۱۰ میلی مولار + اسیدسالیسیلیک ۳ میلی مولار | |
| ۶۵/۹۰ ^{cd} | ۷۷/۷ ^{bc} | ۵۲/۲۰ ^{cd} | ۴/۰۶ ^b | اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | |
| ۵۰/۲۵ ^e | ۲۹/۱ ^g | ۵۱/۹۰ ^{cd} | ۲/۱۷ ^{gh} | شاهد (محلول پاشی با آب) | ۱۰ دسی زیمنس بر متر |
| ۵۰/۵۵ ^e | ۴۱/۴ ^f | ۵۷/۰۵ ^{bc} | ۳/۲۳ ^{cd} | پرولین ۱۰ میلی مولار | |
| ۵۰/۹۵ ^e | ۶۳/۵ ^{de} | ۶۷/۲۲ ^a | ۳/۲۸ ^c | پرولین ۱۰ میلی مولار + اسیدسالیسیلیک ۳ میلی مولار | |
| ۵۱/۳۵ ^e | ۵۸/۸ ^e | ۵۷/۶۵ ^b | ۳/۰۸ ^{cde} | اسید سالیسیلیک ۳ میلی مولار | |

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارد.

و پتانسیل آب بافت‌های خود را با جذب بهتر آب حفظ کنند. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و تیمارهای محلول پاشی نشان داد بالاترین شاخص پایداری غشا در تیمار شاهد + محلول پاشی ۱۰ میلی مولار پرولین بود که افزایش ۱۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد + محلول پاشی با آب نشان داد، در حالیکه کمترین میزان در سطح شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر + محلول پاشی با آب بود که کاهش ۶۳ درصدی نسبت به شاهد + محلول پاشی با آب بود (جدول ۶). تیمار شاهد بالاترین محتوای نسبی آب برگ را داشت، در حالیکه کمترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به سطح شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر + محلول پاشی با آب بود که کاهش ۳۸

افزایش ۲۵ و ۲۴ درصدی نسبت به محلول پاشی با آب داشتند (جدول ۵). همه تیمار محلول پاشی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شدند با این حال محلول پاشی ترکیب پرولین و اسیدسالیسیلیک کاهش ۱۰ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار محلول پاشی با آب را نشان داد (جدول ۵). در مطالعه Zhao و همکاران (۱۹۹۲) بیان کردند که گیاهان با جذب یون، پتانسیل آبی خود را در سطح پایین تری حفظ می‌کنند که این عمل به سازش، افزایش رشد و افزایش محتوای آب گیاهان کمک می‌کند. گیاهانی که در شرایط سریع تر به حالت تعدیل اسمزی می‌رسند، با محیط اطراف خود سریع تر سازگار شده و می‌توانند محتوای نسبی آب برگ



شکل ۱- رابطه بین درصد افزایش پرولین با صفات مورد بررسی.

فرآیندهای سلولی دارد (رمضان‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). هنگامی که ROS لیپیدها را هدف قرار می‌دهد، فرآیند پراکسیداسیون لیپید آغاز شده و پراکسیداسیون لیپید پایداری غشای سلول را بر هم می‌زند. در نتیجه‌ی این امر، ترکیبات

درصدی نسبت به تیمار شاهد + محلول پاشی با آب داشت (جدول ۶). شواهد نشان می‌دهد ROS ها نقش مهمی در کنترل مسیرهای ترانسسانی علامت درون سلولی برای بسیاری از

برگ ($R^2 = -0/03$) نشان داده شد (شکل ۱). بنابراین نتایج نشان می‌دهد افزایش درصد پرولین رابطه منفی با شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ داشت و شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافتند و باعث آسیب به گیاه می‌شود و افزایش درصد پرولین بیشترین همبستگی با آنتوسیانین داشت.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثرات منفی تنش شوری بر صفات فیزیولوژی سویا مشاهده شد. چرا که بالا رفتن غلظت نمک پتانسیل آب خاک منفی شده و جذب آب برای گیاه مشکل می‌سازد. ضمن اینکه شوری باعث کاهش رشد گیاه سویا می‌گردد استفاده از ترکیباتی مانند پرولین و اسید سالیسیلیک راه حل نسبتاً مناسب و سازگار با محیط زیست برای کمک به حل این مشکل می‌باشد. در مجموع نتایج نشان داد که شاخص‌های فیزیولوژیک سویا با افزایش غلظت نمک در سطوح بالای شوری کاهش یافتند. محلول‌پاشی دو ترکیب پرولین ۱۰ میلی-مولار و اسید سالیسیلیک ۳ میلی‌مولار توانست اثرات منفی شوری بر گیاه سویا را کاهش دهد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

محلول ضروری به خارج از اندامک‌ها نشت پیدا کرده و باعث آشفته‌گی عملکرد غشایی و برهم‌زدن تعادل متابولیسی سلول می‌شود. بنابراین پایداری غشای سلولی یک شاخص مهم مقاومت گیاهان نسبت به تنش می‌باشد (رمضان‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). بر این منظور Khan و همکاران (۲۰۰۳) مشاهده کردند که در شرایط تنش تیمار اسید سالیسیلیک باعث افزایش قندهای محلول در برگ‌های سویا شد و به این ترتیب به افزایش پایداری غشا کمک می‌کند. پیش تیمار گیاهان گندم با اسید سالیسیلیک به مدت ۲۴ ساعت، گیاه را در برابر آسیب‌های ناشی از شوری محافظت می‌کند و نشت الکترولیت‌ها را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد (رمضان‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

افزایش سطح پرولین برگ نشانه‌ی آسیب واردشده به گیاه تحت تنش است، تجمع پرولین به گیاه کمک می‌کند تا بتواند در دوره کوتاهی بعد از اعمال تنش زنده بماند و گیاه را قادر می‌سازد تا بعد از رفع تنش رشد خود را بازیابی کند و اثر مثبتی بر عملکرد خواهد گذاشت. در صورتیکه در تنش طولانی مدت آثار مفید تجمع پرولین عمل نخواهد کرد و حتی اثر منفی بر عملکرد خواهد گذاشت (Sanchez et al., 1998). رابطه همبستگی افزایش درصد پرولین با هر یک از صفات محتوای کلروفیل کل ($R^2 = 0/40$)، کاروتنوئید ($R^2 = 0/43$)، آنتوسیانین ($R^2 = 0/61$)، قندهای محلول کل ($R^2 = 0/34$)، شاخص پایداری غشا ($R^2 = -0/01$) و محتوای نسبی آب

منابع

- آذری، آ.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، عسکری، ح.، قناتی، ف.، ناجی، ا. م. و علیزاده ب. (۱۳۹۱) اثر تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک دو گونه کلزا و شلغم روغنی (*Brassica napus* and *B. rapa*). علوم زراعی ایران ۱۴: ۱۳۵-۱۲۱.
- بهنام نیا، م. و شنوایی زارع، ا. (۱۳۹۲) اثرات اسید سالیسیلیک بر گیاهچه شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) در شرایط شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی ۲: ۷۳-۸۴.
- پاشایی، خ.، رئیسی، س.، معصومی، ع.، مصطفوی، ا. و شاه کوه محلی، ا. (۱۳۹۳) اثر سطوح مختلف تنش شوری بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد ارقام سویا. پژوهشنامه گیاهان دانه روغنی ایران ۳: ۷۵-۸۸.
- رمضان‌نژاد، ر.، لاهوتی، م. و گنجعلی، ع. (۱۳۹۲) اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک روی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام حساس و مقاوم نخود تحت تنش خشکی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۱۲: ۲۴-۳۶.

دلاوری پاریزی، م.، باقیزاده، ا.، انتشاری، ش. و منوچهری خ. (۱۳۹۱). مطالعه تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقاومت و القای تنش اکسیداتیو در گیاه ریحان سبز (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش شوری. مجله زیست شناسی گیاهی ۱۲: ۲۵-۳۶.

خاکشور مقدم، ز.، لاهوتی، م. و گنجعلی، ع. (۱۳۹۰). بررسی اثرات تنش خشکی از پلی اتیلن گلیکول بر جوانه‌زنی و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵: ۱۹۳-۱۸۵.

شهبازی زاده، ا.، موحدی دهنوی، م. و بلوچی، ح. ر. (۱۳۹۴). تأثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و آسکوربیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک سویا (رقم ویلیامز) تحت تنش شوری. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۴: ۲۲-۱۵.

- Abogadallah, G. M. (2010) Antioxidative defense under salt stress. *Plant Signal Behav* 5: 369-374.
- Ali, Q., Ashraf, M. U., Shahbaz, M. and Humera, H. A. (2008) Ameliorating effect of foliar applied proline on nutrient uptake in water stressed maize (*Zea mays* L.) plants. *Pakistan Journal of Botany* 40:211-219.
- Arnon, I. (1996) Crop production in dry regions (eds. Hill, L.) Pp.650. London.
- Ashraf, M. M. and Naqvi, I. (1992) Effect of varying Na^+/Ca^{2+} ratios in saline sand culture on some physiological parameters of four Brassica species. *Acta Physiological Plantarum* 14: 197- 205.
- Bakry, B. A., Taha, M. H., Abdelgawad, Z. A. and Abdallah, M. M. S. (2014) The Role of humic acid and proline on growth, chemical constituents and yield quantity and quality of three Flax cultivars grown under saline soil conditions. *Agricultural Sciences* 5: 1566-1575
- Bartels, D. and Sunkar, R. (2005) Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24:23-58.
- Banchio, E., Bogino, P. C., Zygadlo, J. and Giordano, W. (2008) Plant growth promoting rhizobacteria improve growth and essential oil yield in *Origanum majorana* L. *Biochemical Systematics Ecology* 36: 766-771.
- Bates, L. S., Walden, R. P. and Teave I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207.
- Deef, H. E. (2007). Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. *Advanced Biomedical Research* 1:40-48.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
- Hayat, Sh., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. Sh., Pichtel, J. and Ahmad, A. (2012) Role of proline under changing environments. A review. *Plant Signaling. Behavior*. 7: 1456-1466.
- Jasim, A. H., Abu Al- Timmen, W. M. and Al- Alwani, B. A. (2012). Effect of salt stress, application of salicylic acid and proline on enzymes activity of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Protection of environment and water quality: the basis for agricultural production. Food Security and sustainable development* 285- 297.
- Karimi, G., Ghorbanli, M., Heidari, H., Khavarinejad, R. A., and Assareh, M. H. (2005) The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. *Biologia Plantarum* 49: 301-304.
- Kaya, M. D., Okci, G., Atak, M., Cikili, Y. and Kolsarici, O. (2006) Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy* 24: 291- 295.
- Khan, W., Balakrishnan, P. and Smith, D. L. (2003) Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160: 485-492.
- Khodary, S. E. A. (2004) Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 6: 5- 8.
- Kishor, P. K., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. R., Rao, S., Reddy, K. J., Theriappan, P. and Sreenivasulu, N. (2005) Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science* 88:424-38.
- Matysik, J., Alia, B. and Mohanty, P. (2002) Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science* 82: 525-532.
- Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7: 9- 15.
- Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Parida, A. K., Dagaonkar, V. S., Phalak, M. S., Umalkar, G. V. and Aurangabadkar, L. P. (2007) Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnology Reports* 1: 37-48.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
- Popova, L. P., Maslenskova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P., Szalai, G. and Janda, T. (2009) Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 47:224-231.

- Rivas-San Vicente, M. and Plasencia, J. (2011) Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany* 62:3321-38.
- Sanchez, F. J., Manzanares, M., De Andres, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research* 59: 225-235.
- Sawada, H., Shim, I. S. and Usui, K. (2006) Induction of benzoic acid 2-hydroxylase and salicylic acid biosynthesis—modulation by salt stress in rice seedlings. *Plant Science* 171:263–270.
- Shalata, A. and Tal, M. (1998) The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *lycopersicon pennellii*. *Physiologia Plantarum* 104: 169-174.
- Sims, D. A. and Gamon, J. A. (2002) Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment* 81: 337 - 354.
- Skopelitis, D. S., Paranychianakis, N. V., Paschalidis, K. A., Pliakonis, E. D., Delis, I. D. and Yakoumakis, D. I. (2006) Abiotic stress generates ROS that signal expression of anionic glutamate dehydrogenases to form glutamate for proline synthesis in tobacco and grapevine. *Plant Cell* 18: 2767-2781.
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. and Gasparikova, O. (2006) Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment* 52: 186-191.
- Valliyodan, B. and H. T. Nguyen, H. T. (2006) Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *current opinion plant biology* 9:189-195.
- Yan, Z., Guo, S., Shu, S., Sun, J. and Tezuka, T. (2011) Effects of proline on photosynthesis, root reactive oxygen species (ROS) metabolism in two melon cultivars (*Cucumis melo* L.) under NaCl stress. *African Journal of Biotechnology* 10:18381-18390.
- Zhao, K. F. and Harris, P. J. (1992) The effects of isosmotic salt and water stresses on the growth of halophyte and non-halophyte. *Journal of Plant Physiology* 139: 761- 763.