The effect of foliar nutrition of potassium sulfate on morpho-physiological indices of grapevine under salinity stress

Raziyeh Minazadeh[1], Rouhollah Karimi [*2], Behrooz Mohamad Parast [1]
[1] Department of Biology, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran
[2] Department of Landscape Engineering, Faculty of Sciences, Malayer University, Malayer, Iran

Abstract
Potassium has a main effect on plants salinity tolerance through its effect on cells osmoregulation, and the maintenance of cell turgor. The objective of the present study was to investigate the effect of foliar nutrition of potassium sulfate (0 and 1.5%) on some morphometric and physiological traits of Bidaneh-Sefid grapevine under salinity stress (0, 25, 50 and 100 mM of NaCl). The factorial experiment in a completely randomized design was carried out in a greenhouse condition. Four weeks after beginning of salt stress, salinity caused decrease in plant height, leaves numbers, leaves area and re-growth. Foliar application of potassium sulfate mitigated the negative impacts of salinity on these morphometric indices. Also, application of 1.5% potassium sulfate resulted in the stability of photosynthetic pigments compared to non-treated plants under salinity stress. In no potassium sulfate treatment condition, with increasing of salinity up to 100 mM NaCl, the amount of ion leakage increased and reached up to highest level (64.2%). While 1.5% potassium sulfate treatment decreased leaf ion leakage significantly ($P \leq 0.01$) in compared to untreated plants. Leaf relative water content decreased dramatically especially in 100 mM of NaCl treatment. While potassium sulfate spray increased the leaf relative water content significantly ($P \leq 0.01$) so that at all salinity levels, the highest amount of relative water content was related to 1.5% potassium sulfate level. Unlike insoluble sugar, the content of soluble sugar and proline as two osmoregulants has shown an increasing trend in the response to salinity and the application of potassium sulfate and reached to highest level in 100 mM of NaCl and 1.5% potassium sulfate treatments. Also, with increasing of potassium concentration in foliar application of potassium sulfate and in turn cell Na^+ /K^+ adjusting, increase in the leaf N, K, Mg and Ca content in compared to non-treated plants was observed. Totally, it seems, potassium sulfate treatment with affecting the water relationships, nutrients absorption and osmotic regulation resulted in improved vines tolerance under salinity stress condition.

Keywords: Compatible solutes, Ionic leakage, Photosynthetic pigments, Macro elements

* Corresponding Author: R.Karimi@malayeru.ac.ir

Copyright©2018, 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 دهم، شمارهٔ سی و هفتم، پاییز ۱۳۹۷، صفحهٔ ۸۳-۱۰۶
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷ و ۱۳۹۷/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶

اثر تغذیهٔ برگی پتاسیم سولفات بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک انگور در تنش شوری

راضیه مینا زاده [۱]، روح الله کریمی [۲*]، بهروز محمد پرست [۱]،
[۱] گروه زیست‌شناسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
[۲] گروه مهندسی فضای سبز، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده

پتاسیم با تأثیر بر تنظیم اسمزی سلول‌ها و حفظ آماس سلولی نقش مهمی در بهبود تحمل گیاهان به تنش شوری دارد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر تغذیهٔ برگی کود پتاسیم سولفات (صفر و ۱/۵ درصد) در برخی ویژگی‌های مورفومتری و فیزیولوژیک انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری سدیم کلرید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بود که به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه انجام شد. تنش شوری پس از چهار هفته، کاهش ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوبارهٔ بوته‌ها را موجب شد؛ ولی مصرف پتاسیم سولفات تعدیل آثار منفی شوری را در این شاخص‌های مورفومتری باعث شد. میزان نشت یونی با افزایش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار بدون تیمار پتاسیم سولفات به بیشترین مقدار خود (۶۴/۲ درصد) رسید؛ درحالی‌که تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد کاهش میزان نشت یونی برگ را در بوته‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد در مقایسه با بوته‌های تیمارنشده با این کود باعث شد. برخلاف قند نامحلول، محتوای قند محلول و پرولین برگ که دو تنظیم‌کنندهٔ اسمزی هستند در پاسخ به شوری و کاربرد پتاسیم سولفات روند افزایشی نشان داد و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد به بیشترین مقدار رسید. همچنین کاربرد برگی پتاسیم سولفات با افزایش غلظت پتاسیم و به‌دنبال آن تعدیل نسبت پتاسیم به سدیم سلولی به افزایش غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در مقایسه با بوته‌های تیمارنشده با این کود منجر شد. درمجموع، تیمار پتاسیم سولفات با تأثیر بر روابط آبی، جذب عناصر غذایی و تنظیم اسمزی به بهبود تحمل بوته‌های انگور در تنش شوری منجر شد.

واژه‌های کلیدی: رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، عناصر پرمصرف، محلول‌های سازگار، نشت یونی

* نگارندهٔ مسئول: نشانی پست الکترونیک: R.Karimi@malayeru.ac.ir، شمارهٔ تماس: ۰۸۱۳۲۳۵۵۳۸۰

Copyright©2018, 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

تنش شوری، یکی از عوامل محدودکنندهٔ رشد و عملکرد گیاهان است. با تغییر اقلیم، افزایش خشکی و کم‌آبی و سوء مدیریت و کاربرد بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی، سطح زمین‌های شور رو به افزایش است و آثار نامطلوب آن در تولید محصول و صادرات محصولات باغی به‌خوبی مشهود است (Grattana and Grieve, 1999). در خاک‌های شور مکش اسمزی زیاد به کاهش جذب آب از ریشه‌های گیاه منجر می‌شود که تنش اسمزی، از بین رفتن تعادل یونی، سمیت یونی و سوء تغذیه (کمبود عناصر غذایی) را در گیاه باعث می‌شود (Parid and Das, 2005; Gupta and Huang, 2014). در انگور، تنش شوری بر بسیاری از شاخص‌های رشد رویشی مانند وزن تر و خشک ریشه و ساقه، نسبت ریشه به ساقه، سطح برگ، قطر ریشه و شاخه، تعداد گره، فاصلهٔ میانگره، شمار انشعاب‌های جانبی و همچنین ویژگی‌های فیزیولوژیک مانند سرعت فتوسنتز، محتوای کلروفیل، پتانسیل آب برگ، جذب مواد غذایی و عملکرد تأثیر دارد (Walker, 1994; Fisarakis *et al*., 2001).

یکی دیگر از آثار بارز تنش شوری، تجمع یون‌های سدیم و کلر در بافت گیاهان مستقر در خاک‌هایی با غلظت زیاد سدیم کلرید است که تعادل تغذیه‌ای را از بین می‌برد و جذب بیش ازحد آنها اختلال فیزیولوژیک شدید را سبب می‌شود (James *et al*., 2011). در مدت شروع تنش شوری و توسعهٔ آن در گیاه، همهٔ فرایندهای اصلی و برخی از ساختارهای سلولی مانند غشاهای زیستی آسیب می‌بینند (Parida and Das, 2005; Gupta and Huang, 2014)؛ بنابراین برای حفظ تعادل یونی در واکوئل و سیتوپلاسم، ترکیباتی با وزن مولکولی کم شامل قندهایی مانند گلوکز، فروکتوز، ساکارز و فروکتان و تعدادی از ترکیبات نیتروژنی مانند آمیدها، پلی‌آمین‌ها، پروتئین‌ها، پرولین و گلایسین بتائین انباشته می‌شوند (Parida and Das, 2005; Mosleh Arani *et al*., 2018). شوری رشد انگور را کاهش می‌دهد و بر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعادل عناصر غذایی در اندام‌های مختلف و عملکرد این گیاه تأثیر می‌گذارد (Walker *et al*., 2004). آبیاری بوته‌های انگور با آب شور ضمن کاهش نمو حبه‌ها، رشد و عملکرد این گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Walker *et al*., 2004). در بررسی تغییرپذیری عناصر غذایی، ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک در چند رقم و دورگهٔ بین‌گونه‌ای انگور در شرایط تنش شوری ناشی از سدیم کلرید؛ میزان رشد، وزن خشک ریشه و ساقه و محتوای نسبی آب با افزایش شوری کاهش یافت؛ ولی میزان پرولین و قندهای محلول افزایش یافت (Doulati Baneh, 2016). همچنین سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق در ارقام انگور ریش‌بابا، صاحبی (Bybordi, 2012)، سلطانی و فخری (Amiri *et al*., 2014) در تنش شوری کاهش یافت.

علاوه‌بر تنظیم‌کننده‌های اسمزی، وضعیت عناصر تغذیه‌ای در بدنهٔ گیاه نقش مهمی در بهبود

ظرفیت مواجههٔ گیاهان با شرایط نامساعد محیطی مانند تنش شوری، خشکی، سرما و غیره دارد (Kaya *et al*., 2006; Karimi, 2017; Ranjbar *et al*., 2017). علاوه‌بر سایر عناصر معدنی، پتاسیم نقش مهمی در میزان تحمل گیاهان به تنش شوری دارد (Marchner, 2012; Mengel, 2007). این عنصر نقش مهمی در حفظ آماس سلول، تنظیم حرکت روزنه‌ها و فعال‌کردن آنزیم‌ها دارد (Cherel, 2004). تولید زیاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجادشده بر اثر تنش شوری به آسیب غشاء منجر می‌شود و به‌دنبال آن نشت پتاسیم از سلول‌ها به‌دلیل فعال‌کردن کانال‌های تراوش پتاسیم به خارج رخ می‌دهد (Cuin and shabala, 2007).

یکی از موارد ضروری برای رشد و نمو مطلوب گیاهان، تأمین یون‌های پتاسیم کافی است. در خاک‌های شور، غلظت زیاد یون سدیم ضمن کاهش جذب یون پتاسیم به کاهش رشد و عملکرد و حتی خشک‌شدن گیاه منجر می‌شود (James *et al*., 2011). درواقع بین جذب سدیم و پتاسیم رقابت شدیدی وجود دارد (Kaya *et al*., 2006). سدیم و پتاسیم به‌دلیل تشابه شعاع یونی و انرژی هیدراسیون آنها که دو عامل تعیین‌کنندهٔ چگونگی ورود این دو یون از پروتئین‌های غشایی به سلول هستند و نیز به‌علت روابط ترمودینامیکی مشابه بر میزان جذب یکدیگر مؤثر هستند (Kaya *et al*., 2006; Kholova *et al*., 2009). از سویی باتوجه‌به حساسیت نسبتاً زیاد بوته‌های انگور به تنش شوری (Maas and Hoffman, 1977)، استفاده از روش‌های مدیریتی مانند کاربرد پتاسیم در کاهش آثار شوری مؤثر است. پژوهش‌های انجام‌شده درزمینهٔ کنترل شوری نشان می‌دهند استفاده از عناصر غذایی مانند سیلیسیوم، پتاسیم و پتاسیم سیلیکات در پسته (Tajabadipur, 2004, Ranjbar *et al*., 2017)، پتاسیم سیلیکات و روی سولفات در انگور (Azizi *et al*., 2017) و سیلیسیوم در توت‌فرنگی (Fatemy *et al*., 2009) ضمن کاهش آثار سوء تنش شوری تحمل نسبی این گیاهان را به شوری بهبود داده است. در انگور، محلول‌پاشی با مقادیر مختلف پتاسیم سیلیکات و روی سولفات افزایش محتوای نسبی آب برگ، فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و میزان کلرفیل را در دو رقم مختلف انگور موجب شد (Azizi *et al*., 2017).

انگور در مقایسه با برخی از درختان میوه نیاز به مقدار بیشتری پتاسیم دارد (Klein *et al*., 2000; Karimi *et al*., 2014). پتاسیم نقش مهمی در عملکرد، کیفیت میوه، تعادل و انتقال عناصر و تحمل به تنش‌ها در انگور دارد (Yildirim *et al*., 2009; Karimi, 2017). گزارش‌های محدودی دربارهٔ اثر پتاسیم سولفات در پاسخ مورفو-فیزیولوژیک انگور در تنش شوری وجود دارد. باتوجه‌به وظایف چندگانهٔ پتاسیم در انگور، بررسی تأثیر مصرف پتاسیم سولفات در شرایط شوری در ویژگی‌های مورفومتری و فیزیولوژیک انگور، از میوه‌های استراتژیک کشور، که با مشکل شوری آب و خاک مواجه است بسیار ضروری است. در پژوهش حاضر، انگور بی‌دانهٔ سفید، یکی از ارقام غالب در برخی مناطق کشور و در دسترس برای تازه‌خوری و تهیهٔ کشمش، برای اعمال تیمارهای شوری و تغذیه‌ای استفاده شد تا آثار تنش شوری در صفات مورفومتری و فیزیولوژیک ازجمله نشت

یونی، قندهای محلول و نامحلول، پرولین، عناصر پرمصرف و رنگیزه‌های فتوسنتزی در این رقم بررسی و همچنین اثر برهم‌کنش یون پتاسیم با سدیم در این ویژگی‌ها سنجیده شود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۶ به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ کاملاً تصادفی در سه تکرار (دو گلدان در هر تکرار) در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشگاه ملایر اجرا شد. بوته‌های یک‌سالهٔ انگور رقم بی‌دانهٔ سفید در گلدان‌های ۶ لیتری با ابعاد ۲۵، ۲۲ و ۱۵ سانتی‌متر به‌ترتیب برای ارتفاع، قطر دهانه و قطر ته گلدان و حاوی ماسه، خاک و کود دامی به نسبت حجمی مساوی در گلخانه با دامنهٔ دمایی ۲۲ تا ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد در شرایط نوری اردیبهشت تا مرداد ماه قرار گرفتند. در دورهٔ رشد نهال‌ها، برای تغذیهٔ پایه از کود ۲۰-۲۰-۲۰ (نیتروژن، فسفر، پتاسیم) با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر به‌صورت هفتگی تا رسیدن به مرحلهٔ ۱۵ برگی (حدوداً دو ماه پس از کاشت در گلدان) استفاده شد. در این مرحله تیمارهای شوری به‌صورت هفتگی تا چهار هفته با غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید اعمال شدند (Sivritepe and Eriş, 1999). از زمان اعمال تنش شوری، محلول‌پاشی پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد در دو مرحله در نخستین روز هفته‌های اول و سوم تنش انجام شد. آبیاری در ماه اول، هر چهار روز یک‌بار و در ماه‌های بعدی به‌دلیل افزایش شاخه و برگ و افزایش نیاز آبی گیاه، هر سه روز یک‌بار انجام شد. در انتهای هفتهٔ چهارم از برگ‌های بالایی کاملاً توسعه‌یافتهٔ تاک‌ها (برگ‌های گره‌های۳ تا ۶) برای اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیک استفاده شد. هم‌زمان با برداشت برگ‌ها، ارتفاع بوته با کولیس (مدل 10-754-500، شرکت Mitutoyo، ژاپن)، سطح برگ با دستگاه سطح‌سنج برگ (مدل رومیزی، شرکت بانی‌کیمیا، ایران) و تعداد برگ هر گلدان اندازه‌گیری شدند. شاخص رشد دوباره (درصد زنده‌مانی) بوته‌هایی که برگ جدید تولید کردند پس از اتمام تیمارهای تنش شوری در یک دورهٔ سه‌هفته‌ای بررسی، با شمارش تعیین شدند (Ahmed *et al*., 2015). بوته‌های بدون تیمار سدیم کلرید و پتاسیم سولفات، شاهد در نظر گرفته شدند.

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید، ۰/۱۲۵ گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده شد تا به‌صورت تودهٔ یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد؛ سپس عصارهٔ به‌دست‌آمده با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (مدل R 320 Universal، شرکت Hettich، آلمان) و محلول رویی برداشته شد و جذب نور آن در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر (بیشترین جذب نور کلروفیل a)، ۶۴۵ نانومتر (بیشترین جذب نور کلروفیل b) و ۴۷۰ نانومتر (بیشترین جذب نور کارتنوئید) با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spekol 2000، شرکت Analytic Jena، آلمان) و با شاهد استون ۸۰ درصد خوانده شد. غلظت هریک از رنگیزه‌ها در عصاره برحسب میلی‌گرم در لیتر با روابط ۱ تا ۴ محاسبه شد (Lichtenthaler, 1987).

رابطهٔ ۱

$$Car= \frac{1000\times A_{470}-2.27\times Chl\ a-81.4\times Chl\ b}{227}$$

رابطهٔ ۲

$$Chl_a=(12.7\times A_{663}) - (2.69\times A_{645})$$

رابطهٔ ۳

$$Chl_b=(25.8\times A_{645}) - (4.68\times A_{663})$$

رابطهٔ ۴

$$Chl_{total}=(20.21\times A_{645}) + (8.02\times A_{663})$$

در رابطه‌های بالا، A_{663}، A_{645} و A_{470} به‌ترتیب، میزان جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر هستند. درنهایت، غلظت کلروفیل کل در عصاره برحسب میلی‌گرم در لیتر بیان شد.

برای اندازه‌گیری نشت‌یونی، نمونه‌های برگ (به‌اندازهٔ یک دایره به شعاع ۱ سانتی‌متر) در قوطی‌های حاوی ۳۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر، غوطه‌ور شدند و به‌مدت ۲۰ ساعت روی دستگاه شیکر (مدل KS260 digital، شرکت IKA، آلمان) با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه تکان داده شدند؛ سپس هدایت الکتریکی محلول حاوی نمونه‌ها با دستگاه هدایت‌سنج (مدل Cond 720، شرکت WTW، آلمان) خوانده شد (هدایت الکتریکی اولیه). قوطی‌های حاوی قطعات برگ به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد اتوکلاو (مدل ۷۵ لیتری، شرکت ریحان طب، ایران) شدند. پس از سردشدن تدریجی، هدایت الکتریکی آنها دوباره خوانده (هدایت الکتریکی ثانویه) و درنهایت درصد نشت‌یونی با رابطهٔ ۵ محاسبه شد (Campos *et al.*, 2003).

رابطهٔ ۵

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{\text{هدایت الکتریکی اولیه}}{\text{هدایت الکتریکی ثانویه}} \times 100$$

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ ابتدا قطعات برگ به شعاع یک سانتی‌متر تهیه شدند و وزن تر آنها تعیین شد. پس از قرارگیری قطعات برگ درون آب‌مقطر (۲۴ ساعت در یخچال) وزن آماس برگ‌ها تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، قطعات برگ به‌مدت ۲۴ ساعت در آون (مدل ۳۵ لیتری هوشمند، شرکت شیماز، ایران) با دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. محتوای آب نسبی برحسب درصد از رابطهٔ ۶ زیر به دست آمد (Kirnak *et al.*, 2001).

رابطهٔ ۶

$$\text{درصد آب نسبی} = \frac{\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}}{\text{وزن آماس} - \text{وزن خشک}} \times 100$$

برای استخراج پرولین ابتدا نیم‌گرم از بافت منجمدشدهٔ برگ با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی ساییده و قسمت بالایی محلول جدا شد. عمل استخراج یک‌بار دیگر با افزودن ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به رسوبات قبلی تکرار شد. عصارهٔ استخراج شده به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. برای اندازه‌گیری پرولین هر نمونه، یک میلی‌لیتر عصاره با ۹ میلی‌لیترآب‌مقطر رقیق شد. به محلول یادشده ۵ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین (۰/۱۲۵ گرم نین هیدرین، ۲ میلی‌لیتر فسفریک اسید ۶ مولار و ۳ میلی‌لیتر استیک اسید گلایسیال) و ۵ میلی‌لیتر استیک اسید گلایسیال اضافه و پس از تکان‌دادن جزئی، به‌مدت ۴۵ دقیقه درون حمام بخار (مدل WNB14، شرکت Memmert، آلمان) با دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خنک‌کردن نمونه‌ها در آب‌یخ، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر نمونه اضافه و کاملاً تکان داده شد تا پرولین وارد فاز تولوئن شود. پس از نیم‌ساعت میزان جذب فاز تولوئن هر نمونه با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد (Bates *et al.*, 1973). غلظت پرولین براساس نمودار استاندارد

پرولین خالص تعیین و برحسب میکرومول در گرم وزن تر برگ بیان شد.

استخراج قندهای محلول، مشابه با پرولین بود. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول ۰/۱ میلی‌لیتر از عصارهٔ الکلی به‌دست‌آمده با ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه‌شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون و ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۷۲ درصد) مخلوط شد. برای شروع واکنش رنگ‌گیری، لوله‌ها به‌مدت ده دقیقه در حمام آب‌گرم ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سردشدن، میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد (Irigoyen *et al*., 1992). غلظت قندهای محلول براساس نمودار استاندارد گلوکز تعیین و به‌صورت میلی‌گرم در گرم وزن تر بیان شد.

برای استخراج قندهای نامحلول از رسوبات باقی‌مانده از نمونه‌های استفاده‌شده برای قندهای محلول پس از سانتریفیوژ (مدل 5810R، شرکت Eppendorf، آلمان) و حذف عصارهٔ الکلی در ۴۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر محلول شد (Dubois *et al*., 1956)؛ سپس مخلوط به‌دست‌آمده با کاغذ صافی پالایش شد و رسوبات باقیمانده دوباره با ۴۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر محلول و به‌مدت ۱۰ دقیقه جوشانده و دوباره پالایش شد و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید. ۰/۵ میلی‌لیتر از عصارهٔ مربوطه با دو میلی‌لیتر آب‌مقطر و یک میلی‌لیتر محلول فنل ۵ درصد مخلوط شد؛ سپس به هر لوله پنج میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ به‌آرامی اضافه و پس از ۳۰ دقیقه میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد.

برای استخراج و اندازه‌گیری غلظت عناصر، از برگ‌های میانی شاخه‌ها نمونه‌های برگی سالم جمع‌آوری و در آزمایشگاه با آب‌مقطر شستشو شدند. نمونه‌های برگ در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک و آسیاب شدند. پس از تهیهٔ عصاره با روش هضم تر با نیتریک اسید غلیظ (۶۵ درصد)، غلظت عناصر پتاسیم و سدیم با روش نشر شعله‌ای و با دستگاه فلیم فتومتر (مدل 405 G، شرکت Crouse، آلمان) و غلظت عناصر منیزیم و کلسیم با دستگاه جذب اتمی (مدل AANALYST70، شرکت Perkin Elmer، آمریکا) اندازه‌گیری شد. غلظت یون نیترات با دستگاه اسپکتروفتومتر و با نیم گرم پودر مخلوط شامل ۳۷ گرم سیتریک اسید، ۵ گرم منگنز سولفات مونو هیدرات، دو گرم سولفانیل آمید، یک گرم ان-۱- نفتیل اتیل دی آمین دی هیدروکلراید و یک گرم شناساگر پودر روی اضافه‌شده به عصاره اندازه‌گیری شد (Abdel-Shafey *et al*., 1994).

داده‌های به‌دست‌آمده در الگوی آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با برنامهٔ GLM نرم‌افزار آماری SAS نسخهٔ 9.1.3 تجزیهٔ واریانس شدند. مقایسهٔ میانگین‌ها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel نسخهٔ ۲۰۱۳ ترسیم شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های مورفومتری: اثر شوری و پتاسیم سولفات در ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوبارهٔ انگور بی‌دانهٔ سفید در سطح احتمال ۱

درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین اثر متقابل این دو تیمار در سطح و تعداد برگ (P< ۰/۰۵) و نیز ارتفاع و رشد دوبارهٔ بوته‌ها (P< ۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۱). در هردو مقدار تیمار پتاسیم سولفات، بیشترین مقدار ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوباره مربوط به شوری صفر بود. با افزایش شوری، میزان این شاخص‌ها کاهش یافت و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به کمترین مقدار رسید (جدول ۲). از مهم‌ترین علل کاهش رشد گیاه در شوری‌های زیاد، سمیت یونی است (Grattana and Grieve, 1999). همچنین نمک‌های محلول در خاک، افزایش فشار اسمزی و کاهش پتانسیل کل آب خاک را باعث می‌شوند؛ بنابراین، میزان آب در دسترس گیاه محدود می‌شود و جذب آب از ریشه کاهش می‌یابد که درنهایت کاهش رشد را موجب می‌شود (Ahmed *et al*., 2015).

جدول ۱- تجزیهٔ واریانس اثر غلظت‌های مختلف پتاسیم سولفات و شوری در برخی صفات رویشی، محتوای نسبی آب و نشت یونی انگور بی‌دانهٔ سفید

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات					
		سطح برگ	تعداد برگ	ارتفاع بوته	رشد دوباره	محتوای نسبی آب	نشت یونی
پتاسیم سولفات	۱	۷۰/۰**	۱۳۳/۳**	۷۱۷/۶**	۷۰/۰**	۲۱۸/۶**	۷۰۲/۲**
شوری	۳	۳۲۵/۱**	۵۳۳/۸**	۳۳۱/۱**	۲۹۲/۰**	۴۸/۸**	۳۸۱۶/۵**
پتاسیم سولفات ×شوری	۳	۸/۰*	۵/۱*	۹۳/۰**	۴/۷**	۲/۲*	۲۸/۲**
خطا	۱۵	۲/۰	۱/۶	۵/۵	۰/۸	۰/۷	۵/۹
ضریب تغییرات	-	۲/۲	۲/۸	۴/۴	۰/۹	۱/۱	۷/۰

** و* به‌ترتیب بیان‌کنندهٔ اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند.

در همهٔ غلظت‌های شوری، کمترین میزان ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوباره در تیمار پتاسیم سولفات صفر درصد مشاهده شد؛ درحالی‌که در پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد، مقدار آنها افزایش یافت؛ بنابراین باتوجه‌به جدول ۲، اعمال تیمار پتاسیم سولفات علاوه‌بر افزایش میزان همهٔ شاخص‌های رشد بررسی‌شده، میزان اثر سوء تنش شوری را به‌طور معنی‌داری کاهش داد؛ به‌طوری‌که کمترین مقدار همهٔ شاخص‌ها در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و تیمار پتاسیم سولفات صفر (برابر با ۴۰/۳۶ سانتی‌متر، ۳۶/۶، ۵۵/۳۳ سانتی‌متر مربع و ۸۴/۳۳ درصد به‌ترتیب برای ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوباره) و بیشترین میزان آنها در شوری صفر و تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد (برابر با ۶۱/۱۰ سانتی‌متر، ۵۴/۳۳، ۶۹/۳۳ سانتی‌متر مربع و ۹۷/۶۶ درصد به‌ترتیب برای ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوباره) مشاهده شد. شوری بر بسیاری از شاخص‌های رشد رویشی انگور مانند وزن تر و خشک ریشه و ساقه، نسبت ریشه به ساقه، سطح برگ، قطر ریشه و شاخه،

تعداد گره، فاصلهٔ میانگره‌ها، تعداد انشعاب‌های جانبی و همچنین ویژگی‌های فیزیولوژیک مانند سرعت فتوسنتز، محتوای کلروفیل، پتانسیل آب برگ، جذب مواد غذایی و عملکرد تأثیر دارد (Walker, 1994; Fisarakis *et al*., 2001). در تیمار پتاسیم سولفات صفر، با افزایش شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوباره به‌ترتیب ۳۱، ۳۰، ۲۰ و ۱۲ درصد کاهش یافتند؛ درحالی‌که با مصرف کود پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد، میزان کاهش این تیمارها با شوری به‌ترتیب برابر با ۹، ۲۵، ۱۳ و ۱۱ درصد بود (جدول ۲) که این نتایج بیان‌کنندهٔ اثر مثبت پتاسیم سولفات در این شاخص‌های رشدی به‌ویژه ارتفاع بوته‌ها بود. بیشترین اثر تعدیل‌کنندگی پتاسیم سولفات در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود و با کاهش شوری تأثیر پتاسیم سولفات نیز کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در شوری صفر میلی‌مولار، مصرف کود پتاسیم سولفات به‌ترتیب افزایش ۴، ۳، ۰/۴ و ۲ درصدی ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوباره را موجب شد؛ درحالی‌که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، پتاسیم سولفات، شاخص‌های یادشده را به‌ترتیب ۲۷، ۹، ۷ و ۳ درصد افزایش داد (جدول ۲) که با نتایج بررسی Ranjbar و همکاران (۲۰۱۷) بر پسته هم‌خوانی دارد. به نظر می‌رسد توانایی پتاسیم در تنظیم اسمزی به‌ویژه در شرایط شوری، ضمن تسهیل جذب آب و املاح (Ahmed *et al*., 2015) کاهش آثار شوری را در صفات مورفومتری باعث شده است.

جدول ۲- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات در سطح برگ، تعداد برگ، ارتفاع بوته و رشد دوبارهٔ انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری

تیمار آزمایشی		سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	تعداد برگ	ارتفاع بوته (درصد)	رشد دوباره (درصد)
شوری (میلی‌مولار)	پتاسیم سولفات (درصد)				
۰	۰	۶۹/۰ ± ۰/۴^{a}	۵۲/۳ ± ۱/۲^{b}	۵۸/۵ ± ۰/۶^{ab}	۹۵/۶ ± ۰/۳^{b}
۲۵	۰	۶۵/۶ ± ۰/۳^{b}	۴۸/۳ ± ۱/۱^{c}	۵۱/۲ ± ۰/۸^{c}	۹۴/۰± ۰/۶^{c}
۵۰	۰	۶۱/۰ ± ۰/۶^{d}	۴۰/۳ ± ۰/۹^{e}	۴۷/۷ ± ۰/۹^{d}	۸۷/۶ ± ۰/۷^{e}
۱۰۰	۰	۵۵/۳ ± ۰/۸^{e}	۳۶/۶ ± ۱/۳^{f}	۴۰/۳ ± ۰/۷^{e}	۸۴/۳ ± ۰/۴^{f}
۰	۱/۵	۶۹/۳ ± ۰/۴^{a}	۵۴/۳ ± ۰/۸^{a}	۶۱/۱ ± ۰/۹^{a}	۹۷/۶ ± ۰/۴^{a}
۲۵	۱/۵	۶۸/۳ ± ۰/۶^{a}	۵۱/۰ ± ۱/۲^{b}	۵۹/۲ ± ۰/۷^{a}	۹۵/۰ ± ۰/۵^{bc}
۵۰	۱/۵	۶۳/۳ ± ۰/۶^{c}	۴۵/۳ ± ۰/۸^{d}	۵۲/۷ ± ۰/۶^{c}	۹۱/۶ ± ۱/۳^{d}
۱۰۰	۱/۵	۵۹/۶ ± ۰/۵^{d}	۴۰/۳ ± ۱/۴^{e}	۵۵/۷ ± ۰/۷^{b}	۸۷/۰ ± ۰/۹^{e}

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح P≤ ۰/۰۵ هستند.

با افزایش غلظت یون پتاسیم و تنظیم اسمزی؛ جذب آب، میزان شاخه و برگ، کلروفیل و به‌دنبال آن میزان فتوسنتز افزایش یافتند و به‌طورکلی کاهش تنش شوری و بهبود عملکرد گیاه مشاهده شدند (James *et al*., 2011). همچنین نقش پتاسیم در سنتز کربوهیدرات، تجزیه، انتقال و سنتز پروتئین‌ها

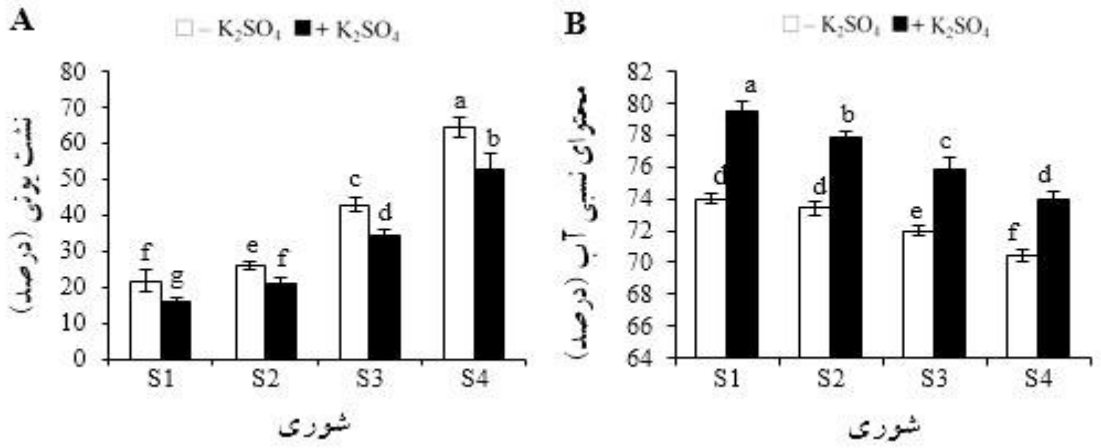
و خنثی‌کردن فیزیولوژیک اسیدهای آلی مهم است. اگرچه پتاسیم، تشکیل‌دهندهٔ مولکول‌های کاربردی یا سازه‌های گیاهی نیست، در فرایندهای متعدد بیوشیمیایی مانند فعال‌کردن آنزیم‌ها و فرایندهای فیزیولوژیک حیاتی ازجمله آماس سلول و تنظیم حرکت روزنه‌ها برای رشد بوته و عملکرد نقش مهمی ایفا می‌کند (Cakmak, 2005; Marschner, 2012).

نشت یونی: اثر شوری، پتاسیم سولفات و همچنین اثر متقابل آنها در میزان نشت یونی برگ بوته‌های تیمارشدهٔ انگور بی‌دانهٔ سفید در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تغییرات میزان نشت یونی به‌صورت تابعی از شوری، در شکل ۱- A نشان داده شده‌اند. نتایج نشان دادند کمترین مقدار نشت یونی (۱۶/۱ و ۲۱/۷ درصد به‌ترتیب در تیمار پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد) در شوری صفر بود (شکل ۱- A). با افزایش شوری، میزان نشت یونی نیز افزایش یافت و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به بیشترین مقدار خود (۶۴/۲ و ۵۲/۷ درصد به‌ترتیب در تیمار پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد) رسید (شکل ۱- A). در بوته‌های توت‌فرنگی (Turhan and Eris, 2004)، پسته (Ranjbar *et al*., 2017) و انگور (Ahmed *et al*., 2015; Bybordi, 2012) نیز با افزایش شوری نشت یونی افزایش یافت. افزایش نشت یونی در تنش شوری به‌دلیل تنش اکسایشی است. این مسئله به ایجاد تغییراتی در نفوذپذیری انتخابی غشاهای زیستی، نشت مواد از غشا و تغییر در فعالیت آنزیم‌های متصل به غشا منجر خواهد شد؛ بنابراین اندازه‌گیری نشت یونی، شاخصی از اندازه‌گیری میزان آسیب اکسایشی واردشده به غشا و سلول است (Campos *et al*., 2003; Karimi, 2017).

براساس نتایج، کاربرد برگی پتاسیم سولفات ۱/۵درصد، میزان نشت یونی برگ را در مقایسه با بوته‌های تیمارنشده با این کود کاهش داد؛ به‌طوری‌که در شوری صفر، اختلاف میزان نشت یونی نمونه‌های انگور در دو مقدار پتاسیم سولفات برابر با ۵/۶ واحد بود؛ اما تفاوت آنها در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به ۱۱/۵ واحد رسید (شکل ۱- A). در طالبی (Kaya *et al*., 2006) و توت‌فرنگی (Yildirim *et al*., 2009) نیز کاربرد پتاسیم به کاهش نشت یونی برگ گیاهان در تنش شوری منجر شد. همچنین در بررسی ویژگی‌های رشدی دانهال‌های پسته رقم بادامی ریز زرند کرمان در شرایط تنش شوری مشخص شد شوری آب افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها را در برگ موجب می‌شود؛ درحالی‌که تیمارهای پتاسیم سیلیکات و پتاسیم سولفات به کاهش میزان نشت الکترولیت‌های برگ در شرایط تنش شوری منجر شدند (Ranjbar *et al*., 2017) که تأییدی بر یافته‌های پژوهش حاضر هستند. علت کاهش نشت یونی با مصرف پتاسیم، افزایش پایداری غشاء و ممانعت از تغییرات القاءکنندگی سدیم بر پتاسیم است (Chen *et al*., 2007). ظرفیت گیاهان برای حفظ نسبت زیاد پتاسیم به سدیم یکی از سازوکارهای مهم گیاهان برای پایداری غشاء و حفظ فعالیت فیزیولوژیک آن و د نتیجه دوام در شرایط شوری است (Chen *et al*., 2007).

محتوای نسبی آب: مطابق نتایج جدول تجزیهٔ واریانس (جدول ۱)، تیمارهای شوری و پتاسیم

سولفات اثر معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در سطح آماری یک درصد داشتند. همچنین اثر متقابل این دو تیمار در محتوای نسبی آب برگ نیز در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان دادند بیشترین محتوای نسبی آب (۷۹/۵۳ درصد) در تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد در شوری صفر مشاهده شد که نسبت به گیاهان شاهد افزایش ۵/۵ درصدی را نشان داد (شکل ۱- B). در هردو مقدار پتاسیم سولفات با افزایش شوری، محتوای نسبی آب به‌شدت کاهش یافت و درنهایت در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به کمترین مقدار خود (۷۰/۴ و ۷۳/۹ درصد به‌ترتیب در تیمار پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد) رسید (شکل ۱- B)؛ البته محتوای نسبی آب در بوته‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات در سطح بیشتری حفظ شد. شوری کاهش پتانسیل آب خاک را موجب می‌شود؛ بنابراین بر میزان جذب آب از ریشه‌های انگور اثر می‌گذارد و درنهایت کاهش محتوای آب نسبی را موجب می‌شود (Grattana and Grieve, 1999; Walker, 1994).



شکل ۱- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد در نشت یونی (A) و محتوای نسبی آب (B) برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری: S1 (NaCl با غلظت صفر میلی‌مولار)، S2 (NaCl با غلظت ۲۵ میلی‌مولار)، S3 (NaCl با غلظت ۵۰ میلی‌مولار) و S4 (NaCl با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار)- مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح P≤ ۰/۰۵ هستند.

براساس شکل ۱- B، پتاسیم سولفات به‌طور معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد؛ به‌طوری‌که در همهٔ غلظت‌های شوری، بیشترین محتوای نسبی آب، مربوط به مقدار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد بود. پتاسیم با تنظیم اسمزی افزایش جذب آب را به واکوئل سلولی موجب می‌شود و محتوای نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد (Marchner, 2012; Mengel, 2007). بررسی شکل ۱- B به‌خوبی نقش یون پتاسیم را در کاهش اثر سوء تنش شوری نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که کمترین محتوای نسبی آب برگ در بیشترین غلظت شوری و پتاسیم سولفات صفر درصد (۷۰/۴۴ درصد) مشاهده شد و بیشترین مقدار آن نیز در شوری صفر و پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد (۷۹/۵۳

درصد) بود. مقایسهٔ محتوای نسبی آب در شوری یکسان در دو مقدار تیمار پتاسیم سولفات نشان داد با افزایش شوری اثر تعدیل‌کنندگی پتاسیم سولفات نیز کاهش یافت. برای نمونه در شوری صفر میلی‌مولار، پتاسیم سولفات موجب افزایش ۶ درصدی محتوای نسبی آب شد؛ درحالی‌که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار این افزایش، ۴ درصد بود (شکل ۱- B). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های سایر بررسی‌ها بر گیاهان انگور (Azizi *et al*., 2017) و پسته (Ranjbar *et al*., 2017) در تنش شوری و تغذیهٔ پتاسیم سیلیکات ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در ترکیب با پتاسیم سولفات ۲ درصد هم‌خوانی داشتند. در تنش شوری، تجمع یون پتاسیم درون ریشهٔ گیاهان، شیب فشار اسمزی به وجود می‌آورد که موجب می‌شود باوجود کم‌بودن پتانسیل آب خاک، آب به ریشه‌ها کشیده شود. به‌این‌ترتیب در این شرایط، جذب آب افزایش می‌یابد و آثار نامطلوب شوری را کاهش می‌دهد. همچنین اگر مقادیر کافی یون پتاسیم در اختیار سلول‌های نگهبان روزنه قرار گیرد در عملکرد این سلول‌ها اثر می‌گذارد و و بازوبسته‌شدن آنها به‌طور مناسبی انجام می‌شود. درنتیجهٔ این وضعیت، آب سلول به‌صورت بخار از دست نمی‌رود و درنهایت افزایش محتوای آب نسبی را موجب می‌شود (Rehm and Schmitt 2002; Karimi, 2017)؛ بنابراین حفظ و تأمین میزان کافی پتاسیم برای بافت برگ‌ها تأثیر شوری را در محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌دهد (Marchner, 2012) و با تداوم فتوسنتز به بهبود شاخص‌های مورفومتری در مقایسه با بوته‌های تغذیه‌شده با پتاسیم سولفات منجر می‌شود.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: اثر شوری و پتاسیم سولفات در میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل شوری و پتاسیم سولفات نیز بر هر چهار شاخص به‌طوری معنی‌داری اثر گذاشت که تأثیر آن در کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید (P< ۰/۰۱) بیشتر از کلروفیل b (P< ۰/۰۱) بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات در غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کلروفیل a/b و کاروتنوئید برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کاروتنوئید
پتاسیم سولفات	۱	۰/۰۳۶**	۰/۰۷۲**	۰/۲۲**	۰/۲۲۱**	۰/۳۴**
شوری	۳	۰/۴۴**	۰/۱۱**	۰/۹۹**	ns ۰/۰۵۸	۰/۲۳**
پتاسیم سولفات×شوری	۳	۰/۰۴۸**	۰/۰۰۲۱*	۰/۰۵۳**	۰/۱۳۲*	۰/۰۳۱**
خطا	۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۳۷	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۲/۵۱	۵/۸۲	۲/۲۷	۷/۳۸	۷/۷۳

ns، ** و* به‌ترتیب بیان‌کنندهٔ معنی‌دارنبودن، اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند.

تنش شوری کاهش غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ انگور را باعث شد و این اثر، وابسته به غلظت بود و در شوری سدیم کلرید ۱۰۰ میلی‌مولار، غلظت این رنگیزهٔ فتوسنتزی به حداقل رسید (جدول ۴)؛ به‌طوری‌که با افزایش شوری از میزان کلروفیل کل نیز کاسته شد و شیب کاهش آن در پتاسیم سولفات صفر (۳۵ درصد) بیشتر از پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد (۲۳ درصد) بود (جدول ۴) که با گزارش‌های قبلی اثر نمک در محتوای کلروفیل انگور (Ahmed *et al*., 2015; Doulati Baneh, 2016; Azizi *et al*., 2017) مطابقت دارد. کاهش کلروفیل با شوری، ممکن است به‌دلیل تخریب کلروپلاست، تغییر نسبت لیپید به پروتئین و افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و روبیسکو باشد (Cuin and Shabala, 2007). همچنین اثر سمیت بعضی یون‌ها در شرایط تنش شوری از فعالیت آنزیمی و سنتز کلروفیل در سلول جلوگیری می‌کند (Cuin and Shabala, 2007). به‌عبارت‌دیگر یکی از دلایل کاهش کلروفیل در برگ بوته‌های در تنش شوری، اختلال ضمنی در جذب عناصر دخیل در ساختن کلروفیل مثل منیزیم و آهن است (Munns and Tester, 2008) که این نقصان، در پژوهش حاضر با کاربرد خارجی پتاسیم سولفات و اثر اسمزی این عنصر در جذب آهن و منیزیم (Munns and Tester, 2008) مرتفع شد و پایداری کلروفیل برگ بوته‌های انگور را در تنش شوری باعث شد.

جدول ۴- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات در غلظت کلروفیل a و b، کلروفیل کل، کلروفیل a/b و کاروتنوئید برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری

تیمار آزمایشی		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کاروتنوئید
شوری (میلی‌مولار)	پتاسیم سولفات (درصد)	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)				
۰	۰	۱/۵۴۰ ± ۰/۰۵^{a}	۰/۵۹۳ ± ۰/۰۴^{b}	۲/۲۲۶ ± ۰/۴^{b}	۲/ ۶۲ ± ۰/۳^{b}	۰/۶۵۰ ± ۰/۱۱^{c}
۲۵	۰	۱/۴۳۳ ± ۰/۰۴^{b}	۰/۵۴۰ ± ۰/۰۶^{c}	۲/۰۷۰ ± ۰/۳^{c}	۲/۶۶ ± ۰/۴^{b}	۰/۶۲۶ ± ۰/۰۸^{c}
۵۰	۰	۱/۳۶۰ ± ۰/۰۵^{c}	۰/۴۵۶ ± ۰/۰۶^{d}	۱/۹۱۰ ± ۰/۲^{d}	۳/۰۱ ± ۰/۴^{a}	۰/۴۷۳ ± ۰/۰۵^{d}
۱۰۰	۰	۰/۹۸۶ ± ۰/۰۸^{f}	۰/۳۴۶ ± ۰/۰۵^{e}	۱/۴۳۳ ± ۰/۳^{f}	۲/۸۷ ± ۰/۲^{a}	۰/۴۲۰ ± ۰/۱۲^{d}
۰	۱/۵	۱/۵۶۳ ± ۰/۰۴^{a}	۰/۶۳۳ ± ۰/۰۳^{a}	۲/۲۹۶ ± ۰/۴^{a}	۲/۴۷ ± ۰/۳^{b}	۰/۸۵۳ ± ۰/۰۹^{a}
۲۵	۱/۵	۱/۴۶۳ ± ۰/۰۷^{b}	۰/۶۱۶ ± ۰/۰۷^{ab}	۲/۱۸۰ ± ۰/۲^{b}	۲/۳۸ ± ۰/۴^{c}	۰/۷۸۶ ± ۰/۰۷^{b}
۵۰	۱/۵	۱/۲۹۳ ± ۰/۰۸^{d}	۰/۵۵۰ ± ۰/۰۶^{c}	۱/۹۴۳ ± ۰/۱^{d}	۲/۳۷ ± ۰/۲^{c}	۰/ ۷۵۳ ± ۰/۰۷^{b}
۱۰۰	۱/۵	۱/۲۲۰ ± ۰/۰۵^{e}	۰/۴۴۰ ± ۰/۰۵^{d}	۱/۷۶۳ ± ۰/۳^{e}	۲/۷۵ ± ۰/۳^{b}	۰/۴۵۳ ± ۰/۰۵^{d}

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح P≤ ۰/۰۵ هستند.

کاربرد برگی پتاسیم سولفات به‌طور چشمگیری پایداری کلروفیل را در تاک‌های تیمارشده با این عنصر باعث شد؛ به‌طوری‌که غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ در تاک‌های محلول‌پاشی‌شده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد در مقایسه با تاک‌های محلول‌پاشی‌نشده به‌ویژه در شوری‌های زیاد بیشتر

بود (جدول ۵). به‌عبارت‌دیگر پتاسیم سولفات ۱/۵درصد در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پایداری ۲۰ درصدی کلروفیل a و ۶ درصدی محتوای کلروفیل b را باعث شد که بیان‌کنندهٔ اثر

جدول ۵- تجزیهٔ واریانس اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات در غلظت قندهای محلول و نامحلول و پرولین برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات		
		قند محلول	قند نامحلول	پرولین
پتاسیم سولفات	۱	۱۷/۲۸**	۱۸۸/۸۱**	۳۵۹/۷۰**
شوری	۳	۹۵/۴۴**	۲۹۰/۸۵**	۱۴۱/۶۰**
پتاسیم سولفات×شوری	۳	۱/۱۲*	۱۳۸/۹۰**	۷/۱۰**
خطا	۱۵	۰/۵۳	۱۰/۹۹	۰/۴۱
ضریب تغییرات	–	۵/۱۱	۱۸/۲۷	۷/۷۰

** و* به‌ترتیب بیان‌کنندهٔ اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند.

تعدیل‌کنندگی این یون در شوری بود. در پژوهشی افزایش شدت تنش شوری، محتوای کلروفیل دو رقم انگور را کاهش داد؛ اما محلول‌پاشی با مقادیر مختلف پتاسیم سیلیکات و روی سولفات افزایش محتوای کلروفیل را در هردو رقم موجب شد (Azizi *et al.*, 2017). یکی دیگر از آثار سوء شوری در گیاهان، بر هم زدن تعادل عناصر غذایی ازجمله پتاسیم است. پتاسیم عنصر سیتوپلاسمی ضروری است و به‌علت نقش آن در تنظیم اسمزی و اثر رقابتی با سدیم عنصری مهم در شرایط شوری است (Shabala and Cuin, 2007)؛ بنابراین با مصرف پتاسیم در شرایط شوری، نسبت سدیم به پتاسیم و مسمومیت سدیمی تا حدودی کاهش می‌یابد و مقاومت گیاه را به شوری موجب می‌شود و سطح کلروفیل به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Yildirim *et al.*, 2009).

بیشترین میزان کاروتنوئید موجود در برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد بدون تنش شوری مشاهده شد (جدول ۴). با افزایش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار، میزان این ترکیب کاهش یافت و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به کمترین مقدار خود رسید. میزان کاهش کاروتنوئید با افزایش شوری به‌ترتیب برابر ۲۵ و ۴۷ درصد در مقادیر پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد بود که نشان‌دهندهٔ اثر منفی و معنی‌دار سدیم در این ترکیب است (جدول ۴). کاروتنوئیدها از رنگیزه‌های فتوسنتزی هستند که میزان آنها بر اثر تنش شوری به‌دلیل تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن در برگ (Parida and Das, 2005) و بازدارندگی نوری (Akcin and Yalcin, 2016) به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. مقایسهٔ دو مقدار مختلف تیمار پتاسیم سولفات نشان داد این عنصر اثر معنی‌داری در میزان کاروتنوئید داشت و افزایش این ترکیب را در همهٔ مقادیر شوری موجب شد (جدول ۴). بیشترین اثر پتاسیم سولفات در شوری صفر مشاهده شد (افزایش ۲۳ درصدی). با افزایش شوری نقش

تعدیل‌کنندگی پتاسیم کم‌رنگ‌تر شد و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به کمترین مقدار (افزایش ۶ درصدی) رسید که با نتایج کاربرد پتاسیم سیلیکات در توت‌فرنگی (Yildirim *et al.*, 2009) و انگور (Azizi *et al.*, 2017) نشان‌دهندهٔ نقش پتاسیم در پایداری رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش سرعت فتوسنتز در تنش شوری مطابقت دارد. درواقع پتاسیم با افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند قندها و پرولین، حفظ محتوای نسبی آب برگ که در این بررسی نیز تأیید شد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (Cakmak, 2005)، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش داد و درنتیجه به پایداری بیشتر رنگیزه‌های فتوسنتزی ازجمله کاروتنوئید در تاک‌های در معرض تنش شوری منجر شد.

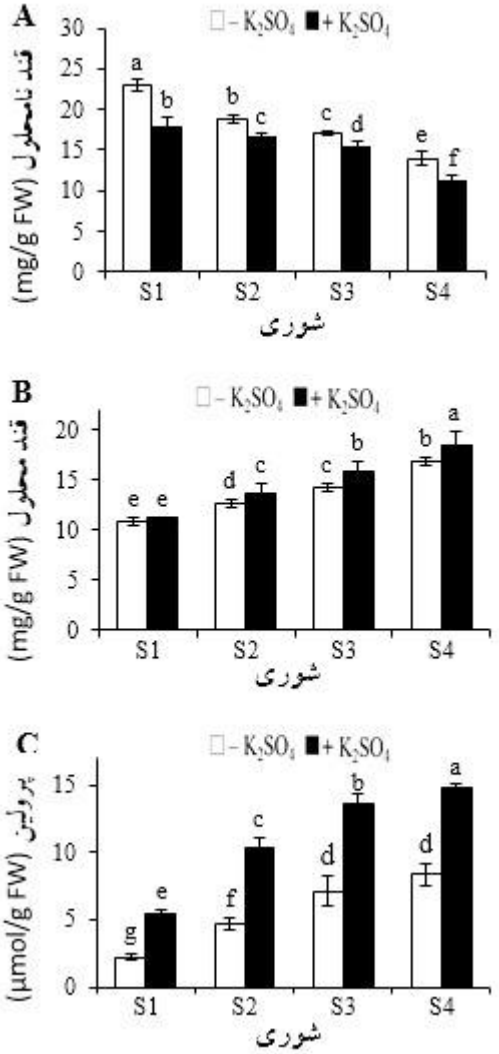
اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات در نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اثر شوری در این شاخص معنی‌دار نبود؛ ولی اثر متقابل پتاسیم سولفات و شوری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). روند کلی تغییرات نسبت کلروفیل a به b در تنش شوری، افزایشی بود و کمترین مقدار این نسبت تقریباً در هردو غلظت پتاسیم سولفات در شوری صفر مشاهده شد (جدول ۴).

اگرچه تنش شوری بر هردو کلروفیل a و b اثر می‌گذارد، کاهش کلروفیل b به‌دلیل حساسیت بیشتر آن مشهودتر است (Kholova *et al.*, 2009)؛ بنابراین نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در تنش شوری به‌ویژه در مدت طولانی افزایش یافت. همچنین مقایسهٔ دو مقدار پتاسیم سولفات، نشان داد در همهٔ غلظت‌های شوری با اعمال کود پتاسیم سولفات نسبت کلروفیل a به کلروفیل b کاهش یافت. این نتایج نشان‌دهندهٔ نقش پتاسیم در تعدیل و کاهش اثر شوری در تخریب کلروفیل b بود که حساسیت بیشتری به این تنش داشت (جدول ۴)؛ اگرچه تغییرات سطح برگ و میزان نور دریافتی نیز ممکن است در تغییر این نسبت تأثیرگذار باشند.

قند نامحلول: اثر شوری و پتاسیم سولفات و اثر متقابل آنها در میزان قند نامحلول برگ بوته‌های انگور تیمارشده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). روند تغییرات محتوای قند نامحلول با شوری عکس قند محلول بود (شکل ۲- A). به طور کلی با افزایش میزان شوری غلظت قندهای نامحلول در برگ بوته‌ها کاهش یافت؛ با این تفاوت که در تاک‌های محلول‌پاشی‌شده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد این روند شیب بیشتری داشت و در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در ترکیب با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد به کمترین مقدار رسید (شکل ۲- A). قندهای نامحلول مانند نشاسته ازلحاظ اسمزی خنثی هستند. به‌همین‌دلیل در شرایط تنش از غلظت آنها کاسته می‌شود و به قندهای محلول و ساده تبدیل می‌شوند تا ضمن محافظت اسمزی، تحمل به شرایط تنش را افزایش دهند. کاهش چشمگیرتر غلظت قندهای نامحلول در بوته‌های تیمارشده ممکن است با نقش این عنصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکنندهٔ نشاسته مانند آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز (Cakmak, 2005; Mengle, 2007) مرتبط باشد که افزایش قندهای محلول، پایداری غشاء و درنتیجه افزایش تحمل به شوری تاک‌ها را باعث

شده است (Sivritepeand Eriş, 1999).

قند محلول: اثر شوری و پتاسیم سولفات در سطح ۱ درصد و اثر متقابل آنها در سطح ۵ درصد بر میزان قند محلول برگ بوته‌های انگور تیمارشده



شکل ۲- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد در محتوای قندهای نامحلول (A)، قندهای محلول (B) و غلظت پرولین (C) برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری: S1 (NaCl با غلظت صفر میلی‌مولار)، S2 (NaCl با غلظت ۲۵ میلی‌مولار)، S3 (NaCl با غلظت ۵۰ میلی‌مولار) و S4 (NaCl با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار)- مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح P≤ ۰/۰۵ هستند.

معنی‌دار بودند (جدول ۵). به‌طورکلی با افزایش مقدار شوری غلظت قندهای محلول در برگ بوته‌ها روند افزایشی داشت (شکل ۲- B). در بررسی تحمل شوری ۴ رقم انگور یاقوتی، عسگری، رشه و سرقوله مشخص شد با افزایش شوری، تجمع قندهای محلول در برگ افزایش یافت و رابطهٔ مثبتی بین تحمل شوری و میزان تجمع قندهای محلول وجود داشت (Doulati Baneh *et al*., 2013). همچنین در بررسی تغییرپذیری عناصر غذایی، ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک در چند رقم و دورگهٔ بین‌گونه‌ای انگور در شرایط تنش شوری ناشی از سدیم کلرید؛ میزان رشد، وزن خشک ریشه و ساقه و محتوای نسبی آب با افزایش شوری کاهش ولی میزان پرولین و قندهای محلول افزایش یافتند (Doulati Baneh, 2016). در بررسی غربال‌گری تحمل شوری در چند رقم انگور مشخص شد با افزایش شوری، میزان تجمع قندهای محلول افزایش یافت و این افزایش در رقم‌های متحمل به شوری بیشتر بود (Ahmed *et al*., 2015). بیوسنتز و تجمع محلول‌های سازگاری ازجمله قندها یکی از واکنش‌های تنظیمی مهم گیاهان در پاسخ به تنش شوری است (Gupta and Huang, 2014)؛ به‌طوری‌که گیاه محلول‌های سازگار ازجمله قندهای محلول را در واکوئل و سیتوپلاسم انباشته می‌کند تا با حفاظت و تعدیل اسمزی؛ جذب آب، ذخیرهٔ کربن و نیتروژن و پالایندگی رادیکال‌های آزاد اکسیژن را ادامه دهد؛ اما با افزایش شوری و آثار تخریبی آن این موارد متوقف می‌شوند و گیاه متحمل آسیب‌های جبران‌ناپذیری می‌شود (Sivritepe and Eriş,

.1999; Parida and Das, 2005)

در تاک‌های محلول‌پاشی‌شده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد روند افزایش غلظت قندهای محلول شیب بیشتری داشت و در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در ترکیب با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد به بیشترین مقدار رسید (شکل ۲- B).

در پسته کاربرد پتاسیم سیلیکات و پتاسیم سولفات افزایش معنی‌دار غلظت قندهای محلول برگ و ریشهٔ دانهال‌ها را باعث شد (Ranjbar *et al*., 2017). افزایش محتوای قند محلول در تنش شوری در تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد (۴۰ درصد) بیشتر از سطح صفر (۳۵ درصد) بود که بیان‌کنندهٔ نقش مثبت پتاسیم در کاهش اثر سوء یون سدیم و افزایش مقاومت گیاه با تولید محلول سازگار قندی بود (Grattana and Grieve, 1999). مقایسهٔ دو مقدار تیمار پتاسیم سولفات نشان داد در همهٔ غلظت‌های شوری، مقدار قند محلول در تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد بیشتر از صفر بود و این افزایش با بیشترشدن شوری چشمگیرتر شد (شکل ۲- B). به‌عبارت‌دیگر به‌دلیل نقش پتاسیم در بیوسنتز و انتقال کربوهیدرات‌ها این یون افزایش محتوای قند موجود در اندام گیاهی را موجب می‌شود (Karimi, 2017).

پرولین: اثر شوری، پتاسیم سولفات و برهم‌کنش آنها در میزان پرولین برگ بوته‌های تیمارشده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). هم‌زمان با افزایش شوری تجمع پرولین در سلول‌های برگ تاک‌ها افزایش یافت و در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به بیشترین مقدار رسید (شکل ۲- C). در آویشن (Mosleh Arani *et al*., 2018)، توت‌فرنگی (Turhan and Eris, 2004) و انگور (Fozouni *et al*., 2012; Doulati Baneh *et al*., 2013) اعمال تنش شوری محتوای پرولین را در برگ نهال‌ها افزایش داد که تأییدی بر نتایج پژوهش حاضر است. در بررسی تحمل شوری در زیتون، کاربرد پرولین ضمن تعدیل فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، فعالیت فتوسنتزی و رشد گیاه به حفظ وضعیت مناسب آب گیاه در شرایط شوری منجر شد (Ben Ahmed *et al*., 2010). افزایش غلظت پرولین ممکن است به‌دلیل وجود پیش‌مادهٔ (Precursor) مشترک با کلروفیل یعنی گلوتامین باشد که در شرایط تنش برای تعدیل اسمزی، پرولین بیشتری ساخته شد و از ساخت کلروفیل کاسته شده است (Fozouni *et al*., 2012).

غلظت پرولین در تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات به میزان چشمگیری افزایش یافت (شکل ۲- C). مطابق با نتایج بررسی حاضر، کاربرد پتاسیم سیلیکات و پتاسیم سولفات افزایش معنی‌دار غلظت پرولین برگ و ریشهٔ دانهال‌های پسته را باعث شد (Ranjbar *et al*., 2017). کاربرد پتاسیم سولفات در تاک‌ها غلظت درونی پتاسیم برگ‌ها را افزایش داد و ضمن تنظیم اسمزی، تجمع بیشتر محلول‌های سازگاری سلول‌ها را در شرایط تنش باعث شد (Karimi, 2017). پرولین ازجمله محلول‌های سازگار است که گیاه هنگام تنش شوری با تولید و ذخیرهٔ آن تحمل خود را در این شرایط افزایش می‌دهد و کاهش سمیت یون سدیم را سبب می‌شود (Strizhov *et al*., 1997). پرولین داخل سلول که در مدت تنش انباشته شده است، تحمل به تنش را موجب می‌شود و همچنین ذخیره‌ای برای نیتروژن

آلی در دوران بهبودی پس از تنش است (Fozouni *et al.*, 2012). باتوجه‌به نقش پتاسیم در فعال‌کردن آنزیم‌ها ازجمله آنزیم دلتا ۱- پیرولین ۵- کربوکسیلات سنتتاز که نقش کلیدی در بیوسنتز پرولین دارد (Strizhov *et al.*, 1997)، ممکن است کاربرد برگی پتاسیم سولفات در پژوهش حاضر با تأثیر در فعالیت این آنزیم به افزایش غلظت پرولین در برگ بوته‌های تیمارشده با این عنصر در شرایط تنش شوری منجر شده باشد.

اثر شوری و پتاسیم سولفات و اثر متقابل آنها در غلظت سدیم، پتاسیم، نیترات، کلسیم و منیزیم برگ تاک‌ها نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۶).

سدیم و پتاسیم: همان‌طورکه انتظار می‌رفت با افزایش غلظت شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار، غلظت سدیم برگ روند افزایشی نشان داد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید به بیشترین مقدار رسید (جدول ۷). تقریباً بین همهٔ تیمارها بیشترین میزان غلظت سدیم برگ انگور، در تیمار پتاسیم سولفات صفر درصد به‌ویژه شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود؛ درحالی‌که کاربرد کود پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد، کاهش غلظت یون سدیم را در گیاه موجب شد (جدول ۷).

جدول ۶- تجزیهٔ واریانس اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات در میزان سدیم، پتاسیم، نیترات، کلسیم و منیزیم برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات					
		سدیم	پتاسیم	نیترات	کلسیم	منیزیم	K/Na
پتاسیم سولفات	۱	۰/۰۰۱*	۶/۳۵۱**	۲/۱۳×۱۰$^{-۵}$**	۱/۴۶۳**	۰/۳۶۰**	۱۱/۹۸**
شوری	۳	۰/۸۲۰**	۱/۸۳۶**	۲۹/۱۳×۱۰$^{-۵}$**	۸/۰۲۴**	۳/۵۰۱**	۴/۸۳**
پتاسیم‌سولفات × شوری	۳	۰/۰۵۸**	۲/۳۱۵**	۹/۹۳×۱۰$^{-۵}$**	۲/۳۷۲**	۰/۰۴۹**	۸/۵۶**
خطا	۱۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۴×۱۰$^{-۵}$	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۲
ضریب تغییرات	-	۲/۳۱۶	۳/۶۹۵	۲/۵۱۴	۵/۸۶۵	۳/۴۷۷	۳/۹۹

** و* به‌ترتیب بیان‌کنندهٔ اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند.

غلظت پتاسیم برگ در تنش شوری روند کاهشی نشان داد و با افزایش غلظت سدیم کلرید تا ۱۰۰ میلی‌مولار، یون پتاسیم به کمترین غلظت رسید (جدول ۷). با مصرف کود پتاسیم سولفات (۱/۵ درصد) و به‌دنبال‌آن، افزایش غلظت این یون در شیرهٔ سلولی همان‌طورکه انتظار می‌رفت غلظت پتاسیم برگ تاک‌ها افزایش یافت. بیشترین غلظت پتاسیم موجود در برگ، در شوری صفر میلی‌مولار و پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد مشاهده شد (جدول ۷). در پژوهشی بر درخت لیلکی، شوری مقدار پتاسیم را در برگ و ریشهٔ گیاه کاهش ولی مقدار سدیم را افزایش داد (Razavizadeh and

(Mohagheghiyan, 2015). اگرچه سدیم ممکن است تاحدودی آماس سلولی را حفظ کند، وظایف فیزیولوژیک مرتبط با پتاسیم مانند ساخت پروتئین‌ها و فعال‌کردن آنزیم‌ها را نمی‌تواند جایگزین و راه‌اندازی کند (Gupta and Huang, 2014). ازسویی پتاسیم یکی از مهم‌ترین عناصری است که در تعادل آنیون و کاتیون درون سلول نقش دارد. همچنین این عنصر اثر معنی‌داری در جذب سایر عناصر از ریشه دارد و در رفع آثار سوء از بین رفتن تعادل بعضی از عناصر غذایی در خاک کمک می‌کند (Karimi, 2017)؛ بنابراین می‌توان بیان کرد با افزایش میزان یون پتاسیم، این یون برای جذب از ریشهٔ گیاه با یون سدیم رقابت می‌کند و تاحدودی از غلظت زیاد یون سدیم و سمیت آن می‌کاهد (Grattana and Grieve, 1999). محتوای یون پتاسیم در بافت‌های گیاهی، نشان‌دهندهٔ وجود تنظیم اسمزی سلول‌ها و حفظ آماس سلولی است (Mengel, 2007).

جدول ۷- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات در میزان سدیم، پتاسیم، نیترات، کلسیم و منیزیم برگ انگور بی‌دانهٔ سفید در تنش شوری

تیمار آزمایشی		سدیم (درصد)	پتاسیم (درصد)	نیترات (درصد)	کلسیم (درصد)	منیزیم (درصد)	K/Na
شوری (میلی‌مولار)	پتاسیم سولفات (درصد)						
۰	۰	۰/۳۵۰^{f}	۱/۹۶^{d}	۰/۰۲۶^{b}	۰/۳۴۶^{g}	۰/۶۱۶^{g}	۵/۶^{c}
۲۵	۰	۰/۵۸۶^{d}	۱/۸۱^{c}	۰/۰۲۷^{b}	۱/۵۲۰^{e}	۱/۳۵۳^{d}	۳/۰۸^{d}
۵۰	۰	۰/۸۶۶^{b}	۱/۴۴^{c}	۰/۰۳۱^{a}	۲/۲۳۰^{c}	۱/۸۲۳^{b}	۱/۵۹^{e}
۱۰۰	۰	۰/۹۲۶^{a}	۱/۱۴^{b}	۰/۰۱۴^{d}	۲/۰۳۳^{d}	۱/۰۳۶^{e}	۱/۲۳^{e}
۰	۱/۵	۰/۲۸۳^{g}	۲/۷۳^{a}	۰/۰۲۴^{c}	۱/۰۱۳^{f}	۰/۷۵۰^{f}	۹/۶۴^{a}
۲۵	۱/۵	۰/۴۰۶^{e}	۲/۶۱^{ab}	۰/۰۳۰^{a}	۲/۴۲۳^{b}	۱/۶۹۰^{c}	۶/۴۳^{b}
۵۰	۱/۵	۰/۷۳۳^{c}	۲/۳۳^{ab}	۰/۰۲۷^{b}	۳/۰۳۳^{a}	۲/۰۱۶^{a}	۳/۱۸^{c}
۱۰۰	۱/۵	۰/۸۰۳^{b}	۲/۰۵^{ab}	۰/۰۲۳^{c}	۳/۰۵۶^{a}	۱/۰۶۶^{e}	۲/۵۶^{c}

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کنندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح P≤ ۰/۰۵ هستند.

نیترات: براساس نتایج، به‌طورکلی شوری کاهش غلظت نیترات برگ انگور بی‌دانهٔ‌سفید را موجب شد و در هردو مقدار پتاسیم سولفات، کمترین غلظت نیترات (۰/۰۱۴ و ۰/۰۲۳ درصد به‌ترتیب برای پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد) مربوط به شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود (جدول ۷) که علت آن ممکن است به رقابت بین یون کلر با نیترات موجود در محلول خاک برای جذب‌شدن از ریشهٔ گیاه مربوط باشد؛ به‌طوری‌که با افزایش شوری و غلظت یون کلر، گیاه برای جذب نیترات با مشکل مواجه می‌شود و نمی‌تواند این یون را به‌میزان کافی از خاک جذب کند (Chen *et al.*, 2007). همچنین با افزایش شوری، گسترش ریشه‌ها کاهش یافت؛ بنابراین از میزان جذب آب و به‌دنبال‌آن جذب

عناصر غذایی به‌ویژه عناصر پرمصرف به‌شدت کاسته شد (Grattana and Grieve, 1999)؛ البته در بوته‌های قرارگرفته در تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار، جذب نیترات نسبت به شاهد افزایش و تا شوری ۵۰ میلی‌مولار دوباره کاهش یافت که این تغییر ممکن است به‌دلیل تنظیم اسمزی ایجادشده با غلظت‌های کم سدیم باشد که برای جذب نیترات از ریشه ضروری است یا از رقابت نیترات با کلر ناشی باشد (Fisarakis *et al.*, 2004) که نیازمند بررسی است.

مقایسهٔ غلظت یون نیترات موجود در برگ انگور در همهٔ تیمارها نشان‌دهندهٔ کمترین میزان آن در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و پتاسیم سولفات صفر درصد بود؛ درحالی‌که در همین شوری در تیمار ۱/۵ درصد پتاسیم سولفات غلظت آن به‌طور معنی‌داری (۴۰ درصد) بیشتر بود (جدول ۷)؛ بنابراین ممکن است مصرف کود پتاسیم سولفات اثر سوء تنش شوری را بسیار کاهش دهد و از رقابت بین یون کلر و نیترات برای جذب‌شدن از ریشه جلوگیری کند؛ زیرا این یون با تنظیم اسمزی تاحد زیادی بر سمیت یون سدیم فائق می‌شود و همچنین با گسترش ریشه، جذب آب و عناصر غذایی را ازجمله نیترات بهبود می‌دهد (Cakmak, 2005;Gupta and Huang, 2014).

کلسیم: روند کلی تغییرات غلظت کلسیم با شوری به‌صورت افزایشی بود و کمترین غلظت این عنصر (۰/۳۵ درصد) در برگ تاک‌های قرارگرفته در شوری صفر مشاهده شد (جدول ۷)؛ درحالی‌که در توت‌فرنگی با افزایش شوری، غلظت کلسیم اندام هوایی کاهش یافت (Turhan and Eris, 2004). کمترین غلظت کلسیم موجود در برگ (۰/۳۵ درصد) مربوط به شوری و پتاسیم سولفات صفر بود؛ اما در همین غلظت شوری و در تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد، غلظت کلسیم برابر ۱/۰۱ درصد بود که افزایش ۶۵ درصدی داشت که ممکن است با توانایی پتاسیم در جابه‌جایی بهتر کلسیم به‌ویژه در غلظت‌های زیاد نمک مرتبط باشد که درزمینهٔ رقابت بین کاتیون‌ها با کاهش تجمع یون سدیم به پایداری غشا و کاهش تنش شوری منجر شده است. پتاسیم با تنظیم اسمزی، افزایش جذب آب، گسترش هردو بخش گیاهی به‌ویژه ریشه و ایجاد اسیدیتهٔ مناسب درون‌سلولی ارتقای جذب عناصر غذایی را ازجمله کلسیم و منیزیم موجب می‌شود (Rehm and Schmitt, 2002; Yildirim *et al.*, 2009). درواقع به‌دلیل نقشی که کلسیم در ساختار دیوارهٔ سلولی به‌صورت کلسیم پکتات دارد، افزایش غلظت آن در پاسخ به کاربرد برگی پتاسیم سولفات تأییدی بر پایداری بیشتر غشا و درنتیجه نشت یونی کمتر است (Gupta and Huang, 2014). به‌عبارت‌دیگر افزایش مقدار کلسیم در تیمار پتاسیم به‌ویژه در دیوارهٔ سلولی ممکن است سازوکار مقاومتی برای افزایش پایداری غشا و جذب کمتر سدیم باشد.

منیزیم: نتایج نشان دادند کمترین غلظت منیزیم برگ (۰/۶۲ درصد) در هردو مقدار تیمار پتاسیم سولفات در شوری صفر میلی‌مولار مشاهده شد. با افزایش شوری از صفر تا ۵۰ میلی‌مولار، غلظت منیزیم افزایش یافت؛ ولی با افزایش بیشتر شوری (بیشتر از ۵۰ میلی‌مولار) میزان منیزیم به‌شدت کاسته شد (جدول ۷). در شوری‌های زیاد به‌ویژه

غلظت زیاد یون سدیم و از بین رفتن تعادل غلظت عناصر در خاک، به‌دلیل تشابه حامل‌های جذب منیزیم و سدیم در ریشه، جایگاه‌های اتصال، بیشتر با سدیم اشغال شدند و به‌این‌ترتیب منیزیم کمتری به سلول‌های ریشه انتقال می‌یابد (Rehm and Schmitt, 2002; Yildirim *et al*., 2009). روند تغییرات میزان منیزیم با پتاسیم بسیار شبیه کلسیم بود؛ به‌طوری‌که غلظت منیزیم در همهٔ غلظت‌های شوری در تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار پتاسیم سولفات صفر بود. همچنین کمترین مقدار آن (۰/۶۵ درصد) در شوری و پتاسیم سولفات صفر مشاهده شد. همانند اثر تیمار پتاسیم در کلسیم، میزان افزایش منیزیم نیز با افزایش شوری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در شوری صفر، پتاسیم سولفات افزایش ۱۷ درصدی جذب منیزیم را موجب شد و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، این افزایش تنها ۲ درصد بود (جدول ۷). باوجود رقابت برای جذب پتاسیم و منیزیم ممکن است ایجاد تعادل و تنظیم اسمزی ایجادشده با پتاسیم و تسهیل انتقال عناصر به‌ویژه در تنش شوری که عناصر با مشکل جذب روبه‌رو هستند، از دلایل توجیه‌کنندهٔ افزایش غلظت منیزیم در این شرایط باشند (Gupta and Huang, 2014).

نسبت سدیم به پتاسیم: اثر پتاسیم سولفات، شوری و اثر متقابل آنها بر نسبت سدیم به پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). در تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات این نسبت بیشتر بود و با افزایش غلظت شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار این نسبت کاهش یافت. باوجود روند کاهشی این نسبت با افزایش غلظت شوری، مقدار این نسبت در تاک‌های محلول‌پاشی‌شده با پتاسیم سولفات به‌مراتب بیشتر از تاک‌های تیمارنشده بود (جدول ۷). حفظ هموستازی پتاسیم - سدیم سلولی نقش مهمی در بقای گیاه در محیط‌های شور دارد (Munns and Tester, 2008). درواقع غلظت زیاد یون سدیم ضمن کاهش یا جلوگیری از جذب یون پتاسیم، عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاه، ممکن است به مرگ منجر شود (James *et al*., 2011). در پژوهش حاضر کاربرد برگی پتاسیم سولفات ضمن ایجاد تعادل در نسبت یون پتاسیم به سدیم افزایش تحمل به شوری تاک‌های تیمارشده با این عنصر را باعث شد.

وجود غلظت‌های بهینه و کافی عناصر غذایی در پیکرهٔ گیاه با حفظ نفوذپذیری غشاء، افزایش پتانسیل اسمزی، حفظ آماس سلولی، باز و بسته‌شدن روزنه‌ها (Cherel, 2004)، فتوسنتز و تنفس ضمن حفظ روند عادی فعالیت‌های فیزیولوژیک موجب می‌شود گیاه با توانایی بیشتری با شرایط نامساعد محیطی مانند تنش شوری مواجه شود (Grattana and Grieve, 1999) و با تأثیر در جذب سایر عناصر، مشابه با دیگر پژوهش‌ها (Yildirim *et al*., 2009) افزایش دوام گیاه را در شرایط شوری باعث می‌شود. علاوه‌بر سایر عناصر معدنی، پتاسیم نقش مهمی در میزان تحمل گیاهان در تنش شوری داشت (Mengel, 2007; Marschner, 2012)؛ بنابراین کاربرد برگی پتاسیم سولفات ضمن ایجاد تعادل در نسبت پتاسیم به سدیم که یکی از سازوکارهای گیاهان برای دوام در شرایط شوری (Chen *et al*., 2007) است کاهش آثار تنش شوری را در تاک‌های باعث می‌شود.

جمع‌بندی

با افزایش غلظت شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار به‌دلیل تجمع املاح و ایجاد سمیت یونی، شاخص‌های مورفومتری تاک‌ها روند کاهشی نشان دادند؛ درحالی‌که بوته‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات به‌دلیل کاهش آثار شوری و ایجاد تعادل تغذیه‌ای با این کود، رشد عادی از خود نشان دادند. نشت یونی به‌صورت تابعی از شوری در برگ بوته‌های انگور افزایش یافت؛ اما تیمار برگی پتاسیم سولفات به‌دلیل افزایش پایداری غشاء و ممانعت از تغییرات القاءکنندگی سدیم بر پتاسیم، نشت یونی برگ را کاهش داد. محتوای قندهای محلول و پرولین برگ در پاسخ به شوری افزایش یافت. ازسویی مقدار این افزایش در بوته‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد بیشتر از بوته‌های تیمارنشده با پتاسیم سولفات بود. این نتیجه بیان‌کنندهٔ نقش پتاسیم در تجمع محلول‌های سازگاری و حفظ فشار آماس در شرایط شوری است که امکان ادامهٔ فعالیت‌های فیزیولوژیک را برای گیاه فراهم می‌کند؛ بنابراین کاربرد برگی پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد، روش به‌باغی است که برای کاهش آثار تنش شوری در تاک استفاده می‌شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از پژوهشکدهٔ انگور و کشمش دانشگاه ملایر بابت حمایت مالی از پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

Abdel-Shafey, H. I., Hegemann, W. and Teiner, A. (1994) Digestion with concentrated HNO_3 and H_2O_2. Environment Management and Health 5: 21-24.

Ahmed, F. F., Abdel Aal, A. M. K., Aly, M. A. and Ahmed, S. E. A. (2015) Tolerance of some grapevine cultivars to salinity and calcium carbonate in the soil. Stem Cell 6: 45-64.

Akcin, A. and Yalcin, E. (2016) Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content and proline in *Salicornia prostrata* Pall. and *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). Brazilian Journal of Botany 39: 101-106.

Amiri, J., Eshgi, S., Tafazzoli, A., Rahimi, M. and Abaspour, N. (2014) Growth and photosynthesis response of two grapevine cultivars to nitric oxide foliar application under salinity conditions. Journal of Horticultural Sciences and Technology 15: 287-296 (in Persian).

Azizi, H., Hassani, A., Rasouli Sadaghiani, M. H., Abbaspour, N. and Doulati Baneh, H. (2017) Effect of foliar application of potassium silicate and zinc sulphate on some physiological parameters of two grapevine cultivars under salt stress conditions. Iranian Journal of Horticultural Science 47: 797-810 (in Persian).

Bates, L., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 13: 39-250.

Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhriss, M. and Ben Abdullah, F. (2010) Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense system of young olive tree. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 4216-4222.

Bybordi, A. (2012) Study effect of salinity on some physiological and morphological properties of two grape cultivars. Life Science Journal 9: 1092-1101.

and Nunes, M. A. (2003) Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. plants. Plant Physiology 160: 283-292.

Chen, Z., Zhou, M., Newman, I., Mendham, N., Zhang, G. and Shabala, S. (2007) Potassium and sodium relations in salinised barley tissues as a basis of differential salt tolerance. Functional Plant Biology 34: 150-162.

Cherel, L. (2004) Regulation of K^+ channel activities in plants: from physiological to molecular aspects. Journal of Experimental Botany 55: 337-351.

Cuin, T. A. and Shabala, S. (2007) Compatible solutes reduce ROS induced potassium efflux in *Arabidopsis* roots. Plant, Cell and Environment 30: 875-85.

Doulati Baneh, H., Attari, H., Hassani, A. and Abdollahi, R. (2013) Salinity effects on the physiological parameters and oxidative enzymatic activities of four Iranian grapevines (*Vitis vinifera* L.) cultivar. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5: 1022.

Doulati Baneh, H. (2016) Salinity effects on plant tissue nutritional status as well as growth and physiological factors in some cultivars and interspecies hybrids of grape. Iranian Journal of Horticultural Science 47: 33-44 (in Persian).

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. and Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28: 350-356.

Fatemy, L. S., Tabatabaei, S. J. and Fallahi, E. (2009) The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. Journal of Horticultural Sciences 23: 88-95.

Fisarakis, I., Chartzoulakis, K. and Stavrakas, D. (2001) Response of Sultana vines (*V. vinifera* L.) on six rootstocks to NaCl salinity exposure and recovery. Agricultural Water Management 51: 13-27.

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

Campos, P. S., Quartin, V., Ramalho, J. C. Fisarakis, I., Nikolaou, N., Tsikalas, P., Therios, I. and Stavrakas, D. (2004) Effect of salinity and rootstock on concentration of potassium, calcium, magnesium, phosphours and nitrate-nitrogen in Thompson seedless grapevine. Journal of Plant Nutrition 27: 2117-2134.

Fozouni, M., Abbaspour, N. and Doulati Baneh, H. (2012) Short term response of grapevine grown hydroponically to salinity: mineral composition and growth parameters. Vitis 51: 95-101.

Grattana, S. R. and Grieve C. M. (1999) Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crop. Scientia Horticulturae 78: 127-157.

Gupta, B. and Huang, B. (2014) Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical and molecular characterization. International Journal of Genomics 20: 1-19.

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60.

James, R. A., Blake, C., Byrt, C. S. and Munns, R. (2011) Major genes for Na^+ exclusion, Nax_1 and Nax_2 (wheat HKT1;4 and HKT1;5), decrease Na^+ accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. Journal of Experimental Botany 62: 2939-2947.

Karimi, R. (2017) Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. Scientia Horticultura 215: 184-194.

Karimi, R., Ershadi, A. and Esna Ashari, M. (2014) Effects of late- season

nitrogen and potassium spray on dormant buds cold tolerance of ‘Bidaneh Sefid’ grapevine. Iranian Journal of Horticultural Sience and Technology 15: 419-434 (in Persian).

Kaya, C., Tuna, A. L., Ashraf, M. and Altunlu, H. (2006) Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. Environmental and Experimental Botany 6: 397-403.

Kholova, J., Sairam, R. K., Meena, R. C. and Srivastava, G. S. (2009) Response of maize genotypes to salinity stress in relation to osmolytes and metal ions contents, oxidative stress and antioxidant enzymes activity. Biologia Plantarum 53: 249-256.

Kirnak, H., Kaya, C., Tas, I. and Higgs, D. (2001) The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in egg plants. Plant Physiology 27: 34-46.

Klein, I., Strime, M., Fanberstein, L. and Mani, Y. (2000) Irrigation and fertigation effects on phosphorus and potassium nutrition of wine grapes. Vitis 39(2): 55-62.

Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymol 148: 350-382.

Maas, E. V. and Hoffman, G. J. (1977) Salt crop tolerance - current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 103: 115-134.

Marschner, P. (2012) Marschner’s mineral nutrition of higher plants. 3rd edition, Academic Press, London.

Mengel, K. (2007) Potassium. In: Handbook of plant nutrition (Barker, A. V. and Pilbeam, D. J.) 91-120. CRC Press, New York.

Mosleh Arani, A., Rafiei, A., Tabandeh, A. and Azimzadeh, H. R. (2018) Morphological and physiological responses of root and leave in *Gleditschia caspica* to salinity stress. Iranian Journal of Plant Biology 9: 1-12 (in Persian).

Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

Ranjbar, M., Esmaeilizadeh, M., Karimi, H. R. and Shamshiri, M. H. (2017) Study of foliar application effect of silicon and potassium elements on some biochemical and ecophysiological traits of pistachio seedlings cv. Badami E-Riz Zarand Kerman under salinity stress. Iranian Journal of Horticultural Science 47: 739-752 (in Persian).

Razavizadeh, R. and Mohagheghiyan, 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).

Rehm, G. and Schmitt, M. (2002) Potassium for crop production. University of Minnesota, Minnesota.

Sivritepe, N. and Eriş, A. (1999) Determination of salt tolerance in some grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) under *in vitro* conditions. Turkish Journal of Biology 23: 473-486.

Strizhov, N., Abraham, E., Okresz, L., Blickling, S., Zilberstein, A., Schell, J., Koncz, C. and Szabados, L. (1997) Differential expression of two P5CS genes controlling prolin accumulation during salt stress requires ABA and is regulated by ABA1, ABI1 and AXR2 in *Arabidopsis*. Plant Journal 12**:** 557-569.

Tajabadipur, A. (2004) Effect of soil application of potassium on the relative tolerance of three varieties of pistachio on water and salinity stress. Ph.D. thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Turhan, E. and Eris, A. (2004) Effects of sodium chloride applications and

different growth media on ionic composition in strawberry plant. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 27: 1653-1665.

Walker, R. R. (1994) Grapevine responses to salinity. Bulletin De l. O. I. V. 67: 634-661.

Walker, R. R., Deider, H. B., Peter, R. C. and Ray, L. C. (2004) Rootstock effects on salt tolerance of irrigated field-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana) 2. Ion concentration in leaves and juice. Australian Journal of Grape and wine Research 10: 90-99.

Yildirim, E., Karlidag, H. and Turan, M. (2009) Mitigation of salt stress in strawberry by foliar K, Ca and Mg nutrient supply. Plant, Soil and Environment 55: 213-221.