

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

Raziyeh Minazadeh¹, Rouhollah Karimi^{*2}, Behrooz Mohamad Parast¹

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، شماره سی و هفتم، پاییز ۱۳۹۷، صفحه ۸۳-۱۰۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷ و ۱۳۹۷/۰۵/۱۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶

اثر تغذیه 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، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۲ گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده 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 تغذیه برگی کود پتاسیم سولفات (صفر و ۱/۵ درصد) در برخی ویژگی‌های مورفومتری و فیزیولوژیک انگور بی‌دانه سفید در تنش شوری سدیم کلرید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بود که به صورت 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 دوباره 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 تیمار شده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد در مقایسه با بوته‌های تیمار نشده با این کود باعث شد. برخلاف قند نامحلول، محتوای قند محلول و پرولین برگ که دو تنظیم‌کننده 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 برگ پتاسیم سولفات با افزایش غلظت پتاسیم و به دنبال آن تعدیل نسبت پتاسیم به سدیم سلولی به افزایش غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در مقایسه با بوته‌های تیمار نشده با این کود منجر شد. در مجموع، 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

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

مقدمه

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 گلاسیسین 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 دوره‌گه 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. علاوه بر تنظیم‌کننده‌های اسمزی، وضعیت عناصر تغذیه‌ای در بدنه گیاه نقش مهمی در بهبود

تنش شوری، یکی از عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان است. با تغییر اقلیم، افزایش خشکی و کم‌آبی و سوء مدیریت و کاربرد بی‌رویه 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، فاصله 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 از حد آنها اختلال فیزیولوژیک شدید را سبب می‌شود (James *et al.*, 2011). در مدت شروع تنش شوری و توسعه آن در گیاه، همه فرایندهای اصلی و

درزمینه 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 درباره اثر پتاسیم سولفات در پاسخ مورفو-فیزیولوژیک انگور در تنش شوری وجود دارد. باتوجه به وظایف چندگانه 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 بی‌دانه سفید، یکی از ارقام غالب در برخی مناطق کشور و در دسترس برای تازه‌خوری و تهیه کشمش، برای اعمال تیمارهای شوری و تغذیه‌ای استفاده شد تا آثار تنش شوری در صفات مورفومتری و فیزیولوژیک از جمله نشت

ظرفیت مواجهه گیاهان با شرایط نامساعد محیطی مانند تنش شوری، خشکی، سرما و غیره دارد (Kaya et al., 2006; Karimi, 2017; Ranjbar et al., 2017). علاوه بر 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 فعال کردن آنزیم‌ها دارد (Cherel, 2004). تولید زیاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجادشده بر اثر تنش شوری به آسیب غشاء منجر می‌شود و به دنبال آن نشت پتاسیم از سلول‌ها به دلیل فعال کردن 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 خشک شدن گیاه منجر می‌شود (James et al., 2011). در واقع بین جذب سدیم و پتاسیم رقابت شدیدی وجود دارد (Kaya et al., 2006). سدیم و پتاسیم به دلیل تشابه شعاع یونی و انرژی هیدراسیون آنها که دو عامل تعیین‌کننده چگونگی ورود این دو یون از پروتئین‌های غشایی به سلول هستند و نیز به علت روابط ترمودینامیکی مشابه بر میزان جذب یکدیگر مؤثر هستند (Kaya et al., 2009; Kholova et al., 2006). از سویی باتوجه به 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

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 بان‌کی‌میا، 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 دوره 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 به صورت توده یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد؛ سپس عصاره به دست آمده با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (مدل R 320 Universal، شرکت Hettich، آلمان) و محلول رویی برداشته شد و جذب نور آن در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (بیشترین جذب نور کلروفیل a)، ۶۴۵ نانومتر (بیشترین جذب نور کلروفیل b) و ۴۷۰ نانومتر (بیشترین جذب نور کاروتنوئید) با دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Spekol 2000، شرکت Analytic Jena، آلمان) و با شاهد استون ۸۰ درصد خوانده شد. غلظت هر یک از رنگیزه‌ها در عصاره برحسب میلی‌گرم در لیتر با روابط ۱ تا ۴ محاسبه شد (Lichtenthaler, 1987).

رابطه ۱

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

رابطه ۲

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 به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار (دو گل‌دان در هر تکرار) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر اجرا شد. بوته‌های یک‌ساله انگور رقم بی‌دانه سفید در گل‌دان‌های ۶ لیتری با ابعاد ۲۵، ۲۲ و ۱۵ سانتی‌متر به ترتیب برای ارتفاع، قطر دهانه و قطر ته گل‌دان و حاوی ماسه، خاک و کود دامی به نسبت حجمی مساوی در گلخانه با دامنه دمایی ۲۲ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد در شرایط نوری اردیبهشت تا مرداد ماه قرار گرفتند. در دوره رشد نهال‌ها، برای تغذیه پایه از کود ۲۰-۲۰-۲۰ (نیتروژن، فسفر، پتاسیم) با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر به صورت هفتگی تا رسیدن به مرحله ۱۵ برگگی (حدوداً دو ماه پس از کاشت در گل‌دان) استفاده شد. در این مرحله تیمارهای شوری به صورت 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 به دلیل افزایش شاخه و برگ و افزایش نیاز آبی گیاه، هر سه روز یک‌بار انجام شد. در انتهای هفته چهارم از برگ‌های بالایی کاملاً توسعه یافته تاک‌ها (برگ‌های گره‌های ۳ تا ۶) برای اندازه‌گیری‌های

آماس برگ‌ها تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، قطعات برگ به مدت ۲۴ ساعت در آون (مدل ۳۵ لیتری هوشمند، شرکت شیماز، ایران) با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. محتوای آب نسبی برحسب درصد از رابطه ۶ زیر به دست آمد (Kirmak *et al.*, 2001).

رابطه ۶

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

برای استخراج پرولین ابتدا نیم‌گرم از بافت منجمد شده 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. عصاره استخراج شده به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. برای اندازه‌گیری پرولین هر نمونه، یک میلی‌لیتر عصاره با ۹ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد. به محلول یاد شده ۵ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین (۰/۱۲۵ گرم نین هیدرین، ۲ میلی‌لیتر فسفریک اسید ۶ مولار و ۳ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال) و ۵ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال اضافه و پس از تکان دادن جزئی، به مدت ۴۵ دقیقه درون حمام بخار (مدل WNB14، شرکت Memmert، آلمان) با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خنک کردن نمونه‌ها در آب یخ، 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 طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد (Bates *et al.*, 1973). غلظت پرولین براساس نمودار استاندارد

$$\text{Chl}_a = (12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})$$

رابطه ۳

$$\text{Chl}_b = (25.8 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})$$

رابطه ۴

$$\text{Chl}_{\text{total}} = (20.21 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})$$

در رابطه‌های بالا، A_{663} ، A_{645} و A_{470} به ترتیب، میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر هستند. در نهایت، غلظت کلروفیل کل در عصاره برحسب میلی‌گرم در لیتر بیان شد.

برای اندازه‌گیری نشت یونی، نمونه‌های برگ (به اندازه یک دایره به شعاع ۱ سانتی‌متر) در قوطی‌های حاوی ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر، غوطه‌ور شدند و به مدت 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 به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو (مدل ۷۵ لیتری، شرکت ریحان طب، ایران) شدند. پس از سرد شدن تدریجی، هدایت الکتریکی آنها دوباره خوانده (هدایت الکتریکی ثانویه) و در نهایت درصد نشت یونی با رابطه ۵ محاسبه شد (Campos *et al.*, 2003).

رابطه 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 آب مقطر (۲۴ ساعت در یخچال) وزن

برگ‌های میانی شاخه‌ها نمونه‌های برگ‌ی سالم جمع‌آوری و در آزمایشگاه با آب مقطر شستشو شدند. نمونه‌های برگ در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و آسیاب شدند. پس از تهیه 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 نترات 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 به دست آمده در الگوی آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با برنامه GLM نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9.1.3 تجزیه واریانس شدند. مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ ترسیم شدند.

نتایج و بحث

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

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

استخراج قندهای محلول، مشابه با پرویلن بود. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی به دست آمده با ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون و ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۷۲ درصد) مخلوط شد. برای شروع واکنش رنگ‌گیری، لوله‌ها به مدت ده دقیقه در حمام آب گرم ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن، میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد (Irigoyen *et al.*, 1992). غلظت قندهای محلول براساس نمودار استاندارد گلوکز تعیین و به صورت میلی‌گرم در گرم وزن تر بیان شد. برای استخراج قندهای نامحلول از رسوبات باقی‌مانده از نمونه‌های استفاده شده برای قندهای محلول پس از سانتریفیوژ (مدل 5810R، شرکت Eppendorf، آلمان) و حذف عصاره الکلی در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر محلول شد (Dubois *et al.*, 1956)؛ سپس مخلوط به دست آمده با کاغذ صافی پالایش شد و رسوبات باقیمانده دوباره با ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر محلول و به مدت ۱۰ دقیقه جوشانده و دوباره پالایش شد و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید. ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره مربوطه با دو میلی‌لیتر آب مقطر و یک میلی‌لیتر محلول فنل ۵ درصد مخلوط شد؛ سپس به هر لوله پنج میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ به آرامی اضافه و پس از ۳۰ دقیقه میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد.

برای استخراج و اندازه‌گیری غلظت عناصر، از

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 در نهایت کاهش رشد را موجب می‌شود (Ahmed et al., 2015).

درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین اثر متقابل این دو تیمار در سطح و تعداد برگ ($P < 0/05$) و نیز ارتفاع و رشد دوباره بوته‌ها ($P < 0/01$) معنی‌دار بود (جدول ۱). در هر دو 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

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

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				سطح برگ	تعداد برگ	ارتفاع بوته	رشد دوباره	محتوای نسبی آب	نشت یونی
		سطح برگ	تعداد برگ	ارتفاع بوته	رشد دوباره						
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*	۲۸/۷**				
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 * به ترتیب بیان‌کننده اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند.

در ۴۰/۳۶ سانتی‌متر، ۳۶/۶، ۵۵/۳۳ سانتی‌متر مربع و ۸۴/۳۳ درصد به ترتیب 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 به ترتیب 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،

در همه 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 باتوجه به جدول ۲، اعمال تیمار پتاسیم سولفات علاوه بر افزایش میزان همه شاخص‌های رشد بررسی شده، میزان اثر سوء تنش شوری را به طور معنی‌داری کاهش داد؛ به طوری که کمترین مقدار همه شاخص‌ها در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و تیمار پتاسیم سولفات صفر (برابر با

پتاسیم سولفات در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود و با کاهش شوری تأثیر پتاسیم سولفات نیز کاهش یافت؛ به طوری که در شوری صفر میلی‌مولار، مصرف کود پتاسیم سولفات به ترتیب افزایش ۴، ۳، ۰/۴ و ۲ درصدی ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوباره را موجب شد؛ در حالی که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، پتاسیم سولفات، شاخص‌های یادشده را به ترتیب 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.

تعداد گره، فاصله 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). تیمار پتاسیم سولفات صفر، با افزایش شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و رشد دوباره به ترتیب ۳۱، ۳۰، ۲۰ و ۱۲ درصد کاهش یافتند؛ در حالی که با مصرف کود پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد، میزان کاهش این تیمارها با شوری به ترتیب برابر با ۹، ۲۵، ۱۳ و ۱۱ درصد بود (جدول ۲) که این نتایج بیان‌کننده اثر مثبت پتاسیم سولفات در این شاخص‌های رشدی به‌ویژه ارتفاع بوته‌ها بود. بیشترین اثر تعدیل‌کنندگی

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

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

مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ هستند.

تنش شوری و بهبود عملکرد گیاه مشاهده شدند (James *et al.*, 2011). همچنین نقش پتاسیم در سنتز کربوهیدرات، تجزیه، انتقال و سنتز پروتئین‌ها

با افزایش غلظت یون پتاسیم و تنظیم اسمزی؛ جذب آب، میزان شاخه و برگ، کلروفیل و به‌دنبال آن میزان فتوسنتز افزایش یافتند و به‌طور کلی کاهش

و سلول است (Campos *et al.*, 2003; Karimi, 2017).

براساس نتایج، کاربرد برگ پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد، میزان نشت یونی برگ را در مقایسه با بوته‌های تیمارنشده با این کود کاهش داد؛ به طوری که 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 دانه‌های پسته رقم بادامی ریز زرنند 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 نتیجه دوام در شرایط شوری است (Chen *et al.*, 2007).

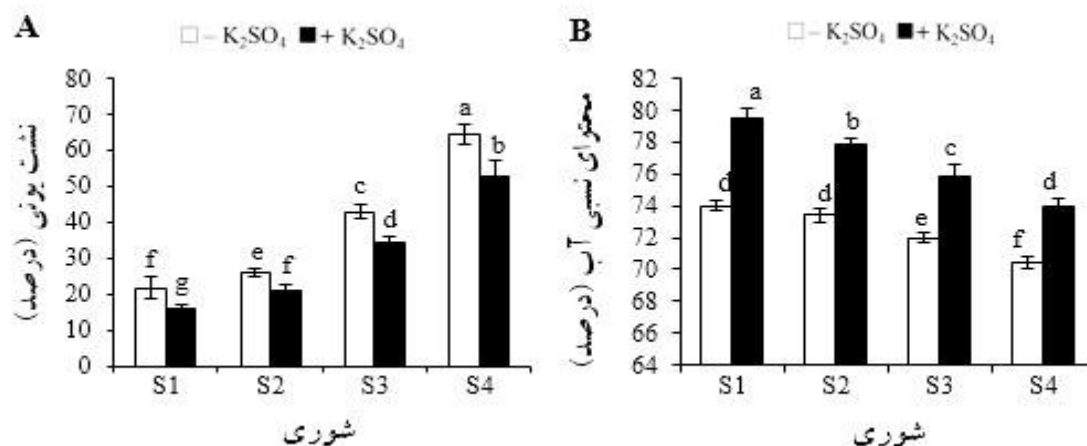
محتوای نسبی آب: مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، تیمارهای شوری و پتاسیم

و خنثی کردن فیزیولوژیک اسیدهای آلی مهم است. اگرچه پتاسیم، تشکیل‌دهنده مولکول‌های کاربردی یا سازه‌های گیاهی نیست، در فرایندهای متعدد بیوشیمیایی مانند فعال‌کردن آنزیم‌ها و فرایندهای فیزیولوژیک حیاتی از جمله 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 تیمارشده انگور بی‌دانه سفید در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تغییرات میزان نشت یونی به صورت تابعی از شوری، در شکل ۱ - A نشان داده شده‌اند. نتایج نشان دادند کمترین مقدار نشت یونی (۱/۱۶ و ۲۱/۷ درصد به ترتیب 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 (۲/۶۴ و ۷/۵۲ درصد به ترتیب 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) افزایش شوری نشت یونی افزایش یافت. افزایش نشت یونی در تنش شوری به دلیل 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 وارد شده به غشا

یافت و در نهایت در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به کمترین مقدار خود (۷۰/۴ و ۷۳/۹ درصد به ترتیب در تیمار پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد) رسید (شکل ۱- B)؛ البته محتوای نسبی آب در بوته‌های تیمار شده 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 در نهایت کاهش محتوای آب نسبی را موجب می‌شود (Grattana and Grieve, 1999; Walker, 1994).

سولفات اثر معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ انگور بی‌دانه 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 هر دو مقدار پتاسیم سولفات با افزایش شوری، محتوای نسبی آب به شدت کاهش



شکل ۱- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد در نشت یونی (A) و محتوای نسبی آب (B) برگ انگور بی‌دانه 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 \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ هستند.

بررسی (Marchner, 2012; Mengel, 2007). شکل ۱- B به خوبی نقش یون پتاسیم را در کاهش اثر سوء تنش شوری نشان می‌دهد؛ به طوری که 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

بر اساس شکل ۱- B، پتاسیم سولفات به طور معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد؛ به طوری که در همه 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

روزنه قرار گیرد در عملکرد این سلول‌ها اثر می‌گذارد و و بازوبسته شدن آنها به طور مناسبی انجام می‌شود. در نتیجه این وضعیت، آب سلول به صورت بخار از دست نمی‌رود و در نهایت 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 تغذیه شده 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 به طوری معنی‌داری اثر گذاشت که تأثیر آن در کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید ($P < 0/01$) بیشتر از کلروفیل b ($P < 0/01$) بود (جدول ۳).

درصد) بود. مقایسه 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؛ در حالی که 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 تغذیه پتاسیم سیلیکات ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در ترکیب با پتاسیم سولفات ۲ درصد هم‌خوانی داشتند. در تنش شوری، تجمع یون پتاسیم درون ریشه گیاهان، شیب فشار اسمزی به وجود می‌آورد که موجب می‌شود با وجود کمبود پتانسیل آب خاک، آب به ریشه‌ها کشیده شود. به این ترتیب در این شرایط، جذب آب افزایش می‌یابد و آثار نامطلوب شوری را کاهش می‌دهد. همچنین اگر مقادیر کافی یون پتاسیم در اختیار سلول‌های نگهبان

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

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

ns، ** و * به ترتیب بیان‌کننده معنی‌دار نبودن، اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند.

بود (جدول ۵). به عبارت دیگر پتاسیم سولفات ۲۰ درصدی کلروفیل a و ۶ درصدی محتوای ۱/۵ درصد در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پایداری کلروفیل b را باعث شد که بیان‌کننده اثر جدول ۵- تجزیه واریانس اثر کاربرد بر گی پتاسیم سولفات در غلظت قندهای محلول و نامحلول و پرولین برگ انگور بی‌دانه سفید در تنش شوری

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

** و * به ترتیب بیان‌کننده اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند.

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 به ترتیب برابر ۲۵ و ۴۷ درصد در مقادیر پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد بود که نشان‌دهنده اثر منفی و معنی‌دار سدیم در این ترکیب است (جدول ۴). کاروتنوئیدها از رنگیزه‌های فتوسنتزی هستند که میزان آنها بر اثر تنش شوری به دلیل تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن در برگ (Parida and Das, 2005) و بازدارندگی نوری (Akcin and Yalcin, 2016) به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. مقایسه دو مقدار مختلف تیمار پتاسیم سولفات نشان داد این عنصر اثر معنی‌داری در میزان کاروتنوئید داشت و افزایش این ترکیب را در همه مقادیر شوری موجب شد (جدول ۴). بیشترین اثر پتاسیم سولفات در شوری صفر مشاهده شد (افزایش ۲۳ درصدی). با افزایش شوری نقش

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 هر دو رقم موجب شد (Azizi et al., 2017). یکی دیگر از آثار سوء شوری در گیاهان، بر هم زدن تعادل عناصر غذایی از جمله پتاسیم است. پتاسیم عنصر سیتوپلاسمی ضروری است و به علت 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 به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Yildirim et al., 2009).

بیشترین میزان کاروتنوئید موجود در برگ انگور بی‌دانه سفید در تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵

همچنین مقایسه دو مقدار پتاسیم سولفات، نشان داد در همه غلظت‌های شوری با اعمال کود پتاسیم سولفات نسبت کلروفیل a به کلروفیل b کاهش یافت. این نتایج نشان‌دهنده 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 تیمار شده 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 محلول‌پاشی شده 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 از لحاظ اسمزی خنثی هستند. به همین دلیل 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 تیمار شده ممکن است با نقش این عنصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده نشاسته مانند آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز (Cakmak, 2005; Mengle, 2007) مرتبط باشد که افزایش قندهای محلول، پایداری غشاء و در نتیجه افزایش تحمل به شوری تاک‌ها را باعث

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) نشان‌دهنده نقش پتاسیم در پایداری رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش سرعت فتوسنتز در تنش شوری مطابقت دارد. در واقع 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 در نتیجه به پایداری بیشتر رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کاروتنوئید در تاک‌های در معرض تنش شوری منجر شد.

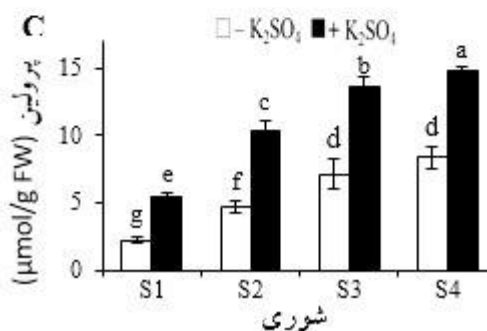
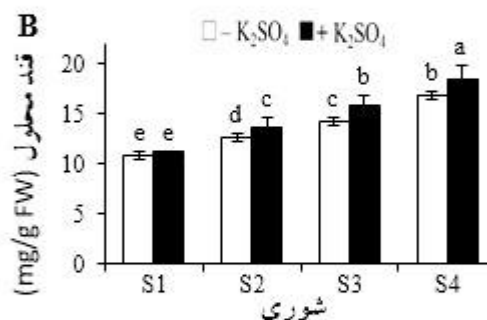
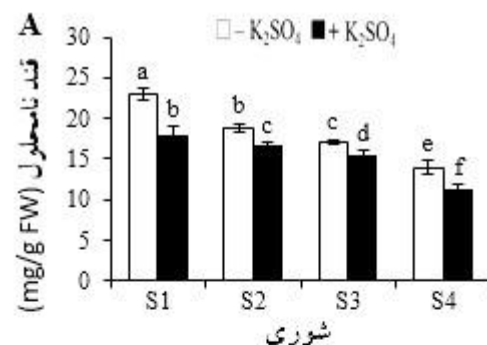
اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات در نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در برگ انگور بی‌دانه سفید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اثر شوری در این شاخص معنی‌دار نبود؛ ولی اثر متقابل پتاسیم سولفات و شوری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). روند کلی تغییرات نسبت کلروفیل a به b در تنش شوری، افزایشی بود و 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 به دلیل 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.

معنی‌دار بودند (جدول ۵). به‌طور کلی 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 رابطه 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 دوره‌ی 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 از جمله قندها یکی از واکنش‌های تنظیمی مهم گیاهان در پاسخ به تنش شوری است (Gupta and Huang, 2014)؛ به‌طوری‌که گیاه محلول‌های سازگار از جمله قندهای محلول را در واکنش و سیتوپلاسم انباشته می‌کند تا با حفاظت و تعدیل اسمزی؛ جذب آب، ذخیره 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).

شده است (Sivritepe and 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 تیمار شده



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 بی‌دانه 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، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P \leq 0/05$ هستند.

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 به دلیل وجود پیش‌ماده (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 سلیکات و پتاسیم سولفات افزایش معنی‌دار غلظت پرولین برگ و ریشهٔ دانهاال‌های 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 از جمله 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

(1999; Parida and Das, 2005).

در تاک‌های محلول‌پاشی شده 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 سلیکات و پتاسیم سولفات افزایش معنی‌دار غلظت قندهای محلول برگ و ریشهٔ دانهاال‌ها 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 بیشتر شدن شوری چشمگیرتر شد (شکل ۲- B). به عبارت دیگر به دلیل 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)،

(جدول ۶).
سدیم و پتاسیم: همان‌طور که 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 همه 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).

آلی در دوران بهبودی پس از تنش است (Fozouni *et al.*, 2012). با توجه به نقش پتاسیم در فعال کردن آنزیم‌ها از جمله آنزیم دلتا ۱- پیرولین ۵- کربوکسیلات سنتتاز که نقش کلیدی در بیوسنتز پیرولین دارد (Strizhov *et al.*, 1997)، ممکن است کاربرد برگ‌گی پتاسیم سولفات در پژوهش حاضر با تأثیر در فعالیت این آنزیم به افزایش غلظت پیرولین در برگ بوته‌های تیمار شده 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- تجزیه واریانس اثر کاربرد برگ‌گی پتاسیم سولفات در میزان سدیم، پتاسیم، نیترات، کلسیم و منیزیم برگ انگور بی‌دانه سفید در تنش شوری

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

** و * به ترتیب بیان‌کننده اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند.

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 ریشه گیاه کاهش ولی مقدار سدیم را افزایش داد (Razavizadeh and

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 به‌دنبال آن، افزایش غلظت این یون در شیره سلولی همان‌طور که انتظار می‌رفت غلظت

تعداد بعضی از عناصر غذایی در خاک کمک می‌کند (Karimi, 2017)؛ بنابراین می‌توان بیان کرد با افزایش میزان یون پتاسیم، این یون برای جذب از ریشه 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، نشان‌دهنده وجود تنظیم اسمزی سلول‌ها و حفظ آماس سلولی است (Mengel, 2007).

(Mohagheghiyani, 2015). اگرچه سدیم ممکن است تاحدودی آماس سلولی را حفظ کند، وظایف فیزیولوژیک مرتبط با پتاسیم مانند ساخت پروتئین‌ها و فعال کردن 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

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

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

مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ هستند.

در محلول خاک برای جذب شدن از ریشه گیاه مربوط باشد؛ به طوری که با افزایش شوری و غلظت یون کلر، گیاه برای جذب نیترات با مشکل مواجه می‌شود و نمی‌تواند این یون را به میزان کافی از خاک جذب کند (Chen et al., 2007). همچنین با افزایش شوری، گسترش ریشه‌ها کاهش یافت؛ بنابراین از میزان جذب آب و به دنبال آن جذب

نیترات: براساس نتایج، به طور کلی شوری کاهش غلظت نیترات برگ انگور بی‌دانه سفید را موجب شد و در هر دو مقدار پتاسیم سولفات، کمترین غلظت نیترات (۰/۰۱۴ و ۰/۰۲۳ درصد به ترتیب برای پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد) مربوط به شوری ۱۰۰ میلی مولار بود (جدول ۷) که علت آن ممکن است به رقابت بین یون کلر با نیترات موجود

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 در زمینه 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 اسیدیته مناسب درون سلولی ارتقای جذب عناصر غذایی را از جمله کلسیم و منیزیم موجب می‌شود (Rehm and Schmitt, 2002; Yildirim *et al.*, 2009). در واقع به دلیل نقشی که کلسیم در ساختار دیواره سلولی به صورت کلسیم پکتات دارد، افزایش غلظت آن در پاسخ به کاربرد برگ‌گی پتاسیم سولفات تأییدی بر پایداری بیشتر غشا و در نتیجه نشت یونی کمتر است (Gupta and Huang, 2014). به عبارت دیگر افزایش مقدار کلسیم در تیمار پتاسیم به‌ویژه در دیواره 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 به شدت کاسته شد (جدول ۷). در شوری‌های زیاد به‌ویژه

عناصر غذایی به‌ویژه عناصر پرمصرف به شدت 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 به دلیل 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.

مقایسه غلظت یون نیترات موجود در برگ انگور در همه تیمارها نشان‌دهنده 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 جذب شدن 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 از جمله نیترات بهبود می‌دهد (Cakmak, 2005; Gupta and Huang, 2014).

کلسیم: روند کلی تغییرات غلظت کلسیم با شوری به صورت 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).

این نسبت در تاک‌های محلول‌پاشی شده با پتاسیم سولفات به مراتب 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). در واقع 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 تیمار شده با این عنصر را باعث شد.

وجود غلظت‌های بهینه و کافی عناصر غذایی در پیکره گیاه با حفظ نفوذپذیری غشاء، افزایش پتانسیل اسمزی، حفظ آماس سلولی، باز و بسته شدن 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. علاوه بر 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.

غلظت زیاد یون سدیم و از بین رفتن تعادل غلظت عناصر در خاک، به دلیل تشابه حامل‌های جذب منیزیم و سدیم در ریشه، جایگاه‌های اتصال، بیشتر با سدیم اشغال شدند و به این ترتیب 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؛ به طوری که غلظت منیزیم در همه غلظت‌های شوری در تیمار پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد به طور 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؛ به طوری که 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). با وجود رقابت برای جذب پتاسیم و منیزیم ممکن است ایجاد تعادل و تنظیم اسمزی ایجاد شده با پتاسیم و تسهیل انتقال عناصر به‌ویژه در تنش شوری که عناصر با مشکل جذب روبه‌رو هستند، از دلایل توجیه‌کننده 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 تیمار شده با پتاسیم سولفات این نسبت بیشتر بود و با افزایش غلظت شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار این نسبت کاهش یافت. با وجود روند کاهشی این نسبت با افزایش غلظت شوری، مقدار

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., Boukhriess, 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.

جمع‌بندی

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

سپاسگزاری

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

منابع

- 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, phosphorus 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 Horticulturae* 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 Science 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., Esmaeilzadeh, 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 Zaranj Kerman under salinity stress. Iranian Journal of Horticultural Science 47: 739-752 (in Persian).
- Razavizadeh, R. and Mohagheghian, N. (2015) An investigation of changes in antioxidant enzymes activities and secondary metabolites of thyme (*Thymus vulgaris*) seedlings under *in vitro* salt stress. Iranian Journal of Plant Biology 26: 41-58 (in Persian).
- 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.