

تأثیر سیلیکات پتاسیم بر کاهش تجمع بُر و آسیب‌های اکسایشی در انگور بیدانه سفید در شرایط تنش سمیت بُر

سمیه نظام‌دوست^۱، علیرضا فرخزاد^{۲*} و میرحسن رسولی صدقیانی^۳

۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار گروه علوم باغبانی و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۶)

چکیده

تنش ناشی از سمیت بُر از مهم‌ترین اختلال‌ها در نواحی خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. تیمار سیلیسیم یکی از روش‌های افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزنده است. برای ارزیابی تأثیر سیلیسیم بر کاهش سمیت بُر در انگور بیدانه سفید، آزمایشی با سه سطح بُر (۰، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) و سه سطح سیلیکات پتاسیم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. سه ماه پس از اعمال تیمارها، میزان تجمع بُر، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، پرولین، مالون دی آلدئید، قند و پروتئین محلول و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، با افزایش غلظت بُر در محلول غذایی، میزان تجمع بُر، نشت یونی، محتوای پرولین، مالون دی آلدئید و پروتئین محلول برگ افزایش و محتوای نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز کاهش یافت. کاربرد سیلیکات پتاسیم به‌طور معنی‌داری میزان تجمع بُر، مالون دی آلدئید و نشت یونی در برگ را کاهش و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز و محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. تیمارها تأثیر معنی‌داری بر محتوای قندهای محلول نداشتند. در تنش ۳۰ میلی‌گرم در لیتر بُر، با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم میزان تجمع بُر ۳۳ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک برگ کاهش یافت. نتایج نشان داد، تیمار سیلیکات پتاسیم با کاهش تجمع بُر در برگ‌ها، تنش‌های اکسایشی (اکسیداتیو) ناشی از سمیت بُر را در نهال‌های انگور بیدانه سفید تعدیل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پروتئین محلول، تنش بُر، کشت هیدروپونیک، نشت یونی، ویژگی‌های بیوشیمیایی.

Effect of potassium silicate on reduction of boron accumulation and oxidative damages in grape (*Vitis vinifera* cv. 'Bidaneh Sefid') under boron toxicity stress

Somayeh Nezamdoost¹, Alireza Farokhzad^{2*} and Mir Hassan Rasouli-Sadaghiani³

1, 2, 3. Former M. Sc. Student, Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
(Received: Jan. 18, 2016 - Accepted: Apr. 25, 2016)

ABSTRACT

Stress induced by boron toxicity is one of the main problems in the arid and semi-arid area. One of the methods for increasing plant resistance to abiotic stresses is silicon treatment. In order to study the effect of silicon on boron toxicity reduction in 'Bidaneh Sefid' grape saplings, an experiment was conducted with three concentrations of boron (0.2, 15 and 30 mg/l) and potassium silicate (0, 50 and 100 mg/l) in factorial arrangement based on randomized complete block design with three replications. Three months after the treatments, accumulation of boron, relative water content, ion leakage, proline, malondialdehyde, soluble sugars, soluble protein and guaiacol peroxidase enzyme activity was measured. The results showed that accumulation of boron, ion leakage, proline and malondialdehyde content, soluble sugars and total soluble protein of leaves increased with increasing boron concentration but relative water content and guaiacol peroxidase enzyme activity decreased. Potassium silicate application significantly reduced the accumulation of boron, malondialdehyde content and ion leakage in leaves and increased guaiacol peroxidase enzyme activity and leaf relative water content. None of the treatments had a significant effect on soluble sugar content. Boron accumulation in 30 ppm boron treatment was decreased 33 mg per kilograms dry weight by 100 mg/l potassium silicate application compared to the same treatment with zero ppm potassium silicate concentration. The results showed that grape saplings treatment with 100 mg/l potassium silicate alleviates oxidative damage caused by boron toxicity by reducing boron accumulation in leaves.

Keywords: Biochemical characteristics, boron stress, hydroponic culture, ion leakage, soluble protein.

* Corresponding author E-mail: a.farokhzad@urmia.ac.ir

مقدمه

انگور (*Vitis vinifera*) گیاهی چند ساله بوده که برای رشد به تابستان‌های گرم و خشک نیاز دارد. به دلیل نیاز آبی به نسبت پایین انگور در مقایسه با دیگر درختان میوه، کشت و کار آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان گسترش یافته است (Yermiyahu & Ben-Gal, 2006). سمیت بُر و آسیب ناشی از آن از مهم‌ترین اختلال‌ها در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌آید. در این مناطق به علت بارندگی کم و تبخیر بالا، بُر به‌اندازه کافی شسته نشده و در خاک تجمع می‌یابد (Yermiyahu & Ben-Gal, 2006).

مقادیر بیش‌ازحد بُر با تأثیر فیزیولوژیکی منفی مانند کاهش تقسیم یاخته‌ای و رشد ریشه، افزایش نشت غشاء، رسوب لیگنین و سوپرین، کاهش خروج پروتون از ریشه، تغییر فعالیت مسیرهای پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) و تنش اکسایشی (اکسیداتیوی) همراه است (Ardic *et al.*, 2009). تغییر دیواره یاخته‌ای، توقف سوخت‌وسازی (متابولیکی) با ترکیب شدن با ترکیب‌هایی همانند آدنوزین تری فسفات، توقف تقسیم و گسترش یاخته‌ای به‌وسیله ترکیب شدن با قندهایی مانند ریبوز، در سمیت بُر گزارش شده است (Herrera-Rodriguez *et al.*, 2010).

میزان بُر در خاک‌های ایران بین ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. حد مطلوب عنصر بُر در خاک باغ‌های انگور حدود ۱-۲ قسمت در میلیون (پی‌پی‌ام) است (Tabatabaei, 2009). انگور جزء گیاهان حساس به بُر بالا بوده و آستانه تحمل آن در حدود ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر آب آبیاری است (Esmaili & Yermiyahu & Ben-Gal, 2006). Rahmani (2012) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، حد متوسط عنصر بُر در برگ انگور ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است. در غلظت‌های بالاتر بُر، نشانه‌های سمیتی چون بافت‌مردگی (نکروز) و سبزروی (کلروز) و نیز کاهش رشد و عملکرد نورساختی (فتوسنتزی) مشاهده می‌شود (Yermiyahu & Ben-Gal, 2006). غلظت‌های بدون آسیب و زیان بُر در آب آبیاری برای درختان حساس انگور، آووکادو

و سیب حدود ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر آب آبیاری است (Oraei *et al.*, 2012).

در شرایط سمیت بُر، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد. این گونه‌های فعال اکسیژن، اکسیدکننده‌های قوی بوده و به پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک آسیب رسانده و منجر به مرگ یاخته می‌شوند (Molassiotis *et al.*, 2006). افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب‌های اکسایشی در پایه‌های سیب در شرایط سمیت بُر نشان داده شده است (El-Feky *et al.*, 2006). Molassiotis *et al.* (2006) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، در شرایط سمیت بُر میزان پروتئین‌های کل افزایش می‌یابد. نتایج بررسی‌های دیگر پژوهشگران نیز نشان داده است، بین تنش ناشی از سمیت بُر و انباشت اسیدآمینه‌هایی مانند پرولین همبستگی وجود دارد (Cervilla *et al.*, 2012). در انگور نشان داده شده است که در شرایط تیمار میزان بالای بُر (۲۰ و ۳۰ قسمت در میلیون)، میزان پرولین به‌طور معنی‌داری کاهش و مالون دی‌آلدئید افزایش یافت (Gunes *et al.*, 2006). Rostami *et al.* (2013) در نتایج بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف بُر (۰/۲، ۰/۳، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) روی ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی دو رقم زیتون نشان دادند، با افزایش غلظت بُر، ویژگی‌های رویشی، شاخص سبزینه (کلروفیل) و کارایی نظام نوری (فتوسیستم II) کاهش می‌یابد. اختلال در فرآیندهای رشدی و جذب عنصرهای غذایی در رقم‌های بادام در شرایط سمیت بُر (۲۰ میلی‌گرم در لیتر) (Oraei *et al.*, 2012) و افزایش تجمع بُر و کاهش شاخص‌های رویشی در دو رقم پرتغال (Sheng *et al.*, 2008) با افزایش بُر نیز گزارش شده است.

هرچند سیلیسیم عنصری ضروری در گیاهان نیست (Guntzer *et al.*, 2012) اما بررسی‌های چندی نشان داده، تأثیر مثبتی در بهبود رشد و عملکرد گیاه به‌ویژه در شرایط تنش دارد (Balakhnina & Borkowska, 2013). این عنصر باعث بهبود تعادل مواد غذایی، کاهش سمیت مواد کانی، بهبود ویژگی‌های مکانیکی بافت‌های گیاهی و افزایش

در گلدان کاشته شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه سطح بُر از منبع اسید بوریک (۰/۲، ۱۵ و ۳۰ میلی گرم در لیتر) و سه سطح سیلیکات پتاسیم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) در سه تکرار به اجرا درآمد. چهل روز پس از رشد نهال‌ها و پس از گذراندن مرحله سازگاری در گلخانه با شرایط نوری ۱۶ ساعت طول روز و دمای کمینه و بیشینه به طور میانگین ۱۹ و ۳۸ درجه سلسیوس و تأمین روشنایی مورد نیاز با تابش طبیعی نور آفتاب، تیمارهای آزمایشی همراه با محلول غذایی Rorison به مدت سه ماه اعمال شد. برای افزایش جذب عنصرهای غذایی pH محلول‌ها در طول مدت آزمایش در محدوده ۶/۵ تنظیم شد.

اندازه‌گیری پرولین

عصاره الکلی ۰/۵ گرم برگ تر انگور بیدانه سفید بر پایه روش (Irigoyen *et al.*, 1992) در اتانول ۹۵ درصد استخراج شد و غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از نین‌هیدرین در دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفوتومتر مدل USA The JASCO FP-8000) در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Paquin & Lechasseur, 1979).

قندهای محلول کل

۳ میلی لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی گرم آنترون + ۱۰۰ میلی لیتر اسیدسولفوریک ۷۲ درصد) به ۰/۱ میلی لیتر از عصاره الکلی نگهداری شده در یخچال اضافه شد و میزان قندهای محلول نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری (مدل USA The JASCO FP-8000) اندازه‌گیری شد (Irigoyen *et al.*, 1992).

پروتئین محلول کل

برای تعیین میزان پروتئین محلول کل، ۱۰۰ میلی گرم کومایسی بلو را با ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد حل کرده پس از آن با اضافه کردن ۱۰۰ میلی لیتر اسید فسفریک ۸۵ درصد به حجم ۱ لیتر رسانیده و از کاغذ صافی عبور داده شد. ۲/۵ میلی لیتر از محلول

مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده می‌شود (Liang *et al.*, 2007). تحقیقات نشان داده، سیلیسیم باعث کاهش تأثیر سمیت منگنز، آلومینیم و شوری شده است (Epstein, 1999). در گیاه توت‌فرنگی تأثیر غلظت‌های ۰، ۱ و ۲ میلی مولار سیلیسیم بر ویژگی‌های رشدی گیاه در شرایط تنش شوری ارزیابی و نشان داده شده است که با کاربرد سیلیسیم سطح و شمار برگ و همچنین عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری افزایش می‌یابد (Seyyedlar Fatemi *et al.*, 2009). Haghghi & Pesaraki (2013) تأثیر مثبت غلظت‌های ۱ و ۲ میلی مولار سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های رویشی و نورساختی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری را نشان دادند. کاربرد سیلیسیم در گیاهان اسفناج در شرایط تنش بُر با افزایش سازوکارهای پاداکسندگی و کاهش آسیب‌پذیری غشایی، مقاومت آن‌ها به تنش بُر را افزایش داد (Eraslan *et al.*, 2008). سیلیسیم با تغییر فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده، نقش سودمندی در تحمل به سمیت منگنز در خیار (Shi *et al.*, 2005) سمیت بُر در گیاه اسفناج (Gunes *et al.*, 2007) و سمیت کادمیوم در بادام‌زمینی و ذرت (Shi *et al.*, 2010) ایفا می‌کند. سیلیسیم در نگهداری آب یاخته دخیل بوده و همین امر باعث ایجاد تحمل و افزایش رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود (Romero-Aranda *et al.*, 2006).

با توجه به سطح زیر کشت بالای انگور بیدانه سفید در سطح کشور و به‌ویژه استان آذربایجان غربی (Ranjbarani *et al.*, 2011) و اهمیت توجه به سمیت بُر، این پژوهش برای بررسی تأثیر سیلیکات پتاسیم و سطوح مختلف بُر بر میزان تجمع بُر و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی نهال‌های این رقم در شرایط آبکشتی (هیدروپونیک) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت یک آزمایش گلدانی در سال ۱۳۹۳ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. قلمه‌های دوساله و ریشه‌دار شده انگور بیدانه سفید پس از هرس ریشه‌ها در بستری از پرلیت و ورمیکولیت به نسبت حجمی (۳ به ۱) در فروردین‌ماه

میانی پهنک برگ تهیه کرده و پس از توزین آن‌ها، در پتری دیش‌های درپوشدار حاوی آب مقطر به مدت ۴ ساعت در یخچال (۴ درجهٔ سلسیوس) و در تاریکی قرار داده شدند و پس از حذف رطوبت اضافی وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برش‌های برگ‌ها به آون (۷۰ درجهٔ سلسیوس) منتقل شده و پس از ۴۸ ساعت وزن خشک آن‌ها تعیین و محتوای نسبی آب برگ (برحسب درصد) با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد (Turner, 1981).

= محتوای نسبی آب برگ
 $100 \times \left[\frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}} \right]$

مالون دی آلدئید

یک گرم بافت تر توسط ۲/۵ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک اسید ۱۰ درصد ساییده شده و ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ ۸۰۰۰ دور در دقیقه گذاشته شد. حجم یکسان از عصاره و تیوباریوتوریک اسید (TBA) ۰/۵ درصد در تری‌کلرو استیک اسید ۲۰ درصد به درون لولهٔ آزمایش منتقل شده و ۳۰ دقیقه در حمام آب‌جوش ۹۶ درجهٔ سلسیوس قرار داده شد. جذب محلول به‌دست‌آمده با دستگاه طیف‌سنج نوری مدل (USA The JASCO FP-8000) در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد (Heath & Packe, 1968).

تجزیهٔ آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

نتایج به‌دست‌آمده به کمک نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۲ تجزیهٔ واریانس شده و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel سری ۲۰۰۷ انجام شد.

نتایج و بحث

پرویلین

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد، سطوح مختلف بُر، سیلیکات پتاسیم و اثر متقابل دو تیمار تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان پرویلین داشت (جدول ۱). نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد، با افزایش تنش بُر، میزان پرویلین در برگ‌ها

کومایسی بلو آماده‌شده با ۱۰۰ میکرولیتر عصارهٔ برگ‌ها از هر نمونه مخلوط و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد (Bradford, 1976).

آنزیم گایاکول پراکسیداز

برای تهیهٔ عصارهٔ گیاهی، ۰/۵ گرم برگ تر انگور بیدانهٔ سفید توسط ۳ میلی‌لیتر بافر تریس درون هاون سرد خوب ساییده شد (Kang & Saltveit, 2002). مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با $\text{pH} = 7$ ، ۱ میلی‌لیتر گایاکول ۱ درصد و ۱ میلی‌لیتر H_2O_2 ۱ درصد و ۰/۱ میلی‌لیتر عصارهٔ استخراجی بود. فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به‌صورت افزایش در طی یک دقیقه در طول موج ۴۹۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری (مدل USA The JASCO FP-8000) خوانده شد (Upadhyaya et al., 1985).

میزان بُر برگ

بُر در نمونه‌های گیاهی به‌وسیلهٔ خاکستر خشک اندازه‌گیری شد. ۰/۵ گرم بافت خشک برگ در دمای ۵۵۰ درجهٔ سلسیوس درون کوره به مدت ۴ الی ۶ ساعت سوزانده و تبدیل به خاکستر شد. برای اندازه‌گیری غلظت بُر از روش آزومتین اچ (azomethine-H) استفاده شد (Wolf, 1974).

نشت یونی برگ

برای اندازه‌گیری میزان نشت یونی برگ، شماری برگ به قطعه‌های ۱ سانتی‌متری تقسیم شده و پس از شستشو با آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجهٔ سلسیوس) در دستگاه لرزا (شیکر) نگهداری و پس از آن EC_1 خوانده شد. همان نمونه‌ها را در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجهٔ سلسیوس و به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده و پس از خنک کردن محلول و رساندن دمای آن به ۲۵ درجهٔ سلسیوس، EC_2 نیز خوانده شد. میزان نشت یونی به‌صورت درصد بیان شد (Lutts et al., 1996).

محتوای نسبی آب برگ

برش (دیسک)‌هایی به قطر ۸ میلی‌متر از قسمت

موجب تجمع پرولین در شرایط تنش می‌شود، به‌احتمال سیلیسیم از راه تأثیرگذاری بر فعالیت همین آنزیم‌ها موجب کاهش غلظت پرولین در گیاه می‌شود (Gunes *et al.*, 2007). Ahmad *et al.* (2011) در نتایج بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که به‌احتمال در حضور سیلیسیم، فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی مانند کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافته و به دنبال آن غلظت گونه‌های فعال اکسیژن و همچنین میزان پراکسید هیدروژن کاهش می‌یابد به این ترتیب یکی از عامل‌های تحریک‌کننده تولید اسیدهای آمینه آزاد پرولین از بین رفته و میزان آن کاهش می‌یابد. Gunes *et al.* (2007) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، در شرایط سمیت بُر، محتوای پرولین و غلظت پراکسید هیدروژن به‌طور معنی‌داری با کاربرد سیلیکون کاهش یافت که این نتایج با یافته‌های Al-Aghabary *et al.* (2004) نیز همخوانی دارد.

افزایش و با کاربرد سیلیکات پتاسیم محتوای پرولین کاهش یافت. بین میزان بُر و تنش ناشی از سمیت آن در انباشت اسیدآمینه‌هایی مانند پرولین رابطه وجود دارد که افزایش میزان پرولین به‌صورت مستقیم نتیجه تنش ایجادشده به‌وسیله غلظت‌های سمی آن است (Cervilla *et al.*, 2012). چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در حین تنش پیشنهاد شده است که عبارت‌اند از: جلوگیری از اکسایش آن در طول تنش، کاهش انتقال آن از راه آوند آبکش، تحریک ساخت (سنتز) آن از اسید گلوتامیک، تخریب و اختلال در فرایند ساخت پروتئین (Liamas *et al.*, 2000). افزایش غلظت بُر در محلول غذایی تا سطح ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار محتوای پرولین در بادام شده است (Oraei *et al.*, 2012). در غیاب سیلیکون، بُر موجب تولید عامل‌های رونویسی می‌شود که این عامل‌ها تولید پروتئین‌های آنزیمی دخیل در ساخت پرولین را فعال کرده و

جدول ۱. تأثیر سطوح مختلف بُر و سیلیکات پتاسیم بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی در برگ انگور بیدانه سفید

Table 1. Effect of different levels of boron and potassium silicate on some biochemical parameters in 'Bidaneh sefid' grape leaves

Boron concentration (mg/l)	Potassium silicate concentration (mg/l)	Proline (mg/g fw)	Soluble sugar (mg/g fw)	Soluble protein (mg/g fw)	Guaiacol peroxidase ($\mu\text{MH}_2\text{O}_2/\text{min}/1\text{gfw}$)
0.2	0	0.121 ^{de}	85.904	0.004 ^f	1.808 ^a
	50	0.105 ^e	88.614	0.020 ^{de}	1.396 ^b
	100	0.108 ^e	85.020	0.023 ^{de}	1.573 ^{ab}
15	0	0.199 ^{bc}	91.586	0.025 ^{cd}	0.992 ^c
	50	0.146 ^{cde}	87.349	0.011 ^{ef}	1.598 ^{ab}
	100	0.196 ^{bc}	87.992	0.013 ^{def}	1.686 ^{ab}
30	0	0.311 ^a	88.615	0.062 ^a	0.305 ^d
	50	0.223 ^b	86.185	0.039 ^b	1.662 ^a
	100	0.172 ^{bcd}	89.779	0.036 ^{bc}	1.577 ^{ab}
(Treatment)					
Boron concentration		**	ns	**	**
Potassium silicate concentration		**	ns	*	**
Boron* Potassium silicate		**	ns	**	**

میانگین‌های با حرف‌های مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند. * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns بدون معنی‌داری

Means with the same letter in each column are not statistically significant at the 1% level in Duncan's Multiple Range Test. * Significant at 5%, ** Significant at 1% and ^{ns} Non-significant.

قندهای محلول اضافه شده ولی در غلظت‌های بالاتر کاهش یافت، اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در غلظت‌های بالاتر احتمال دارد به دلیل کاهش نورساخت یا تحریک سرعت تنفس، قندهای محلول

قندهای محلول کل

سطوح مختلف بُر، سیلیکات پتاسیم و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر محتوای قندهای محلول نداشت (جدول ۱). با افزایش غلظت بُر در آغاز بر میزان

سیلیسیم بازدارنده کاهش پروتئین در شرایط تنش شد. افزایش در میزان پروتئین محلول در تیمار سیلیسیم به دلیل ساخت پروتئین‌های جدید و یا افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با سازگاری و گیاه به شرایط تنش است (Gunes *et al.*, 2005). Zhu *et al.* (2004) در نتایج بررسی‌شان بیان کردند، سیلیسیم از راه تأثیر مثبت بر شمار پلی‌زوم‌ها باعث افزایش میزان پروتئین محلول در شرایط تنش می‌شود.

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

در نتایج آزمایش‌های این پژوهش، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با افزایش غلظت بُر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۱). در شرایط سمیت بُر تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در پایه سب و برگ‌های مرکبات گزارش شده است (Molassiotis *et al.*, 2006). یاخته‌های گیاهی برای حفاظت در مقابل آسیب‌های اکسایشی مجهز به یک سامانه جاروب‌کننده رادیکال‌های آزاد هستند. این سیستم شامل آنزیم‌های پاداکسنده مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و نیز سامانه غیر آنزیمی مانند گلوتاتیون و آسکوربات هستند (Mittler *et al.*, 2004). در غلظت‌های بالای بُر میزان آهن در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد. از آنجاکه در ساختار آنزیم گایاکول پراکسیداز عنصر آهن وجود دارد، به‌احتمال کاهش در فعالیت این آنزیم در برگ‌های انگور در شرایط تنش بُر نتیجه‌ای از کمبود آهن برای زیست‌ساخت (بیوسنتز) این مولکول آنزیمی است. همچنین کاهش در فعالیت آنزیم پاداکسندگی گایاکول پراکسیداز ممکن است به علت اختلال مولکول‌های آنزیم توسط اکسیژن‌های فعال باشد (Sandalio *et al.*, 2001). در این پژوهش مشاهده شد که در تیمار سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ویژه در شرایط تنش ۳۰ میلی‌گرم در لیتر بُر، افزایش در فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز وجود داشت. کاربرد سیلیسیم در شرایط سمیت بُر فعالیت آنزیم پاداکسندگی گایاکول پراکسیداز را افزایش داده و با تحریک سامانه پاداکسندگی در گیاهان تنش اکسایشی را کم کرد (Ma & Yamaji, 2006).

کاهش یافته باشد (Shariat *et al.*, 2010). El-Feky *et al.* (2014) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، محتوای قندهای محلول در ساقه‌های گیاهان در شرایط تنش بُر شدید، کاهش یافت. افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به علت توقف رشد، ساخت این ترکیب‌ها از مسیر غیر نرساختی و همچنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول می‌شود نسبت داد (Hajebi & Heidari, 2005). سیلیسیم بر سوخت‌وساز (متابولیسم) قندها و پخش مواد نرساختی در گیاهان در حال رشد اثر شایان‌توجهی گذاشته و باعث افزایش آن می‌شود. سیلیسیم محتوای قندهای احیاکننده و محلول را در گیاه افزایش می‌دهد. این پدیده به‌احتمال یکی از سازوکارهای سازش گیاه برای حفظ پتانسیل اسمزی مناسب در شرایط تنش باشد. سیلیسیم با افزایش قندها گیاهان را از تخریب اکسایشی محافظت کرده و باعث بقای ساختار غشای پروتئین‌ها می‌شود (Verma & Dubey, 2001). در این پژوهش تیمار سیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول برگ انگور در شرایط تنش بُر نداشت. افزایش قندهای محلول در برگ‌های گندم تیمار شده با سیلیکون در شرایط تنش خشکی، در بررسی‌های Ding *et al.* (2007) نیز گزارش شده است.

پروتئین محلول کل

تأثیر غلظت بُر، سیلیکات پتاسیم و اثر متقابل آن‌ها بر میزان پروتئین کل معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش بُر میزان پروتئین کل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر بُر به بیشینه میزان خود رسید. بُر تغییری را روی پروتئین‌های گیاه ایجاد می‌کند. بُر ترکیب اساسی دیواره یاخته‌ای است و سمیت بُر، تجمع نیتروژن-نیترات بیشتری را در قند شیرۀ یاخته‌ای ایجاد می‌کند (Papadakis *et al.*, 2004; Molassiotis *et al.*, 2006). پروتئین‌های پرشماری به‌طور عمده در پاسخ به تنش‌های محیطی مختلف تغییر می‌یابند و این باعث به وجود آمدن نتایج متفاوت در میزان پروتئین کل در شرایط تنش‌های مختلف می‌شود (Ranjan *et al.*, 2001).

میزان بُر برگ

با افزایش سطوح بُر، غلظت بُر برگ به طور معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد افزایش یافت. در تیمار ۰/۲ میلی گرم در لیتر بُر، میزان کمتری از بُر (۴۱ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک) در برگ وجود داشت. در حالی که در تیمار ۳۰ میلی گرم در لیتر بُر، میزان زیادی از بُر (۱۷۹ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک) در برگ تجمع پیدا کرد (شکل ۱). در تیمار ۱۵ میلی گرم در لیتر بُر همراه با ۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم، ۸۹ میلی گرم بُر در کیلوگرم وزن خشک برگ اندازه گیری شد.

در نتایج بررسی خود گزارش کردند، حد مطلوب و بحرانی عنصر بُر در برگ انگور، ۳۰ تا ۱۰۰ قسمت در میلیون است. با افزایش تجمع بُر به بیش از ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم نشانه های سمیتی چون بافت مردگی، سبزی و کاهش رشد و عملکرد نورساختی در انگور مشاهده می شود (Yermiyahu & Ben-Gal, 2006). در زیتون نشان داده شده است که در غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر بُر پس از ۴۵ روز اعمال تنش، نشانه های سمیتی در برگ مشاهده نشد (Rostami *et al.*, 2013). در این پژوهش نشانه های سمیت بُر در غلظت ۱۵ میلی گرم در لیتر در برگ های انگور مشاهده شد که نشان دهنده حساسیت بالای انگور نسبت به سمیت بُر است.

کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث کاهش تجمع بُر در برگ انگور بیدانه سفید شد (شکل ۱). کاهش تجمع بُر در برگ های انگور بیدانه سفید در شرایط سمیت بُر در تیمار سیلیکات پتاسیم را می توان به نقش سیلیسیم در کاهش جذب و تجمع بُر نسبت داد. کاهش غلظت بُر در تیمار سیلیسیم به علت تشکیل کمپلکس B-Si (بُر-سیلیکات) است که منجر به کاهش در دسترس بودن بُر می شود. سیلیسیم با تشکیل رسوب شیمیایی برگشتناپذیر به صورت سیلیکای آمورف ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) در دیواره های یاخته ای، جایگاه های جذب فراوانی برای فلزهای سنگین ایجاد می کند (Epstein, 1999). افزون بر این سیلیسیم با افزایش لیگنین، در افزایش جایگاه های جذب بُر در دیواره یاخته ای و کاهش سمیت آن دخیل است (Ma & Yamaji, 2006).

نشست یونی برگ

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد، با افزایش سطوح بُر میزان نشست یونی در برگ انگور بیدانه سفید افزایش یافت (شکل ۲). در شرایط تنش سمیت بُر، غشاء یاخته ای پایداری خود را از دست می دهد و باعث افزایش نفوذپذیری غشاء و در نتیجه باعث تغییر در یکپارچگی ساختار غشاء می شود. دلیل ارتباط بین درصد نشست الکترولیت با تجمع بُر این است که بُر به طور مستقیم باعث آسیب یاخته ای و بافت مردگی می شود (Apstol & Zwiazek, 2004).

کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم باعث کاهش میزان نشست یونی در برگ انگور بیدانه سفید شد و بین غلظت های ۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۲). در پایه های انگور که تحت سمیت بُر و شوری قرار گرفته بودند کاربرد سیلیسیم باعث افزایش نفوذپذیری غشاء و کاهش آسیب غشایی شد (Soylemezoglu *et al.*, 2009).

محتوای نسبی آب برگ

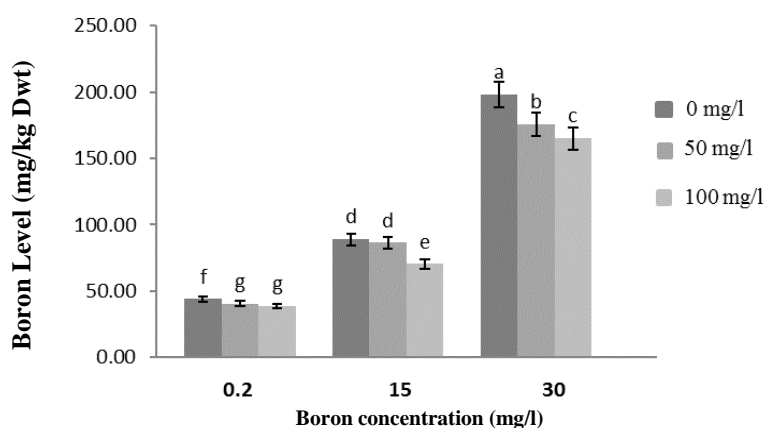
با افزایش تنش بُر محتوای نسبی آب برگ به طور معنی داری کاهش نشان داد (شکل ۳). کاهش در محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش بُر به احتمال در نتیجه کاهش دسترسی به میزان آب برای فرآیندهای رشد و نمو یاخته ای و در نتیجه کاهش فشار آماس (تورژسانس) است. در نتیجه افزایش میزان بُر توانایی گیاهان برای جذب آب کاهش یافته و موجب کاهش نسبی آب می شود (Kaya *et al.*, 2009). با افزایش سطوح سیلیکات پتاسیم افزایش معنی دار در محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (شکل ۳). سیلیسیم با افزایش کارایی مصرف آب و بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط تنش باعث حفظ آب بافت و افزایش آماس یاخته ای می شود (Romero-Aranda *et al.*, 2006).

مالون دی آلدهید

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد، با افزایش غلظت بُر میزان مالون دی آلدهید به طور معنی داری

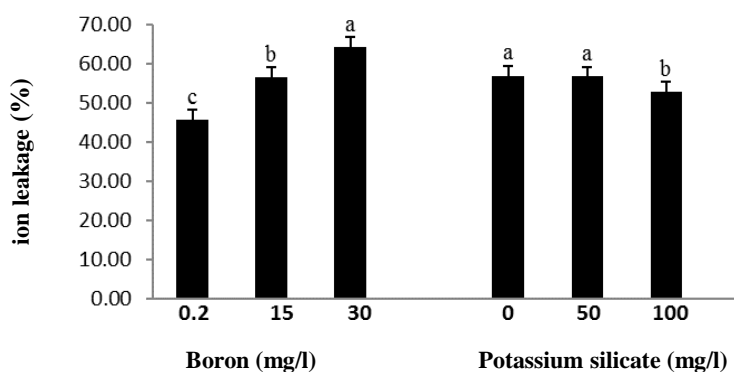
افزایش یافت (شکل ۴). افزایش در میزان مالون‌دی‌آلدهید در نتیجه تنش بُر در برگ انگور (Wang *et al.*, 2011)، برگ‌های گل‌ابی (Karabal *et al.*, 2003)، پایه‌های سیب (Molassiotis *et al.*, 2006) و گوجه‌فرنگی (Cervilla *et al.*, 2007) گزارش شده است. مالون‌دی‌آلدهید محصول انحلال و متلاشی شدن اسیدهای چرب غیراشباع است که به‌عنوان یک زیست نشانگر (بیومارکر) برای پراکسیداسیون چربی به کار می‌رود (Ayvaz *et al.*, 2013). پراکسیداسیون چربی همچنین می‌تواند از راه عمل لیپواکسیژناز (یک آنزیم گیاهی که اکسیژن مولکولی را به اسیدهای چرب برای تشکیل

هیدروپراکسیدهای چربی ترکیب می‌کند) آغاز شود (El-Feky *et al.*, 2014). با کاربرد سیلیکات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) میزان مالون دی‌آلدهید در انگور بیدانه سفید در شرایط تنش بُر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۴). در آزمایشی که Eraslan *et al.* (2008) انجام دادند، آسیب‌پذیری غشاء (که با غلظت مالون دی‌آلدهید نشان داده می‌شود) با شوری افزایش و با تیمار سیلیسیم به‌طور شایان‌توجهی کاهش یافت. کاهش در غلظت مالون دی‌آلدهید، باعث کاهش در غلظت پراکسید هیدروژن با کاربرد سیلیسیم شده است (Eraslan *et al.*, 2008).



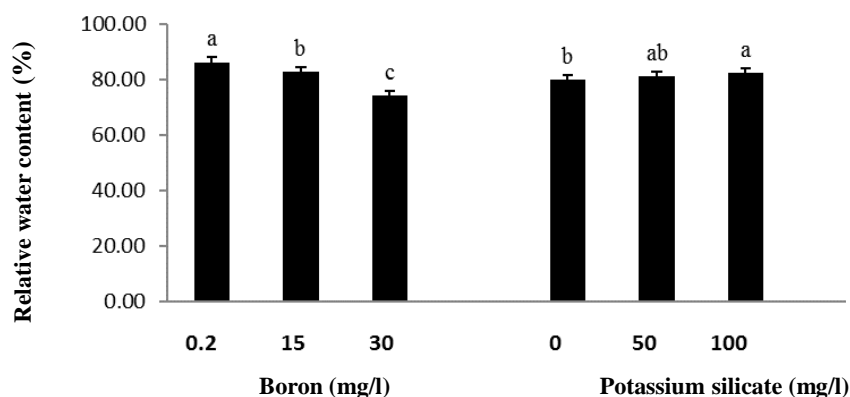
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بُر و سیلیکات پتاسیم بر میزان تجمع بُر در برگ انگور بیدانه سفید. میانگین‌های با حرف‌های مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر پایهٔ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند. ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مربوط به سطوح سیلیکات پتاسیم است.

Figure 1. Mean comparison of the interaction effect of different levels of boron and potassium silicate on boron accumulation in 'Bidaneh sefid' grape leaves. Means with the same letters are not significantly different at the 1% probability level in Duncan's Multiple Range Test.



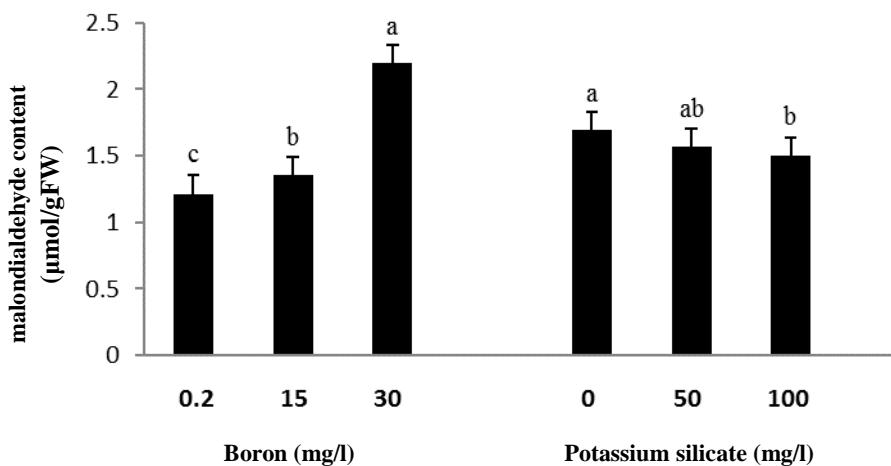
شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف بُر و سیلیکات پتاسیم بر میزان نشت یونی در برگ‌های انگور بیدانه سفید. میانگین‌های با حرف‌های مشترک به ترتیب تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد بر پایهٔ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Figure 2. Mean comparison of the effect of different concentrations of boron and potassium silicate on ion leakage in 'Bidaneh sefid' grape leaves. Means with the same letters are not significantly different at the 1 and 5% probability level in Duncan's Multiple Range Test respectively.



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف بُر و سیلیکات پتاسیم بر محتوای نسبی آب برگ انگور بیدانه سفید. میانگین‌های با حرف‌های مشترک به ترتیب تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Figure 3. Mean comparison of the effect of different concentrations of boron and potassium silicate on relative water content in 'Bidaneh sefid' grape leaves. Means with the same letters are not significantly different at the 1 and 5% probability level in Duncan's Multiple Range Test respectively.



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر غلظت‌های مختلف بُر و سیلیکات پتاسیم بر محتوای مالون دی آلدئید برگ انگور بیدانه سفید. میانگین‌های با حرف‌های مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Figure 4. Mean comparison of the effect of different concentrations of boron and potassium silicate on malondialdehyde content in 'Bidaneh sefid' grape leaves. Means with the same letters are not significantly different at the 1% and 1% level in Duncan's Multiple Range Test.

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز و محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. تیمار سیلیسیم با تحریک سامانه پاداکسندگی و کاهش درصد نشت یونی، مهار انتقال فلزها از ریشه به اندام‌های هوایی، ایجاد کمپلکس با فلزها و حجره‌بندی یون‌های فلزی در درون گیاه، آسیب ناشی از سمیت بُر را در انگور بیدانه سفید تعدیل می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند در مدیریت آسیب‌های ناشی از سمیت بُر در باغ‌های انگور استفاده شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد، سمیت بُر بیشتر شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در انگور بیدانه سفید تحت تأثیر قرار دارد. با افزایش غلظت بُر، میزان تجمع بُر، نشت یونی، محتوای پرولین، مالون دی آلدئید و پروتئین محلول برگ افزایش و محتوای نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز کاهش یافت. تیمار سیلیکات پتاسیم میزان تجمع بُر، مالون دی آلدئید و نشت یونی در برگ را کاهش و

REFERENCES

- Ahmad, M., Hassen, F., Qadeer, U. & Aslam, A. (2011). Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal Agriculture Research*, 6(3), 594-607.
- AL-Aghabary, K., Zhujun, Z. & Qinhu, S. (2004). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Plant Nutrition*, 27, 2101-2115.
- Apostol, K. G. & Zwiazek, J. J. (2004). Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings. *Environmental and Experimental of Botany*, 51, 145- 153.
- Ardic, M., Sekmen, A. H., Tokur, S., Ozdemir, F. & Turkan, I. (2009). Antioxidant response of chickpea plants subjected to boron toxicity. *Plant Biology*, 11, 328-338.
- Ayvaz, M., Kemal Avci, M., Yamaner, C., Koyuncu, M., Guven, A. & Fagerstedt, K. (2013). Does excess boron affect the malondialdehyde levels of potato cultivars? *EurAsian Journal of BioSciences*, 7, 47-53.
- Balakhnina, T. & Borkowska, B. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses. *International Agrophysics*, 27, 225-232.
- Bradford, M. M. (1976). Rapid and sensitive method for the quantitation of micrograms quantities of protein utilizing the principle of protein. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Romero, L. & Ruiz, J. M. (2007). Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. *Annals of Botany*, 100, 747-756.
- Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A. & Sanchez-Rodriguez, E. (2012). Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of tomato plants. *Journal of Botany*, <http://dx.doi.org/10.1155/2012/726206>, 17 pages.
- Ding, Y. F., Liang, Y. C., Zhu, J. & Li, Z. J. (2007). Effects of silicon on plant growth, photosynthetic parameters and soluble sugar content in leaves of wheat under drought stress. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 13(3), 471-478.
- El-Feky, S. S., El-Shintinawy, F. A. & Shaker, E. M. (2014). Role of cacl₂ and salicylic acid on metabolic activities and productivity of boron stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(2), 368-380.
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641-664.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. & Alpaslan, M. (2007). Boron toxicity alters nitrite reductase activity, prolin accumulation, membrane permeability, and mineral constituents of tomato and pepper plants. *Journal of Plant Nutrition*, 30, 981-994.
- Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D. J. & Gunes, A. (2008). Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. CV. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation*, 55, 207-219.
- Esmaili, M. & Rahmani, M. (2012). *Principles of proper nutrition grape vines*. Agriculture Organization of Qazvin Province, 1-39. (in Farsi)
- Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Cicek, N., Eraslan, F. & Guzelordu, T. (2005). Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 51, 687-695.
- Gunes, A., Inala, A., Bagcia, E. G., Cobana, S. & Pilbeam, D. J. (2007). Silicon mediates changes to some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under B toxicity. *Scientia Horticulture*, 113, 113-119.
- Guntzer, F., Keller, C. & Meunier, J. D. (2012). Benefits of plant silicon for crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 201-213.
- Haghighi, M. & Pesarakli, M. (2013). Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulture*, 161, 111-117.
- Hajebi, A. H. & Heidari Sharif Abad, H. (2005). Investigation of the effect of drought on growth and nodulation of three species of clover. *Pajouhesh and Sazandegi*, 66, 13-22.
- Heath, R. L. & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in Isolated Chloroplasts. *Archives Biochemistry Biophysics*, 125, 850-857.
- Herrera-Rodriguez, M. B., Gonzalez-Fontes, A., Rexach, J., Camacho- Cristobal, J. J., M. Maldonado, J. & Navarro- Gochicoa, M. T. (2010). Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. *Plant Stress*, 4(2), 115-122.
- Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Plant Physiology*, 84, 55-60.
- Karabal, E., Yucel, M. & Huseyin, A. O. (2003). Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Science*, 164, 925-933.
- Kaya, C., Tuna, A. L., Dikilitas, M., Ashraf, M., Koskeroglu, S. & Guneri, M. (2009). Supplementary phosphorus can alleviate boron toxicity in tomato. *Scientia Horticulturae*, 121, 284-288.

26. Liamas, A., Ullrich, C. I. & Sanz, A. (2000). Cadmium effects on transmembrane electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa*) roots. *Plant and Soil*, 219, 21-28.
27. Liang, Y. C., Sun, W., Zhu, Y. G. & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon mediated alleviation of abiotic stress in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, 147, 422-428.
28. Lutts, S., Kinet, J. M. & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice cultivar differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78, 389-398.
29. Ma, J. F. & Yamaji, N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11, 392-397.
30. Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. & Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*, 9(10), 490-498.
31. Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G. & Therios, I. (2006). Boron induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (*Malus domestica* Borkh). *Environmental and Experimental Botany*, 56, 54-62.
32. Oraei, M., Tabatabaei, S. J., Fallahi, E. & Imani, A. & Seyyedlar fatemi, S. (2012). The effects of boron stress on growth, physiological characteristics and the distribution of boron in scion-rootstock combinations of almond (*Prunus dulcis* Mill.). *Journal of Horticultural Sciences*, 26, 440-447. (in Farsi)
33. Papadakis, E. I., Dimassi, K. N., Bosabalidis, A. M., Therios, I. N., Patakas, A. & Giannakoula, A. (2004). Boron toxicity in 'Clementine' mandarin plants grafted on two rootstocks. *Plant Science*, 166, 539- 547.
34. Ranjbarani, E., Sarikhani, H., Wakana, A. & Bakhshi, D. (2011). Effect of salicylic acid on storage life and postharvest quality of grape (*Vitis vinifera* L. cv. Bidaneh Sefid). *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*, 56 (1), 263-269.
35. Paquin, R. & Lechasseur, P. (1979). Observations sur une method de dosage de la proline libre dans les extraits de plants. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1851-1854.
36. Ranjan, R., Bohra, S. P. & Jeet, A. M. (2001). Book of plant senescence. Jodhpur, Agrobios New York. pp. 18-42.
37. Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. & Cuartero, J. (2006). Alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Plant Physiology*, 163, 847-855.
38. Rostami, H. Tabatabai, S. J., Zare Nahandi, F. & Hajiloo, J. (2013). Concentrations of boron (B) on the growth and physiological characteristics of olives. *Journal of Horticultural Science*, 27, 26-18. (in Farsi)
39. Sandalio, L. M., Dalurzo, H. C., Gomez, M., Romero-Puertas, M. C. & Del Río, L. A. (2001). Cadmium- induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of Experimental Botany*, 52 (364), 2115-2126.
40. Seyyedlar Fatemi, L., Tabatabai, S. J., & Fallahi, A. (2009). Effect of silicon on growth and yield of strawberry under salt stress conditions. *Journal of Horticultural Science (Agricultural Science and Technology)*, 23, 95-88. (in Farsi)
41. Shariat, A., Osarea, M. H. & Zarea, A. (2010). Effects of cadmium on some physiological parameters in *Eucalyptus occidentalis*. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*. 53, 145-153. (in Farsi)
42. Sheng, O., Song, S. W., Chen, Y. J., Peng, S. A. & Deng, X. X. (2008). Effects of exogenous B supply on growth, B accumulation and distribution of two navel orange cultivars. *Trees*, 23, 59-68.
43. Shi, G., Cai, Q., Liu, C. & Wu, L. (2010). Silicon alleviates cadmium toxicity in peanut plants in relation to cadmium distribution and stimulation of antioxidative enzymes. *Plant Growth Regulation*, 61, 45-52.
44. Shi, X. H., Zhang, C. C., Wang, H. & Zhang, F. S. (2005) Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. *Plant and Soil*, 272, 53-60.
45. Soylemezoglu, G., Demir, K., Inal, A. & Gunes, A. (2009). Effect of silicon on antioxidant and stomatal response of two grapevine rootstock grown in boron toxic –salin soil. *Scientia Horticulturae*, 123, 240-246.
46. Tabatabaei, S. J. (2009). *Principles of Plant Mineral Nutrition*. Kharazmi. Tabriz. Iran. (In Farsi)
47. Turner, N. C. (1981). Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy*, 58, 293-338.
48. Updhyaya, A., Sankhla, D., Davis, T. D., Sankhla, N. & Smidh, B. N. (1985). Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. *Journal of Plant Physiology*, 121, 453-461.
49. Verma, S. & Dubeym, R. S. (2001). Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice, *Biologia Plantarum*, 1, 117-123.
50. Wang, J. Z., Tao, S. T., Qi, K. J., Wu, J. & Wu, H. Q. (2011). Changes in photosynthetic properties and antioxidative system of pear leaves to boron toxicity. *African Journal of Biotechnology*, 10, 19693-19700.
51. Wolf, B. (1974). Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron. *Communication in Soil Science & Plant Analysis*, 5, 39-44.
52. Yermiyahu, U. & Ben-Gal, A. (2006). Boron toxicity in grapevine. *Horticultural Science*, 41(7), 1698-1703.
53. Zhu, Z. J., Wei, G. Q., Li, J., Qian, Q. Q. & Yu, J. Q. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal Plant Science*, 167, 527-533.