

ارزیابی برخی پایه‌های رویشی سیب در شرایط سمیت بور در خاک با استفاده از شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

قاسم حسنی^{۱*}، علیرضا فرخزاد^۲، عزیز مجیدی^۳ و ابراهیم سپهر^۴

۱. مربی، بخش تحقیقات نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۲. دانشیار و استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳. استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۲)

چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی نه پایه رویشی سیب شامل MM106، M26، Ottawa3، Suporter4، M9، M7، P22، MM111 و پایه محلی گمی الماسی نسبت به مقادیر مختلف بور (صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک) به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام گردید. نتایج نشان داد با افزایش غلظت بور در خاک، ارتفاع نهال، شاخص سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، محتوی نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل و میزان رشد رویشی در همه پایه‌ها در مقایسه با شاهد کاهش یافت. همچنین با افزایش مقدار بور در خاک دمای برگ، میزان نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز در برگ نشان داد فعالیت این آنزیم‌ها با افزایش مقدار بور در خاک، در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. براساس نتایج تجزیه برگی، مقدار بور اندازه‌گیری شده در برگ پایه‌های M26 و P22 کمتر از پایه‌های دیگر بود. ارزیابی اندازه‌گیری‌های رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان داد پایه‌های رویشی M26 و P22 در سطوح بور بیشتر از ۴۵ میلی‌گرم در کیلو گرم خاک متحمل تر از پایه‌های دیگر بودند.

واژه‌های کلیدی: سوپر اکسید دسموتاز، پراکسیداز، تنش بور، سیب.

Evaluating some apple rootstocks in boron toxicity condition using morpho-physiological and biochemical indexes in soil

Ghasem Hassani^{1*}, Alireza Farrokhzad², Aziz Majidi³ and Ebrahim Sepehr⁴

1. Instructor, Seed and Plant Improvement Department, Agricultural and Natural Resources Research Center, West Azarbaijan, AREEO, Urmia, Iran

2, 4. Associate Professor and Professor, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Agricultural, Education and Natural Resource Research Center of West Azerbaijan, AREEO, Urmia, Iran

(Received: Feb. 04, 2020- Accepted: Apr. 21, 2020)

ABSTRACT

This trial was conducted in order to evaluating nine apple rootstocks including MM106, M26, Ottawa3, Suporter4, M9, M7, P22, MM111 and local rootstock "Gamialmasi" in different levels boron (0, 15, 30, 45 and 60 mg/kg soil). Results indicated that height rootstock, LAI, wet and dry weight leaf, chlorophyll index, WRC and vegetative growth rate reduced in comparison control as increased boron soil in all rootstocks. Vegetative growth ceased in all rootstocks, exception M26 and P22. Also, ion leakage and MDH increased as raised boron level in soil. Ascorbate peroxidase and super oxide dismutase leaf activity increased at first and then decreased with increasing boron levels in soil. Based on leaf analysis, leaf boron concentration in M26 and P22 was less than other rootstocks. Vegetative, physiological and biochemical assessments showed that M26 and P22 were more tolerate in relation other rootstocks.

Keywords: Apple, boron stress, peroxidase, super oxid dismutase.

* Corresponding author E-mail: gh.hasani91@gmail.com

مقدمه

بور (B) به عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد طبیعی گیاهان، غالباً به شکل اسید بوریک (H_3BO_3) به وسیله ریشه گیاهان جذب می‌گردد. در برخی مناطق به دلیل بافت سبک خاک، کشت های فشرده، آبخش و pH بالای خاک، کمبود بور عمومیت دارد. در مقابل کمبود بور، سمیت آن در بیشتر مناطق دنیا به خصوص مناطق خشک و نیمه خشک عمدتاً به دلیل بالا بودن غلظت بور در آب آبیاری، عدم آب کافی جهت آبخش و علاقه به استفاده از فاضلاب های صنعتی در کشاورزی وجود دارد. فقدان شرایط زهکشی مناسب در این اراضی منجر به تجمع مقادیر اضافی بور در لایه های عمیقتر خاک شده است (Herrera et al., 2010). اصلاح خاک در این شرایط مشکل است. بنابراین، انتخاب محصولاتی با درجه تحمل بیشتر یک راه حل پیشنهادی عملی برای مسئله سمیت بور میباشد (Yau & Ryan, 2008). بور نقش عمده ای در فعالیت های حیاتی گیاهان دارد و در تقسیم سلولی بافت های مریستمی، تشکیل جوانه های برگ و گل، ترمیم آوندی، متابولیسم قند و مواد هیدروکربن دار و انتقال آنها، تنظیم مقدار آب و هدایت آن در سلول های گیاهی، سنتز پروتئین، رشد ریشه ها، تشکیل دیواره سلولی و نقل و انتقال مواد محلول در بین سلول ها نقش مهمی را ایفا می کند (Herrera, et al. 2010).

علائم سمیت بور به شکل تاخیر در گلدهی و مرگ جوانه انتهایی شاخه می باشد. زرد شدن رگبرگ میانی برگها، ریزش برگ ها، از بین رفتن انتهای شاخه ها، زودرسی میوه، افزایش تنفس و کاهش انبار مانی میوه از علائم دیگر سمیت بور می باشد. این علائم در برخی از باغات سیب استان به‌ویژه باغات احداث شده در حاشیه دریاچه ارومیه به وفور دیده می‌شود. وقوع آن در برخی از مناطق کشور بویژه مناطق شور و کم آبی که آب آن ها نیز شور می باشد و نیز در حاشیه کویر کشور نظیر اردکان، جهرم و جیرفت گزارش شده است (Majidi, 2010). طی بررسی و مطالعه خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در باغ های حاشیه دریاچه ارومیه (منطقه قوشچی) که از منبع آب چاه

عمیق می باشد، نشان داده شد که از نظر میزان بیکربنات و شوری آب دارای محدودیت کم تا متوسط می‌باشند. نتایج تجزیه برگ درختان میوه گردو، سیب، بادام و انگور که از درختان عمده کشت شده در این منطقه می باشند، نشان داد که میزان بور موجود در برگ این درختان به‌ویژه در درختان دچار خشکیدگی سرشاخه‌ها به مراتب بیشتر از حد مطلوب بود، به‌طوری‌که حالت سمیت شدید در آنها مشاهده می‌شود (Majidi & Malakouti, 2007).

بور به شکل آزاد در آوند آبکش گونه‌های جنس *Prunus* و *Pyrus Malus* وجود ندارد، بلکه به‌صورت کمپلکس های بور- سوربیتول به سایر بافتهای گیاهی منتقل می‌شود. گونه‌های گیاهی فوق و امثال آنها که قند غالب آنها سوربیتول بوده، بور در آنها متحرک می باشد. ولی بور در آوند آبکش گونه‌هایی نظیر گردو و پسته متحرک نیست. در گونه‌های گیاهی که بور در آنها غیر پویاست، علائم به‌صورت نوک سوختگی و لب سوختگی در برگ‌های پیر ظاهر می‌شود. در حالی که در گیاهانی که بور در آنها پویاست، این علائم به‌صورت مرگ سرشاخه های مریستمی (در حال رشد) ظاهر می‌شود. بسیاری از وظایف فیزیولوژیکی بور عمدتاً مربوط به تمایل نسبتاً بالای بور برای تشکیل پیوند با گروه های عاملی پلی هیدروکسیل مانند الکل ها و قندها دارد. شواهد متعددی در دست است که نشان می‌دهد عنصر بور در تقسیم سلولی و اعمال غشا نقش مهمی را بر عهده داشته و جزو اجزای ضروری سازنده دیواره سلولی است (Brown & Hening, 1995).

نتایج نشان داده است که با افزایش غلظت بور در محلول غذایی، میزان تجمع بور، نشت یونی، محتوای پرولین، مالون‌دی‌آلدهید در برگ‌های انگور بیدانه سفید افزایش و پروتئین محلول و فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز کاهش یافت (Nezamdoost et al., 2017). کاهش در مقدار پرولین و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها در برگهای پایه EM9 سیب که تحت سمیت بور قرار گرفته بود، اتفاق افتاد. همچنین تحت شرایط تنش و سمیت بور تجمع گونه‌های اکسیژن فعال در این پایه گزارش شده است (Molassiotis et al., 2006). در انگور گزارش شده که

کنسروالیا با افزایش سطوح بور در محلول غذایی، افزایش یافت (Rostami et al., 2013).

در آزمایشی دیگر، اثرات مقادیر مختلف بور در آب آبیاری در ۳ مقدار مختلف (۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در درخت) در یک دوره ۴ هفته ای به فواصل ۳ روز روی سیب رقم جوناگلد پیوند شده روی پایه رویشی M26 آزمایش شد. افزایش غلظت بور محلول در خاک و در برگهای شاخه فصل جاری در همه تیمارها مشاهده شد. تغذیه بور از طریق آبیاری باعث افزایش مقدار بور و غلظت مواد جامد محلول در بافت میوه شد، ولی هیچ تأثیری روی میانگین وزن میوه، رنگ میوه، اسیدیته و سفتی میوه نداشت (Wojcik & Treder, 2006).

در یک بررسی واکنش نهالهای دوساله سیب رقم ردچیف دلشیز نسبت به مقادیر مختلف بور (۱، ۳ و ۵ میلی گرم در کیلو گرم خاک) در یک خاک اسیدی و قلیائی بررسی شد. نتایج نشان داد وزن تر با افزایش مقدار بور در خاک اسیدی همبستگی مثبت نشان داد. هم چنین تعداد گره، ارتفاع نهال، قطر ساقه و طول شاخه به صورت معنی دار تحت تأثیر مقادیر بور و آهنی بودن خاک واقع نشدند. طول میانگره در نهالهای کشت شده در خاک آهنی یک همبستگی مثبت با مقدار بور اضافه شده نشان داد اما اثرات آن در خاک اسیدی به صورت همبستگی منفی بود. غلظت بور و پتاسیم موجود در برگها با مقادیر بور اضافه شده به هر دو خاک همبستگی مثبت نشان داد. مقدار کلروفیل در برگ فقط در تیمارهای بالای بور در خاک اسیدی کاهش یافت (Paparnakis et al., 2013). در یک آزمایش دیگر، همبستگی مثبت بین مقدار بور در برگهای پایه رویشی M26 و MM106 با مقادیر بور در محلول خاک نشان داده شده است (Wojcik, 2000). در آزمایشی روی گلابی آسیایی رقم Cuiguan، ۴ غلظت بور (۱۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومول در لیتر) جهت بررسی خواص فتوسنتزی برگ و پراکسیداسیون لیپیدی برگ بکار برده شدند. نتایج نشان داد که تیمار با غلظت بالای بور ضمن افزایش مقدار بور برگ، مقدار کلروفیل و کاروتنوئید برگ را کاهش داد. مقدار فتوسنتز خالص و هدایت روزنه ای برگ هم کاهش یافت (Wang et al., 2011).

با افزایش غلظت بور، مالون دی آلدید در برگهای انگور افزایش یافت (Gunes et al., 2006). افزایش در فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی کاتالاز در غلظت های بالا در برگهای گلابی در مقایسه با گیاهان شاهد گزارش شده است و با افزایش غلظت بور به ۵۰۰ میکرومولار میزان فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش یافت (Wang et al., 2011).

در تحقیق دیگری واکنش پایه های مختلف رویشی سیب شامل M26، MM106 و M9 نسبت به مقادیر مختلف بور (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۴ میلی مولار) بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار بور در برگهای پایه رویشی M26 کمتر از پایه های دیگر بود. مقدار کلروفیل و میزان فتوسنتز برگها در پایه های رویشی تیمار شده با ۰/۴ میلی مولار بور در مقایسه با شاهد کمتر بود. مقادیر فسفر و روی برگها تحت تأثیر پایه و غلظت بور در محلول غذایی قرار نرفت. مقدار پتاسیم، منیزیم، منگنز و آهن برگها به طور معنی داری تحت تأثیر مقادیر بور واقع نشدند. غلظت پتاسیم برگهای M26 به صورت معنی دار کم بود در حالیکه غلظت منیزیم و منگنز بیشتر از پایه های M9 و MM106 بود. با افزایش غلظت بور در محلول، غلظت کلسیم برگها در M9 و M26 کاهش یافت، در حالی که در پایه MM106 تغییر معنی داری نداشت (Koutinase, 2013). نتایج اثرات مقادیر مختلف بور روی بادام رقم فراگنس پیوند شده روی دو پایه جی اف-۶۷۷ و تووانو نشان داد که سمیت بور اثرات کاهشی معنی داری بر خصوصیات رویشی، فیزیولوژیکی و غلظت عناصر غذایی بادام داشت. شدت این اثرات بر حسب نوع پایه متفاوت بود. با افزایش سطوح بور، وزن تر و خشک برگ و ریشه، تعداد برگ، سطح برگ، شدت فتوسنتز و شاخص کلروفیل کاهش یافت. به طور کلی پایه تووانو از طریق مکانیسم تدافعی نظیر ایجاد محدودیت در انتقال بور از سیستم ریشه به قسمت های هوایی تحمل بالاتری نسبت به جی اف-۶۷۷ داشته و تحت شرایط مقادیر بیش از حد بور می توان از آن به عنوان یک پایه متحمل برای رقم های مختلف بادام استفاده کرد (Oraci et al., 2010). همچنین در یک تحقیق دیگر، غلظت بور در در رقم های زیتون آمیگدالولیا و

با توجه به اینکه بیش از ۶۰ هزار هکتار از باغات استان آذربایجان غربی اختصاص به سیب دارد که به لحاظ سطح زیرکشت و مقدار محصول تولیدی، در سطح کشور در جایگاه نخست قرار داشته و به دلیل بروز علائم سمیت بور در بعضی از باغات سیب استان ضروری است که واکنش پایه‌های رویشی سیب نسبت به بیش بود این عنصر مطالعه شود و از طرفی با عنایت به سیاست وزارت کشاورزی مبنی بر توسعه و جایگزینی پایه‌های رویشی سیب با پایه‌های بذری، ضروری است که واکنش پایه‌های مختلف رویشی نسبت به مقادیر مختلف بور در خاک ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش از نه پایه رویشی سیب شامل MM106، M26، Ottawa3، Suporter4، M9، M7، P22، MM111 و پایه محلی گمی الماسی که از لحاظ سن، قطر و اندازه نهال یکسان بودند، استفاده شد. پایه‌های رویشی یکساله دارای میانگین قطری برابر با ۱-۰/۹ سانتی متر بودند. میانگین حداقل دمای ثبت شده در محل آزمایش ۱۴- درجه سلسیوس و میانگین حداکثر آن ۳۹ درجه سلسیوس بود. میانگین رطوبت نسبی ۴۶ درصد در سال، متوسط تبخیر سالانه ۱۴۰۰ میلی‌متر می باشد. پایه‌های رویشی در یک خاک زراعی دست نخورده با مشخصات مندرج در (جدول ۱) و در گلدان‌های پلاستیکی به حجم ۲۴ لیتر در هوای آزاد کشت گردیدند. این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی اجرا شد. پس از کاشت پایه و مراقبت های باغی، تیمار مقادیر مختلف بور (صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک) از منبع اسید بوریک به صورت محلول در آب اعمال شد. آبیاری گلدانها تا زمان اعمال تیمار به صورت قطره ای و بر اساس نیاز آبی سیب و با استفاده از داده های طشتک تبخیر و تعرق بود. پس از اعمال تیمار سطوح مختلف بور در خاک، آبیاری به صورت دستی و به کمک پیمانانه مدرج انجام گردید. برای تعیین زمان آبیاری از روش وزنی استفاده شد به این صورت که با وزن کردن روزانه گلدانها و با کسر وزن خشک و وزن گیاه، مقدار آب موجود گلدان

تعیین و با تقسیم بر وزن خشک خاک، مقدار رطوبت خاک و گلدان به دست آمد (Kiani, 2011). تعیین رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و جرم مخصوص ظاهری با استفاده از استوانه فلزی با حجم مشخص انجام شد. با محاسبه عمق خالص آب آبیاری و ضرب در مساحت گلدان، حجم آب آبیاری برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی تعیین گردید. بعد از هر نوبت آبیاری، زهاب جمع آوری شده در زیر هر گلدان به منظور جلوگیری از هدر رفت مقادیر بور اضافه شده، به خاک گلدان برگردانده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. در هر تکرار از هر پایه ۱۵ گلدان مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای مقادیر مختلف بور بر اساس حداکثر ظرفیت جذب بور در خاک با استفاده از نمودار هم دمای جذب بور تعیین شدند. اعمال تیمارها سه ماه پس از کشت پایه‌های رویشی در گلدان انجام گردید. صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شدند.

شاخص‌های رشدی

در پایان دوره آزمایش و سه ماه بعد از تیمار، میزان رشد رویشی شاخه‌ها با خط کش اندازه‌گیری شد. شاخص سطح برگ از رابطه زیر (رابطه شماره ۱) و با استفاده از دستگاه (Leaf Area meter) اندازه‌گیری شد. برگ‌های تازه جدا شده با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. جهت تعیین وزن خشک، برگ‌های جدا شده به مدت ۷۲ ساعت در آن ۷۰ درجه سلسیوس گذاشته شدند و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد.

رابطه ۱)

$$\text{LAI} = \frac{\text{شاخص کل برگ}}{\text{سطح زمین اشغال شده}} = \text{شاخص سطح برگ}$$

نشت یونی برگ

برای اندازه‌گیری نشت یونی برگ از دستگاه هدایت الکتریکی استفاده شد. تعداد ۱۰ برگ از هر تکرار

شاخص سطح کلروفیل

در هر گلدان شاخص سطح کلروفیل هشت برگ (از قسمت‌های بالا و پایین پایه رویشی) با استفاده از دستگاه سنجش محتوی کلروفیل (Minolta, SPAD, Japon, 502) اندازه‌گیری شد.

مالون‌دی‌آلدهید

برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید (MDA) از روش Packe & Heath (1968) استفاده گردید. یک گرم بافت تر توزین و توسط ۲/۵ میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید ۱۰ درصد ساییده شد. سپس محلول به دست آمده به مدت ۲۰ دقیقه در داخل سانتی‌فیوژ با دور ۸۰۰۰ گذاشته شد. بعد حجم مساوی از عصاره تیوباربیوتوریک اسید ۵/ درصد در تری کلرو استیک اسید ۲۰ درصد به داخل لوله آزمایش منتقل شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش ۹۶ درجه سلسیوس قرار داده شد. جذب محلول حاصل توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد. برای محاسبه MDA از ضریب خاموشی (155mM-1cm-1) و از رابطه (۴) استفاده شد.

$$\text{MDA}(\mu\text{mol/g FW}) = \frac{[A532 - A600/155] \times 100}{\text{رابطه ۴}}$$

آسکوربات پراکسیداز

برای ارزیابی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نمونه تازه برگ با نیتروژن مایع خردشده و بافر فسفات به آن اضافه شد. پس از سانتی‌فیوژ، از محلول رویی به عنوان عصاره آنزیم برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم استفاده گردید. بافر فسفات، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) و پراکسید هیدروژن را مخلوط کرده و عصاره آنزیم به آن اضافه شد و فعالیت آنزیم در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Nakano & Asada, 1981).

سوپر اکسید دسمو تاز

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسمو تاز از طریق اندازه‌گیری توانایی آن در جلوگیری از احیای نوری نیترو بلو تترازولیوم کلراید با روش Dhindsa (1981)

انتخاب و به قطعات یک سانتی متر مربعی تقسیم شده و پس از شستشو با آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در دستگاه شیکر نگهداری و پس از آن EC₁ خوانده شد. همان نمونه‌ها را در اتو کلاو در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده و پس از خنک کردن محلول و رساندن دمای آن به ۲۵ درجه سلسیوس، EC₂ نیز خوانده شد. میزان نشت یونی از رابطه (۲) محاسبه شد (Lutts et al., 1996).

$$\text{رابطه ۲} \quad [Ec_1/Ec_2] \times 100 = \text{نشت یونی برگ } (\%)$$

محتوی نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ از قسمت‌های انتهایی ساقه، چندین برگ کاملاً توسعه یافته را قطع کرده و سپس دیسک هائی به قطر ۸ میلی متر به تعداد ۱۰ عدد از قسمت میانی پهنک برگ تهیه شدند و پس از توزین دیسک‌ها به کمک ترازوی دیجیتالی آنها را به پتری‌دیش‌های درب دار حاوی آب مقطر منتقل کرده و به مدت چهار ساعت در یخچال (۴ درجه سلسیوس) و در تاریکی قرار داده شدند. پس از خارج کردن دیسک‌ها از آب مقطر جهت حذف رطوبت اضافی سطح دیسک‌ها، آنها را در بین دو لایه کاغذ صافی خشک نموده و سپس وزن آنها اندازه‌گیری گردید. سپس دیسک‌های برگی به آون ۷۰ درجه سلسیوس منتقل شدند و پس از گذشت ۴۸ ساعت وزن خشک آنها تعیین شدند و محتوی نسبی آب برگ از رابطه (۳) محاسبه شد (Turner, 1981).

$$\text{رابطه ۳} \quad = \frac{\text{محتوای نسبی آب برگ}}{100} \times \frac{\text{وزن خشک دیسک‌های برگی} - \text{وزن تر دیسک‌های برگی}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}}$$

میزان بور برگ

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

داد که اثر پایه و به‌ویژه سطوح مختلف بور و اثر متقابل آنها بر اغلب صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۰.۵ یا ۰.۱ / معنی‌دار بود. بر اساس جدول ۲، اثر پایه روی صفات شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ، نشت یونی، میزان رشد رویشی، ارتفاع نهال، مقدار بور برگ، وزن تر و خشک برگ در سطح آماری یک درصد بسیار معنی‌دار بود. همچنین اثر سطوح مختلف بور نیز بر صفات اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ، نشت یونی، میزان رشد رویشی، ارتفاع نهال، مقدار بور برگ، وزن تر و خشک برگ، آسکوربات پراکسیداز، سوپر اکسید دسموتاز و مالون‌دی‌آلدهید در سطح آماری یک درصد بسیار معنی‌دار بود. اثر متقابل پایه رویشی در غلظت بور بر صفات میزان رشد رویشی، ارتفاع نهال، وزن تر و خشک برگ، مقدار بور برگ، شاخص سطح برگ و شاخص کلروفیل در سطح آماری یک درصد بسیار معنی‌دار بود.

سنجش شد. سه میلی‌لیتر شامل بافر سدیم- پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۸)، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، نیترو بلو تترازولیوم کلراید ۷۵ میکرومولار، اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید ۰/۱ میلی‌مولار، ریپوفلاوین ۳۶۰ میکرومولار و صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میکرومولار عصاره خام بود. جذب مخلوط واکنش در ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز، مقدار آنزیمی است که در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند تا ۵۰ درصد مانع از احیای نوری نیترو بلو تترازولیوم کلراید گردد. فعالیت ویژه آنزیم بصورت تعداد واحدهای آنزیم در میلی‌گرم پروتئین گزارش گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع پایه، سطح بور و اثر متقابل آنها بر برخی صفات اندازه‌گیری شده در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان.

Table 1. The characteristics of physical and chemical soil pot.

S.P	Tex.	O.C (%)	T.N.V (%)	Ec (Ecx10 ³)	pH	P(ava) (ppm)	K(ava) (ppm)	B (ppm)
40	Silty Loam	0.77	14.7	0.659	7.4	8.73	360	1.73

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر نوع پایه و بور بر برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی سیب.

Table 2. Results of variance analysis effect of rootstock and boron on some physiological and vegetative traits of apple.

Source of variation	df	Means of squares								
		LAI	Chlorophyll index	RWC	Height	Ion leakage	Vegetative growth	Leaf boron concentration	Leaf wet weight	Leaf dry weight
Replication	2	0.0153ns	16.869ns	151.478**	31.2477ns	15.224**	3.241ns	1281.1500**	0.1098**	0.0238**
Rootstock	8	20.0291**	109.171**	319.555**	6933.25**	544.673**	6185.07**	27592.326**	0.877**	0.238**
Boron	4	6.6399**	159.416**	335.998**	182.292**	556.361**	224.950**	28263.326**	0.076**	0.027**
Rootstock×boron	32	1.041**	17.014**	230.503ns	27.439**	126.941ns	43.658**	4156.093**	0.015**	0.011**
Error	88	0.2151	6.425	3.388	1.482	0.013	5.218	8.470	0.02	0.01
C.V. (%)		4.84	4.99	5.19	6.707	1.2	5.94	4.72	1.08	2.16

ns و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns, **: Non-significantly difference and significantly difference at 1% probability level, respectively.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر نوع پایه و بور بر برخی صفات بیوشیمیایی سیب.

Table 2. Results of variance analysis effect of rootstock and boron on some biochemical traits of apple.

Source of variation	df	Means of squares		
		Peroxidase	Malondialdehyde content	Superoxide dismutase
Rootstock	8	1.075ns	0.00031ns	71066.799ns
Boron	4	12.886**	0.00016**	274863.808**
Rootstock×Boron	32	0.352	0.00017	71066.799
Error	90	0.481	0.00001	8304.435
C.V. (%)		5.49	3.75	12.49

ns و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns, **: Non-significantly difference and significantly difference at 1% probability level, respectively.

شاخص‌های رشدی

نتایج نشان داد واکنش رشدی در پایه‌های رویشی سیب نسبت به تیمارهای مختلف بور به سطوح بور و نوع پایه بستگی دارد (جدول ۲). با افزایش سطوح بور، شاخص سطح برگ، میزان رشد رویشی شاخه و وزن تر و خشک برگ در مقایسه با شاهد در همه پایه‌های رویشی سیب در ابتدا افزایش و سپس در غلظت‌های بالاتر کاهش یافت (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) میزان رشد رویشی شاخه در پایه‌های رویشی مورد استفاده در این آزمایش تا غلظت‌های کمتر (۱۵ میلی‌گرم در کیلو گرم خاک) بور با افزایش رشد رویشی مواجه شدند، ولی با افزایش غلظت بور در خاک، روند رشد رویشی به صورت کاهش بود و این با نتایج (Wang *et al.*, 2011) مطابقت دارد. بر این اساس نهال‌هایی که در دوره نونهالی هستند، به علت تقسیمات شدید سلولی و نیاز به عنصر بور برای تشکیل دیواره سلولی در سلول‌های تازه تشکیل یافته، به ویژه در نقاط مرستمی گیاه، به مقادیر اضافی بور در غلظت‌های کم، واکنش مثبت نشان دادند. هرچند واکنش پایه‌ها متفاوت بود، به طوریکه پایه‌های رویشی M26 و P22 نسبت به پایه‌های دیگر کاهش رشدی کمتری داشتند. در پایه‌های M26 و P22 درصد کاهش رشد رویشی در غلظت ۶۰ میلی‌گرم نسبت به شاهد به ترتیب برابر ۴۵ درصد و ۴۸ درصد بود، در حالی که در پایه‌های رویشی دیگر بیش از ۷۰ درصد کاهش رشد داشتند. این کاهش رشد از لحاظ میزان رشد رویشی شاخه، وزن تر و خشک برگ با یافته (Paparnakis *et al.*, 2013) در یک خاک اسیدی مغایرت دارد ولی با یافته‌های دیگران مطابقت دارد (Wang *et al.*, 2011; Rostami *et al.*, 2014). کاهش وزن تر برگ در پایه M26 در تیمار غلظت ۶۰ میلی‌گرم بور در خاک نسبت به شاهد ۲۱ درصد و بر اساس وزن خشک ۲۵ درصد بود. کاهش وزن تر برگ در پایه P22 در تیمار غلظت ۶۰ میلی‌گرم بور در خاک نسبت به شاهد ۱۹ درصد و بر اساس وزن خشک ۲۳ درصد بود. در حالی که در پایه‌های دیگر، درصد کاهش وزن

تر و خشک برگ در تیمار ۶۰ میلی‌گرم نسبت به شاهد بیش از ۵۰ درصد بود. این کاهش در وزن تر و خشک برگ و هم چنین کاهش رشد رویشی در پایه‌های رویشی MM106 و M7 بارزتر بود که این امر می‌تواند به دلیل وجود نقاط نکروزه بیشتر و هم چنین کاهش شاخص سطح برگ در سطوح ۴۵ و ۶۰ میلی‌گرم بور در برگ این پایه‌ها باشد. وجود نقاط نکروزه در سطح برگ و کاهش شاخص سطح برگ باعث کاهش سطح فتوسنتز برگ و کاهش تشکیل مواد مورد نیاز برای رشد گیاه می‌شود. کاهش در وزن تر و خشک برگ‌ها و همچنین شاخص سطح برگ در غلظت‌های بالاتر ناشی از کاهش رشد رویشی در اثر سمیت بور در غلظت‌های بیشتر می‌باشد (Araniti & Abenavoli, 2016). هم چنین سمیت بور می‌تواند مانع از رشد طولی ریشه گردد، زیرا مقادیر بیش از حد آن باعث اختلال در فرآیند ساخت دیواره سلولی و کاهش تقسیم سلولی و رشد ریشه می‌شود و در نهایت باعث کاهش جذب مواد غذایی و کاهش رشد رویشی، وزن تر و خشک برگ می‌شود (Camacho *et al.*, 2008).

بور برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل سطوح مختلف بور در پایه رویشی در سطح آماری یک درصد بسیار معنی‌دار و بر اساس مقایسه میانگین‌ها کمترین و بیشترین مقدار بور تجمع یافته در تیمار ۶۰ میلی‌گرم اسید بوریک بر کیلوگرم خاک به ترتیب در برگ پایه رویشی M26 و M7 به دست آمد (شکل ۲). نتایج تجزیه برگ نشان داد که با افزایش مقدار بور در خاک، میزان بور اندازه‌گیری شده در برگ همه پایه‌های رویشی سیب نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۱)، ولی تغییرات مقدار بور اندازه‌گیری شده در برگ پایه‌های رویشی متفاوت بود. میزان تجمع بور در سطح ۶۰ میلی‌گرم بور در برگ پایه‌های رویشی M26 و P22 نسبت به شاهد در مقایسه با پایه‌های رویشی دیگر، نزدیک به ۵۰ درصد کمتر بود، به طوری که در سطح بور ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، مقدار بور در

مشاهده شد. همچنين اثر تيمار بور بر ميزان محتوى نسبى آب برگ نيز در سطح آمارى ۱ درصد معنى دار بود. براساس شكل ۱، بيشترين ميزان کاهش محتوى نسبى آب برگ در تيمار ۶۰ ميلي‌گرم بور در كيلوگرم خاك بود. افزايش ميزان بور در ساختار گياهان، توانايى آنها را براى جذب آب کاهش داده و موجب کاهش نسبى آب مى‌شود (Kaya et al., 2009). در زيتون کاهش رشد رويشى ناشى از سميت بور، به احتمال زياد مربوط به کاهش شدت فتوسنتز و كارائى مصرف آب بوده است (Chatzissavvidis et al., 2008). در اين پژوهش كمترين ميزان غلظت بور اندازه‌گيرى شده به ترتيب در برگ پايه رويشى M26 و P22 مشاهده شد و به اين علت توانايى برگ آنها در جذب آب و افزايش محتوى نسبى آب جهت متابوليسم و فرايندهاى فيزيولوژيكي در شرايط تنش نسبت به پايه‌هاى رويشى حساس بيشتر بود.

نشت يونى برگ

براساس نتايج تجزيه واريانس اثر بور و اثر متقابل پايه در بور نيز در سطح يك درصد بر ميزان نشت يونى برگ معنى دار بود و بر اين اساس، با افزايش سطوح بور در خاك بيشترين ميزان نشت يونى برگ در پايه رويشى Ottawa3 و كمترين ميزان در پايه رويشى M26 مشاهده گرديد. روند كاهشى درصد نشت يونى از شاهد تا سطح ۳۰ ميلي‌گرم معنى دار بود ولى در سطوح ۴۵ و ۶۰ ميلي‌گرم بور تفاوت معنى دارى از لحاظ کاهش درصد نشت يونى مشاهده نشد (شكل ۴). در آزمائش نشان داده شد كه با افزايش سطوح بور ميزان نشت يونى در برگ انگور سفيد بيدانه افزايش يافت (Nezamdoost et al., 1396). در شرايط تنش سميت بور غشاي ياخته‌اى پايدارى خود را از دست مى‌دهد و باعث افزايش نفوذپذيرى غشا و در نتيجه باعث تغيير در يکپارچگى ساختار غشا مى‌شود. دليل ارتباط بين درصد نشت الكتروليت با تجمع بور در برگ اين است كه بور به‌طور مستقيم باعث آسيب ياخته‌اى و بافت مردگى مى‌شود (Apstol & Zwiazek, 2004).

برگ پايه‌هاى M26 و P22 به ترتيب معادل ۹۱ و ۱۲۳ ميلي‌گرم بر كيلوگرم وزن خشك برگ بود و اين با يافته (Nable et al., 1997) مطابقت دارد. بر اساس يافته اخير، ژنوتپ‌هاى حساس به سميت بور دارى مقدار بور بيشترى در برگ‌هايشان نسبت به ژنوتپ‌هاى متحمل هستند و اين احتمالاً به دليل جذب كمتر بور در ريشه آنها است. به نظر مى‌رسد كه پايه‌هاى رويشى M26 و P22 از طريق مكانيسم تدافعى توانسته اند كه بور را در ريشه خود انباشته و از انتقال آن به برگ جلوگيرى نمايند. بسيارى از رقم‌هاى متحمل به بور قادرند غلظت بور موجود در برگ را در سطح پايينى نگه داشته و از اين طريق نسبت به سميت بور مقاومت نشان دهند (Nable et al., 1997). بر اساس نتايج مقايسه ميانگين‌ها (شكل ۱)، وجود مقادير بيش از ۲۰۰ ميلي‌گرم بور در كيلوگرم وزن خشك برگ سبب ايجاد علائم سميت بور در برگ پايه‌هاى رويشى M9، M7، MM106، MM111 شد (شكل ۸). افزايش سطوح بور در خاك، مقادير بور برگ در پسته را افزايش داد (Kord et al., 2010). نتايج مشابهى در يافته‌هاى ديگران در گياهان مختلف به‌دست‌آمده است (Shelp, 1988; Kamali & Childers, 1970; Rostami et al., 2014). بور در بافت آبكش درختانى نظير گردو، پسته و پرتقال غير متحرك بوده و به بافت‌هاى ديگر منتقل نمى‌شود و بنابر اين به عنوان مكانيسم دفاعى اين گونه گياهان در برابر سميت بور تلقى مى‌شود، در حالى كه بور در بافت آبكش درختان ميوه سيب، بادام، گلابى و هلو متحرك مى‌باشد. (Papadakis et al., 2003).

محتوى نسبى آب برگ

اثر متقابل پايه در مقدار بور بر محتوى نسبى آب برگ در سطح آمارى يك درصد معنى دار بود. با افزايش مقدار بور در خاك، محتوى نسبى آب برگ در همه پايه‌هاى رويشى سيب به‌طور معنى دارى کاهش يافت (شكل ۳). به‌طورى كه ميزان کاهش در پايه‌هاى رويشى سيب متفاوت و بيشترين ميزان کاهش در پايه رويشى Ottawa3 به ميزان ۶۳/۰۷ درصد و كمترين ميزان کاهش در پايه رويشى M26

مالون‌دی‌آلدهید

دفاعی را بر علیه رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول تشکیل می‌دهد و احیای رادیکال سوپر اکسید را به پر اکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌کند. پراکسید هیدروژن حاصل در مرحله بعدی به‌وسیله آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز پاکسازی می‌شود. از طرفی با اندازه‌گیری مقدار مالون‌دی‌آلدهید عصاره برگ‌گی در این آزمایش، معلوم گردید که با افزایش مقدار بور در خاک، مقدار MDA در همه پایه‌های رویشی سیب افزایش یافت. هر چند مقدار افزایش در همه پایه‌ها یکسان نبود، ولی روند افزایشی پراکسیداسیون لیپید غشا در همه پایه‌ها مشاهده گردید. در شرایط تنش بور شدید، سنتز گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) منجر به خسارت در غشاء سیتوپلاسمی و افزایش پراکسیداسیون لیپید می‌شود و این شاید دلیلی بر کاهش آنزیم‌های جاروب کننده اندازه‌گیری شده در این آزمایش در غلظت‌های بالاتر بور در خاک باشد و این با نتیجه آزمایش انجام یافته روی گلابی مطابقت دارد. تنش بور متوسط می‌تواند قدرت سیستم به دام انداختن گونه‌های فعال اکسیژن را بهبود بخشد، اما غلظت‌های بالاتر بور بر این سیستم غلبه خواهد کرد (Wang *et al.*, 2011).

آسکوربات پراکسیداز

نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف بور بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نشان داد با افزایش غلظت بور در خاک فعالیت آنزیمی پراکسیداز برگ پایه‌های رویشی سیب در ابتدا افزایش و در غلظت‌های بالاتر کاهش یافت (شکل ۷) و این با نتایج (Wang *et al.*, 2011) مطابقت دارد. فعالیت این آنزیم تا سطح ۳۰ میلی‌گرم بور، افزایش و از سطح ۳۰ میلی‌گرم به بالا کاهش نشان داد. در غلظت‌های بیشتر که منجر به تنش در سلول می‌شوند، یاخته‌های گیاهی برای حفاظت در مقابل آسیب‌های اکسایشی مجهز به یک سامانه جاروب کننده رادیکال‌های آزاد هستند. این سیستم شامل آنزیم‌های پاداکسنده مانند سوپر اکسید دسموتاز و نیز سامانه غیر آنزیمی گلووتاتیون و آسکوربات هستند (Mittler *et al.*, 2004). افزایش

نتایج نشان داد با افزایش غلظت بور میزان مالون‌دی‌آلدهید در برگ همه پایه‌های رویشی سیب افزایش یافت، اما مقدار این افزایش در همه پایه‌ها یکسان نبود. به‌طوری‌که کمترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در برگ‌های پایه رویشی M26 مشاهده شد (شکل ۵). بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در سطح ۶۰ میلی‌گرم بور مشاهده شد. افزایش در میزان مالون‌دی‌آلدهید در برگ گلابی (wang *et al.*, 2011)، پایه‌های سیب (Molassiotis *et al.*, 2006) و برگ‌های انگور بیدانه سفید (Nezamdoost *et al.*, 1396) گزارش شده است. تخریب غشاهای سلول یکی از پیامدهای غیر مستقیم تنش می‌باشد. تنش از طریق افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های برگ گیاهان سبب افزایش تولید میزان مالون‌دی‌آلدهید می‌شود. مالون‌دی‌آلدهید یک فرآورده مهم از عمل پراکسیداسیون لیپیدی است و می‌تواند به عنوان سطح پراکسیداسیون لیپیدی غشا به‌کار رود. در این آزمایش با افزایش تنش بور، پراکسیداسیون لیپیدی و مالون‌دی‌آلدهید و در نهایت نفوذپذیری غشا افزایش یافت. پراکسیداسیون چربی از طریق عمل لیپواکسیژناز (یک آنزیم گیاهی که اکسیژن مولکولی را به اسیدهای چرب برای تشکیل هیدروپراکسیدهای چربی ترکیب می‌کند) آغاز شود. پراکسیداسیون چربی‌های غشا منجر به تخریب و ناپایداری غشای سلول می‌شود (EI-Fekey *et al.*, 2014).

سوپر اکسید دسموتاز

نتایج تجزیه‌های بیوشیمیایی نشان داد با افزایش غلظت بور در خاک فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز اندازه‌گیری شده در برگ همه پایه‌های رویشی سیب در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۶). فعالیت این آنزیم تا سطح ۳۰ میلی‌گرم بور، افزایش و از سطح ۳۰ میلی‌گرم به بالا کاهش نشان داد. بر اساس این نتایج کمترین تغییرات بیوشیمیایی در برگ پایه‌های رویشی M26 و P22 مشاهده شد. آنزیم سوپر اکسید دسموتاز اولین خط

شدت تنش سبب افزایش پراکسیداسیون لیپید غشاء و ایجاد آسیب به آنزیم‌های جاروب کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن و نهایتاً کاهش فعالیت آنها می‌شود. مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که فعالیت آنزیم پراکسیداز در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله تنش گرمایی، اشعه ماورای بنفش و تغییر در وضعیت تغذیه‌ای و مقدار عناصر از جمله بور، نیتروژن و کلسیم افزایش می‌یابد (Ruiz *et al.*, 2003).

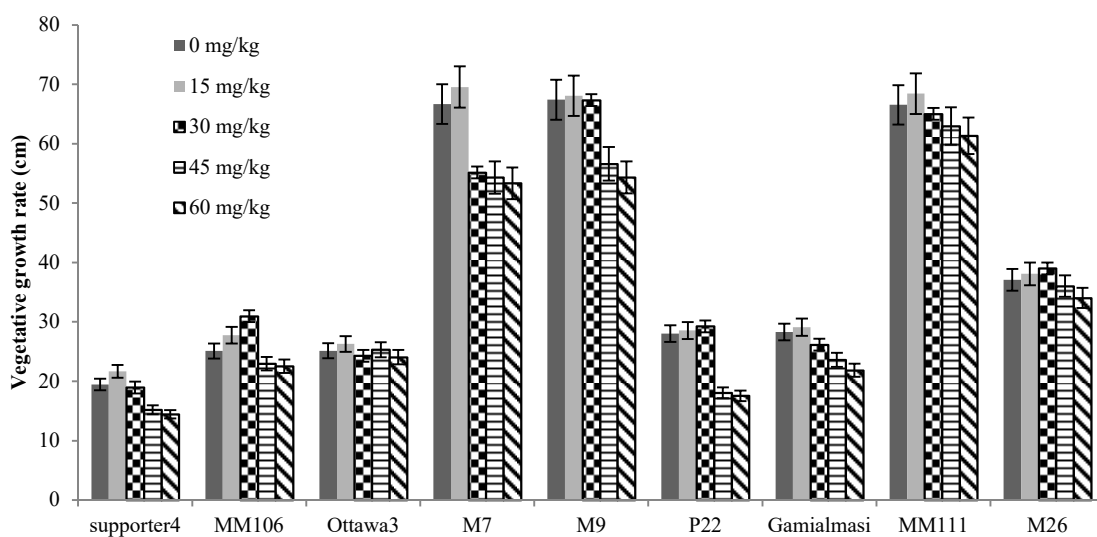
جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل بور و پایه بر برخی صفات رویشی سیب.

Table 3. Mean comparison interaction effect of boron and rootstock on some vegetative traits apple.

Rootstock× boron	SPAD	LAI	Leaf wet weight(g)	Leaf dry weight(g)	Height(cm)
Supporter4 × B1	55.4 a-d	4.06 fg	0.872 def	0.410 h-k	56.667 h-l
MM106 × B1	51.567 c-o	5.47 b	1.13 a	0.501 bc	61.500 g-k
Ottawa3 × B1	55.6 a-d	1.88 q	0.873 def	0.390 j-m	62.833 ghi
M7 × B1	58.633 ab	2.91 lm	0.873 def	0.404 i-m	83.750 cde
M9 × B1	47.7 k-q	5.88 a	0.632 kl	0.237 q	94.667 b
P22 × B1	59.533 a	2.68 nop	0.912 cde	0.407 h-l	51.750 lm
Gamialmasi × B1	55.867 abc	1.46 s	0.366 n-q	0.154 r	39.823 no
MM111 × B1	54.433 b-h	3.61 i	1.013 b	0.507 bc	108.83 a
M26 × B1	49.4 h-o	1.88 q	0.466 m	0.164 r	78.317 e
supporter4 × B2	50.233 e-o	4.01 g	1.13 a	0.480 c-f	53.833 jkl
MM106 × B2	51.433 c-n	4.61 d	0.973 bc	0.430 g-j	67.917 g
Ottawa3 × B2	51.767 c-m	3.68 lh	0.906 c-f	0.407 h-l	69.500 fg
M7 × B2	55.267 a-e	4.81 cd	0.992 bc	0.450 d-h	83.167 cde
M9 × B2	47m-r	4.91 c	0.603 kl	0.270 pq	87.283 bcd
P22 × B2	54.933 a-f	2.74 mno	0.853 efg	0.387 j-m	52.667 klm
Gamialmasi × B2	54.633 a-g	1.70 qr	0.353 opq	0.147 r	41.500 no
MM111 × B2	53.433 c-i	3.78 ih	0.953 bcd	0.487 bcd	108.23 a
M26 × B2	48.7 i-p	1.91 q	0.452 mn	0.155 r	78.003 e
supporter4 × B3	55.633 a-d	2.96 lm	1.02 b	0.443 e-i	56.583 h-l
MM106 × B3	52.1 c-m	4.84 c	1.02 b	0.457 d-g	64.250 gh
Ottawa3 × B3	52.467 c-k	2.88 lmn	0.732 ij	0.324 o	64.833 gh
M7 × B3	48.133 j-q	4.61 d	0.813 f-i	0.360 mno	82.167 cde
M9 × B3	44.867 pqr	4.38 e	0.573 kl	0.263 pq	92.417 b
P22 × B3	53.5 c-i	3.90 gh	0.659 jk	0.283 p	49.917 lm
Gamialmasi × B3	47.5 l-r	1.42 s	0.339 pqr	0.144 r	35.583 o
MM111 × B3	52.8 c-j	3.27 jk	0.759 ghi	0.384 klm	107.067 a
M26 × B3	48.233 j-q	1.63 v	0.439 mno	0.163 r	76.933 ef
supporter4 × B4	43.333 qr	2.55 op	0.823 e-i	0.373 k-n	58.083 h-l
MM106 × B4	49.8 g-o	4.25 ef	1.15 a	0.524 b	54.833 jkl
Ottawa3 × B4	53.3 c-j	1.58 rs	0.823 e-i	0.393 j-m	61.833
M7 × B4	49.133 i-p	3.405 j	0.833 e-h	0.383 klm	89.083 bc
M9 × B4	44.833 pqr	2.94 lm	0.592 kl	0.277 pq	82.750 cde
P22 × B4	52.7 c-k	2.66 nop	0.743 hij	0.340 no	44.667 mn
Gamialmasi × B4	49.8 g-o	1.11 t	0.303 qr	0.127 r	35.583no
MM111 × B4	52.133 c-m	3.18 k	0.843 efg	0.440 f-i	103.383 a
M26 × B4	47.333 l-r	1.41 s	0.412 m-p	0.127 r	76.933 ef
supporter4 × B5	43 r	2.50 p	0.743 hij	0.364 l-p	52.667 klm
MM106 × B5	48.8 i-p	4.23 ef	1.013 b	0.603 a	52.967 klm
Ottawa3 × B5	52.267 c-k	1.56 rs	0.813 f-i	0.444 e-i	57.433 h-l
M7 × B5	46.733 n-r	2.805 mn	0.813 f-i	0.483 b-e	80.067 ed
M9 × B5	43.6 qr	2.915 lm	0.563 l	0.583 a	83.857 cde
P22 × B5	50.633 d-o	2.56 op	0.7333 ij	0.373 k-n	45.00 mn
Gamialmasi × B5	49.733 g-o	1.07 t	0.263 r	0.163 r	33.933 o
MM111 × B5	50.8 c-n	3.083 kl	0.832 e-h	0.439 f-i	1.03.267 a
M26 × B5	46.567 o-r	1.37 s	0.373 n-q	0.125 r	76.400 ef

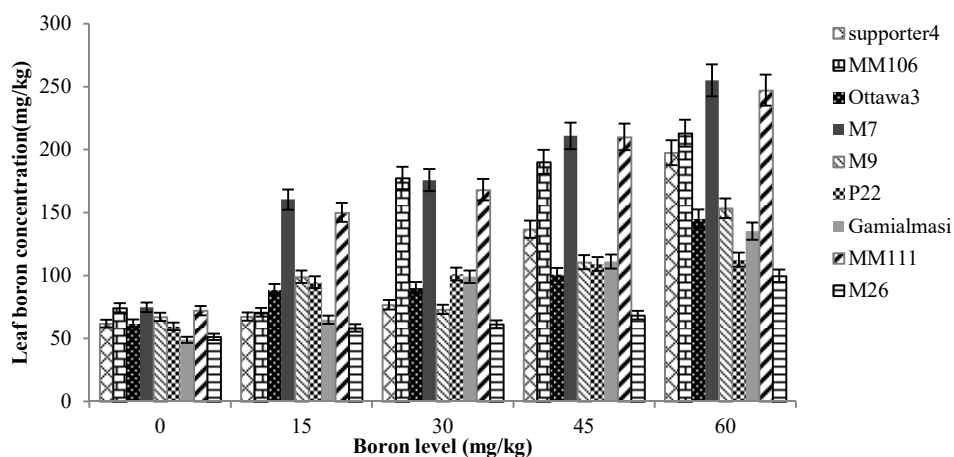
در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.



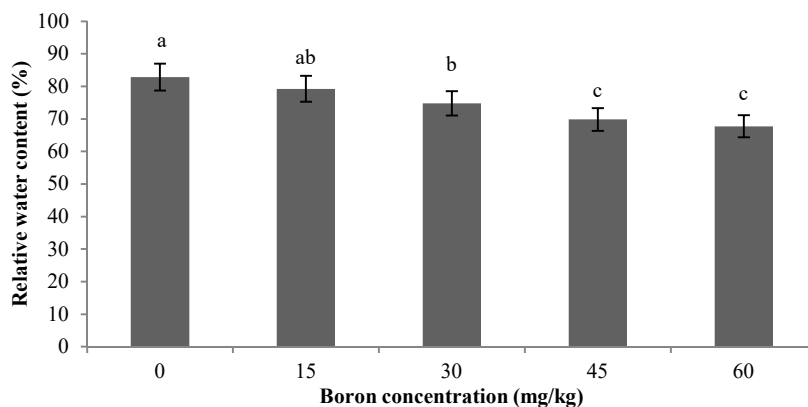
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل بور و پایه بر میزان رشد رویشی سیب.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of boron and rootstock on vegetative growth rate of apple.



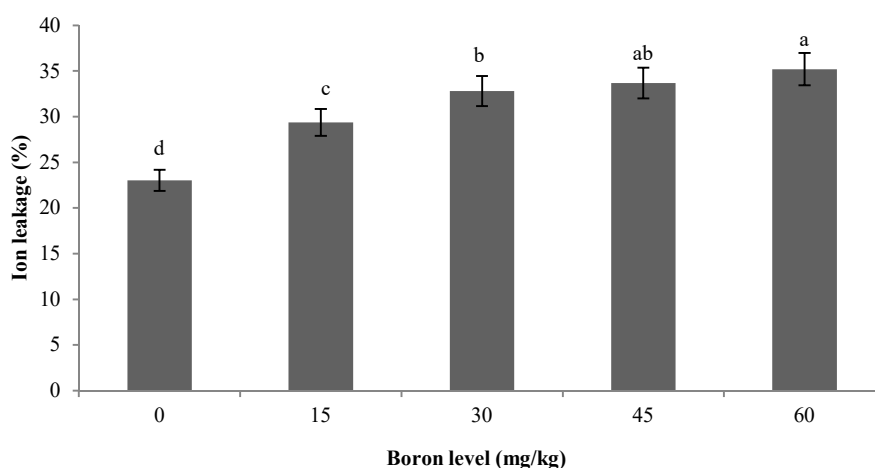
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل بور و پایه بر میزان تجمع بور در برگ سیب.

Figure 2. Mean comparison interaction effect of boron and rootstock on boron accumulation in leaf of apple.



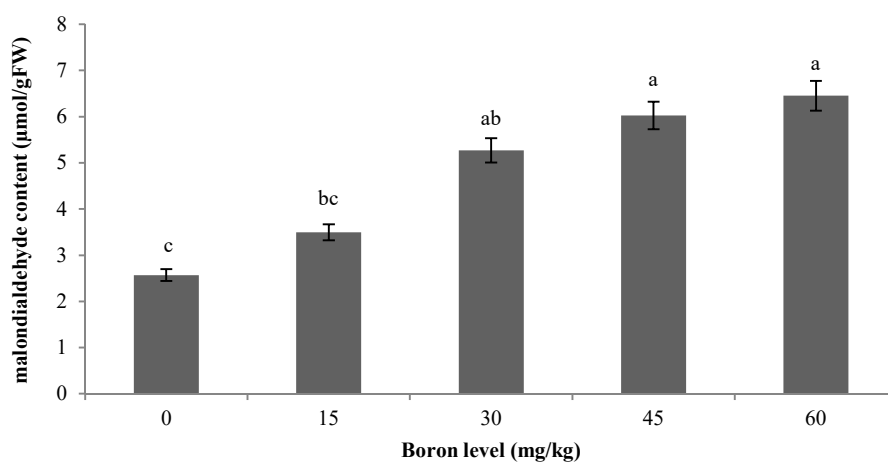
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل بور و پایه بر محتوی نسبی آب برگ سیب.

Figure 3. Mean comparison interaction effect of boron and rootstock on relative water content of apple.



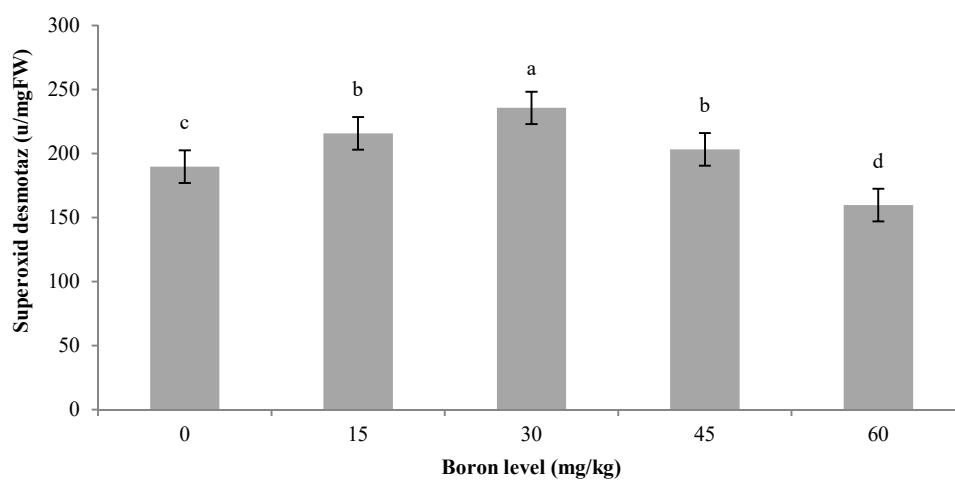
شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل بور و پایه بر میزان نشت یونی برگ سیب.

Figure 4. Mean comparison interaction effect of boron and rootstock on ion leakage of apple leaf.



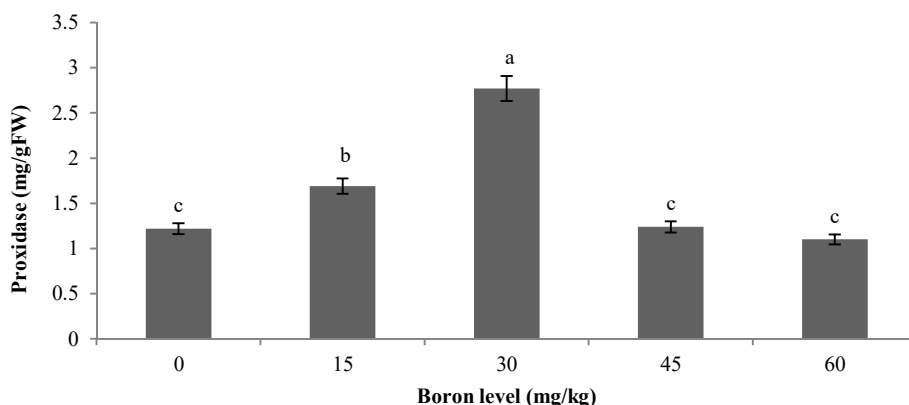
شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل بور و پایه بر محتوی مالون‌دی‌آلدئید برگ سیب.

Figure 5. Mean comparison interaction effect of boron and rootstock on malondialdehyde content of apple leaf.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل بور و پایه بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز برگ سیب.

Figure 6. Mean comparison interaction effect of boron and rootstock on superoxide dismutase of apple leaf.



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل بور و پایه بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ سیب.
Figure 7. Mean comparison interaction effect of boron and rootstock on proxidase of apple leaf.



شکل ۸. علائم سمیت بور در برگ سیب پایه رویشی M7
Figure 8. Boron toxicity signs in M7 apple rootstock

سیتوپلاسمی می‌شود و این شاید دلیلی بر کاهش آنزیم‌های پاداکننده اندازه‌گیری شده در این آزمایش در غلظت‌های بیش از ۳۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک باشد. ارزیابی کلی پایه‌های رویشی در پاسخ به سطوح مختلف بور نشان داد که پایه‌های P22 و M26 نسبت به پایه‌های دیگر از لحاظ تحمل به سمیت بور برتر بودند و می‌توان از آنها در برنامه توسعه کشت در مناطقی با میزان بور بیش از ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک استفاده نمود.

سپاسگزاری

از آقایان کوروش طهماسبی و علیرضا نوروزی آذر به جهت همکاری در تجزیه‌های آزمایشگاهی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که سمیت بور بیشتر شاخه‌های رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در پایه‌های رویشی سیب تحت تأثیر قرار داد. شاخه‌های رویشی بسته به نوع پایه و سطح بور عکس‌العمل متفاوتی نشان دادند، ولی اغلب شاخه‌های رویشی در سطوح بالاتر بور با کاهش مواجه شدند. با افزایش غلظت بور میزان تجمع بور، نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید افزایش و محتوی نسبی آب برگ کاهش یافت. فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسیددسموتاز در ابتدا افزایش و سپس در غلظت‌های بالاتر کاهش یافت. در شرایط تنش بور شدید، سنتز گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) از طریق افزایش مالون‌دی‌آلدهید منجر به خسارت در غشای

REFERENCES

1. Araniti, F. & Abenavoli, M R. (2016). Boron toxicity and tolerance in plants. <http://www.researchgate.net/publication/301242285>.
2. Brown, P. H. & Hening, Hu. (1996). Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol- rich species. *Annals of Botany*, 77, 497-505.

3. Camacho-Cristóbal, J.J., Rexach, J. & González-Fontes, A. (2008). Boron in plants deficiency and toxicity. *Plant Biology*, 50, 1247-1255.
4. Chatzissavvidis, C., Therios, I., Antonopoulou, C. & Dimassi, K. (2008). Effect of high boron concentration and scion-rootstock combination on growth and nutritional status of olive plants. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 638-658.
5. Dhindsa, R.A., Plumb-Dhindsa, P. & Thorpe, A. (1981). Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal Experimental Botany*, 126, 93-101.
6. Du, G., F. Li., Ma, F. & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in actinidia fruits. *Food Chemistry*, 113, 557-562.
7. 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 Microbiol and Applied Sciences*, 3(2), 368-380.
8. Heath, R.L. & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives Biochemistry Biophysics*, 125, 850-857.
9. Herrera, R.M.B., Gonzales-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.
10. Kamali, A. & Childers, NF. (1970). Growth and fruiting of peach in sand culture as affected by boron and fritted form of trace elements. *Journal American Society for Horticultural Science*, 95, 652-656.
11. Keshavarz, P. & Malakouti, M. J. (2004). *The role of boron in the balanced nutrition of plant*. Sana Publication. 138 pp. (in Farsi).
12. Kiani, A. (2011). Irrigation, basis and methods. *Iran Agriculture Science Publications*. (in Farsi).
13. Koutinase, N. (2013). Response of the apple rootstocks M9, M26 and MM106 to boron toxicity. *Acta Horticulturae*, 981, 471-474.
14. Landi, M., Degl'Innocenti, E., Pardossi, A. & Guidi, L. (2012). Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: a review. *American Journal Agricultural and Biological Sciences*, 7, 255-270.
15. L Lutts, S., J.M. Kinet & J. Bouharmont. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*. 78: 389-398.
16. Majidi, A. & Malakouti, M. J. (2008). *Boron toxicity in Urmia lake around Orchards*. Technical Leaflet. 2. Sana Publication. Tehran. (in Farsi).
17. Majidi, A. (2011). *Interaction between boron adsorbed with phosphor and silicium in calcareous soils*. Ph.D. Thesis, *Tarbiat Moddarres University*, Tehran, Iran. (in Farsi).
18. Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G. & Therios, I. (2006). Boron induced damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 54-62.
19. Mittler, R.(2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plants Science*, 7(9), 405-410.
20. Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22, 867-880.
21. Nable, R. O., Banuelos, G. S. & Paull, G. (1997). Boron toxicity. *Journal Plant and Soil*. 193, 181-198.
22. Nezamdoost, S., Farrokhzad, A. & Rasouli-Sadaghiani, M. H. (2017). Effect of potassium silicate on reduction of boron accumulation and oxidative damages in grape (*Vitis vinifera* cv. Bidaneh Sefid) under boron toxicity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48, 392- 401.(in Farsi).
23. Oraei, M., Tabatabaei, S. J., Fallahi, E. & Imani, A. (2012). The effects of boron stress on growth, physiological characteristics and the distribution of boron in scion-rootstock combination of almond (*Prunus dulcis* Mill). *Journal of Horticultural Sciences*, 26, 440-447. (in Farsi).
24. Paparnakis, A., Chatzissavvidis, C. & Antoniadis. (2013). How apple responds to boron excess in acidic and limed soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, (4), 787- 796.
25. 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).
26. Rostami, H., Tabatabai, S.J., Zare Nahandi, F. & Poor Azar, M.R. (2014). Effects of different concentrations of boron on concentration and distribution of this element and some other nutrients in hydroponic condition in two olive cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45, 93-101. (in Farsi).
27. Ruiz, J. M., Rivero, R. M., Lopez-Cantarero, I. & Romero, L. (2003). Role of Ca²⁺ in the metabolism of phenolic compounds in tobacco leaves (*Nicotiana tabacum* L.). *Plant Growth Regulation*, 41, 173.
28. Shelp, B. J. (1988). Boron mobility and nutrition in broccoli (*Brassica oleracea* var. Italian). *Annals of Botany*, 61, 83-91.

29. Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. (1993). Soil fertility and fertilizers. *Macmillan Coll Div*, New York, NY. 634pp.
30. Turner, N.C. (1981). Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy*, 58, 293-338.
31. Wojcik, P. (2000). Availability of soil boron fractions to M26 apple rootstock. *Journal of Plant Nutrition*, 23(7), 1025-1035.
32. Wojcik, P. & Treder, W. (2006). Effect of drip boron fertigation on yield and fruit quality in a high-density apple orchard. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 2199-2231.
33. Wang, J.Z., Tao, S.T., Qi, K.J., Wu, J., Wu, H.Q. & Zhang, S. L. (2011). Changes in photosynthetic properties and antioxidative system of pear leaves to boron toxicity. *African Journal of Biotechnology*, 10(85), 19693-19700.
34. Wolf, B. (1974). Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 5, 39-44.
35. Yau, S.K. & Ryan, J. (2008). Boron toxicity tolerance in crops: a viable alternative to soil amelioration. *Crop Sciences*, 48(3), 854-865.