نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال هشتم / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۷

اثرات برهمکنش بور و سیلیسیوم بر رشد، شاخص کلروفیل و تجمع اسیمولیت‌ها در اندام‌های مختلف دانهال‌های جوان انبه

مریم قریشی[۱]، یعقوب حسینی[۲*] و منوچهر مفتون[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵)

چکیده

خشکسالی‌های پی‌درپی و کاهش نسبی کیفیت منابع آب و خاک (شوری و سمیّت برخی از عناصر غذایی مانند بور) چالشی جدی برای پرورش میوه‌های گرمسیری همچون انبه در استان هرمزگان است. انتظار می‌رود استفاده از برخی از عناصر غذایی مانند سیلیسیوم سبب تعدیل بخشی از این مشکلات شود. در این راستا، آزمایشی با شش سطح بور (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک از منبع اسید بوریک) و چهار سطح سیلیسیوم (صفر، ۷۰، ۱۴۰ و ۲۸۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک از منبع سیلیکات سدیم) روی دانهال‌های جوان انبه انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که کاربرد بور در سطح ۸۰ میلی‌گرم بور درکیلوگرم خاک بر همه صفات رویشی اندازه‌گیری شده گیاهی تأثیری معنی‌دار داشت؛ به‌طوری که وزن خشک برگ، ساقه و ریشه را به‌ترتیب ۶۶، ۵۷/۴ و ۵۸/۸ درصد کاهش داد. افزایش کاربرد بور شاخص کلروفیل را کاهش داد، اما کاربرد سیلیسیوم میزان آن را افزایش داد. کاربرد سیلیسیوم، در همه سطوح بور، میزان پرولین و قند احیا کننده در گیاه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: انبه، بور، ترکیبات شیمیایی، رشد، سیلیسیوم

۱ و ۲. به‌ترتیب کارشناس ارشد و استادیار پژوهشی خاکشناسی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران
۳. استاد، گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد مرودشت، فارس، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: yaaghoob.hosseini@yahoo.com

مقدمه

برخی از ویژگی‌های طبیعی همچون بارندگی کم، پتانسیل بالا برای تبخیر و همچنین تعداد زیاد گنبدهای نمکی، کیفیت پایین منابع خاک وآب را در استان‌های جنوبی ازجمله استان هرمزگان سبب شده است. افزون بر این، خشکسالی‌های متوالی که نزدیک به دو دهه ادامه دارد سبب تشدید این امر شده است، به‌طوری که زیادی املاح و افزایش غلظت برخی از عناصر همچون بور در آب آبیاری (غلظت بدون خطر بور در آب آبیاری برای گیاهان حساس، کمتر از ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر ذکر شده است (۱۱)) و به‌دنبال آن تجمع آنها در خاک به یکی‌از معضلات اصلی بخش‌کشاورزی این استان‌ها تبدیل شده است. برای مثال، کاهش کیفیت منابع آب و خاک سبب سوختگی حاشیه و نوک برگ‌های انبه شده است که با گذشت زمان پیشرفت کرده است وکاهش سطح فتوسنتز کننده را به‌دنبال دارد. این عارضه در مورد دانهال‌های انبه، با درنظر گرفتن این موضوع که اغلب نهال در مقایسه با گیاه بالغ آسیب پذیرتر است، تولید نهال سالم انبه (بدون سوختگی حاشیه برگ) در استان را با مشکل مواجه کرده و حتی در بسیاری از موارد غیر ممکن کرده است. اگرچه بور یکی از عناصر کم‌نیاز ضروری برای رشد گیاه است؛ اما دامنه غلظت‌های بور در محلول خاک که سبب بروز علائم کمبود و یا سمیّت در گیاه می‌شوند بسیار به هم نزدیک است. ملکوتی و همکاران (۱۴) بیان داشتند که حد کفایت بور دربرگ چند درخت میوه از جمله سیب، هلو، زردآلو، فندق، پرتقال و نارنگی در دامنه ۳۰ تا ۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است، همین امر مدیریت مطلوب غلظت بور در محیط رشد گیاه را دشوار کرده است و با کمترین تغییر در غلظت بور، ممکن است تنش‌هایی برای گیاه ایجاد شود. برخی پژوهش‌ها روی پایه‌های پسته نشان داد که میزان بور در سر شاخه‌های پسته بعد از آبیاری آن با آب دارای ۸ میلی‌گرم در لیتر بور، باعث افزایش بور در برگ‌ها شده ولی هیچ علامت منفی در رشد و زیست‌توده گیاه مشاهده نشد (۲۲). همچنین در پژوهشی دیگر گزارش شد پس از دو ماه آبیاری پایه‌های مختلف پسته با آب حاوی۴۰ میلی‌گرم در لیتر بور اثرات منفی روی پسته مشاهده نشد. آنها نتیجه گرفتند که زمان در معرض تنش‌های یونی همراه با آب آبیاری بودن گیاه مهم است (۷). زیادی غلظت بور در گیاه تأثیر مضر خود را قبل از بروز نشانه‌های ظاهری در گیاه بر رشد گیاه می‌گذارد. در آزمایش دیگری نشان داده شد که زیادی غلظت بور در گیاه قبل از بروز هر گونه علائم قابل مشاهده، کاهش غلظت کلروفیل، کاهش سطح برگ، کاهش نشت CO_2 و در نهایت کاهش رشد گیاه را سبب شده است (۱۳). یکی از تغییرات بیوشیمیایی ایجاد شده در گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی‌از جمله زیادی (سمیّت) بور در محیط رشد گیاه، تولید گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل سوپر اکسید (O_2^-) پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) و هیدروکسیل رادیکالی(OH^-) است (۹). گونه‌های فعال اکسیژن، عوامل‌اکسیدکننده قوی هستند که باعث تخریب اکسیداسیونی در بیومولکول‌ها مثل‌چربی‌ها و پروتئین‌ها شده و تجمع آنها منجر به مرگ سلول‌های زنده می‌شود (۱۷). از طرف دیگر، بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد، کاربرد سیلیسیوم می‌تواند اثرات مضر تنش‌های مختلف گیاهی (تنش‌های زنده وغیرزنده) را کاهش‌دهد و تحمل‌گیاه در برابر تنش‌هایی همچون سرما، شوری، خشکسالی و سمیّت عناصر را افزایش دهد. سیلیسیوم جذب شده توسط گیاه به‌صورت اسید سالیسیلیک بدون بار $Si(OH)_4$ و در نهایت به‌صورت سیلیسیوم بی‌شکل و تغییر ناپذیر در گیاه رسوب می‌کند (۲۵). سیلیسیوم ابتدا در پوسته بافت‌های شاخه‌ها و ریشه‌ها به شکل پلیمریزه شده سیلیکاژل تجمع می یابد و با پکتین و یون‌های کلسیم وارد واکنش می‌شود (۲۹). افزایش ضخامت متداول لایه سیلیسیوم – سلولز استقامت مکانیکی گیاهان را تقویت می‌کند و می‌تواند مقاومت گیاه را در مقابل تنش‌های زنده و غیرزنده افزایش دهد (۵). اولین بررسی‌ها در مورد نقش سیلیسیوم در گیاهان در حدود دویست سال قبل توسط دانشمندی به‌نام هومفی داوی انجام شد. او گزارش داد که پوسته سیلیکاتی گیاهان به‌عنوان یک حامی و نگهدارنده در مقابل فعالیت حشرات برای پوست

تنه درختان عمل می‌کند. گندم، برنج، خیار، چمن، ذرت و نیشکر گیاهانی هستند که پاسخ قابل قبولی به‌کاربرد سیلیسیوم نشان داده‌اند (۱). دربرخی از پژوهش‌ها از عنصر سیلیسیوم به‌منظور بهبود مقاومت گیاه در مقابل بیماری‌ها و آفات (تنش‌های زنده) و افزایش تحمل‌گیاه در برابر تنش‌های غیرزنده استفاده شده است (۳۲). گزارش شده است که مصرف مقدار مناسب عنصر سیلیسیوم در درخت‌های یک‌ساله و دوساله پرتقال باعث افزایش وزن تر شاخه‌ها به مقدار ۳۰-۴۰ درصد در یک دوره شش‌ماهه شد. همچنین درختان تیمار شده با سیلیسیوم مقدار مواد غذایی بیشتری در مقایسه با شاهد جذب کردند (۳۰). در یک آزمایش مشاهده شد که کاربرد خاکستر آتشفشانی دارای سیلیسیوم در محیط کشت درختان جوان پرتقال (رقم والنسیا)، طول درخت (به‌میزان ۴۱-۱۴ درصد) و شاخه‌های جانبی را (به‌میزان ۴۸-۳۱ درصد) در یک دوره شش‌ماهه به‌طور معنی‌داری افزایش داد (۱۵). نتایج مشابهی در درختان جوان مرکبات نیز گزارش شده است (۳۰). بنابر آنچه گفته شد می‌توان نتیجه‌گرفت که احتمالاً سیلیسیوم نقشی فیزیولوژیک دررفع آثارسمیّت بور در درون گیاه دارد؛ همان‌گونه که این نقش را در مورد تنش‌های دیگر از قبیل شوری، خشکی و عناصر سنگین ایفا می‌کند (۶ و ۱۸). از دیگر سو، همان‌گونه که اشاره شد، استان هرمزگان دارای پتانسیل بالایی برای تولیدات کشاورزی به‌ویژه میوه‌های گرمسیری همچون انبه است. اولین گام برای افزایش سطح زیر کشت، دسترسی باغداران به نهال سالم انبه است که متأسفانه به‌سبب وقوع خشکسالی‌های متوالی و طولانی‌مدت و به‌دنبال آن کاهش کیفیت منابع آب و خاک، به‌ویژه افزایش قابل ملاحظه غلظت بور، تولید نهال سالم انبه در این شرایط دشوار شده است. اگرچه سعی شده است با وارد کردن نهال انبه از استان‌های مجاور مشکل کمبود نهال انبه مرتفع شود، اما، بخش قابل توجهی از نهال‌های وارداتی به استان، پس از کاشت در زمین اصلی گیرایی استقرار لازم را ندارند و پس از مدتی از بین می‌روند. باتوجه به مطالب گفته‌شده پژوهش‌حاضر، به‌منظور کاهش مشکلات تولید نهال سالم انبه (کاهش سوختگی‌حاشیه برگ) در شرایط موجود استان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلدان‌های پلی‌اتیلنی با قطر ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر روی دانهال‌های پایه انبه سه‌ماهه که از نظر رشد رویشی در شرایط یکسان بودند در ایستگاه تحقیقات کشاورزی میناب واقع در ۱۰۵ کیلومتری شرق بندرعباس واقع در استان هرمزگان با میزان بارندگی سالیانه ۲۰۰ میلی‌متر و تبخیر۲۳۶۱ میلی‌متر در شرایط گرم و خشک انجام پذیرفت. برای انجام این پژوهش ابتدا از مناطق مختلف انبه‌کاری استان هرمزگان خاک مناسب آزمایش (با شوری پایین و مقادیر اندک بور و سیلیسیوم) انتخاب و سپس از عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری به‌مقدار کافی خاک جمع‌آوری و به محل انجام آزمایش منتقل شد. برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

فاکتورهای آزمایش شامل بور (به مقادیر صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور درکیلوگرم خاک به‌صورت اسید بوریک) و سیلیسیوم (به مقادیر صفر، ۷۰، ۱۴۰ و۲۸۰ میلی‌گرم سیلیسیوم درکیلوگرم خاک از منبع سیلیکات سدیم) بودند و در مجموع آزمایش دارای ۲۴ تیمار بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار (در مجموع ۹۶ گلدان) انجام گرفت. پس از عبور دادن خاک انتخابی از الک دو میلی‌متری، ۱۰ کیلوگرم از آن برای هر گلدان (یک کرت آزمایش) در نظر گرفته و پس از وزن کردن در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد دانهال انبه با توجه به آزمایش اولیه خاک و همچنین سطوح سیلیسیوم از منبع $Na_2Si_3O_7$ و بور از منبع H_3BO_3، به‌صورت محلول به خاک درون کیسه‌های پلاستیکی افزوده شد. هنگامی که خاک درون این کیسه‌ها از نظر مقدار رطوبت به ظرفیت زراعی رسید، به‌طور فیزیکی با هم مخلوط شدند

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در آزمایش

Si	B	Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	TNV	OC	EC	pH
			(mg/kg)					(٪)		(dS/m)	(گل اشباع)
۴۶/۱	۰/۶۵	۱/۳۶	۲/۵۰	۴/۳۴	۲/۵۸	۱۷۲	۱۶/۲۵	۱۸/۷۵	۰/۷۹	۱/۱۵	۷/۷۳

N	گچ	SP	FC	کلاس بافتی خاک	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
	(٪)							(meq/L)			
۰/۰۸	ندارد	۲۶/۴۸	۳۱	لوم	۴/۶	۶/۴	۰/۵	ندارد	۶/۰	۲/۴	۴/۰

OC: کربن آلی، TNV: مواد خنثی شونده، SP: درصد اشباع و FC: ظرفیت مزرعه

و سعی شد تا عناصر اضافه شده به‌طور یکنواخت در تمام توده خاک پخش شود. پس از آن خاک موجود در کیسه‌های پلاستیکی به گلدان‌های آماده شده منتقل شد. سپس مراحل کاشت مرسوم در گلدان‌ها طی شد و در نهایت یک دانهال در هرگلدان باقی گذاشته شد. سعی شد تا حد ممکن نهال همه گلدان‌ها یک‌اندازه باشند. گلدان‌ها با آب مقطر آبیاری شدند و تلاش شد تا در طول سی هفته دوره آزمایش، مقدار رطوبت در حد ظرفیت مزرعه حفظ شود. مقدار آب برای آبیاری گلدان‌ها به روش وزن کردن روزانه گلدان‌ها محاسبه شد. درطول انجام آزمایش مراقبت‌های معمول انجام شد. سی هفته پس از کاشت و قبل از مرحله برداشت (قطع نهال‌ها) شاخص کلروفیل برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته با دستگاه SPAD (Konica Minolta) اندازه‌گیری شد. پس از قطع نهال‌ها از طوقه، سطح کامل برگ، بخش خشکیده و بخش سبز هر برگ به‌طور جداگانه توسط دستگاه پلانیمتر (KP-۹۰N) اندازه گیری شدند. طول ساقه با خط‌کش و قطر ساقه در رشد جدید به‌وسیله کولیس و تعداد ساقه‌های جانبی در رشد جدید نیز شمارش شدند. سپس ریشه‌ها از خاک خارج شدند. در ادامه برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها با آب شهر و سپس آب مقطر کاملاً شسته شدند و پس از گرفتن آب اضافی آنها، وزن تر برگ‌ها ، ساقه و ریشه در هر گلدان به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شد و وزن خشک برگ‌ها ، ساقه و ریشه نیز پس از سپری شدن ۷۲ ساعت در آون در دمای بین ۶۵ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پرولین ابتدا ۰/۲ گرم از گیاه تازه، وزن شد و به قطعات ریز تقسیم شد. اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به آن اضافه و در هاون کوبیده شد، سپس آن را صاف کرده و پس از افزودن اسید نائین هیدرین و اسید استیک غلیظ، محلول به‌مدت یک ساعت درون حمام آب گرم و بعد در حمام آب یخ قرار گرفت و پس از سرد شدن محلول‌ها به آنها تولوئن اضافه شد، سپس فاز رنگی رویی را جدا و غلظت پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (PharmaciaNovaspec II) قرائت شد (۴). برای اندازه گیری قندهای احیا شونده، مقدار ۰/۲ گرم از پودر گیاه را وزن کرده و به آن اتانول ۸۰ درصد اضافه شد و پس از سانتریفیوژ کردن محلول شفاف رویی را جدا کرده، سپس به یک میلی‌لیتر از محلول حاصل، فنول ۵ درصد اضافه شد و بلافاصله اسید سولفوریک غلیظ اضافه و به‌مدت ۳۰ ثانیه به هم‌زده، درون حمام آب یخ قرار داده و پس از سرد شدن غلظت محلول در طول موج ۴۹۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر (Pharmacia Novaspec II) قرائت شد (۱۲). آنالیز آماری داده به‌وسیله برنامه آماری (6.1) SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد با کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام پذیرفت.

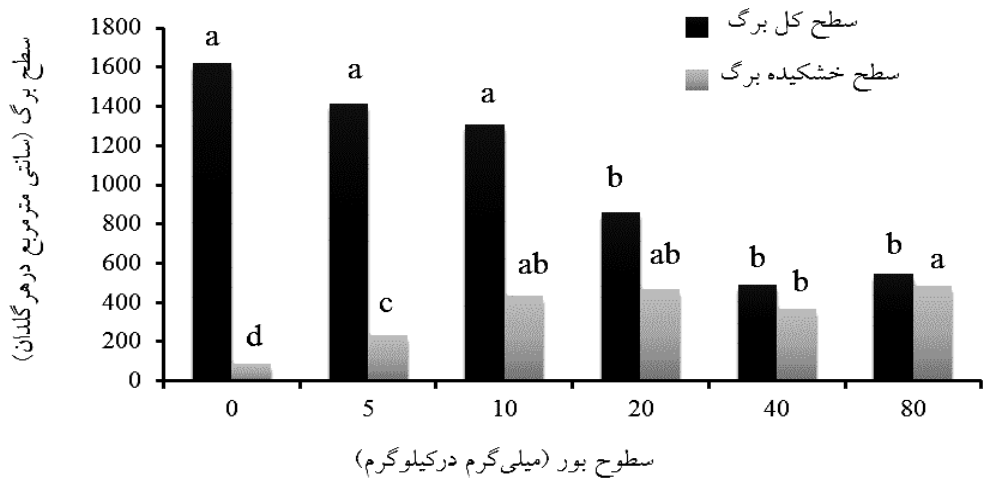
نتایج

تجزیه واریانس پاسخ‌های گیاهی اندازه‌گیری شده در آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود فاکتورهای آزمایش برخی از پاسخ‌های گیاهی را به‌طوری معنی‌دار تحت تأثیر قرار داده است.

جدول ۲. نتایج تجزیه آماری مربوط به پاسخ های صفات مختلف گیاه انبه به بور و سیلیسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)							
		وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	کلروفیل	پرولین	سطح کل برگ	قند احیا کننده برگ	قند احیا کننده ساقه	قند احیا کننده ریشه
بلوک	۳	۱/۲۸۳۵^{ns}	۰/۲۶۹۱^{ns}	۰/۱۷۰۶^{ns}	۲۱۳/۷۵۴۴^{ns}	۵/۱۶۳۶*	۵۲۲۶۲۶/۳۹^{ns}	۰/۲۵۳۳^{ns}	۱/۱۰۶۱^{ns}	۰/۴۰۴۳^{ns}
بور	۵	۶/۹۵۹۳**	۳/۵۸۳۵**	۲/۱۷۲۵**	۳۱۷/۱۸۸۰*	۲/۰۶۶۴^{ns}	۳۶۰۸۱۶۰/۷۹**	۴۱/۵۶۳۳**	۴/۴۰۶۵*	۱۴/۶۷۷۶**
سیلیسیوم	۳	۱/۰۷۵۵^{ns}	۰/۴۷۲۳^{ns}	۰/۴۶۶۹^{ns}	۲۹۶/۷۵۲۲^{ns}	۵/۳۳۳۲*	۶۹۶۶۳۰/۳۴^{ns}	۱/۸۴۵۸^{ns}	۵/۹۷۸۴*	۳/۹۲۴۲**
بور × سیلیسیوم	۱۵	۰/۴۷۹۴^{ns}	۰/۳۲۳۰^{ns}	۰/۰۸۲۹^{ns}	۱۰۵/۶۴۱۲^{ns}	۲/۹۵۰۵*	۲۱۶۰۹۱/۵۳^{ns}	۰/۹۱۰۵^{ns}	۱/۱۶۱۷^{ns}	۱/۲۲۸^{ns}
خطا	۶۹	۰/۵۱۵۱	۰/۲۲۸۲	۰/۲۲۸۶	۱۲۷/۴۸۵۶	۱/۵۴۹۴	۲۸۴۴۲۳/۷۸	۲/۴۳۴۸	۱/۵۶۰۳	۰/۸۸۴۵
ضریب تغییرات (CV)		۲۵/۰	۲۱/۸	۲۵/۳	۲۵/۰	۴۳/۱	۵۱/۲	۴۳/۰	۲۱/۹	۲۱/۸

ns: از لحاظ آماری معنی‌دارنیست، * و ** به‌ترتیب در سطح آماری پنج و یک درصد معنی‌دار است.



شکل ۱. تأثیر سطوح بور بر روی سطح کل برگ و سطح خشکیده برگ. حروف مشترک در ستون‌ها، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که، به‌طورکلی، در همه سطوح بور، با افزایش کاربرد سیلیسیوم، سطح برگ روندی کاهشی نشان داد؛ به‌جز سطح ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک که با افزایش سیلیسیوم میزان سطح برگ افزایش یافت. اگرچه این افزایش معنی‌دار نبود. سطوح کاربردی بور بر میزان سطح کل برگ در سطح پنج درصد تأثیری معنی‌دار داشت. در سطوح پایین بور در خاک (۵ و ۱۰ میلی‌گرم بور درکیلوگرم خاک) تفاوتی معنی‌دار با تیمار شاهد مشاهده نشد ولی با افزایش کاربرد بور (۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور درکیلوگرم خاک) تفاوت‌ها قابل ملاحظه و معنی‌دار شدند. میزان کاهش سطح برگ در مقادیر ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱۲/۷، ۱۹/۴، ۴۷/۱، ۶۹/۶ و ۶۶/۳ درصد بود. با افزایش مقدار بور در خاک مقدار سطح خشکیده برگ، درسطح پنج درصد، افزایش معنی‌داری پیدا کرد. مقدار این افزایش در سطوح ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱۶۳، ۳۸۹/۳، ۴۲۹/۴، ۳۱۵/۲ و ۴۴۴/۲ درصد نسبت به شاهد بود. به عبارت دیگر میزان سطح خشکیده در گلدان در تیمار ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک، ۵/۴ برابر شاهد بوده است. این روند در شکل ۱ نشان داده شد.

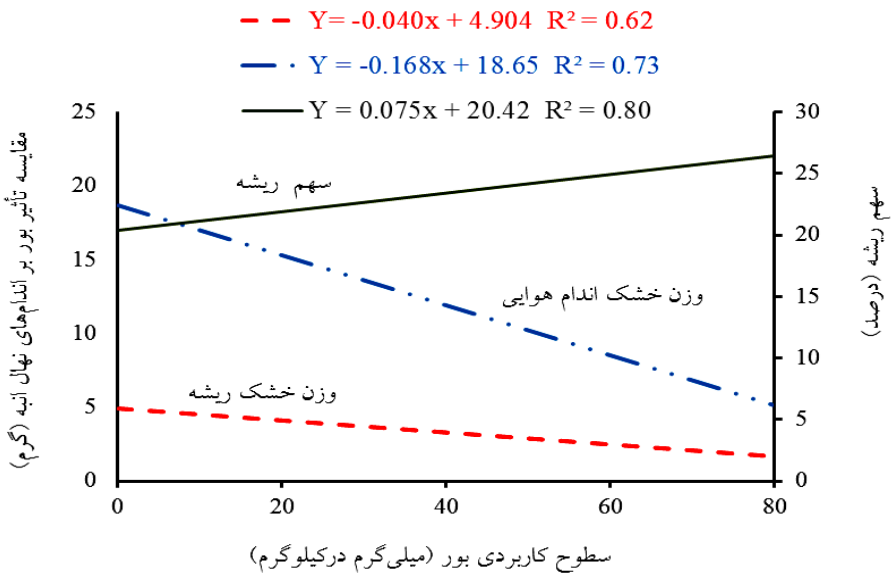
نتایج نشان داد برهمکنش کاربرد بور و سیلیسیوم بر وزن خشک برگ تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). در سطوح ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بور درکیلوگرم خاک با افزایش کاربرد سیلیسیوم میزان وزن خشک برگ کاهش، اما این کاهش معنی‌دار نبود؛ اما در بالاترین مقدار بور اضافه شده به خاک، با افزایش کاربرد سیلیسیوم مقدار وزن خشک برگ نسبت به سطح صفر سیلیسیوم افزایش نشان داد و بیشترین مقدار افزایش در سطح ۷۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک به میزان ۳۸/۶ درصد نسبت به زمان عدم کاربرد سیلیسیوم بود. کاربرد بور سبب کاهشی معنی‌دار در وزن خشک برگ انبه شد (جدول ۳).

کاربرد سطوح ۵ و۱۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد اختلافی معنی‌دار نشان نداد ولی کاربرد بیشتر بور (۲۰ و ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک) تفاوتی معنی‌دار با شاهد را سبب شد. کاربرد بور به‌مقدار ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، وزن خشک برگ را به‌ترتیب ۹، ۱۰، ۴۲، ۶۵ و ۶۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد. بیشترین کاهش در سطح ۸۰ میلی‌گرم بور درکیلوگرم خاک حاصل شد لیکن تفاوت معنی‌داری با مقدار وزن خشک برگ در سطح ۴۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک نشان نداد. کاربرد سیلیسیوم سبب کاهش میانگین وزن خشک برگ انبه شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد مقدار۱۴۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک تأثیر چشمگیری روی وزن خشک برگ انبه نسبت به شاهد ندارد. با افزایش مقدار کاربرد سیلیسیوم وزن خشک برگ کاهشی معنی‌دار را نشان داد.

جدول ۳. تأثیر سطوح بور و سیلیسیوم روی وزن خشک برگ (گرم در گلدان)

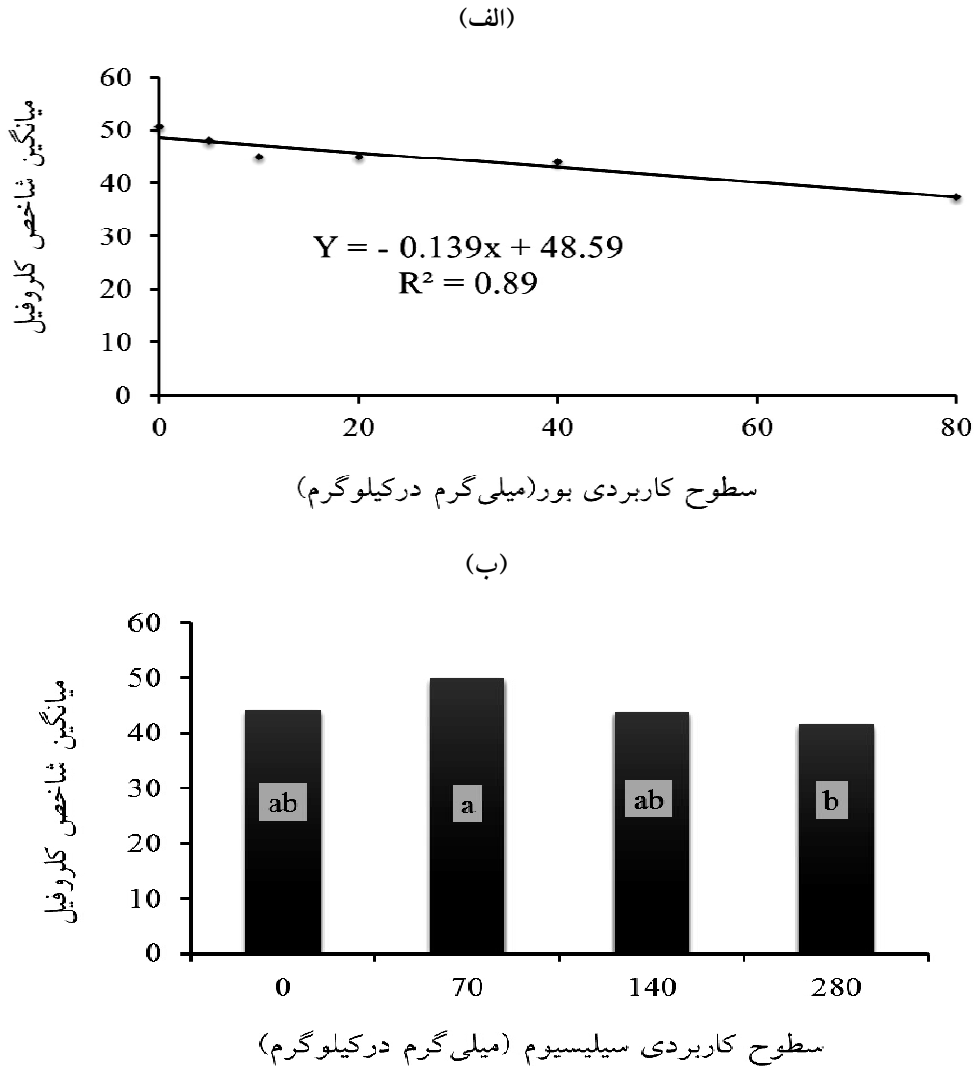
سطوح بور (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	سطوح سیلیسیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)				میانگین
	صفر	۷۰	۱۴۰	۲۸۰	
صفر	۱۲/۱۸^{abc}	۱۸/۷۱^{a}	۱۰/۶۵^{ab}	۱۱/۹۴^{a}	۱۳/۳۷^{A}
۵	۱۳/۸۸ ^{ab}	۱۲/۵۷^{ab}	۱۲/۸۰^{a}	۹/۵۴^{ab}	۱۲/۲۰^{A}
۱۰	۱۸/۰۶ ^{a}	۱۱/۳۲^{abc}	۹/۶۴^{ab}	۹/۱۲^{ab}	۱۲/۰۴^{A}
۲۰	۹/۷۶ ^{abc}	۶/۳۴^{bc}	۹/۵۰^{ab}	۵/۴۰^{ab}	۷/۷۵^{B}
۴۰	۶/۰۰^{bc}	۴/۹۳^{c}	۳/۶۱^{b}	۳/۷۳^{b}	۴/۶۲^{C}
۸۰	۳/۸۶ ^{c}	۵/۳۶^{bc}	۴/۵۷^{b}	۴/۶۸^{b}	۴/۵۷^{C}
میانگین	۱۰/۶۲^{A}	۹/۸۷^{AB}	۸/۴۶^{AB}	۷/۴۰^{B}	

میانگین‌هایی که در هر ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ و یا در هر ردیف در یک حرف کوچک و یا بزرگ مشترک هستند؛ طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



شکل ۲. مقایسه تأثیر سطوح بور بر اندام هوایی، ریشه و سهم وزن ریشه نسبت به کل گیاه

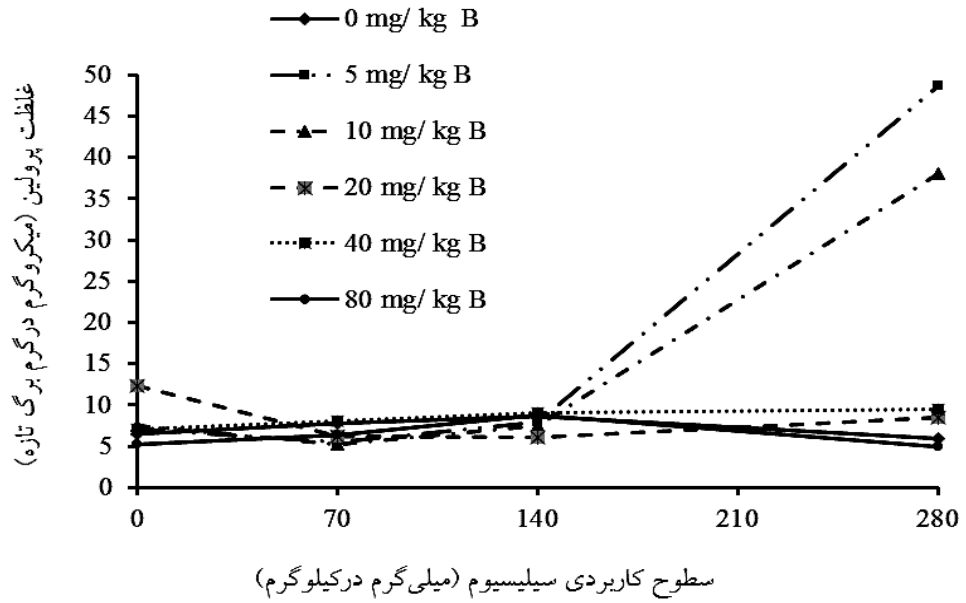
برهمکنش کاربرد سطوح مختلف سیلیسیوم و بور بر روی وزن خشک ساقه از نظر آماری معنی‌دار نبود، ولی به‌طورکلی یک روند کاهشی در وزن خشک ساقه با افزایش کاربرد این عناصرتواماً مشاهده شد. میزان درصد سهم وزن خشک ریشه نسبت به وزن کل خشک گیاه با افزایش کاربرد بور تا سطح ۲۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک روند کاهشی را نشان‌داد، ولی با افزایش کاربرد بور در سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک این روند افزایشی شد. این روند در شکل ۲ نشان داده شده است. کاربرد سطوح سیلیسیوم بر درصد سهم ریشه از کل گیاه نشان داد که تا سطح ۱۴۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک روند آن کاهشی‌است ولی در سطح ۲۸۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک یک افزایش ۳/۹ درصدی درسهم ریشه مشاهده شد که این هم به‌علت کاهش ۲۸/۷ درصدی وزن خشک اندام هوایی در سطح ۲۸۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک در مقابل کاهش ۲۷/۷ درصدی وزن خشک ریشه است.



شکل ۳. الف) تأثیر سطوح کاربردی بور و ب) سطوح کاربردی سیلیسیوم بر میانگین شاخص کلروفیل برگ (حروف مشترک در هر ستون، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند).

برهمکنش سطوح سیلیسیوم و بور بر شاخص کلروفیل (قرائت شده با دستگاه SPAD) معنی‌دار نبوده است (جدول ۲) ولی تأثیر سطوح مختلف بور کاربردی بر شاخص کلروفیل قرائت شده در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌های این پارامتر نشان داد که مقادیر ۵، ۱۰، ۲۰ و۴۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک علاوه‌بر تیمار شاهد با یکدیگر نیز اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. اما سطح ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک با شاهد و سطح ۵ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک دارای اختلافی معنی‌دار بود (شکل۳-الف). افزایش سطوح سیلیسیوم تا سطح ۷۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک شاخص کلروفیل را نسبت به شاهد به مقدار ۱۳ درصد افزایش داد ولی در سطوح بالاتر یعنی ۱۴۰ و ۲۸۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۰/۴ و ۵/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش دیده شد. میانگین شاخص کلروفیل و سطوح سیلیسیوم در شکل ۳-ب آورده شده است.

در بررسی غلظت اسیمولیت‌ها در دانهال‌های انبه مشاهده شد که برهمکنش سطوح کاربردی بور و سیلیسیوم بر میزان پرولین در اندام هوایی گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). درسطح صفر بور با افزایش سطوح سیلیسیوم میزان

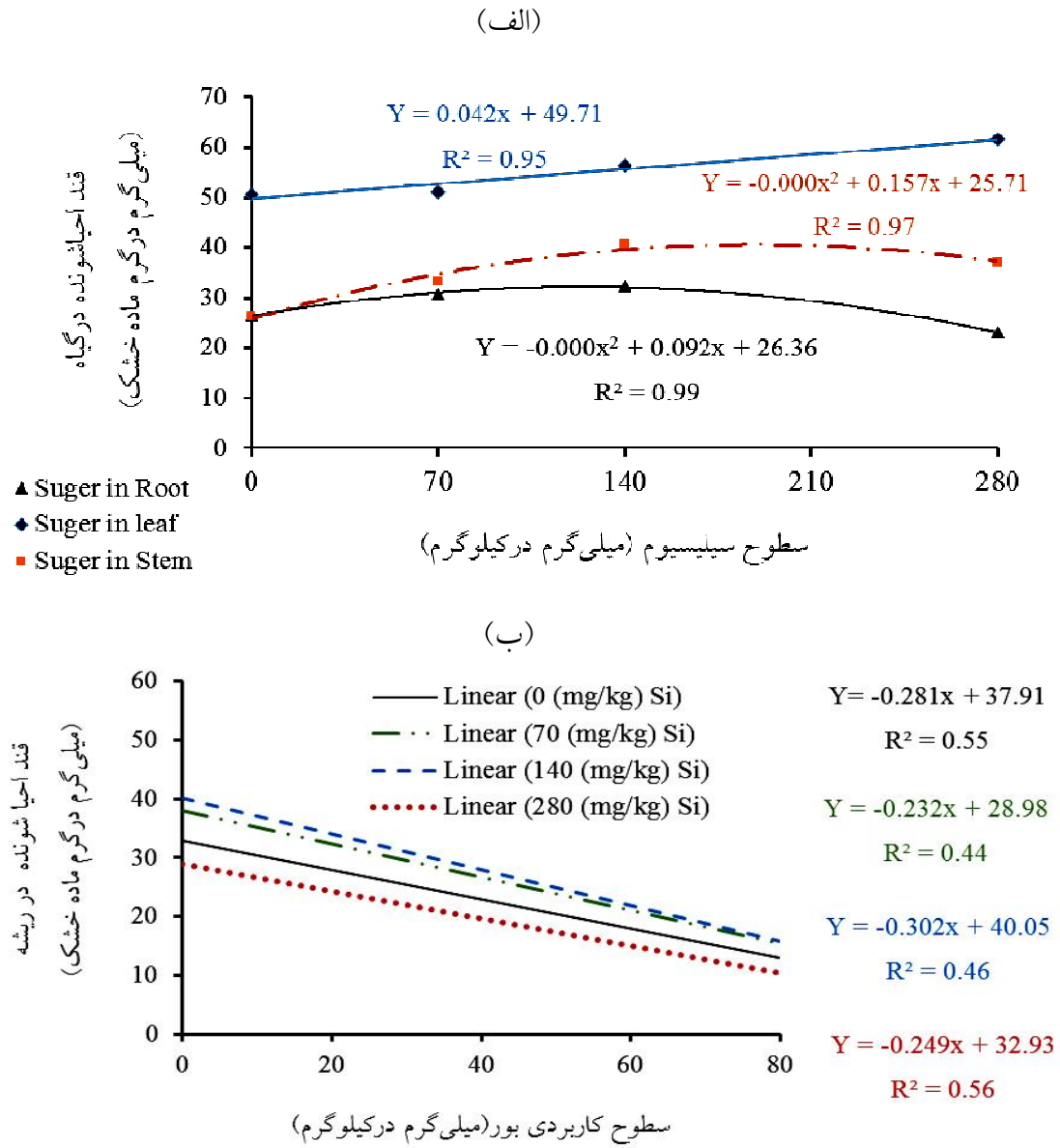


شکل ۴. تأثیر برهمکنش سطوح کاربردی بور و سیلیسیوم بر میانگین غلظت پرولین برگ (میکروگرم در گرم برگ تازه)

پرولین دربرگ افزایش یافت. کاربرد ۲۸۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک با سطوح دیگر و با شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد داشت و با افزایش ۲/۵ برابری غلظت پرولین نسبت به شاهد همراه بود. میزان پرولین در سطوح کاربردی ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک در ابتدا یک روند کاهشی را نسبت به شاهد در سطح کاربردی ۷۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک نشان داد ولی در سطوح ۱۴۰ و ۲۸۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد و سطح ۷۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک افزایش مشاهده شد. اما در سطوح کاربردی ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک در تمام سطوح کاربردی سیلیسیوم نسبت به شاهد، میزان پرولین یک روند افزایشی را نشان داد. شکل ۴ تأثیر برهمکنش سطوح سیلیسیوم و بور برمیانگین‌های پرولین در برگ را نشان می‌دهد.

تأثیرسطوح کاربردی بور روی دیگر اسیمولیت اندازه‌گیری شده برگ (قند احیا شونده) در سطح یک درصد و در ساقه و ریشه تا سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۲). مقدار قند احیا شونده با کاربرد ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک اختلافی معنی‌دار با یکدیگر و شاهد نشان داد، ولی کاربرد۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک با یکدیگر و با سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک و همچنین شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. به‌طورکلی یک روند کاهشی در میزان قند احیا شونده در برگ انبه با افزایش سطوح کاربردی بور مشاهده شد. تأثیر سطوح کاربردی سیلیسیوم بر غلظت قند احیا شونده برگ معنی‌دار نیست اما یک روند افزایشی را نشان داد. مقایسه سطوح کاربرد سیلیسیوم با شاهد نشان داد که کاربرد ۷۰، ۱۴۰ و ۲۸۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب سبب افزایش ۰/۸، ۱۱/۶ و ۲۱/۷ درصدی قند احیاشونده نسبت به شاهد شد. در سطوح ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک با افزایش کاربرد سیلیسیوم یک روند افزایشی در میزان قند احیاشونده برگ دیده شد. افزایش کاربرد سیلیسیوم به‌مقدار ۱۴۰ و ۲۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، افزایش چشمگیر مقدار قند در ساقه را نیز به‌دنبال داشته‌است (شکل ۵-الف).

کاربرد سیلیسیوم به‌مقدار ۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در ریشه اختلافی معنی‌دار را با تیمار شاهد نشان نداد. ولی درسطوح ۰، ۵، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک با افزایش کاربرد سیلیسیوم تا سطح ۱۴۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک با افزایش میزان قند احیا شونده در ریشه همراه بوده است



شکل ۵. الف) تأثیر سطوح سیلیسیوم بر غلظت قند احیا کننده برگ، ساقه و ریشه و ب) تأثیر سطوح سیلیسیوم و بور بر غلظت قند احیا کننده در ریشه

و این افزایش به‌ترتیب نسبت به سطح بدون کاربرد سیلیسیوم ۶۲/۵، ۴۴/۷، ۰/۱۲، ۶۵/۶ و ۱۸/۶ درصد است (شکل ۵ –ب).

بحث

همان‌گونه که در بخش قبلی مشاهده شد، کاربرد بور بر بیشتر پاسخ‌های گیاهی تأثیری منفی داشت. گفته شده است که حساسیت به میزان بور در گیاهان سبب کاهش سطح برگ، توسعه نواحی نکروزه و کاهش ظرفیت فتوسنتز در نواحی در حال توسعه گیاه می‌شود (۱۹). در پژوهشی(۱۰) گزارش شد که در سطوح بالای بور (۶۰ گرم در کیلوگرم خاک) به‌طور واضح علائم سمیّت در برگ‌های پرتقال به‌صورت کلروز و چین‌خوردگی که ناشی از رشد نامتقارن و کاهش سطح برگ بود، ایجاد شد. این گزارش با نتایج حاصل از این پژوهش هماهنگی دارد. در پژوهشی روی درخت بادام با افزایش سطوح

بور، درصد نکروزگی برگ بادام روندی افزایشی داشت (۲۰). در آزمایشی دیگر نشان داده شد که پس از ۱۰/۵ ماه از اعمال تیمار ۱۵ میلی‌گرم در لیتر بور در آب آبیاری روی پایه‌های نهال پسته، سطح برگ و تعداد برگ برحسب هر گیاه به‌صورت خطی کاهش یافته است (۲۳). بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار غلظت بور در برگ‌های نهال‌ها در مقایسه با تیمار شاهد، به هنگام کاربرد ۵ و ۸۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک به‌ترتیب به حدود ۵ برابر و ۸/۵ برابر رسید که دلیل آن تجمع بیشتر بور در اندام‌های گیاهی به‌ویژه در برگ است. تجمع زیاد بور باعث از بین رفتن غشای پلاسمایی سلول، به سبب افزایش غلظت رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود و این امر سوختگی حاشیه و سپس کل برگ را به‌دنبال دارد (۱۷)؛ این موضوع به احتمال فراوان یکی از دلایل اثر سوء بور بر پاسخ‌های گیاهی در این آزمایش است. این نتایج به‌وسیله پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است. در مطالعه‌ای روی لیمو ملاحظه شد که افزایش غلظت بور در خاک، میزان وزن خشک اندام هوایی نهال لیمو را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (۲۴). در پژوهشی روی بادام، اورعی و همکاران (۲۰) بیان داشتند که افزایش بور در خاک کاهش معنی‌دار وزن تر، وزن خشک و تعداد برگ را در مقایسه با شاهد نشان داد. علت اصلی کاهش شدید تعداد برگ و به تبع آن وزن تر و خشک برگ و ریزش شدید برگ‌های جوان و توقف رشد انتهایی گیاه ناشی از نکروزه شدن و مرگ بافت شاخه ذکر شد. در پژوهشی دیگر روی دو نهال پایه پیوندی پسته مشاهده شد که بعد از دو ماه از کاربرد تیمار بور در سطح ۸۰ میلی‌گرم در لیتر بور در آب آبیاری، اثرات منفی بور در گیاه دیده شد و باعث کاهش زیست‌توده گیاه نسبت به شاهد شد و به‌طورکلی با افزایش غلظت بور بیشتر از سطح ۶۰ میلی‌گرم در لیتر بور در آب آبیاری وزن خشک برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها کاهش یافت (۳). برهمکنش کاربرد بور و سیلیسیوم بر وزن خشک برگ تأثیر معنی‌داری نداشت. در پژوهشی (۸) روی جو مشاهده شد که وزن خشک با افزایش سطوح بور کاهش پیدا کرد، اگرچه با افزایش سطوح سیلیسیوم وزن خشک تا حدود وزن شاهد افزایش یافت. عدم تشابه نتایج ممکن است به‌دلیل تفاوت در گیاه مورد استفاده و میزان تمایل آن به جذب بور و سیلیسیوم باشد.

در مطالعه‌ای دیگر (۲۸) روی درخت انگور در شرایط سمّیت بور و شوری میزان وزن خشک ساقه کاهش پیدا کرد ولی با کاربرد سیلیسیوم میزان وزن خشک افزایش یافت. کاهش وزن خشک ساقه می‌تواند به‌علت افزایش غلظت بور و رسیدن به حد سمّیت آن در اندام‌های گیاه از جمله در ساقه باشد. تأثیر برهمکنش سطوح کاربردی بور و سیلیسیوم بر متوسط قطر ساقه جدید معنی‌دار نبود؛ اگرچه افزایش سطح سیلیسیوم تا ۷۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک در برخی از سطوح بور، قطر ساقه‌های جدید را افزایش داد، ولی با افزایش کاربرد سیلیسیوم دوباره روند کاهشی مشاهده شد که علت احتمالی آن، می‌تواند افزایش تجمع سیلیسیوم و ایجاد سمّیت در گیاه باشد. تأثیر کاربرد سطوح مختلف بور بر طول ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار و دارای یک روند کاهشی در میزان رشد بود. این مشاهده با نتیجه حاصل از پژوهش روی دو رقم پرتقال که کمبود و یا سمّیت بور طول نهال‌ها را کاهش داده بود، مطابقت دارد (۲۶). در پژوهشی با اثرات غلظت‌های متفاوت بور در آب آبیاری روی دو پایه پیوندی پسته گزارش شد که تمام پارامترهای رویشی به غیر از قطر ساقه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد با شاهد داشت و ارتفاع گیاه بعد از دو ماه از زمان آبیاری با غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر بور کاهش قابل توجهی نشان داده است (۳). همچنین در مطالعه‌ای روی کیوی مشاهده شد با افزایش کاربرد بور طول ساقه هر دو نوع کیوی مورد مطالعه کاهش یافت (۲۷).

یکی از علائم بارز سمّیت بور ممانعت از رشد طولی ریشه است، چرا که این عنصر از مهم‌ترین اجزاء تشکیل دهنده دیواره سلولی اولیه بوده و مقادیر بیش از حد آن باعث اختلال در فرایند ساخت دیواره سلولی می‌شود. در پژوهش حاضر، به‌طورکلی، یک روند کاهشی در وزن خشک ریشه قابل مشاهده بود. افزایش سهم ریشه در سطوح بالای بور نشان می‌دهد که سمّیت بور به اندام‌های هوایی گیاه به‌میزان بیشتری نسبت به

ریشه آسیب وارد کرده و باعث خشک شدن آن شده است (شکل ۲). گفته شده است مقادیر بیش از حد بور با اثرات فیزیولوژیکی منفی نظیر کاهش تقسیم سلولی و رشد ریشه، رسوب لیگنین و سوبرین، کاهش خروج پروتون از ریشه، افزایش نشت غشا، تغییر فعالیت مسیرهای آنتی‌اکسیدانی و تنش اکسیداسیونی همراه است (۲).

با افزایش سطوح کاربردی بور روندی کاهشی در میزان شاخص کلروفیل مشاهده شد. به احتمال زیاد، علت این کاهش نتیجه تأثیر منفی سمیّت بور بر کارکرد غشای پوسته و همچنین روی فتوسنتز از طریق افزایش مقاومت روزنه‌ای (stomatal resistance) و تخریب بیولوژیکی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزکننده است (۲). در مطالعه‌ای روی پایه‌های نارنگی و نارنج (۲۱) ملاحظه شد که در شرایط سمیّت بور، میزان کلروفیل در برگ کاهش یافته است. نتایج مشابهی به‌وسیله دیگر پژوهشگران روی مرکبات هم گزارش شده است (۱۰)، در پژوهشی دیگر روی دو رقم پسته گزارش شد که تیمار بور بالا (۸۰ میلی گرم در لیتر بور) در آب آبیاری هیچ تأثیر منفی روی میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل نداشته است (۳).

نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش دیگری (۸) که در آن با کاربرد بور غلظت پرولین در اندام جو کاهش ولی با کاربرد سیلیسیوم غلظت پرولین افزایش یافت، به‌طوری که در آخرین سطح کاربرد، به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود، مطابقت دارد. علاوه‌بر این، گزارش شده (۱۷ و ۲۱) که در شرایط سمیّت بور در پایه‌های نارنگی و نارنج و همچنین سیب میزان پرولین کاهش یافته است. در پژوهشی روی مرکبات در آبیاری با آب دارای بور زیاد (۱۰)، میزان پرولین در برگ کاهش یافت. یکی از دلایل کاهش غلظت‌های پرولین و کربوهیدرات می‌تواند به محدود شدن متابولیسم سیتوپلاسم، درسلول‌های برگ گیاهانی که تحت بور زیاد رشد می‌کنند، نسبت داده شود (۱۶). در پژوهشی دیگر (۲۸) روی دو نوع پایه انگور گزارش شد که تحت شرایط شوری و کاربرد بور (به‌صورت منفرد و یا ترکیبی) غلظت پرولین در انگور افزایش یافت، درحالی‌که کاربرد سیلیسیوم باعث کاهش غلظت آن شد، اگرچه این کاهش فقط در زمان تیمار شوری به‌تنهایی معنی‌دار بود.

گفته شده است یکی از واکنش‌های گیاه برای کم کردن علائم سمیّت بور، تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ‌ها است. (۳۱). به‌طورکلی برهمکنش بین سطوح مختلف بور و سیلیسیوم بر میزان قند احیا شونده در ساقه معنی‌دار نبود. در پژوهشی (۲۱) ملاحظه شد که با افزایش بور در محیط رشد گیاه، مقدار کربوهیدرات در ریشه پایه‌های نارنگی و نارنج کاهش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری

کاربرد بور در خاک، سبب کاهش وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و همچنین افزایش نسبت سهم ریشه به کل وزن نهال در سطوح بالای بور در دانهال انبه شد. به احتمال زیاد این امر به علت تجمع بالای بور در اندام هوایی و به‌ویژه در برگ گیاه است که سبب بروز صدمات شدیدتری به قسمت هوایی گیاه شده است. افزایش کاربرد بور روند کاهشی در میزان شاخص کلروفیل ایجاد کرد، اما کاربرد سیلیسیوم تا سطح ۷۰ میلی‌گرم سیلیسیوم در کیلوگرم خاک باعث افزایش میزان شاخص کلروفیل شد. در تمام سطوح بور با افزایش کاربرد سیلیسیوم میزان پرولین در برگ افزایش نشان داد. کاربرد بور قند احیاشونده در برگ و ریشه را کاهش و در ساقه گیاه افزایش داد. کاربرد سیلیسیوم، قند احیاشونده را در تمام قسمت‌های گیاه افزایش داد. اگرچه سیلیسیوم نتوانست، به همان صورت که به‌وسیله پژوهشگران دیگر بیان شده است، به‌خوبی نقش اصلاحی و تغذیه‌ای خود را در شرایط سمیّت بور روی پایه‌های نهال انبه به انجام برساند؛ لیکن مشاهدات مزرعه‌ای نشان داد که سیلیسیوم زمان شروع علائم سمیّت بور در نهال‌ها را به تأخیر انداخت. بنابراین پیشنهاد می‌شود که آزمایش‌های تکمیلی در این خصوص و همچنین زمان و میزان علائم سمیّت بور در پایه‌های مختلف نهال‌های انبه، به‌هنگام استفاده از سیلیسیوم، انجام پذیرد.

منابع مورد استفاده

1. Al-Aghabary, K., Z. Zhu and Q. Shi. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 12: 2101-2115.
2. Ardic, M., A. H. Sekmen, I. Turkan, S. Tokur and F. Ozdemir. 2009. The effects of boron toxicity on root antioxidant system of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Plant and Soil* 314: 99-108.
3. Arzani, K. and H. Hokmabadi. 2015. Growth Response of Two Young Pistachio (*Pistacia vera* L.) Rootstock Seedlings to Boron Excess in Irrigation Water under a Soilless Culture System. *Acta Horticulturae* 1062: 67-70.
4. Bates, L. S., R. P. Waldern and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
5. Epstein, E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641-664.
6. Gong, H., X. Zhu, K. Chen, S. Wang and C. Zhang. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science* 169: 313-321.
7. Hokmabadi, H., K. Arzani, B. Gheibi and F. Hadavi. 2007. Growth and leaf chemical composition of three pistachio (Pistacia vera L.) rootstock seedlings in response to boron excess in irrigation water. *Acta Horticulturae* 726: 363-366.
8. Inal, A., D. J. Pilbeam and A. Gunes. 2009. Silicon increases tolerance to Boron toxicity and reduces oxidative damage in barley. *Journal of Plant Nutrition* 32(1): 112-128.
9. Karabal, E., M. Yucel and H. A. Oktem. 2003. Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Science* 164: 925-933.
10. Keles,Y., I. Oncel and N. Yenice. 2004. Relationship between boron content and antioxidant compounds in citrus leaves taken from fields with different water source. *Plant and Soil* 265: 345-353.
11. Keren, R. and F. T. Bingham. 1985. Boron in water, soils and plants. *Advances in Soil Science* 1: 230-276.
12. Kochert, G. 1978. Carbohydrate Determination by the Phenol Sulfuric Acid Method. Hand Book of Physiological Methods. Cambridge University Press, London.
13. Lovatt, C. J. and L. M. Bates. 1984. Early effects of excess boron on photosynthesis and growth of Curcubita pepo. *Journal of Experimental Botany* 35: 297-305.
14. Malakouti, M. J., N. Karimian and P. Keshavarz. 2006. Diagosis and Recommendation Integrated System for Balanced Fertilization. Tarbiat Modarres University Press, Tehran.
15. Matichenkov, V., E. Bocharnikova and D. Calvert. 2001. Response of citrus to silicon soil amendments. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 114: 94-97.
16. Matoh, T. 1997. Boron in plant cell walls. *Plant and Soil* 193: 59-70.
17. Molassiotis, A., T. Sotiropoulos, G. Tanou, G. Diamantidis and I. Therios. 2006. Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of apple rootstock EM 9 (Malus domestica borkh). *Environmental Experimental Botany* 56: 54-62.
18. Morikowa, C. K. and M. Saigusa. 2002. Si amelioration of Al toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.) growing in two Andosol. *Plant and Soil* 240: 161-168.
19. Nable, R. O., G. S. Banuelos and J. G. Paull. 1997. Boron toxicity. *Plant and Soil* 193: 181-198.
20. Oraei, M., S. J. Tabatabaei, A. Iemani and E. Falahi. 2010. Interactive effect of boron toxicity and rootstock on the growth, photosynthetic rate and nutrient concentrations of almond tree. *Iranian Sustainable Agricultural and Production Science* 20(2): 49-63. (In Farsi).
21. Papadakis, I. E., K. N. Dimassi, A. M. Bosabalidis, I. N. Therios, A. Patakas and A. Giannakoula. 2004. Boron toxicity in Clementine mandarin plants grafted on two rootstocks. *Plant Science* 166: 539-547.
22. Parsa, A. A. and A. Wallace. 1980. Differential partitioning of boron and calcium in shoots of seedlings of two pistachio (*Pistacia vera*) cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 2: 236-266.
23. Picchioni, G. A., S. Miyamota. 1990. Salt effects on growth and ion uptake of pistachio rootstock seedling. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115:647-653
24. Rajaie, M., A. K. Ejraie, H. R. Owliaie and A. R. Tavakoli. 2009. Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings in calcareous soil. *International Journal of Plant Production* 3(1): 39-50.
25. Ranganathan, S., V. Suvarchala, Y. B. R. D. Rajesh, M. Srinivasa Prasad, A. P. Padmakumari and S. R. Voleti. 2006. Effects of silicon sources on its deposition, chlorophyll content, and disease and pest resistance in rice. *Biologia Plantarum* 50: 713-716.
26. Sheng, O., S. W. Song, Y. J. Chen, S. A. Peng and X. X. Deng. 2009. Effects of exogenous B Supply on growth, B accumulation and distribution of two navel orange cultivars. *Trees* 23: 59-68.
27. Sotiropoulos, T. E., I. N. Therios, K. N. Dimassi, A. Bosabalidis and G. Kofidis. 2002. Nutritional status, growth, CO_2, assimilation and leaf anatomical responses in two kiwifruit species under boron toxicity. *Journal of Plant Nutrition* 25(6): 1249-1261.

28. Soylemezoglu, G., K. Demir, A. Inal and A. Gunes. 2009. Effect of silicon on antioxidant and stomatal response of two grapevines (*Vitis vinifera* L.) Rootstocks grown in boron toxic, saline and boron toxic-saline soil. *Scientia Horticulturae* 123: 240-246.
29. Waterkeyn, L., A. Bientait and A. Peeters. 1982. Callose ET silice epideriques rapports avec la transpiration culticulaire. *La Cellule* 73: 263-287.
30. Wutscher, H. K. 1989. Growth and mineral nutrition of young orange trees grown with high levels of silicon. *Horticultural Science* 24: 275-277.
31. Yokota, H. and S. Konishi. 1990. Effect of the formation of a sugar borate complex on the growth inhibition of pollen tubes of Camellia sinensis and cultured cells of Nicotiana tabacum by toxic levels of borate. *Soil Science and Plant Nutrition* 36: 275-281.
32. Zhu, Z., G. Wei, J. Li, Q. Qian and J. Yu. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science* 167: 527-533.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 8, No. 4, Winter 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Interaction Effects of Using Boron and Silicon on the Growth, Chlorophyll Index and Osmolytes Accumulation in Young Mango Seedlings

M. Ghoreishi[1], Y. Hosseini[2*] and M. Maftoon[3]

(Received: October 23-2016 ; Accepted: March 6-2018)

Abstract

The successive droughts and the degradation of water and soil resources quality (salinity and toxicity of nutrients like boron) are serious challenges for tropical fruit tree cultivation such as mango in Hormozgan province south of Iran. Using some nutrients like silicon is believed to be effective in order to mitigate the aforementioned problem. Hence, an experiment was carried out in which six boron levels (0, 5, 10, 20, 40 and 80 mg B/kg soil as H_3BO_3) and four levels of silicon (0, 70, 140 and 280 mg Si/kg soil as $Na_2Si_3O_7$) were applied on young mango seedlings. The results showed that the use of boron (80 mg B/kg soil) had a significant effect on measured mango vegetative traits; as the dry weights of leaf, stem and root were reduced by 66, 57.4 and 58.8 percent, respectively. Moreover, the chlorophyll index was decreased by boron application whereas using Silicon increased the chlorophyll index. Using silicon, in all boron levels increased proline and decreased reducing sugars concentrations in the mango plant.

Keywords: Boron, Chemical compounds, Growth, Mango, Silicon

1, 2. Instructor and Assistant Professor of Soil Science, Respectively, Soil and Water Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran.
3. Professor, Department of Soil Science, Azad University of Marvdasht, Fars, Iran.
*: Corresponding Author, Email: yaaghoob.hosseini@yahoo.com