اثرات کاربرد سیلیسیوم بر میزان رشد و روابط آبی بادام در شرایط سمیت بور

. شیما میرزائی[۱]، سهیل کریمی*[۲]، ساسان علی نیایی فرد[۲]
1کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی، پردیس ابوریحان .دانشگاه تهران، تهران، ایران
2عضو هیئت‌علمی گروه باغبانی پردیس ابوریحان .دانشگاه تهران، تهران، ایران
*نویسنده مسئول:skarimi@ut.ac.ir

چکیده

کاهش بارندگی و افزایش دما میزان تبخیر سبب گسترش تنش‌های محیطی ازجمله خشکی و آلودگی خاک شده است. کشور ایران در اقلیم خشک و گرم جهان واقع‌شده است. آب موجود در مناطق خشک و نیمه‌خشک، حاوی مقادیر بالای بور است. همچنین نبود آب کافی برای شستشوی پروفیل خاک سبب تجمع بور و بروز سمیت بور در خاک این مناطق می‌شود. همچنین بور دیرتر از سایر عناصر از خاک شسته می‌شود. سمیت بور با افزایش آسیب اکسیداتیو و تخریب بافت برگ سبب کاهش رشد و عملکرد در محصولات کشاورزی می‌شود. مدیریت تأمین عناصر غذایی سبب بهبود تحمل به تنش‌های محیطی می‌شود. سیلیسیوم عنصری مفید است که سبب بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌شود. در این پژوهش اثر کاربرد سیلیسیوم (سیلیکات پتاسیم) در سه سطح صفر، ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار در محلول غذایی بر درختان بادام در شرایط تنش بور در دو سطح شاهد و سمیت بور (۱۵ برابر غلظت محلول هوگلند) در سه تکرار در سیستم کشت هیدروپونیک ارزیابی شد. کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش پتانسیل آب و محتوای نسبی آب برگ و درنتیجه بهبود پارامترهای رشد شد. همچنین کاربرد سیلیسیوم با افزایش تعداد برگ‌ها و محتوای کاروتنوئیدها و میزان آب موجود در گیاه سبب افزایش میزان کلروفیل کل برگ‌های بادام و افزایش تحمل سمیت بور شد. بر اساس داده‌های حاصل از این پژوهش کاربرد ۵ میلی‌مولار سیلیسیوم سبب بهبود پارامترهای رشد و افزایش تحمل تنش سمیت بور در درختان بادام شد.

واژه‌های کلیدی :بیومس، پتانسیل آب برگ، کاروتنوئیدها، کلروفیل، محتوای نسبی آب گیاه.

مقدمه

تخریب زمین‌های کشاورزی و افزایش استفاده از نهاده‌های کشاورزی، اثرات مخربی بر طبیعت گذاشته و سبب افزایش آسیب-های زیست‌محیطی شده است (Ardic *et al*, 2009). از سوی دیگر کاهش بارندگی و افزایش دما سبب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی شده است (Karimi *et al*, 2018). تنش‌های غیر زیستی همچون تنش خشکی و آلودگی خاک از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید محصولات کشاورزی در جهان، هستند (Inal, 2009). در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کاهش بارندگی و نبود آب کافی جهت شستشوی خاک، بور به‌تدریج در خاک انباشته می‌شود (Ardic *et al*, 2009). علاوه بر این بور دیرتر از سایر عناصر از پروفیل خاک شسته می‌شود (Ardic *et al*, 2009). آب مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب کیفیت پائینی دارد و حاوی مقادیر بالای بور است و سبب تجمع بور در خاک می‌شود (Ardic *et al*, 2009)؛ لذا یکی از تهدیدات عمده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، سمیت بور است (Karimi *et al*, 2017). سمیت بور با نکروز حاشیه برگ‌ها سبب کاهش سطح فتوسنتزکننده گیاه می‌شود (Karimi *et al*, 2017). از سوی دیگر آسیب اکسیداتیو ناشی از آن، سبب تخریب دیواره سلولی، اندامک‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش رشد و عملکرد می‌شود (Karimi *et al*, 2018). یکی از راه‌های افزایش تحمل تنش‌های محیطی بهینه‌سازی تغذیه گیاه است. سیلیسیوم دومین عنصر فراوان در پوسته زمین است. سیلیسیوم موجود در خاک عمدتاً توسط جریان رودها شسته می‌شود و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Guntzer *et al*, 2012). تحقیقات نشان داده‌اند که سیلیسیوم سبب افزایش تحمل تنش‌های زیستی و غیر زیستی در گیاهان می‌شود (Beltrano *et al*, 2013; Nadeem *et al*, 2014). سیلیسیوم با تشکیل ترکیبات بور – سیلیکات، مانع از جذب بور اضافی در خاک می‌شود (Inal, 2009). سیلیسیوم با فعال‌کردن سیستم دفاعی گیاه، سبب کاهش آسیب اکسیداتیو و مانع از تخریب اندامک‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (میرزائی و همکاران، ۱۳۹۸). سیلیسیوم پس از جذب، در دیواره سلولی رسوب می‌کند و سبب افزایش استحکام سلول می‌شود (Nadeem *et al*, 2014). بر اساس آمار سازمان خواروبار جهانی، ایران

سومین تولیدکننده برتر بادام درجهان است اما در سال‌های گذشته میزان تولید بادام در کشور ما به دلیل کاهش بارندگی کاهش‌یافته است (FAO, 2019). در این پژوهش سعی بر آن شد که با کاربرد سیلیسیوم در تغذیه گیاه سبب بهبود رشد و عملکرد و افزایش تحمل سمیت بور در درختان بادام شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش، بذرهای بادام تلخ به مدت دو ماه در مخلوطی از ماسه و پرلیت به نسبت یکسان در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از جوانه‌زنی بذرها، در گلدان‌های پلاستیکی حاوی ماسه و پرلیت (نسبت ۱ به ۱) کشت شدند. دانهال‌ها با محلول هوگلند کامل تغذیه شدند. در گلخانه دمای روز ۲۷ و دمای شب ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. پس از اینکه دانهال‌ها یکدست و به ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متری رسیدند، سیلیسیوم در سه سطح (صفر، ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار) به شکل سیلیکات پتاسیم همراه محلول غذایی هوگلند به آن‌ها داده شد. پس از گذشت یک ماه، تنش سمیت بور در دو سطح شاهد و سمیت بور (۱۵ برابر غلظت محلول هوگلند) اعمال شد. در ابتدا به‌منظور جلوگیری از بروز تنش در درختان بادام، در دو مرحله سمیت بور ۱۰ برابر غلظت محلول غذایی هوگلند به آن‌ها داده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. پس از اتمام دوره ۹۰ روزه تنش سمیت بور، محتوای نسبی آب برگ و پارامترهای رشد شامل ارتفاع گیاه، تعداد برگ، سطح برگ و سطح ویژه برگ اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل کل و کاروتنوئیدها بر اساس روش Wellburn و Lichenthaler (۱۹۸۳) اندازه‌گیری شد. میزان پتانسیل آب برگ با دستگاه بمب فشار (California US Barnara Pressure Chamber, Santa Mode 670) و سبزینگی برگ با دستگاه SPAD 502 اندازه‌گیری شد. سپس داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ تجزیه واریانس شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان داد که در شرایط شاهد بور، محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سیلیسیوم تغییر نکرد که این امر می‌تواند ناشی از مکانیزم‌های تحمل به خشکی در حفظ محتوای آب برگ باشد (Nadeem *et al*, 2014). در گیاهان تحت شرایط سمیت بور، محتوای نسبی آب برگ با کاربرد ۵ میلی‌مولار سیلیسیوم افزایش یافت (جدول ۱). محتوای نسبی آب برگ شاخصی از وضعیت آب گیاه، میزان جذب آب و میزان تعرق است (Karimi *et al*, 2017). افزایش محتوای نسبی آب برگ به معنای بهبود میزان آب و افزایش پتانسیل فتوسنتز گیاه است که در نتیجه افزایش آن، میزان رشد و عملکرد گیاه بهبود می‌یابد (Beltrano *et al*, 2013). پتانسیل آب برگ در تیمار شاهد و سمیت بور با کاربرد سیلیسیوم افزایش یافت (جدول ۱). افزایش پتانسیل آب برگ روی کارایی فتوسنتز اثر می‌گذارد (Ardic *et al*, 2009). افزایش پتانسیل آب برگ به دلیل اثر سیلیسیوم در افزایش ضخامت بافت برگ و کاهش تعرق است (میرزائی و همکاران، ۱۳۹۸).

جدول ۱- اثر سیلیسیوم بر محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ درختان بادام در غلظت‌های مختلف بور در محلول غذایی

تیمار بور	میزان سیلیسیوم **mM**	محتوای نسبی آب برگ %	پتانسیل آب برگ MPa
شاهد بور	۰	۳۸/۰^{a}	-۰/۸۰^{b}
	۲/۵	۳۸/۳^{a}	-۰/۶۳^{a}
	۵	۳۵/۲^{a}	-۰/۵۳^{a}
سمیت بور	۰	۳۳/۳^{b}	-۰/۹۵^{b}
	۲/۵	۳۵/۲^{b}	-۰/۶۱^{a}
	۵	۴۲/۳^{a}	-۰/۵۱^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه، تفاوت معنی دارای در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارند.

در گیاهان تحت تیمار شاهد بور، میزان ارتفاع گیاه و تعداد برگ تحت تأثیر کاربرد سیلیسیوم قرار نگرفت (جدول ۲)، اما کاربرد سیلیسیوم سبب بهبود رشد در شرایط تنش و بدون تنش می‌شود (Nadeem *et al*, 2014). در شرایط سمیت بور کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش تعداد برگ شد (جدول ۲). کاهش ریزش برگ‌ها، سبب حفظ سطح فتوسنتزکننده و در نتیجه بهبود رشد و عملکرد می‌شود (Beltrano *et al*, 2013). حفظ تعداد برگ‌ها به دلیل حفظ میزان آب گیاه و افزایش استحکام دیواره به کاربرد سیلیسیوم است (Nadeem *et al*, 2014). همچنین در شرایط سمیت بور کاربرد ۲/۵ میلی‌مولار سیلیسیوم سبب افزایش ارتفاع شد (جدول ۲). سیلیسیوم با رسوب در دیواره سلولی و افزایش استحکام سلول و نیز حفظ سطح فتوسنتزکننده و ممانعت از ریزش برگ‌ها در شرایط تنش سبب افزایش ارتفاع گیاه شد (Guntzer *et al*, 2012). سطح برگ در شرایط شاهد و سمیت بور با کاربرد ۵ میلی‌مولار سیلیسیوم افزایش یافت (جدول ۲). سیلیسیوم با افزایش محتوای آب برگ سبب بهبود پارامترهای رشد گیاه می‌شود (Ardic *et al*, 2009). افزایش سطح برگ در شرایط تنش‌های محیطی سبب افزایش تثبیت کربن و سطح فتوسنتزکننده و بهبود پارامترهای رشد ازجمله ارتفاع گیاه شد (Naeem *et al*, 2017).

جدول ۲- اثر کاربرد سیلیسیوم بر ارتفاع، تعداد برگ و سطح برگ درختان بادام در غلظت‌های مختلف بور در محلول غذایی.

تیمار بور	میزان سیلیسیوم (mM)	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد برگ	سطح برگ (cm^2)
شاهد بور	۰	۹۴/۶^{a}	۳۴/۴۵^{a}	۵۱۸/۴^{b}
	۲/۵	۸۹/۴^{a}	۲۷/۹۹^{a}	۴۴۰/۸^{b}
	۵	۹۴/۰^{a}	۳۷/۵۶^{a}	۶۸۰/۶^{a}
سمیت بور	۰	۹۳/۳^{b}	۳۸/۶۷^{b}	۵۹۳/۳^{b}
	۲/۵	۹۸/۲^{a}	۵۷/۳۳^{a}	۶۱۷/۰^{b}
	۵	۸۹/۲^{b}	۴۷/۰۶^{a}	۸۱۳/۵^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه، تفاوت معنی دارای در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارند.

کلروفیل کل برگ در شرایط شاهد بور تحت تأثیر کاربرد سیلیسیوم قرار نگرفت (جدول ۳)؛ اما در شرایط سمیت بور کاربرد ۲/۵ میلی‌مولار سیلیسیوم سبب افزایش میزان کلروفیل کل برگ شد (جدول ۳). در سایر پژوهش‌ها نیز میران کلروفیل کل برگ در شرایط تنش‌های محیطی با کاربرد سیلیسیوم افزایش یافت (Guntzer *et al*, 2012). افزایش کلروفیل کل به دلیل اثر سیلیسیوم در افزایش پتانسیل آب و کاهش آسیب اکسیداتیو است که سبب بهبود فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود (Inal, 2009). در این پژوهش افزایش کلروفیل کل برگ در اثر افزایش میزان کلروفیل a است. در گیاهان تحت تیمار شاهد بور، میزان کلروفیل **a** تغییری نداشت لذا کلروفیل کل تغییری نکرد اما در شرایط سمیت بور با افزایش میزان کلروفیل b، کلروفیل کل برگ افزایش یافت. بیشترین میزان کاروتنوئیدهای برگ در شرایط شاهد بور، در تیمار کاربرد ۲/۵ میلی‌مولار سیلیسیوم و در شرایط سمیت بور در تیمار کاربرد ۵ میلی‌مولار سیلیسیوم بود (جدول ۳). کاروتنوئیدها نقش مهمی در تحمل به تنش‌های محیطی با کمک به جذب نور و محافظت از کلروفیل‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش دارند (Karimi *et al*, 2017). در شرایط سمیت بور، محتوای کاروتنوئیدها در بافت برگ کاهش پیدا کرد (جدول ۳)؛ اما کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش محتوای کاروتنوئیدها و بهبود تحمل به تنش شد (جدول ۳). کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش محتوای کاروتنوئیدها به دلیل تقویت سیستم دفاعی گیاه و کاهش اثرات آسیب اکسیداتیو شد (Guntzer *et al*, 2012).

جدول ۳- اثر کاربرد سیلیسیوم بر میزان کلروفیل کل و کاروتنوئیدهای برگ درختان بادام در غلظت‌های مختلف بور در محلول غذایی.

تیمار بور	میزان سیلیسیوم (mM)	کلروفیل کل برگ (mg gFM^{-1})	کاروتنوئیدها (mg gFM^{-1})
شاهد بور	۰	۳۰۸۵/۲۰^{a}	٤٨٧/٨٣^{c}
	۲/۵	۲۹۱٤/۹۰^{a}	٥٢٤/٢٧^{a}
	۵	۳۱۷۷/۷۰^{a}	٤٩٦/٧٢^{b}
سمیت بور	۰	۲۱۵۹/۳۱^{c}	٣٤٠/٧٩^{c}
	۲/۵	۳۱۱۵/٦٤^{a}	٤٧٧/٠٨^{b}
	۵	۳۰۹٦/٧٢^{b}	٤٨٠/٣٣^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه، تفاوت معنی دارای در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارند.

بر اساس یافته‌های حاصل از این پژوهش، کاربرد سیلیسیوم با افزایش محتوای نسبی آب گیاه و پتانسیل آب برگ سبب بهبود میزان آب موجود در گیاه و در نتیجه بهبود پارامترهای رشد شد. سیلیکا فیکیشن سیلیسیوم در اپیدرم برگ‌ها سبب حفظ تعداد و سطح برگ‌های درختان بادام در شرایط تنش و در نتیجه بهبود میزان رشد شد. علاوه بر این کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش کاروتنوئیدها و در نتیجه بهبود جذب نور و افزایش حفاظت از کلروفیل‌ها شد. حفظ سطح فتوسنتزکننده، افزایش میزان آب موجود در گیاه و میزان کلروفیل کل در برگ سبب افزایش تحمل تنش سمیت بور در درختان بادام شد. بر اساس داده‌های حاصل از این پژوهش کاربرد ۵ میلی‌مولار سیلیسیوم برای بهبود پارامترهای رشد و تحمل تنش سمیت بور در درختان بادام پیشنهاد شد.

منابع

میرزائی، ش.، کریمی، س؛ و علی نیایی فرد، س. ۱۳۹۸. اثرات کاربرد سیلیسیوم بر رشد و روابط آبی بادام در شرایط تنش خشکی. ششمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. تهران. ایران.

Ardic, M., Sekmen, A.H., Tokur, S., Ozdemir, F. and Turkan, I. 2009. Antioxidant responses of chickpea plants subjected to boron toxicity. Plant Biology, 11(3): 328-338.

Beltrano, J., Ruscitti, M., Arango, M.C. and Ronco, M. 2013. Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and p levels. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13(1): 123-141.

F.A.O. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations Database (Almond crop). Available At: *http://faostat.org*. *Access Data: 2019.*

Guntzer, F., Keller, C. and Meunier, J.D. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. Agronomy for Sustainable Development, 32(1): 201-213.

Inal, A., Pilbeam, D.J. and Gunes, A. 2009. Silicon increases tolerance to boron toxicity and reduces oxidative damage in barley. Journal of Plant Nutrition, 32(1): 112-128.

Karimi, S., Rahemi, M., Rostami, A.A. and Sedaghat, S. 2018. Drought Effects on Growth, Water Content and Osmoprotectants in Four Olive Cultivars with Different Drought Tolerance. International Journal of Fruit Science, 18(3): 254-267.

Karimi, S., Tavallali, V. and Wirthensohn, M. 2017. Boron amendment improves water relations and performance of Pistacia vera under salt stress. Scientia Horticulturae, 241: 252-259.

Nadeem, S.M., Ahmad, M., Zahir, Z.A., Javaid, A. and Ashraf, M. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. Biotechnology Advances, 32(2): 429-448.

Wellburn, A.R. and Lichtenthaler, H. 1984. Formulae and program to determine total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. In Advances in Photosynthesis Research, 9-12.

Effects of silicon application on growth rate and almond water relations under boron toxicity conditions

Shima Mirzaei[1], Soheil Karimi[*2], Sasan Aliniaeifard[2]

[1] Master horticultural science and engineering. collage of Aburaihan. University of Tehran. Tehran. Iran.

[2] Faculty member of department of horticultural. college of Aburaihan. University of Tehran. Tehran. Iran.

[*]*Corresponding Author: skarimi@ut.ac.ir*

Abstract

Decreased rainfall and increased temperature and evaporation have led to the spread of abiotic stresses such as drought stress and soil pollution. Iran is located in the hot and drought climate of the world. Water in arid and semi-arid regions contains high amounts of boron. Also, the lack of sufficient water to wash the soil profile causes the accumulation of boron and boron toxicity in the soil of these areas. Boron also leaches from the soil later than other elements. Boron toxicity reduces growth and yield in agricultural products by increasing oxidative damage and destruction of leaf tissue. Nutrient management improves tolerance to environmental stresses. Silicon is a beneficial element that improves plant tolerance to biotic and abiotic stresses. In this study, the effect of application of silicon (potassium silicate) at three levels of 0, 2.5, and 5 mM in nutrient solution on almond trees under boron stress at two levels of control and boron toxicity (15 times the concentration of Hoagland's solution) in three replications evaluated in The hydroponic culture system. Application of silicon increased water potential and leaf relative water content and thus improved growth parameters. Also, the use of silicon by increasing the number of leaves and carotenoids content and the amount of water in the plant increased the total chlorophyll content of almond leaves and increased boron toxicity tolerance. Based on the data obtained from this study, the application of 5 mM silicon improved the growth parameters and increased the stress tolerance of boron toxicity in almond trees.

***Keywords*:** Biomass, Leaf water potential, Carotenoids, Chlorophyll, Plant water content.