اثرات کاربرد سیلیسیوم در تغذیه درختان بادام بر میزان رشد و تحمل تنش خشکی

[۱]، سهیل کریمی[۲*]، ساسان علی‌نیایی‌فرد[۳] شیما میرزائی

کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران [۱]

دانشیار گروه باغبانی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران [۲]

استادیار گروه باغبانی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران [۳]

*نویسنده مسئول: Skarimi@ut.ac.ir

چکیده

تغییرات اقلیمی و افزایش دمای جهانی سبب گسترش تنش‌های محیطی از جمله خشکی شده است. بخش عظیمی از کشور ما ایران در منطقه خشک و گرم جهان واقع شده است. در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش میزان آب موجود در گیاه و ریزش برگ‌ها و فتوسنتز، میزان رشد کاهش می‌یابد. این امر سبب کاهش میزان تولید بادام ایران در جهان شده است. لذا میزان صادرات و درآمد کشاورزان کاهش می‌یابد. بهینه‌سازی تغذیه گیاه یکی از روش‌های بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش‌های غیرزیستی است. سیلیسیوم یک عنصر مفید است که سبب بهبود رشد و عملکرد در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. در این پژوهش اثر کاربرد سیلیسیوم (سیلیکات پتاسیم) در سه سطح صفر، ۲/۵ و ۵ میلی مولار در محلول غذایی هوگلند بر درختان بادام در شرایط تنش خشکی (۹۰، ۶۵ و ۴۰ درصد ظرفیت آب گلدان) در سه تکرار در طرح کاملا تصادفی ارزیابی شد. کاربرد سیلیسیوم با سیلیکافیکیشن در دیواره سلولی و افزایش استحکام آن، سبب کاهش میزان تعرق و افزایش محتوای‌نسبی آب برگ شد. سیلیسیوم با کاهش میزان پراکسید هیدروژن و افزایش شاخص پایداری غشاء سبب کاهش آسیب اکسیداتیو و تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. بهبود میزان آب موجود در گیاه و حفظ برگ‌ها در شرایط تنش خشکی سبب افزایش میزان کلروفیل کل برگ با کاربرد سیلیسیوم شد. کاربرد سیلیسیوم سبب، بهبود پارامترهای رشد در شرایط تنش خشکی شد. بر اساس داده‌های این پژوهش، کاربرد ۵ میلی مولار سیلیسیوم سبب افزایش رشد و میزان تحمل تنش خشکی درختان بادام شد.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، سطح برگ، روابط آبی، فتوسنتز، کلروفیل.

مقدمه

کاهش بارندگی، افزایش دما و میزان تبخیر سبب افزایش خشکسالی شده است (Kamiab *et al.*, 2013). تنش خشکی همواره رشد و حیات گیاهان را تهدید نموده است (میرزائی و کریمی، ۱۳۹۶). محدودیت دسترسی به آب در بسیاری از کشورها عاملی مؤثر بر میزان عملکرد و رشد محصولات کشاورزی بوده است (Karimi *et al.*, 2018). کاهش دسترسی به آب قابل جذب، سبب کاهش رشد می‌شود (Rizwan *et al.*, 2015). تنش خشکی با بستن روزنه‌ها و کاهش مبادلات گازی و تثبیت کربن، کاهش میزان آب موجود در گیاه و نیز بروز آسیب اکسیداتیو و تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی سبب کاهش عملکرد و رشد در پسته (Kamiab *et al.*, 2013) شد. در سال‌های گذشته دوره‌های خشک‌سالی سبب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی شده است. لذا یافتن روش‌هایی برای حفظ رشد و عملکرد درختان بادام در شرایط تنش خشکی در ایران بسیار حائز اهمیت است. بهبود تغذیه گیاه از روش‌هایی است که سبب افزایش تحمل گیاه به تنش می‌شود (میرزائی و کریمی، ۱۳۹۶). سیلیسیوم عنصری مفید است (Meunier *et al.*, 2017) که پس از جذب به صورت پلیمرهای سیلیکاژل در اپیدرم برگ ذخیره می‌شود و باعث افزایش استحکام دیواره سلولی و تحمل گیاه به تنش‌های مختلف از جمله خشکی می‌شود (Meunier *et al.*, 2017). سیلیسیوم با کاهش درجه گشودگی روزنه‌ها موجب کاهش هدر رفت آب می‌شود (Kamiab

(*et al.*, 2013). در این پژوهش با کاربرد سیلیسیوم در تغذیه گیاه سعی در افزایش تحمل تنش، بهبود رشد و حفظ آب درختان بادام در شرایط تنش خشکی شد.

مواد و روش‌ها

بذرهای بادام تلخ پس از چینه سرمایی در مخوطی یکسان از پرلیت و ماسه بادی کشت شدند. پس از رشد، دانهال‌ها، با محلول هوگلند کامل تغذیه شدند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار در گلخانه به اجرا درآمد. سیلیسیوم به شکل سیلیکات پتاسیم (در سه سطح صفر، ۲/۵ و ۵ میلی مولار) همراه محلول هوگلند به دانهال‌ها داده شد. سپس تنش خشکی در سه سطح ۹۰، ۶۵ و ۴۰ درصد ظرفیت آب گلدان اعمال شد. آبیاری هر دو روز یکبار و با توزین گلدان‌ها انجام شد. پس از اتمام دوره ۹۰ روزه تنش، محتوای نسبی آب برگ از برگ‌های توسعه یافته در میانه ساقه اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل‌کل بر اساس روش Lichenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) و بررسی جذب نوری در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (PerkinElmer, Lambda 25, USA) اندازه گیری شد. پارامترهای رشد شامل ارتفاع گیاه، تعداد برگ و سطح وِیژه برگ در پایان دوره تنش اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشاء از روش Sairam و همکاران (۱۹۹۷) و میزان پراکسید هیدروژن برگ با روش Alexieva و همکاران (۲۰۰۱) اندازه گیری شد. تجزیه واریانس نتایج حاصل با نرم افزار SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌های محتوای نسبی آب برگ نشان داد که در گلدان‌های تیمار ۹۰ و ۶۵ درصد ظرفیت آب گلدان، کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد، جدول۱. سیلیسیوم با رسوب در دیواره سبب کاهش تعرق و هدر رفت آب می‌شود (Meunier *et al.*, 2017). افزایش محتوای نسبی آب برگ نشان دهنده افزایش تحمل به تنش خشکی و شاخصی از وضعیت آب گیاه است (Karimi *et al.*, 2018). در سایر پژوهش‌ها نیز کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد (Kamiab *et al.*, 2013). در گیاهان تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت آب گلدان کاربرد سیلیسیوم تأثیری در افزایش محتوای نسبی آب برگ نداشت، جدول ۱. اما محتوای نسبی آب برگ در سطح بالایی حفظ شد. این امر می‌تواند ناشی از مکانیزم‌های تحمل به خشکی بادام باشد (Zhu *et al.*, 2015). میزان کلروفیل کل برگ، در تنش خشکی شدید با کاربرد ۵ میلی مولار سیلیسیوم افزایش یافت، جدول۱. این امر می‌تواند ناشی از کاهش آسیب اکسیداتیو و افزایش محتوای نسبی‌آب برگ باشد (Rizwan *et al.*, 2015). در گیاهان تحت تیمار ۶۵ و ۹۰ درصد ظرفیت آب گلدان کاربرد سیلیسیوم تاثیری در افزایش میزان کلروفیل کل نداشت، جدول۱. در شرایط تنش گیاه بادام با حفظ برگ‌ها سعی در حفظ ظرفیت فتوسنتزی خود دارد (Karimi *et al.*, 2018). این امر سبب حفظ میزان کلروفیل کل برگ درختان بادام حتی در شرایط تنش شد، جدول ۱.

جدول ۱- اثرات کاربرد غلظت‌های مختلف سیلیسیوم بر محتوای نسبی آب و کلروفیل کل برگ درختان بادام در شرایط تنش خشکی.

ظرفیت آب گلدان (درصد)	میزان سیلیسیوم (mM)	محتوای نسبی آب برگ (%)	کلروفیل کل برگ ($mgg\ FM^{-1}$)
۹۰	۰	^{c}۱۷/۸۱	^{ab}۳۱۱۱/۳۴
	۲/۵	^{a}۴۲/۸۴	^{a}۳۱۴۹/۲۲
	۵	^{b}۲۸/۵۸	^{b}۳۰۷۲/۸۴
۶۵	۰	^{b}۳۴/۶۷	^{a}۳۱۸۹/۲۵
	۲/۵	^{a}۴۶/۵۰	^{b}۲۷۴۴/۹۰
	۵	^{a}۴۶/۵۰	^{ab}۳۱۱۱/۷۷
۴۰	۰	^{ab}۴۲/۸۴	^{b}۲۸۷۴/۱۶
	۲/۵	^{b}۳۰/۸۲	^{b}۲۸۵۰/۶۸
	۵	^{b}۳۳/۹۴	^{a}۳۳۴۸/۵۸

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

ارتفاع درختان تحت تیمار ۴۰ و ۹۰ درصد با کاربرد ۵ میلی مولار و در گیاهان تحت تیمار ۶۵ درصد ظرفیت آب گلدان با کاربرد ۲/۵ میلی مولار سیلیسیوم افزایش یافت، جدول ۲. در سایر پژوهش‌ها نیز کاربرد سیلیسیوم سبب بهبود پارمترهای رشد شد (Mohamed *et al.*, 2015). تعداد برگ درختان بادام در گیاهان تحت تیمار ۹۰ درصد با کاربرد ۵ میلی مولار و در تنش خشکی شدید با کاربرد ۲/۵ و ۵ میلی مولار سیلیسیوم افزایش یافت، جدول ۲. کاربرد سیلیسیوم با کاهش آسیب اکسیداتیو، افزایش کلروفیل کل و محتوای نسبی آب برگ سبب بهبود پارمترهای رشد می‌شود (Karimi *et al.*, 2018). افزایش تعداد برگ سبب افزایش سطح فتوسنتزکننده و در نتیجه بهبود رشد می‌شود (میرزائی و کریمی، ۱۳۹۶). سطح ویژه برگ در گیاهان تحت تیمار ۹۰ و ۶۵ درصد ظرفیت آب گلدان با کاربرد سیلیسیوم افزایش یافت (جدول ۲). افزایش سطح ویژه برگ سبب افزایش تثبیت کربن و رشد گیاه می‌شود (Mohamed *et al.*, 2015). سیلیسیوم با افزایش جذب آب و میزان کلروفیل کل برگ، موجب افزایش سطح ویژه برگ می‌شود (Karimi *et al.*, 2018). اما در گیاهان تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت آب گلدان کاربرد سیلیسیوم تاثیری در میزان سطح ویژه برگ نداشت (جدول ۲). با کاهش سطح ویژه برگ، ممکن است کارایی مصرف آب افزایش یابد. این امر از مکانیزم‌های تحمل به خشکی برای کاهش تعرق است (Karimi *et al.*, 2018). بادام در شرایط تنش خشکی مکانیزم کاهش سطح برگ را بجای ریزش برگ‌ها انجام می‌دهد. در سایر پژوهش‌ها نیز کاهش سطح ویژه برگ در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Karimi *et al.*, 2018).

جدول ۲- اثرات کاربرد غلظت‌های مختلف سیلیسیوم بر ارتفاع، تعداد برگ و سطح ویژه برگ درختان بادام در شرایط تنش خشکی.

ظرفیت آب گلدان (درصد)	میزان سیلیسیوم (mM)	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد برگ	سطح ویژه برگ (m^2/Kg)
۹۰	۰	^{b}۱۰۱/۸۸	^{b}۴۷/۰۰	^{b}۱۴/۹۷
	۲/۵	^{ba}۹۲/۷۸	^{b}۳۹/۳۳	^{a}۱۹/۹۶
	۵	^{a}۱۱۳/۶۶	^{a}۶۷/۶۸	^{a}۲۰/۷۱
۶۵	۰	^{c}۸۸/۰۰	^{b}۲۲/۶۸	^{b}۱۲/۸۰
	۲/۵	^{b}۹۲/۰۰	^{a}۳۴/۳۳	^{ab}۱۴/۲۷
	۵	^{c}۸۲/۶۷	^{a}۳۲/۶۸	^{a}۱۵/۸۲
۴۰	۰	^{cb}۹۴/۰۰	^{b}۱۰/۳۳	^{a}۱۷/۹۰
	۲/۵	^{b}۸۴/۳۳	^{a}۲۳/۶۸	^{a}۱۷/۱۶
	۵	^{a}۹۰/۶۷	^{a}۲۲/۳۳	^{a}۱۶/۸۱

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

میزان پراکسید هیدروژن برگ درختان بادام در شرایط تنش خشکی شدید با کاربرد ۲/۵ میلی مولار، در گیاهان تیمار ۶۵ درصد با کاربرد ۵ میلی مولار و در گیاهان ۹۰ درصد ظرفیت آب گلدان با کاربرد ۵ و ۲/۵ میلی مولار سیلیسیوم کاهش یافت، جدول ۳. کاهش پراکسید هیدروژن در بافت برگ می‌تواند نشان دهنده تقویت دفاع آنتی‌اکسیدانی و حذف گونه‌های فعال اکسیژن باشد (Jayawardana *et al.*,

(2014. با کاهش آسیب اکسیداتیو، پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و تخریب رنگیزه‌ها کاهش می‌یابد (Jayawardana *et al.*, 2014). شاخص پایداری غشاء برگ با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت اما کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش میزان سلامت و نفوذ پذیری غشاء شد، جدول۳. کاهش پراکسید هیدروژن سبب کاهش شدت پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش شاخص پایداری غشاء می‌شود (Karimi *et al.*, 2018). کاربرد سیلیسیوم با کاهش میزان پراکسید هیدروژن سبب حفظ کارایی و نفوذ پذیری غشاء می‌شود (Jayawardana *et al.*, 2014).

جدول ۳- اثرات کاربرد غلظت‌های مختلف سیلیسیوم بر میزان پراکسید هیدروژن و شاخص پایداری غشاء برگ درختان بادام در شرایط تنش خشکی

ظرفیت آب گلدان (درصد)	میزان سیلیسیوم)(mM	شاخص پایداری غشاء)%(	پراکسید هیدروژن)µmolg FM^{-1}(
۹۰	۰	^{b}۶۸/۸۱	^{a}۶۵/۱۵
	۲/۵	^{a}۸۴/۳۱	^{b}۶۲/۱۷
	۵	^{a}۸۳/۵۷	^{b}۵۳/۴۷
۶۵	۰	^{b}۸۰/۵۷	^{ab}۳۵/۶۲
	۲/۵	^{a}۸۴/۹۹	^{a}۳۸/۸۵
	۵	^{ab}۸۴/۵۰	^{b}۳۲/۶۲
۴۰	۰	^{b}۷۶/۲۸	^{a}۲۷/۵۲
	۲/۵	^{a}۸۵/۶۱	^{b}۱۱/۸۷
	۵	^{a}۸۵/۶۶	^{a}۲۳/۵۲

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

سیلیسیوم با رسوب در دیواره‌سلولی و کاهش میزان تعرق در شرایط تنش خشکی سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. سیلیسیوم با افزایش میزان آب موجود در گیاه، کاهش آسیب اکسیداتیو و میزان پراکسید هیدروژن، سبب افزایش شاخص پایداری غشاء و پارمترهای رشد شد. کاهش میزان پراکسید هیدروژن به معنای کاهش آسیب اکسیداتیو و کاهش تخریب کلروفیل است. حفظ تعداد برگ‌ها و افزایش سطح ویژه برگ سبب افزایش میزان کلروفیل کل برگ با کاربرد سیلیسیوم شد. بر اساس داده‌های حاصل از این پژوهش، کاربرد ۵ میلی مولار سیلیسیوم سبب بهبود رشد و تحمل تنش خشکی در درختان بادام شد.

منابع

میرزائی، ش. و کریمی، س. ۱۳۹۶. استفاده از نانو کلات آهن برای بهبود تحمل به شوری دانهال‌های پسته (*Pistacia vera* L.) در محیط قلیایی آهکی. اولین کنفرانس فناوری‌های نوین در علوم. آمل. ایران.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant. Cell and Environment, 24(12): 1337-1344.

Jayawardana, H. Weerahewa, H. Saparamadu, M. 2014. Effect of root or foliar application of soluble silicon on plant growth, fruit quality and anthracnose development of capsicum. Tropical Agricaltural Research, 26(1): 2-14.

Kamiab, F., Talaie, A., Khezri, M., Javanshah, A. 2013. Exogenous application of free polyamines enhances salt tolerance of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. Plant Growth Regulation, 72(3): 257-268.

Karimi, S., Karami, H., Mokhtassi-Bidgoli, A., Tavallali, V., Vahdati, K. 2018. Inducing drought tolerance in greenhouse grown Juglans regia by imposing controlled salt stress: The role of osmotic adjustment. Scientia Horticulturae, 239: 181-192.

Meunier, J.D., Barboni, D., Anwar-ul-Haq, M., Levard, C., Chaurand, P., Vidal, V., Grauby, O., Huc, R., Laffont-Schwob, I., Rabier, J., Keller, C. 2017. Effect of phytoliths for mitigating water stress in durum wheat. New Phytologist, 215(1): 229-239.

Mohamed, M.A., El-Sayed, M.A., El-Wahab, H.A. 2015. Response of Succary mango trees to foliar application of silicon and boron. World Rural Observation, 7(2): 93-98.

Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M. F., Abbas, F. 2015. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. Environmental Science and Pollution Research, 22(20): 15416-15431.
Sairam, M.R., Subbarayan, V.S.R. 1997. Characterization of the 5′ flanking region and potential control elements of the ovine follitropin receptor gene. Molecular Reproduction and Development: Incorporating Gamete Research, 48(4): 480-487.
Wellburn, A.R., Lichtenthaler, H. 1984. Formulae and program to determine total carotenoids and chlorophylls an and b of leaf extracts in different solvents. In Advances in Photosynthesis Research, 9-12.

Effects of silicon application in almond trees nutrition on growth rate and drought stress tolerance

Shima Mirzaei1, *Soheil Karimi2, Sasan Aliniaeifard3
1Master of science and horticultural engineering, Collage of abureihan, University of tehran, Pakdesh, Tehran
2 Associate Professore of Horticulture, Collage of abureihan, University of tehran, Pakdesh, Tehran
3Assistant Professor of Horticulture, Collage of abureihan, University of tehran, Pakdesh, Tehran
Corresponding: skarimi@ut.ac.ir

Abstract
Climate change and rising global temperatures have led to the spread of environmental stresses, including drought. A large part of our country, Iran, is located in the hot and dry region of the world. Under drought stress, growth rate decreases due to a decrease in plant water content and leaf fall and photosynthesis. This has reduced the amount of Iranian almond production in the world. Therefore, decreases the amount of exports and income of farmers. Optimizing plant nutrition is one of the ways to improve plant growth under abiotic stresses. Silicon is a beneficial element that improves growth and performance under environmental stress. In this study, the effect of application of silicon (potassium silicate) at three levels of 0, 2.5 and 5 mM in Hoagland nutrient solution on almond trees under drought stress (90, 65 and 40% of pot water content) in three replications and evaluated in the completely random design. Application of silicon with silicification in the cell wall and increasing it is strength caused a decrease in transpiration and increased the relative leaf water content. Silicon reduced oxidative damage and degraded photosynthetic pigments by reducing the amount of hydrogen peroxide and increasing the membrane stability index. Improving the amount of water in the plant and preserving the leaves under drought stress increased the total chlorophyll content of the leaves with the use of silicon. Application of silicon improved the growth parameters under drought stress. According to the data of this study, the application of 5 mM silicon increased the growth and drought tolerance in almond trees.
***Keywords*:** Chlorophyll, Hydrogen peroxide, Leaf area, Photosynthesis, Water relations.