

تأثیر دور آبیاری و کاربرد سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)

رسول محمدنیا^۱، عبدالحسین رضایی نژاد^{۲*} و صحبت بهرامی نژاد^۳

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، جهاد دانشگاهی کرمانشاه

۲. دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۳. دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸)

چکیده

با هدف تعیین تأثیر دور آبیاری و سیلیسیم بر رشد، عملکرد، میزان اسانس، فنل کل و ویژگی پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) ریحان، این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل دور آبیاری در سه سطح ۴، ۷ و ۹ روز (بر پایه میزان آب در خاک ۹۰، ۷۵ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در سه سطح ۰، ۱ و ۲ میلی‌مولار، به صورت هفتگی بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد، افزایش فاصله آبیاری باعث کاهش رشد و افزایش کارایی مصرف آب در بوته شد. سیلیسیم تأثیر خشکی را تعدیل و باعث بهبود رشد شد و کاربرد سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار باعث افزایش شاخص مقاومت به تنش شد. افزایش فاصله آبیاری و کاربرد سیلیکات پتاسیم هر دو باعث افزایش میزان اسانس و فنل کل شدند. همچنین با افزایش فاصله آبیاری ویژگی پاداکسندگی افزایش یافت و در فاصله آبیاری نه روز و سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار، بیشترین ویژگی پاداکسندگی گیاه به دست آمد. ضریب همبستگی بین صفات نشان داد، میزان اسانس با طول ریشه، فنل کل و شاخص مقاومت به تنش همبستگی مثبت و با غلظت کشنده ۵۰ درصد (IC_{50}) همبستگی منفی داشت. به طور کلی افزایش فاصله آبیاری باعث کاهش رشد و افزایش میزان اسانس و ویژگی پاداکسندگی شد. سیلیکات پتاسیم به ویژه با غلظت ۲ میلی‌مولار تأثیر نامناسب تنش خشکی را بر ویژگی‌های رشدی تعدیل کرد و باعث افزایش میزان و عملکرد اسانس و ویژگی پاداکسندگی شد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، فنل کل، ویژگی پاداکسندگی، کارایی مصرف آب، مقاومت به تنش.

Effect of irrigation interval and silicon on some morpho-physiological and biochemical properties of basil (*Ocimum basilicum* L.)

Rasoul Mohamadnia¹, Abdolhossein Rezaei Nejad^{2*} and Sohbat Bahraminejad³

1. Former M.Sc. Student, Department of ACECR Institute of Higher Education in Kermanshah, Iran

2. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

3. Associate Professor, Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: Oct. 21, 2016 - Accepted: Jan. 7, 2017)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of irrigation interval and silicon on growth, yield and oil content, total phenols and antioxidant activity of basil, an experiment was carried out at research greenhouse of Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran, in 2016. The research was carried out in pots as a factorial experiment based on a completely randomized design with four replications. Factors consisted of irrigation in three intervals of 4, 7 and 9 days (according to soil water content of 90%, 75% and 60% field capacity, respectively) and weekly foliar application of 0, 1 and 2 mM potassium silicate. Results showed that increasing irrigation interval decreased growth, and increased water use efficiency. Silicon alleviated the stress effects and improved growth parameters and application of 2 mM potassium silicate increased stress tolerance index. Both higher irrigation intervals and foliar application of silicon increased oil content and total phenols. Moreover, increasing irrigation intervals increased antioxidant activity and the maximum activity was found in plants irrigated every 9 d and foliar sprayed with 2 mM potassium silicate. Correlation coefficient indices showed that oil content had significant positive correlations with root length, total phenols and stress tolerance index and a negative correlation with IC_{50} . Overall, results showed that increase in irrigation interval induced drought stress and consequently decreased the growth parameters measured in this experiment and application of potassium silicate alleviated the effects of drought and improved plant tolerance to drought stress and it increased oil content, oil yield and antioxidant activity.

Keywords: Antioxidant activity, essential oil, stress tolerance, total phenols, water use efficiency.

* Corresponding author E-mail: Rezaeinejad.h@lu.ac.ir

مقدمه

ریحان یک گیاه مهم دارویی از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) با نام علمی آن *Ocimum basilicum* L. است (Omidbaigi, 2000). ریحان منبع ترکیب‌های حلقوی و اسانس است که دافع حشرات بوده و عملکرد ضد انگلی، ضد باکتریایی، ضد قارچی و پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) دارد (Hornok, 1992). میزان اسانس با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی محیط رویش متفاوت بوده و بین ۰/۴ تا ۱/۵ درصد وزن خشک گیاه است. بخش عمده و مهم اسانس گیاه ریحان فنیل پروپانوییدها هستند که ۹۰ درصد ترکیب‌های اسانس را شامل می‌شوند (Javanmardi et al., 2002).

با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و کمبود آب در جهان و به‌ویژه ایران، لزوم توجه به کاهش مصرف آب در محصولات کشاورزی و گیاهان دارویی امری ضروری به نظر می‌رسد. کمبود آب از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی به شمار می‌رود که سبب کاهش رشد و در نتیجه عملکرد در بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. در پژوهشی کاهش رشد ریحان در نتیجه افزایش دور و فاصله آبیاری به علت ایجاد تنش خشکی گزارش شده است (Goldani, 2002). گیاهان در روبرویی با کمبود آب از سازوکارهای مختلفی سود می‌جویند. تنظیم اسمزی و افزایش ترکیب‌های پاداکسندگی از مهم‌ترین سازوکارها به شمار می‌رود (Morgan, 1984). در آزمایشی با کاهش آب خاک، میزان پرولین و قندهای محلول در گیاه ریحان افزایش یافت (Hassani et al., 2004).

یکی از مهم‌ترین هدف‌های برنامه‌ریزی‌های آبیاری، افزایش کارایی مصرف آب یا میزان ماده خشک تولیدی به ازای هر واحد آب مصرفی است که از عامل‌های تعیین‌کننده آن، عملکرد اقتصادی، عملکرد زیست‌توده (بیوماس) و میزان آب مصرفی را می‌توان نام برد. به‌طور نسبی، در شرایط زراعی، کمبود آب سبب افزایش بازده (راندمان) مصرف آب می‌شود به‌شرط اینکه گیاه بتواند با شرایط کمبود آب سازگار شود. به‌عبارت‌دیگر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط عادی آبی، نسبت به

میزان آب مصرف‌شده محصول بیشتری تولید می‌کند (Hamzadeh et al., 2011; Kang et al., 2000).

افزون بر رشد، میزان اسانس نیز در گیاهان معطر تحت تأثیر عامل‌های مختلفی از جمله تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. برای مثال Moghaddam et al. (2015) در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند، ریحان در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) بیشترین اسانس را نسبت به تنش‌های ملایم‌تر تولید می‌کند. از سوی دیگر، تنش باعث کاهش رشد رویشی و در نهایت کاهش عملکرد اسانس می‌شود. بنابراین استفاده از راهکارهایی که بتوانند رشد رویشی را در شرایط تنش بهبود ببخشند اما باعث کاهش تولید اسانس نشوند سودمند است. یکی از راهکارهای کاهش تأثیر زینبار تنش‌ها، استفاده از روش‌های تغذیه کانی از جمله تغذیه با سیلیسیم است (Liang et al., 2007). مرور نتایج پژوهش‌ها نشان از تأثیر سیلیسیم بر بهبود رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه تحت تنش آبی دارد (Kaya et al., 2006; Chen et al., 2011).

ویژگی پاداکسندگی در گیاهان دارویی و یا بوم‌جور (اکوتیپ)‌های گردآوری‌شده گیاهان دارویی مختلف از طبیعت به‌خوبی بررسی شده‌اند، اما در زمینه تأثیر تنش‌ها بر این ویژگی‌های اطلاعات مستند زیادی در دسترس نیست. در این راستا گزارش‌های محدودی گویای تأثیر تنش خشکی و شوری بر افزایش فعالیت پاداکسندگی است (Gharibi et al., 2012; Hejazi, 2011).

باوجود گزارش‌های چندی در زمینه دور آبیاری و کاربرد سیلیسیم در گیاهان زراعی، اطلاعات زیادی در مورد اثر متقابل این عامل‌ها در گیاهان دارویی به‌ویژه در ارتباط با میزان اسانس و ویژگی پاداکسندگی وجود ندارد. لذا این پژوهش با هدف بررسی امکان کاهش تأثیر منفی تنش خشکی از طریق افزایش فاصله آبیاری در گیاه ریحان با کمک سیلیسیم و افزایش میزان اسانس و ویژگی پاداکسندگی ریحان و همچنین کاهش مصرف آب در عملیات کاشت گیاه ریحان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی گیاه ریحان در طی زمستان سال

داده شد و میانگین میزان رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه ۲۲ درصد اندازه‌گیری شد. پس از آن به روش وزنی فاصله و دور آبیاری تعیین شد. بدین ترتیب که میانگین وزن خاک خشک سه نمونه خاک گلدان تعیین شد. سپس سه گلدان حاوی خاک به‌عنوان سه تکرار در نظر گرفته شد و پس از آبیاری کامل، هر روز کاهش وزن خاک گلدان‌ها یادداشت شد و میانگین میزان آب خاک در حد ۹۰، ۷۵ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه به ترتیب در روزهای ۴، ۷ و ۹ روز به دست آمد.

تیمار دور آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم از زمان چهار برگی آغاز و تا زمان برداشت (به مدت ۱۰ هفته) اعمال شد. در هر بار آبیاری به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر آب به هر گلدان داده شد، به‌طوری‌که حدود ۵۰ میلی‌لیتر آب از زیر گلدان خارج شد. در زمان برداشت، برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی)، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شدند.

ویژگی‌هایی ریخت‌شناختی شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه و سطح برگ بود. ارتفاع گیاه با خط‌کش، قطر ساقه با کولیس دیجیتال از ۱ سانتی‌متر بالای طوقه گیاه اندازه گرفته شد و سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Delta T-Scan, England) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک ساقه و برگ، گیاهان از سطح خاک از محل طوقه قطع شده و بی‌درنگ وزن تر برگ‌ها و ساقه‌های آن‌ها با ترازوی دیجیتال به‌دقت اندازه‌گیری شد. بوته‌های برداشت‌شده در دمای اتاق و شرایط سایه به مدت دو هفته خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه اسانس‌گیر (Clevenger) میزان اسانس (درصد حجمی وزنی) برگ‌های خشک گیاه اندازه‌گیری شد (Anonymous, 1986). عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب وزن خشک پیکر رویشی گیاه در میزان اسانس به دست آمد.

محتوای نسبی آب برگ با روش Ritchie *et al.* (1990) و درصد نشت الکترولیت‌ها بر پایه روش Lutts *et al.* (1996) اندازه‌گیری شد. میزان فنل کل با

۱۳۹۴ و بهار ۱۳۹۵ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با میانگین دمای روزانه گلخانه ۱۸-۲۸ درجه سلسیوس، رطوبت ۶۰-۷۰ درصد و نور ۴۰۰-۵۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه (۱۶-۱۴ ساعت روز و ۱۰-۸ ساعت شب) انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل دور آبیاری (۴، ۷ و ۹ روز) بر پایه میزان آب خاک به ترتیب ۹۰، ۷۵ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه و سه سطح سیلیسیم (۰، ۱ و ۲ میلی‌مولار) بودند. در آغاز بذر گیاهان در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۵ سانتی‌متری کشت شدند. گیاهان در مرحله دو برگی تنک و در هر گلدان تنها یک گیاه نگه‌داشته شد. در هر تکرار ۱۵ گلدان از هر تیمار و در کل ۵۴۰ گلدان استفاده شد. خاک گلدان‌ها از ترکیب دو قسمت خاک زراعی، یک قسمت ماسه و یک قسمت کود حیوانی تشکیل شده بود و بافت لوم شنی داشت. تیمار سیلیکات پتاسیم به‌صورت محلول‌پاشی هفتگی انجام شد. اندازه‌گیری میزان آب خاک در ظرفیت مزرعه با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (Pressure plate) انجام شد. دستگاه صفحه فشاری از یک محفظه مانند دیگ زودپز تشکیل شده است که فشار داخل آن از طریق کمپرسور قابل افزایش است. یک صفحه سرامیکی که قطر آن برابر قطر داخلی دستگاه است درون آن قرار می‌گیرد. در قسمت پایین صفحه سرامیکی محفظه‌ای برای گردآوری و خروج آب تعبیه شده است. پس از قرار گرفتن نمونه خاک در حالت اشباع روی صفحه سرامیکی، درپوش محفظه را بسته و به تدریج فشار داخل محفظه افزایش می‌یابد. با افزایش فشار، آب اضافی از نمونه خاک خارج و وارد مخزن زیر صفحه سرامیکی و از آنجا به خارج هدایت می‌شود. هنگامی که فشار به نقطه پتانسیلی مورد نظر رسید فشار داخل محفظه از طریق شیر تخلیه خارج و با باز کردن درپوش دستگاه، نمونه خاک را به‌سرعت خارج کرده و درصد جرمی رطوبت آن اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمایش، سه نمونه خاک گلدان به‌عنوان سه تکرار در دستگاه با فشار ۰/۰۳ مگاپاسگال (معادل پتانسیل آب خاک در حد ظرفیت مزرعه) قرار

افزایش یافت. به‌طور کلی استفاده از سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار باعث بهبود در ویژگی‌های رشدی گیاه ریحان شد (جدول ۱).

در سطح ۰ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم، در فاصله‌های آبیاری چهار و هفت روز میزان اسانس ثابت بود ولی در تیمار نه روز آبیاری میزان اسانس افزایش معنی‌داری را نشان داد. سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار در آبیاری چهار و نه روز و سیلیکات پتاسیم ۱ و ۲ میلی‌مولار در آبیاری هفت روز به‌طور قابل توجهی باعث افزایش میزان اسانس شد (شکل ۱). همچنین در سطح ۰ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم، افزایش دور آبیاری تأثیری در افزایش عملکرد اسانس نداشت. کاربرد سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰ و ۲ میلی‌مولار در آبیاری چهار و هفت روز و غلظت ۲ میلی‌مولار در آبیاری نه روز باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس شد. بیشترین عملکرد اسانس در دور آبیاری نه روز با کاربرد سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار به‌دست آمد (شکل ۱).

افزایش دور آبیاری از چهار به هفت روز تأثیری بر میزان فنل کل نداشت. افزایش دور آبیاری به نه روز باعث افزایش میزان فنل کل شد و غلظت ۲ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم هم در دور آبیاری نه روز فنل کل را افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین میزان فنل در همین تیمار به دست آمد. سیلیکات ۱ میلی‌مولار تأثیری بر میزان فنل کل نشان نداد (شکل ۲). همچنین با افزایش فاصله آبیاری IC₅₀ کاهش یافته یا به عبارتی ویژگی پاداکسندگی افزایش یافت. سیلیکات پتاسیم در غلظت ۲ میلی‌مولار در آبیاری هفت روز و غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار آن در آبیاری نه روز باعث کاهش معنی‌دار IC₅₀ و افزایش ویژگی پاداکسندگی شد (شکل ۲).

معرف فولین-سیکالتو (Folin-Ciocalteu) به روش Ainsworth & Gillespie (2007) تعیین شد. برای تعیین ویژگی پاداکسندگی از روش دی‌پی‌پی‌اچ (2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl) استفاده شد و برای مقایسه فعالیت عصاره‌ها از فرانسجه (پارامتر) IC₅₀ استفاده شد. IC₅₀ غلظتی از عصاره است که ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کند، بنابراین IC₅₀ کمتر به معنی بالاتر بودن ویژگی پاداکسندگی است (Miliauskas *et al.*, 2004).

کارایی مصرف آب (Water use efficiency) مشخص‌کننده میزان گرم ماده خشک از گیاه به ازای میزان آب مصرفی گیاه است و از تقسیم وزن خشک کل گیاه بر میزان آب مصرفی محاسبه شد. شاخص مقاومت به تنش (Stress tolerance index) از تقسیم وزن خشک گیاه در تیمارهای مختلف بر وزن خشک گیاه در تیمار شاهد (دور آبیاری چهار روز و سیلیکات پتاسیم ۰ میلی‌مولار) به دست آمد (Lei *et al.*, 2007).

تجزیه و تحلیل داده‌ها از جمله آزمون عادی بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها، با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار Graphpad Prism 5 رسم شد.

نتایج

نتایج بررسی‌ها نشان داد، با افزایش دور آبیاری ارتفاع ساقه، قطر ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک پیکر رویشی کاهش یافت ولی طول ریشه با افزایش دور آبیاری از چهار روز به هفت روز کاهش و در نه روز

جدول ۱. اثر متقابل دور آبیاری و سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه ریحان

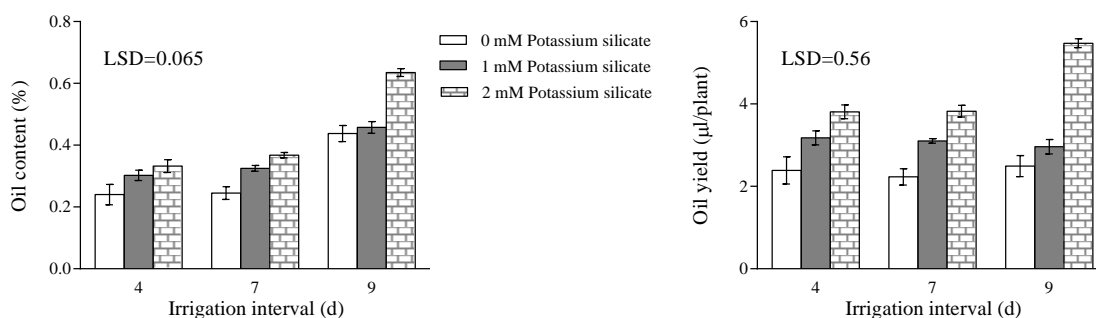
Table 1. Interaction effects of irrigation interval and potassium silicate on some plant growth characteristics of basil							
Irrigation interval (d)	Potassium silicate (mM)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf area (cm ² /plant)	Root length (cm)	Shoot fresh weight (g/plant)	Shoot dry weight (g/plant)
4	0	34.15±1.71	2.93±0.18	175.6±8.6	25.63±2.12	7.89±0.16	0.998±0.022
	1	26.90±1.67	3.00±0.09	199.9±4.0	27.50±3.06	8.49±0.12	1.050±0.007
	2	24.68±2.05	3.43±0.19	221.8±11.4	28.25±1.64	9.02±0.41	1.150±0.022
7	0	27.83±1.90	2.08±0.16	168.1±4.0	24.75±1.59	6.81±0.34	0.913±0.041
	1	24.63±1.75	2.35±0.16	178.3±2.7	35.30±0.58	7.08±0.25	0.955±0.015
	2	23.45±0.42	2.48±0.13	186.7±4.1	32.25±0.85	7.80±0.21	1.040±0.019
9	0	19.23±1.20	1.68±0.05	138.6±5.2	27.38±2.38	4.12±0.15	0.568±0.038
	1	21.88±0.69	1.85±0.13	153.1±2.4	36.63±1.70	5.30±0.31	0.648±0.024
	2	23.18±1.09	1.85±0.12	169.8±8.8	43.50±1.51	5.86±0.15	0.863±0.014
LSD (P≤0.05)		4.31	0.41	18.6	5.38	0.73	0.065

Data are the means of four replicates ± standard errors.

اعداد شامل میانگین چهار تکرار ± خطای استاندارد هستند.

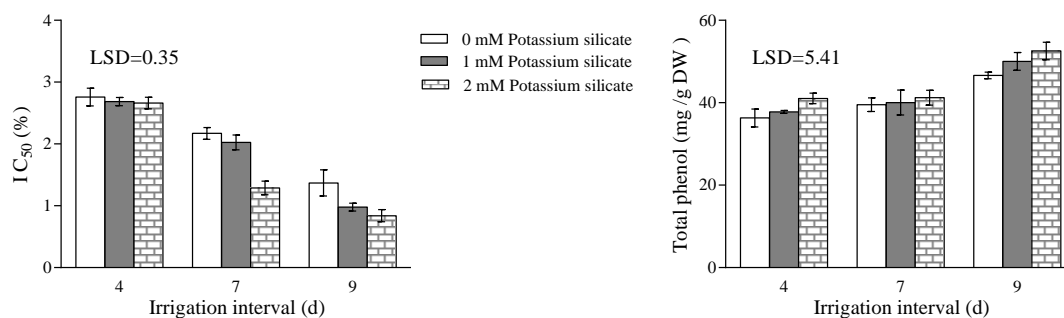
افزایش فاصله آبیاری به هفت روز با افزایش کارایی مصرف آب همراه بود ولی از هفت به نه روز کارایی مصرف آب کاهش نشان داد. در دوره‌های آبیاری چهار و هفت روز سیلیکات پتاسیم تنها با غلظت ۲ میلی‌مولار و در آبیاری نه روز سیلیکات پتاسیم با غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار باعث افزایش کارایی مصرف آب شد (شکل ۳).

با افزایش دور و فاصله آبیاری محتوای نسبی آب کاهش و کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث افزایش محتوای نسبی آب شد. استفاده از سیلیکات پتاسیم ۱ و ۲ میلی‌مولار در دوره‌های آبیاری هفت و نه روز سبب افزایش محتوای نسبی آب شد. در تیمار سیلیکات پتاسیم در هر دو غلظت در آبیاری چهار روز تأثیری بر محتوای نسبی آب نداشت (شکل ۳). همچنین با



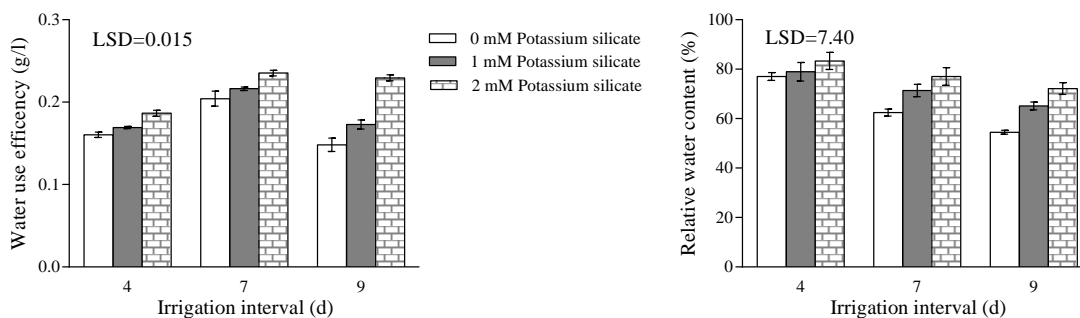
شکل ۱. اثر متقابل دور آبیاری و سیلیکات پتاسیم بر میزان و عملکرد اسانس در گیاه ریحان

Figure 1. Interaction effects of irrigation interval and potassium silicate on oil content and yield of basil



شکل ۲. اثر متقابل دور آبیاری و سیلیکات پتاسیم بر میزان فنل کل و IC₅₀ در گیاه ریحان

Figure 2. Interaction effects of irrigation interval and potassium silicate on total phenol and IC₅₀ of basil



شکل ۳. اثر متقابل دور آبیاری و سیلیکات پتاسیم بر محتوای نسبی و کارایی مصرف آب در گیاه ریحان

Figure 3. Interaction effects of irrigation interval and potassium silicate on relative water content and water use efficiency of basil

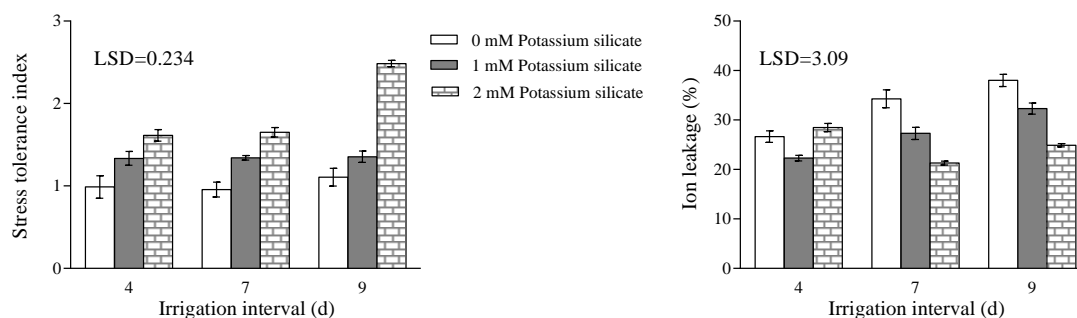
کل و کارایی مصرف آب همبستگی مثبت و با شاخص مقاومت به تنش همبستگی منفی نشان داد. طول ریشه با فنل کل، کارایی مصرف آب و شاخص مقاومت به تنش همبستگی مثبت نشان داد. همچنین فنل کل و کارایی مصرف آب با شاخص مقاومت به تنش همبستگی مثبت نشان دادند.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد، افزایش دور و فاصله آبیاری باعث کاهش رشد و نمو ریحان شد و سیلیسیم این تأثیر منفی را نیز کاهش داد. با افزایش فاصله آبیاری ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه از جمله وزن تر و خشک پیکر رویشی و سطح برگ کاهش یافت که با نتایج برخی پژوهش‌ها (Aslani *et al.*, 2011; Goldani, 2012) سازگار است. همچنین با افزایش فاصله آبیاری ارتفاع گیاه و قطر ساقه کاهش یافت ولی طول ریشه افزایش یافت. اعمال تیمارهای آبیاری بر مراحل رشد و نمو ریحان نشان داده است، گیاهان در شرایط تنش رطوبتی در مقایسه با بدون تنش ارتفاع کمتر، برگ‌های کوچک‌تر و تیره‌تر دارند (Goldani, 2012).

در سطح ۰ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم، با افزایش فاصله آبیاری میزان نشت یونی افزایش یافت. در دور آبیاری چهار روز سیلیکات پتاسیم ۱ میلی‌مولار باعث کاهش نشت یونی و سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار باعث افزایش آن شد. در دورهای آبیاری هفت و نه روز سیلیکات پتاسیم با هر دو غلظت باعث کاهش معنی‌دار در نشت یونی شد و تأثیر آن با غلظت ۲ میلی‌مولار بیشتر بود (شکل ۴). همچنین کاربرد سیلیکات پتاسیم ۱ و ۲ میلی‌مولار در آبیاری چهار و هفت روز و سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار در آبیاری نه روز باعث افزایش معنی‌دار شاخص مقاومت به تنش شد (شکل ۴).

ضریب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی نشان داد، میزان اسانس با طول ریشه، میزان فنل کل و شاخص مقاومت به تنش همبستگی مثبت و با IC_{50} همبستگی منفی داشت. همچنین محتوای نسبی آب با نشت یونی و فنل کل همبستگی منفی و با IC_{50} و شاخص مقاومت به تنش همبستگی مثبت داشت. نشت یونی با کارایی مصرف آب و شاخص مقاومت به تنش همبستگی منفی داشت. IC_{50} با طول ریشه، فنل



شکل ۴. اثر متقابل دور آبیاری و سیلیکات پتاسیم بر نشت یونی و شاخص مقاومت به تنش در گیاه ریحان
Figure 4. Interaction effects of irrigation interval and potassium silicate on electrolyte leakage of basil

جدول ۲. ضریب همبستگی بین ویژگی‌های مورد بررسی در ریحان

Table 2. The correlation coefficients among studied characteristics in basil

	OC	RWC	EL	IC_{50}	RL	TPH	WUE	STI
Oil content (OC)	1							
Relative water content (RWC)	-0.2	1						
Electrolyte leakage (EL)	0.01	-0.69**	1					
IC_{50}	-0.74**	0.44**	-0.18	1				
Root length (RL)	0.75**	0.03	-0.2	0.61**	1			
Total phenols (TPH)	0.75**	-0.43**	0.2	0.71**	0.57**	1		
Water use efficiency (WUE)	0.24	0.27	-0.45**	-0.33**	0.47**	0.1	1	
Stress tolerance index (STI)	0.76**	0.35*	-0.45**	-0.38**	0.68**	0.39*	0.6**	1

*, **: Significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب به معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

در شرایط بدون تنش و تنش آبی متوسط (۷۰٪ ظرفیت زراعی) به دست آمد (Hassani & Omidbaigi, 2002). همچنین سیلیکات پتاسیم باعث افزایش بیشتر میزان اسانس شد به طوری که بیشترین میزان اسانس در فاصله آبیاری نه روز به دست آمد که میزان آن ۰/۶۴ درصد بوده است. در نتایج پژوهشی‌هایی نیز افزایش میزان اسانس با افزایش فاصله آبیاری گزارش شده است (Simon et al., 1992; Baher et al., 2002). اما تأثیر افزایش سیلیسیم بر میزان اسانس بیشتر گزارش نشده است. در این آزمایش، کاربرد سیلیسیم نه تنها باعث بهبود رشد در ریحان در شرایط تنش خشکی شده است بلکه با افزایش میزان اسانس، عملکرد اسانس را در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به بیشترین میزان رسانده است. نتایج این پژوهش نشان داد، با افزایش فاصله آبیاری ویژگی پاداکسندگی افزایش یافت. (Gharibi et al., 2012) در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند، تنش خشکی در حد ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه باعث افزایش معنی‌دار در ترکیب‌های فنلی و فعالیت پاداکسندگی بومادران بیابانی (*Achillea tenuifolia* Lam.) شد که با نتایج پژوهش سازگار است. سیلیسیم به‌ویژه با غلظت ۲ میلی‌مولار نیز باعث افزایش فعالیت پاداکسندگی ریحان شد. تأثیر سیلیسیم در افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده از جمله کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و ... از جمله عامل‌های مؤثرتر کاربرد این ماده در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های مختلف محیطی بیان شده است (Eraslan et al., 2008; Liang et al., 2007).

بنابر نتایج ضریب همبستگی، افزایش محتوای نسبی آب، فنل کل، میزان اسانس، طول ریشه و کارایی مصرف آب با افزایش شاخص مقاومت به تنش همراه بود. کاهش نشت یونی باعث افزایش شاخص مقاومت به تنش شد. همچنین، با افزایش میزان اسانس و فنل کل، ویژگی پاداکسندگی گیاه افزایش یافت.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش فاصله آبیاری فراسنجه‌های رشدی کاهش داشتند. سیلیسیم تأثیر سوء ناشی از تنش خشکی ناشی از فاصله آبیاری زیاد را در گیاه ریحان متعادل

اختلاف ارتفاع در اغلب گیاهان ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی و تغییر شرایط محیطی است. از آنجا که تقسیم و افزایش اندازه یاخته به تنش خشکی بسیار حساس است (Taiz & Zeiger, 2010)، لذا به نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش آبی، افزایش اندازه یاخته تحت تأثیر قرار گرفته و با جلوگیری از رشد طولی ساقه، سبب کاهش ارتفاع گیاه شد (Hassani & Omidbaigi, 2002). در این پژوهش بیشترین میانگین ارتفاع مربوط به تیمار شاهد بوده که با میانگین ۳۴/۱۵ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را در بین کل تیمارها داشته است و این نشان می‌دهد، با افزایش فاصله آبیاری توان رشد گیاه کاهش یافته و ارتفاع گیاه نیز کاسته می‌شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد، با افزایش فاصله آبیاری طول ریشه بیشتر شد. از واکنش‌های مهم گیاهان در رویارویی با تنش خشکی، تخصیص سهم بیشتری از مواد نورساختی (فتوسنتزی) به ریشه و افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی است (Rassam et al., 2015).

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم باعث بهبود ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شد. سیلیسیم با بهبود تعادل آب، افزایش استحکام دیواره یاخته‌های اپیدرمی، بهبود نورساخت و تغذیه، مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Kaya et al., 2011; Chen et al., 2006). نتایج بررسی‌ها در این پژوهش نیز نشان داد، با کاربرد سیلیسیم محتوای نسبی آب به‌ویژه در شرایط تنش افزایش یافته است و نشت یونی کاهش پیدا کرده است.

در این پژوهش، با افزایش فاصله آبیاری از چهار روز به هفت روز (از ۹۰ درصد به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) تغییری در میزان اسانس به دست نیامد ولی در فاصله آبیاری نه روز (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) میزان اسانس افزایش معنی‌داری نشان داد. (Moghadam et al., 2015) نیز در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند بالاترین میزان اسانس در ریحان در تنش شدید خشکی شامل ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. در نتایج آزمایشی روی ریحان مشخص شد، بالاترین میزان عملکرد و درصد اسانس به ترتیب

شد و باوجود بهبود نسبی رشد باعث افزایش عملکرد اسانس شد. با افزایش فاصله آبیاری، میزان فنل کل و ویژگی پاداکسندگی افزایش یافته و سیلیسیم این تأثیر را تقویت کرد. لذا، سیلیسیم ۲ میلی‌مولار باعث افزایش رشد، میزان و عملکرد اسانس، ویژگی پاداکسندگی و همچنین مقاومت به تنش در گیاه ریحان شد.

کرد. سیلیسیم ۲ میلی‌مولار بیشترین تأثیر مثبت را در بین غلظت‌های مختلف آن داشت. کاربرد سیلیکات پتاسیم با افزایش محتوای نسبی آب و کاهش نشت الکترولیت‌ها در شرایط تنش همراه بود و سبب افزایش کارایی مصرف آب در ریحان شد. همچنین، سیلیسیم ۲ میلی‌مولار با افزایش میزان اسانس در شرایط تنش

REFERENCES

1. Ainsworth, E. A. & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature protocols*, 2(4), 875-877.
2. Anonymous. (1986). Hungarian Pharmacopoeia. Volume III. Medicina Konyvkiado. Budapest. Hungary.
3. Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli Sadaghiyani, M., Sefidkon, F. & Barin, M. (2011). Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in Basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(3), 471-486. (in Farsi)
4. Baher, Z. F., Mirza, M., Ghorbanli, M. & Bagher Rezaii, M. (2002). The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. *Flavour and Fragrance Journal*, 17(4), 275-277.
5. Chen, W., Yao, X., Cai, K. & Chen, J. (2011). Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological trace element research*, 142(1), 67-76.
6. Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D. J. & Gunes, A. (2008). Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation*, 55(3), 207-219.
7. Gharibi, S., Sayed Tabatabaei, B. E., Saeidi, G., Goli, S. A. H. & Talebi, M. (2012). Effect of drought stress on some physiological properties and antioxidant activity of *Achillea tenuifolia* Lam. *Journal of Herbal Drugs*, 3(3), 181-190. (in Farsi)
8. Goldani, M. (2012). Effect of irrigation interval on some growth characteristics of basil ecotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2), 412-420. (in Farsi)
9. Hamzadeh, M., Fathi, P., Javadi, T. & Hassani, A. (2011). The effect of different irrigation water levels on water use efficiency in basil plant (*Ocimum Basilicum* var. Keshkeny Levelu) using marginal analysis theory. *Journal of Water and Soil*, 25(5), 953-960. (in Farsi)
10. Hassani, A. & Omidbaigi, R. (2002). Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolic properties of basil. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 12(3), 44-61. (in Farsi)
11. Hassani, A., Omidbaigi, R. & Heidari Sharif Abad, H. (2004). Study of some drought resistance indices in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 10(4), 64-75. (in Farsi)
12. Hejazi Mehrizi, M., Shariatmadari, H., Khoshgoftarmanesh, A. H. & Moattar, F. (2011). Effects of salinity and zinc nutrition on growth and antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* L. in a calcareous soil. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(1), 25-35. (in Farsi)
13. Hornok, L. (1992). Cultivation and processing of medicinal plants. Academic publication. Budapest, Hungary. 338 pp.
14. Javanmardi, J., Khalighi, A., Kashi, A., Bais, H. P. & Vivanco, J. M. (2002). Chemical characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) found in local accessions and used in traditional medicines in Iran. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(21), 5878-5883.
15. Kang, S., Shi, W. & Zhang, J. (2000). An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field crops research*, 67(3), 207-214.
16. Kaya, C., Tuna, L. & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 29(8), 1469-1480.
17. Lei, Y., Korpelainen, H. & Li, C. (2007). Physiological and biochemical responses to high Mn concentrations in two contrasting *Populus cathayana* populations. *Chemosphere*, 68(4), 686-694.
18. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G. & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental pollution*, 147(2), 422-428.
19. Lutts, S., Kinet, J. M. & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78(3), 389-398.

20. Miliauskas, G., Venskutonis, P. R. & Van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food chemistry*, 85(2), 231-237.
21. Moghaddam, M., Alirezaei Noghondar, M., Selahvarzi, Y. & Goldani, M. (2015). The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(3), 509-521. (in Farsi)
22. Morgan, J. M. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual review of plant physiology*, 35(1), 299-319.
23. Omidbaigi, R. (2000). *Production and processing of medicinal plants*. Volume 3. Astan-e-Ghods-e-Razavi, Mashhad, Iran. 397 pp.
24. Rassam, G., Dadkhah, E. and Khoshnood Yazdi, A. (2015). Evaluation of water deficit on morphological and physiological traits of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Agronomy Sciences*, 5(10), 1-12. (in Farsi)
25. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30(1), 105-111.
26. Simon, J. E., Reiss-Bubenheim, D., Joly, R. J. & Charles, D. J. (1992). Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. *Journal of Essential Oil Research*, 4(1), 71-75.
27. Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. 5th Ed. Sunderland: Sinauer Assoc. USA. 782 pp.