

بررسی تأثیر کاربرد سلنیوم بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی، تحت تنش رطوبتی

وحید شمس‌آبادی^{۱*}، افسانه محمدیان‌فر^۲، سید فرهاد صابرعلی^۱، سید محمدجواد میرزایی^۱ و محمدناصر مودودی^۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات تنش رطوبتی و فرم‌های مختلف کاربرد سلنیوم بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی تربت جام انجام شد. اثرات تنش رطوبتی شامل دو سطح ۱۰۰ (I₁) و ۵۰ (I₂) درصد نیاز آبی و کاربرد سلنیوم شامل چهار سطح (عدم کاربرد (صفر)، اختلاط با آب آبیاری به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم (I)، محلول‌پاشی برگی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم قبل از اعمال تنش رطوبتی (Leaf_{before}) و محلول‌پاشی برگی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بعد از اعمال تنش رطوبتی (Leaf_{after})) بر گیاه نعناع فلفلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح تنش رطوبتی از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۵۰ درصد نیاز آبی، وزن تر، وزن خشک، درصد اسانس، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و وزن تر ریشه گیاه نعناع فلفلی به‌ترتیب ۳۴/۹۵، ۳۳/۶۴، ۳۴/۵۳، ۲۹/۳۵، ۳۴/۱۷ و ۳۳/۶۱ درصد کاهش و بهره‌وری آب ۳۰/۶۹ درصد افزایش یافت. همچنین در تیمارهای سلنیوم، شامل Leaf_{before}، Leaf_{after} و I نسبت به عدم کاربرد سلنیوم، بهره‌وری آب به‌ترتیب ۶۶/۸۷، ۴۱/۷۹ و ۲۹/۲۵ درصد افزایش یافت. در بین تیمارهای سلنیوم، تیمار Leaf_{before} بیشترین میزان افزایش وزن تر، وزن خشک، بهره‌وری آب، درصد اسانس، ارتفاع گیاه و تعداد برگ و تیمار I بیشترین میزان افزایش وزن تر ریشه گیاه نعناع فلفلی داشتند. نتایج نشان داد که سلنیوم در غلظت مورد استفاده در این پژوهش موجب افزایش بعضی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی شد و در کاهش اثرات تنش رطوبتی در این گیاه، مؤثر واقع شد.

واژه‌های کلیدی: درصد اسانس، عملکرد، کم‌آبیاری، محلول‌پاشی برگی.

ارجاع: شمس‌آبادی و. محمدیان‌فر ا. صابرعلی س. ف. میرزایی س. م. و مودودی م. ۱۴۰۲. بررسی تأثیر کاربرد سلنیوم بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی، تحت تنش رطوبتی. مجله پژوهش آب ایران. ۴۹: ۳۵-۴۵. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2023.14194.2481>

۱- گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.

۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.

* نویسنده مسئول: v_shamsabadi@tjamcaas.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

مقدمه

آب و رطوبت موجود در خاک یکی از فاکتورهای اصلی در تعیین سطح زیر کشت و در نتیجه تولید محصولات کشاورزی بوده که در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران با محدودیت مواجه است، این محدودیت و کمبود منابع آبی بر عملکرد گیاهان و به‌ویژه گیاهان دارویی اثرگذار است؛ بنابراین به‌دلیل محدودیت در منابع آبی، اتخاذ راهکارهایی در جهت افزایش میزان بهره‌وری آب و همچنین بهبود در مواد مؤثر گیاهان زراعی، امری اجتناب‌ناپذیر است (جمالی و همکاران، ۱۴۰۱ الف). با توجه به وقوع خشکسالی‌های دهه‌های اخیر در کشور و افزایش تقاضای آب و مواد غذایی، اعمال روش‌هایی برای به حداکثر رساندن بهره‌وری آب بیش از پیش ضروری است (جمالی و همکاران، ۱۴۰۱ ب). استفاده از شیوه‌های کم‌آب‌باری و ترویج مفهوم بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی، روشی عملی و رایج در نقاط مختلف دنیا برای نگهداری و استفاده بهینه از منابع آب است، بهره‌وری در واقع بیان‌کننده مقدار محصول یا درآمد به‌دست‌آمده از واحد مصرف آب است (شمس‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۱). بررسی امکان کشت گیاهان دارویی در مناطق مختلف که با کمبود بارش مواجه هستند، از اهمیت خاصی برخوردار است (نظامی و همکاران، ۱۳۹۵). گیاهان در طی دوران رشد خود ممکن است با تنش‌های محیطی متعددی روبه‌رو شوند که بر اساس حساسیت و مرحله رشد گیاه اثرات متفاوتی بر رشد و عملکرد آن‌ها داشته باشد (ضیایی و همکاران، ۱۳۹۵). تنش آبی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد فیزیولوژیک و تغذیه‌ای گیاهان محسوب می‌شود که کاهش زیست‌توده و عملکرد را در پی خواهد داشت (ایبوما و مادراموتو، ۲۰۱۷). اکبرزاده و شاه‌نظری (۲۰۲۱) به‌منظور بررسی اثر آبیاری بخشی ریشه روی گیاه دارویی نعنای فلفلی، پژوهشی را انجام دادند و بیان کردند که اعمال کم‌آب‌باری بخشی ریشه به میزان ۵۵، ۴۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی نسبت به آبیاری کامل منجر به کاهش در عملکرد خشک شد. جهانی و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که با اعمال تنش آبی روی گیاه نعنای فلفلی، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک بوته و محتوای کلروفیل کاهش پیدا کرد؛ اما تنش ملایم منجر به بهبود درصد اسانس شد. شمس‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند با اعمال تنش خشکی به میزان ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز

آبی، وزن تر و خشک، ارتفاع، تعداد برگ و تعداد گره در گیاه نعنای فلفلی کاهش و بهره‌وری آب افزایش پیدا کرد. همچنین با اعمال تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) درصد اسانس افزایش و با اعمال تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) درصد اسانس کاهش یافت. همواره شناخت ترکیب یا ترکیباتی که منجر به تخفیف اثرات تنش خشکی در گیاه می‌شود، امری ضروری و مهم است. اگرچه سمیت سلینیوم در غلظت‌های بالا روی گیاهان محرز است و نوعی تنش محسوب می‌شود، اثرات سودمند غلظت‌های پایین آن در حفاظت از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزنده از طریق مکانیسم‌های تقریباً پیچیده، مشخص شده است (جعفری و مقدم، ۱۴۰۱). سلینیوم عنصر غذایی ضروری برای گیاهان نیست، اما می‌تواند نقش یک عنصر مفید را برای گیاهان ایفا کند (پیلون و کوین، ۲۰۱۰). غلظت سلینیوم در خاک اکثر نقاط دنیا نسبتاً پایین بوده و در بیشتر گیاهان غلظت سلینیوم پایین‌تر از ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه است (بیگر و پیبیم، ۲۰۰۷). سلینیوم عمدتاً به‌صورت سلنات سدیم توسط گیاهان جذب می‌شود، نمک‌های سلنات بسیار محلول بوده و به‌آسانی جذب گیاه می‌شوند. سلینیوم در ساختار برخی از آنزیم‌ها و ترکیبات موجود در گیاه وجود دارد و با اثرگذاری بر فعالیت آنزیمی، می‌تواند رادیکال‌های آزاد به‌وجودآمده را مهار کند (نامدار و همکاران، ۱۳۹۸). سلینیوم در ترکیب با پروتئین‌ها موادی به‌نام سلنوپروتئین تولید می‌کند که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله آن‌ها هستند (ژو و همکاران، ۲۰۰۱). سلینیوم دارای اثر آنتی‌اکسیدانی بوده و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تحمل گیاه در شرایط تنش خشکی را افزایش می‌دهد (کیانگ-یون، ۲۰۰۸). اکثر ویژگی‌های رشدی و رویشی گیاهان با توجه به غلظت سلینیوم افزایش می‌یابد (جعفری و مقدم، ۱۴۰۱). خادمی آستانه و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که کاربرد سلینیوم در غلظت ۸ میلی‌گرم بر لیتر در کلم تکمه‌ای سبب افزایش وزن تر و خشک برگ و ساقه شد؛ اما در غلظت‌های بیشتر از ۸ میلی‌گرم بر لیتر، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه آن را کاهش داد که به‌دلیل آثار سمی ایجادشده در غلظت زیاد سلینیوم در این گیاه بود. شمس‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند محلول‌پاشی برگی سلینیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم موجب افزایش وزن تر و خشک، بهره‌وری

ریزومها یک روز در می‌ان و کامل، انجام شد. سپس فرایند اعمال تیمارها آغاز شد. به این صورت که در تیمار سلنیوم اختلاط با آب آبیاری، در هر نوبت آبیاری، سلنات سدیم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر با آب آبیاری مخلوط و به گلدان‌های مورد نظر داده شد و هم‌زمان تیمارهای تنش رطوبتی نیز اعمال شد. در انتها پس از گذشت پنج هفته از اعمال تیمارهای سلنیوم و تنش رطوبتی، گیاه برداشت شد. همچنین در تیمار Leaf_{before} گلدان‌های مورد نظر تحت تیمار سلنات سدیم (Na₂SeO₄) با غلظت پنج میلی‌گرم در لیتر به صورت محلول پاشی برگ‌گی قرار گرفتند. عمل محلول پاشی سه بار به صورت یک روز در میان انجام شد و ۲۴ ساعت پس از آخرین محلول پاشی، گلدان‌های مورد نظر، به مدت ۳۰ روز تحت تنش رطوبتی قرار گرفتند و سپس گیاه برداشت شد. همچنین در تیمار Leaf_{after} پس از استقرار مناسب گیاهچه‌ها ابتدا گلدان‌ها تحت تنش رطوبتی قرار گرفتند و پس از ۳۰ روز از اعمال تنش رطوبتی، محلول پاشی برگ‌گی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم، سه بار به صورت روز در میان، انجام شد و یک هفته پس از محلول پاشی، گیاه برداشت شد.



شکل ۱- نمونه‌ای از گیاه نعناع فلفلی تیمار شده در گلخانه تحقیقاتی

در این پژوهش از آب مقطر با pH برابر با ۶/۰۵ و EC برابر با ۰/۰۵۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر استفاده شد. در جهت تعیین مقدار آب مورد نیاز، از تست تبخیر کلاس A استفاده شد و تیمارهای آبی براساس آن اعمال شدند. همانند یوان و همکاران (۲۰۰۱)، نیاز آبی براساس مقدار تجمعی آب تبخیر شده از تست تبخیر، پس از اعمال ضریب تست محاسبه شده از روش پیشنهاد شده در

آب، درصد اسانس، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و تعداد گیاه گیاه نعناع فلفلی شد. امروزه گیاهان دارویی و معطر در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی و صنایع دارویی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. گیاه نعناع فلفلی گیاهی علفی و چندساله است که به‌عنوان یک گیاه دارویی و معطر در نظر گرفته شده است و به‌طور گسترده‌ای در صنایع دارویی کاربرد دارد (حداد و همکاران، ۱۳۹۵). هدف اصلی از انجام این پژوهش، مقایسه و بررسی تأثیر سلنیوم در حالات مختلف کاربرد آن (همراه با آب آبیاری و نیز محلول پاشی قبل و بعد از اعمال تنش رطوبتی) بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita L.*) در شرایط تنش رطوبتی بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۰ بر پایه کشت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی تربت جام با متوسط دمای محیط ۲۳ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب در طول فصل رشد و با طول و عرض جغرافیایی ۶۰/۶۴ درجه شرقی و ۳۵/۲۳ درجه شمالی و ارتفاع ۹۸۲ متر از سطح دریا واقع در استان خراسان رضوی انجام شد. در طول دوره رشد گیاه برای تأمین نور مورد نیاز از لامپ‌های LED سفید با قدرت تابشی ۳۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه و ۱۳ ساعت روشنایی استفاده شد. در این پژوهش در هر گلدان پلاستیکی با قطر ۲۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر که با کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۱ تکمیل شده بود، سه عدد ریزوم چهار برگ‌گی نعناع فلفلی کشت شد. در شکل ۱ نمونه‌ای از گیاه نعناع فلفلی تیمار شده در گلخانه تحقیقاتی ارائه شده است. آزمایش بالا به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با فاکتورهای تنش رطوبتی که شامل دو سطح (۱۰۰ (I₁) و ۵۰ درصد (I₂) نیاز آبی) و کاربرد سلنیوم در چهار سطح (عدم کاربرد (صفر)، اختلاط با آب آبیاری به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم (I₁)، محلول پاشی برگ‌گی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم قبل از اعمال تنش رطوبتی (Leaf_{before}) و محلول پاشی برگ‌گی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بعد از اعمال تنش رطوبتی (Leaf_{after})) و در سه تکرار اجرا شد. به‌منظور استقرار مناسب گیاهچه‌ها، آبیاری گیاهان تا دو هفته پس از انتقال

به مدت ۱۲۰ دقیقه جوشانده شد و سپس حرارت‌دادن متوقف و مقدار اسانس اندازه‌گیری شد (کروتو و همکاران، ۲۰۰۶).

ارتفاع گیاه: برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه از خط‌کش استفاده شد.

آنالیز داده‌های آماری: در جهت تجزیه داده‌ها از برنامه آماری SAS استفاده شد. برای رسم نمودارها و شکل‌ها از برنامه اکسل استفاده شد. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، علاوه بر اثرات ساده سلینیوم و تنش رطوبتی، اثر بر همکنش دوگانه آن‌ها نیز بر وزن تر و خشک گیاه نعنای فلفلی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۲) با افزایش سطوح تنش رطوبتی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی وزن تر و خشک به ترتیب ۳۴/۹۵ و ۳۳/۶۴ درصد کاسته شد. همچنین در تیمارهای سلینیوم شامل Leaf_{before} (کاربرد سلینیوم به صورت محلول‌پاشی برگ‌گی به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمار تنش رطوبتی)، Leaf_{after} (کاربرد سلینیوم به صورت محلول‌پاشی برگ‌گی به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر بعد از اعمال تیمار تنش رطوبتی) و I (اختلاط سلینیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلمات سدیم همراه با آب آبیاری) نسبت به عدم کاربرد سلینیوم، وزن تر به ترتیب ۶۵/۶۲، ۳۸/۵۵ و ۲۷/۲۲ درصد افزایش و وزن خشک به ترتیب ۶۹/۷۶، ۴۱/۸۹ و ۳۰/۴۱ درصد افزایش یافت. نتایج اثرات متقابل تنش رطوبتی و سلینیوم بر وزن تر نیز نشان داد (شکل ۲) کاربرد سلینیوم در حالات Leaf_{before}، Leaf_{after} و I نسبت به عدم کاربرد آن در مواجهه گیاه نعنای فلفلی با تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب موجب افزایش ۵۸/۱۰، ۳۸/۹۶ و ۲۵/۴۲ درصدی وزن تر شد. همچنین نتایج اثرات متقابل تنش رطوبتی و سلینیوم بر وزن خشک گیاه نعنای فلفلی نیز حاکی از این بود که کاربرد سلینیوم در حالات Leaf_{before}، Leaf_{after} و I نسبت به عدم کاربرد آن در مواجهه گیاه نعنای فلفلی با تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب موجب افزایش ۶۰/۲۵، ۴۲/۲۶ و ۲۷/۲۰ درصدی وزن خشک شد (شکل ۳). نتایج این پژوهش

نشریه فائو ۵۶ با توجه به موقعیت استقرار آن در محل (به‌طور میانگین ۰/۷) تعیین شد (یوان و همکاران، ۲۰۰۱). مقدار نیاز آبی از معادله (۱) به دست آمد:

$$ETa = Kc \times Kp \times Epan \quad (1)$$

که در آن ET_a: میلی‌متر بر روز (تبخیر تعرق روزانه)، K_p: ضریب تشت، E_{pan}: تبخیر از سطح تشت (میلی‌متر در روز) و K_c: ضریب گیاهی هستند. به‌منظور محاسبه نیاز آبی، ضرایب گیاهی منفرد نعنای فلفلی از نتایج شهریار (۱۳۹۰) استفاده شد. ضرایب گیاهی نعنای فلفلی برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه و میانی به ترتیب ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۸ در نظر گرفته شدند. در این پژوهش، میزان نیاز تغذیه‌ای گیاهان (محلول غذایی هوگلند) در ابتدای آزمایش براساس منابع علمی معتبر (روستا، ۱۳۹۵) برآورد شده و به‌صورت محلول در آب آبیاری و به مقدار یکسان در اختیار گیاهان قرار داده شد به‌طوری‌که هر گیاه در پایان دوره رشد عناصر غذایی مورد نیاز خود را دریافت کرد، به عبارت ساده‌تر، مقدار عناصر دریافتی مشابه شد. پس از برداشت در هر تیمار، بهره‌وری آب، وزن تر، وزن خشک، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن تر ریشه و درصد اسانس اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری بهره‌وری آب: برای محاسبه بهره‌وری آب از معادله پیشنهادی فائو (۲) استفاده شد:

$$WP = \frac{Y}{ET} \times 100 \quad (2)$$

که WP بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب آب، Y عملکرد بر حسب تن بر هکتار و ET تبخیر و تعرق گیاه بر حسب میلی‌متر است.

اندازه‌گیری وزن تر و خشک: برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک نمونه‌ها، ابتدا بوته‌ها جدا شده و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد، سپس در جهت تعیین وزن خشک، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه خشک و سپس توزین شدند.

اندازه‌گیری درصد اسانس: برای تعیین درصد اسانس با استفاده از ۳۰ گرم از برگ‌های خشک‌شده (در شرایط سایه در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد) از دستگاه کلونجر^۱ و از روش تقطیر استفاده شد. در این روش، ۳۰ گرم برگ‌های خشک نعنای فلفلی در ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در بالن

بر بهره‌وری آب نیز نشان داد (شکل ۴) کاربرد سلیوم در حالات $Leaf_{before}$ ، $Leaf_{after}$ و I نسبت به عدم کاربرد آن در مواجهه گیاه نعناع فلفلی با تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب موجب افزایش ۶۰/۱۰، ۴۱/۹۶ و ۲۶/۹۴ درصدی بهره‌وری آب شد. نتایج این پژوهش حاکی از این است که در صورت کاربرد سلیوم در گیاه نعناع فلفلی، تیمار $Leaf_{before}$ بیشترین میزان افزایش را در بهره‌وری آب گیاه نعناع فلفلی نسبت به تیمار $Leaf_{after}$ و تیمار I همزمان با تیمارهای مختلف تنش رطوبتی، داشت. دلیل افزایش میزان بهره‌وری آب در صورت کاربرد سلیوم را می‌توان نقش سلیوم در افزایش عملکرد تر و خشک گیاه نعناع فلفلی دانست. شمس‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که تنش خشکی موجب افزایش بهره‌وری آب گیاه نعناع فلفلی شد، همچنین محلول‌پاشی برگ سلیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمارهای تنش خشکی، نسبت به عدم کاربرد سلیوم، موجب افزایش بهره‌وری آب در این گیاه شد. دلیل افزایش بهره‌وری آب در کاربرد سلیوم، افزایش خصوصیات رشدی گیاه است. شهریاری و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که تنش خشکی به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی موجب افزایش بهره‌وری آب در گیاه نعناع فلفلی شد.

درصد اسانس: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، علاوه بر اثرات ساده سلیوم و تنش رطوبتی، اثر بر همکنش دوگانه آن‌ها نیز بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۲) که با افزایش سطوح تنش رطوبتی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی، درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی ۳۴/۵۳ درصد کاهش یافت. دلیل این کاهش در درصد اسانس، کاهش وزن تر و خشک گیاه نعناع فلفلی در اثر تنش رطوبتی است. همچنین در تیمارهای سلیوم شامل $Leaf_{before}$ (کاربرد سلیوم به صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمار تنش رطوبتی، $Leaf_{after}$ (کاربرد سلیوم به صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر بعد از اعمال تیمار تنش رطوبتی) و I (اختلاط سلیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلتات سدیم همراه با آب آبیاری) نسبت به عدم کاربرد سلیوم، درصد اسانس به ترتیب ۶۶/۰۴، ۳۸/۶۸ و ۳۰/۱۹ درصد افزایش یافت. نتایج اثرات متقابل تنش رطوبتی و سلیوم بر درصد

حاکی از این است که در صورت کاربرد سلیوم در گیاه نعناع فلفلی، تیمار $Leaf_{before}$ بیشترین میزان افزایش را در وزن تر و خشک گیاه نعناع فلفلی نسبت به تیمار $Leaf_{after}$ و تیمار I همزمان با تیمارهای مختلف تنش رطوبتی، داشت. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش خصوصیات مورفولوژیک گیاه نعناع فلفلی تحت تأثیر تیمارهای سلیوم بود. تحریک رشد گیاه در اثر کاربرد سلیوم به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی است، گزارش شده است که سلیوم در غلظت‌های پایین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل کرده و موجب افزایش رشد گیاه می‌شود، سلیوم بر سنتز کلروفیل اثر گذاشته و با تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته سبب تحریک تقسیم سلولی و موجب افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه می‌شود (نوراکنین، ۲۰۰۷). نتایج پژوهش‌های دیگر با این پژوهش همخوانی داشت. شمس‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش وزن تر و خشک گیاه نعناع فلفلی شد و محلول‌پاشی برگ سلیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمارهای تنش رطوبتی موجب افزایش وزن تر و خشک این گیاه شد. ابراهیمی اسبوزی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که تنش کم‌آبی شدید (تخلیه ۵۵ درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه) موجب کاهش ۴۴ درصدی عملکرد خشک گیاه نعناع فلفلی شد.

بهره‌وری آب: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، علاوه بر اثرات ساده سلیوم و تنش رطوبتی، اثر بر همکنش دوگانه آن‌ها نیز بر بهره‌وری آب گیاه نعناع فلفلی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۲) با افزایش سطوح تنش رطوبتی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی، بهره‌وری آب گیاه نعناع فلفلی ۳۰/۶۹ درصد افزایش یافت. همچنین در تیمارهای سلیوم شامل $Leaf_{before}$ (کاربرد سلیوم به صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمار تنش رطوبتی، $Leaf_{after}$ (کاربرد سلیوم به صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر بعد از اعمال تیمار تنش رطوبتی) و I (اختلاط سلیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلتات سدیم همراه با آب آبیاری) نسبت به عدم کاربرد سلیوم، بهره‌وری آب به ترتیب ۶۶/۸۷، ۴۱/۷۹ و ۲۹/۲۵ درصد افزایش یافت. نتایج اثرات متقابل تنش رطوبتی و سلیوم

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سلنیوم با افزایش تقسیم سلولی در قسمت مریستمی موجب افزایش رشد طولی گیاه می‌شود (خادمی آستانه و همکاران، ۱۳۹۶). کوشکی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که تنش خشکی به میزان ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی در گیاه نعنای فلفلی موجب کاهش ارتفاع گیاه شد. گرگینی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود عنوان کردند به‌طور کلی خصوصیات رشدی گیاه بادرنجبویه با افزایش تنش خشکی، کاهش می‌یابد که دلیل آن کمبود آب در دسترس ریشه گیاه است. جعفری و مقدم (۱۴۰۱) نشان دادند که کاربرد دو فرم سلنیوم (سلنات سدیم و سلنیت سدیم) در غلظت چهار میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش صفات رشدی گیاه از جمله ارتفاع گیاه نعنای فلفلی شد.

تعداد برگ: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، علاوه بر اثرات ساده سلنیوم و تنش رطوبتی، اثر برهمکنش دوگانه آن‌ها نیز بر تعداد برگ گیاه نعنای فلفلی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۲) با افزایش سطوح تنش رطوبتی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی، تعداد برگ گیاه نعنای فلفلی ۳۴/۱۷ درصد کاهش یافت. همچنین در تیمارهای سلنیوم شامل $Leaf_{before}$ (کاربرد سلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمار تنش رطوبتی، $Leaf_{after}$ (کاربرد سلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر بعد از اعمال تیمار تنش رطوبتی) و I (اختلاط سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با آب آبیاری) نسبت به عدم کاربرد سلنیوم، تعداد برگ به ترتیب ۶۸/۶۴، ۴۳/۷۸ و ۳۰/۵۱ درصد افزایش یافت. نتایج اثرات متقابل تنش رطوبتی و سلنیوم بر تعداد برگ نیز نشان داد (شکل ۶) کاربرد سلنیوم در حالات $Leaf_{before}$ ، $Leaf_{after}$ و I نسبت به عدم کاربرد آن در مواجهه گیاه نعنای فلفلی با تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب موجب افزایش ۶۱/۲۷، ۴۶/۴۸ و ۲۹/۵۸ درصدی تعداد برگ شد. شمس‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش تعداد برگ گیاه نعنای فلفلی شد، همچنین محلول‌پاشی برگ سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمارهای تنش خشکی، نسبت به عدم کاربرد سلنیوم، موجب افزایش تعداد برگ در این گیاه شد.

اسانس نیز نشان داد (شکل ۵) کاربرد سلنیوم در حالات $Leaf_{before}$ ، $Leaf_{after}$ و I نسبت به عدم کاربرد آن در مواجهه گیاه نعنای فلفلی با تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب موجب افزایش ۶۱/۱۸، ۴۳/۵۳ و ۲۷/۰۶ درصدی در صد اسانس شد. نتایج این پژوهش حاکی از این است که در صورت کاربرد سلنیوم در گیاه نعنای فلفلی، تیمار $Leaf_{before}$ بیشترین میزان افزایش را در درصد اسانس گیاه نعنای فلفلی نسبت به سایر تیمارهای سلنیوم، داشت. ابراهیمی اسبوزی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که تنش کم‌آبی شدید (تخلیه ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده در منطقه ریشه) موجب کاهش درصد اسانس گیاه نعنای فلفلی شد. گارسیا و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تنش خشکی به میزان ۷۰ درصد نیاز آبی موجب کاهش عملکرد اسانس گیاه نعنای فلفلی شد. شمس‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند محلول‌پاشی برگ سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمارهای تنش خشکی، نسبت به عدم کاربرد سلنیوم، موجب افزایش درصد اسانس در این گیاه شد.

ارتفاع گیاه: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، علاوه بر اثرات ساده سلنیوم و تنش رطوبتی که در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اثر بر همکنش دوگانه آن‌ها نیز بر ارتفاع گیاه نعنای فلفلی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۲) که با افزایش سطوح تنش رطوبتی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی، ارتفاع گیاه نعنای فلفلی ۲۹/۳۵ درصد کاهش یافت. همچنین در تیمارهای سلنیوم شامل $Leaf_{before}$ (کاربرد سلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمار تنش رطوبتی، $Leaf_{after}$ (کاربرد سلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر بعد از اعمال تیمار تنش رطوبتی) و I (اختلاط سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با آب آبیاری) نسبت به عدم کاربرد سلنیوم، ارتفاع گیاه به ترتیب ۷۸/۹۶، ۵۰/۵۴ و ۲۷/۳۵ درصد افزایش یافت. نتایج اثرات متقابل تنش رطوبتی و سلنیوم بر ارتفاع گیاه نیز نشان داد (شکل ۶) کاربرد سلنیوم در حالات $Leaf_{before}$ ، $Leaf_{after}$ و I نسبت به عدم کاربرد آن در مواجهه گیاه نعنای فلفلی با تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب موجب افزایش ۷۹/۴۶، ۴۸/۶۹ و ۳۳/۳۱ درصدی ارتفاع گیاه شد.

سلیوم رخ داد که نشان‌دهنده گسترش بیشتر اندام زمینی گیاه نعنای فلفلی در حالتی است که سلیوم همراه با آب آبیاری به گیاه داده می‌شود. بررسی پژوهش‌ها نشان می‌دهد افزودن سلیوم به محیط رشد گیاه موجب افزایش تقسیم سلولی در قسمت مریستمی شده و در نهایت موجب افزایش رشد طولی، حجمی و وزن ریشه گیاه می‌شود. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های ذیل همخوانی داشت. جعفری و مقدم (۱۴۰۱) نشان دادند که کاربرد دو فرم سلیوم (سلنات سدیم و سلنیت سدیم) به صورت ترکیب با محلول غذایی در غلظت چهار میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش صفات رشدی گیاه، از جمله وزن تر و طول ریشه گیاه نعنای فلفلی شد؛ اما در غلظت ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش این صفات شد. هان-ونس و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که افزودن سلیوم به محیط رشد گیاه سیر موجب افزایش حجم ریشه این گیاه شد.

وزن تر ریشه: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، حاکی از این است که تنها اثرات ساده سلیوم و تنش رطوبتی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۲) که با افزایش سطوح تنش رطوبتی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی، وزن تر ریشه گیاه نعنای فلفلی ۳۳/۶۱ درصد کاهش یافت. همچنین در تیمارهای سلیوم شامل Leaf_{before} (کاربرد سلیوم به صورت محلول پاشی برگی به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تنش رطوبتی)، Leaf_{after} (کاربرد سلیوم به صورت محلول پاشی برگی به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر بعد از اعمال تیمار تنش رطوبتی) و I (اختلاط سلیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم همراه با آب آبیاری) نسبت به عدم کاربرد سلیوم، وزن تر ریشه به ترتیب ۲۲/۰۹، ۸/۵۵ و ۵۰/۶۱ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر ریشه در تیمار I

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف سلیوم و آبیاری بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعنای فلفلی

میانگین مربعات					وزن خشک	وزن تر	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V)
وزن تر ریشه	تعداد برگ	ارتفاع گیاه	درصد سلنات	بهره‌وری آب	وزن خشک	وزن تر		
۲۳/۹۳ **	۱۷۰/۷۱۶ **	۱۶۹/۷۰ **	۰/۵۰۲ **	۵/۲۰۴ **	۴/۲۵ **	۷۱/۵۵ **	۳	سلیوم
۱۱۴/۶۰ **	۶۵۳۴/۰۰ **	۳۴۵/۰۴ **	۱/۹۳۹ **	۸/۵۴ **	۱۷/۱۱ **	۳۰۶/۹۷ **	۱	آبیاری
۰/۶۹ ns	۱۳۹/۰۰ **	۷/۵۹ *	۰/۰۳۶ **	۰/۰۵۲ **	۰/۳۹۴ **	۶/۰۵ **	۳	آبیاری × سلیوم
۰/۵۳۰	۱۴/۲۰	۱/۷۵	۰/۰۰۶۵	۰/۰۶۲۰	۰/۰۴۷	۰/۵۹۸	۱۶	خطا
۶/۷۱	۴/۷۰	۶/۰۰۱	۵/۶۹	۵/۵۱	۵/۴۱	۴/۵۸		ضریب تغییرات (درصد)

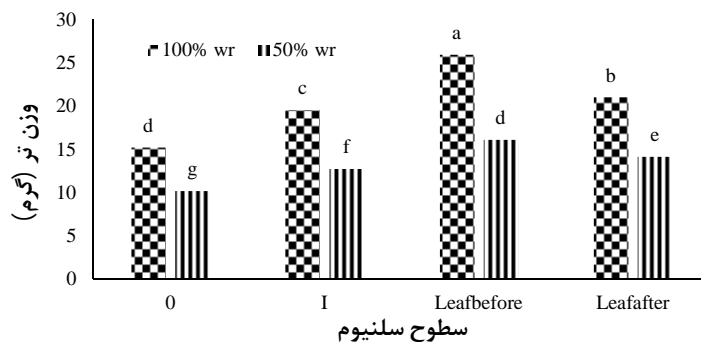
ns* و ** به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۲- مقایسه اثر ساده سلیوم و آبیاری بر بهره‌وری آب و برخی خصوصیات گیاه نعنای فلفلی

وزن تر ریشه (گرم)	تعداد برگ	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	درصد سلنات (درصد)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	وزن خشک (گرم در گلدان)	وزن تر (گرم در گلدان)	تیمارها
۹/۰۱ ^d	۵۹/۰۰ ^d	۱۵/۸۳ ^d	۱/۰۶ ^d	۳/۳۵ ^d	۲/۹۶ ^d	۱۲/۷۱ ^d	.
۱۳/۵۷ ^a	۷۷/۰۰ ^c	۲۰/۱۶ ^c	۱/۳۸ ^c	۴/۳۴ ^c	۳/۸۶ ^c	۱۶/۱۷ ^c	I
۱۱/۰۰ ^b	۹۹/۵ ^a	۲۸/۳۳ ^a	۱/۷۶ ^a	۵/۵۹ ^a	۵/۰۲۵ ^a	۲۱/۰۵ ^a	Leaf _{before}
۹/۷۸ ^c	۸۴/۸۳ ^b	۲۳/۸۳ ^b	۱/۴۷ ^b	۴/۷۵ ^b	۴/۲۰ ^b	۱۷/۶۱ ^b	Leaf _{after}
۱۳/۰۳ ^a	۹۶/۵۸ ^a	۲۵/۸۳ ^a	۱/۷۰ ^a	۳/۹۱ ^b	۴/۸۵ ^a	۲۰/۴۶ ^a	۱۰۰
۸/۶۵ ^b	۶۳/۵۸ ^b	۱۸/۲۵ ^b	۱/۱۳ ^b	۵/۱۱ ^a	۳/۱۷ ^b	۱۳/۳۱ ^b	۵۰

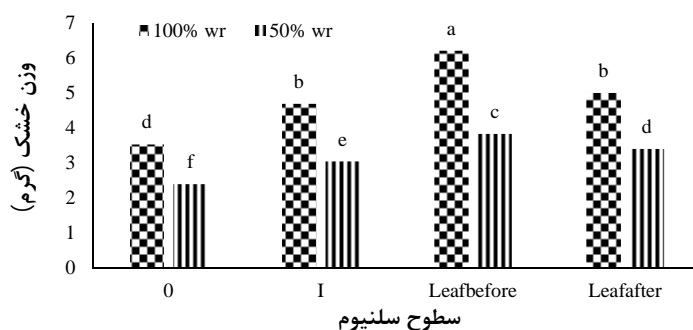
در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

(I: سلیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر همراه با آب آبیاری، Leaf_{before}: سلیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر به صورت محلول پاشی قبل از اعمال تنش رطوبتی، Leaf_{after}: سلیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر به صورت محلول پاشی بعد از اعمال تنش رطوبتی)

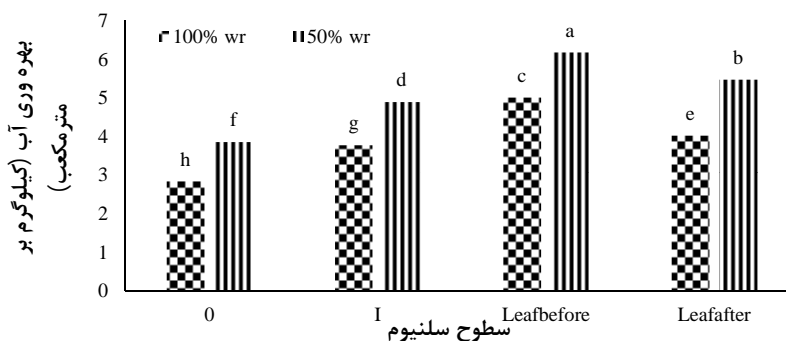


شکل ۲- مقایسه اثر برهمکنش تنش رطوبتی و سلینیوم بر وزن تر گیاه نعناع فلفلی

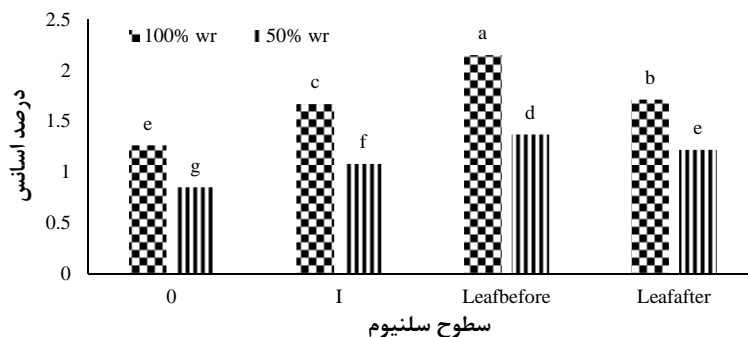
1: سلینیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر همراه با آب آبیاری، Leaf before: سلینیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر به صورت محلول‌پاشی قبل از اعمال تنش رطوبتی، Leafafter: سلینیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر به صورت محلول‌پاشی بعد از اعمال تنش رطوبتی، 100% wr: ۱۰۰ درصد نیاز آبی، 50% wr: ۵۰ درصد نیاز آبی)



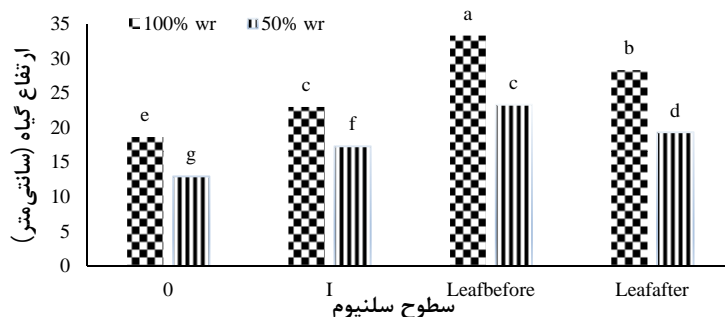
شکل ۳- مقایسه اثر برهمکنش تنش رطوبتی و سلینیوم بر وزن خشک گیاه نعناع فلفلی



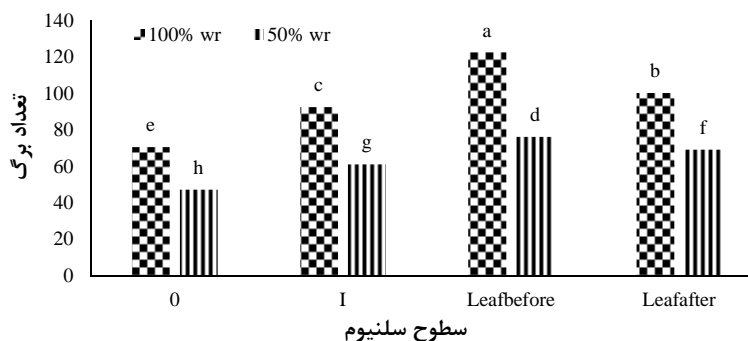
شکل ۴- مقایسه اثر برهمکنش تنش رطوبتی و سلینیوم بر بهره‌وری آب گیاه نعناع فلفلی



شکل ۵- مقایسه اثر برهمکنش تنش رطوبتی و سلینیوم بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی



شکل ۶- مقایسه اثر برهمکنش تنش رطوبتی و سطوح مختلف سلیونیوم بر ارتفاع گیاه نعنای فلفلی



شکل ۷- مقایسه اثر برهمکنش تنش رطوبتی و سلیونیوم بر تعداد برگ گیاه نعنای فلفلی

متقابل تنش رطوبتی و سلیونیوم نیز حاکی از آن بود که در همه حالات کاربرد سلیونیوم، سلیونیوم موجب افزایش خصوصیات اندازه‌گیری شده و کاهش اثرات تنش رطوبتی شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که سلیونیوم در غلظت مورد استفاده در این پژوهش موجب افزایش بعضی خصوصیات گیاه نعنای فلفلی شد و در کاهش اثرات تنش رطوبتی در این گیاه، مؤثر واقع شد. در این راستا می‌توان از محلول‌پاشی برگ سلیونیوم به‌عنوان یک راهکار در کاهش اثرات تنش رطوبتی و نیز افزایش بیشتر محصول، استفاده کرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات مجتمع آموزش عالی تربت جام است. بدین‌وسیله از حمایت مالی این مجتمع، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. ابراهیمی اسبوزری ح. مدرس ثانوی س. ع. م. باغبانی ا. و کرمی ر. ۱۴۰۰. اثر رژیم‌های مختلف

نتیجه‌گیری

آب یکی از فاکتورهای اساسی در عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی، از جمله گیاه نعنای فلفلی است. سلیونیوم نیز در غلظت‌های پایین در افزایش خصوصیات رشدی گیاه و افزایش مقاومت آن در برابر تنش رطوبتی مؤثر است. پژوهش حاضر نشان داد که اعمال تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی، موجب کاهش صفات مورد بررسی شامل وزن تر، وزن خشک، درصد اسانس، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و وزن تر ریشه آن و همچنین موجب افزایش بهره‌وری آب در این گیاه شد. همچنین نتایج کاربرد سلیونیوم نشان داد که سلیونیوم در حالات مختلف کاربرد آن، بر صفات مورد بررسی تأثیر معنی‌داری داشت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری آب، وزن تر، وزن خشک، درصد اسانس، ارتفاع گیاه و تعداد برگ گیاه نعنای فلفلی در تیمار Leafbefore (کاربرد سلیونیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگ) به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر قبل از اعمال تیمار تنش رطوبتی) و بیشترین میزان وزن تر ریشه این گیاه در تیمار I (اختلاط با آب آبیاری به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) رخ داد. نتایج اثرات

۱۰. شهریاری س. عزیزی م. آروبی ح. و انصاری ح. ۱۳۹۲. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع خاکپوش بر خصوصیات رویشی و میزان اسانس نعناع فلفلی. نشریه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۹ (۳): ۵۶۸-۵۸۲.
۱۱. ضیایی ع. مقدم م. و کاشفی ب. ۱۳۹۵. تأثیر پلیمرهای سوپر جاذب بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه رزماری در شرایط تنش خشکی. نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۷ (۲): ۹۹-۱۱۰.
۱۲. کوشکی ا. عالی‌نژادیان ا. و ملکی ع. ۱۴۰۰. بررسی اثر بیوجار پوسته برنج و رژیم‌های مختلف آبیاری بر رشد، درصد اسانس و غلظت برخی عناصر غذایی در نعناع فلفلی. نشریه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۷ (۵): ۷۳۲-۷۵۲.
۱۳. گرگینی شبانکاره ح. فخری ب. و محمدپور و شویبی ر. ۱۳۹۴. تأثیر سطوح مختلف تنش‌های شوری و خشکی بر شاخص‌های رشدی و اسانس بادرنجبویه. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶ (۴): ۶۷۳-۶۸۶.
۱۴. نامدار م. آروین س. م. ج. و بهره‌مند ن. ۱۳۹۸. اثر سلنیوم بر شاخص‌های رشد، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه سیر در شرایط سمیت کادمیوم. نشریه فرایند و کارکرد گیاهی. ۸ (۳۰): ۱۳۷-۱۵۳.
۱۵. نظامی س. نعمتی س. ح. آروبی ح. و باقری ع. ر. ۱۳۹۵. تأثیر رژیم‌های رطوبتی خاک در شرایط کنترل‌شده روی خصوصیات رشدی و زیست‌توده گونه‌های نعناع. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۳ (۲): ۵۱-۷۲.
16. Akbarzadeh A. and Shahnazari A. 2021. The Effect of Deficit Irrigation Strategies on the Efficiency from Plant to Essential Oil Production in Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Frontiers in Water*. 66: 1-10.
17. Baker A. V. Pilbeam D. M. J. 2007. *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor and Francis Group Press, Boca Raton, FL.
18. Croteau R. Ketchum R. Long R. Kaspera R. and Wildung M. 2006. Taxol biosynthesis and molecular genetics. *Phytochemistry reviews*. 5(1): 75-97.
19. Garcia-Caparris P. Romero M. Lianderal A. Cemenio P. Teresa L. and Segura M. 2019. آبیاری و کوددهی بر عملکرد و ترکیبات اسانس نعناع فلفلی. نشریه علوم باغبانی ایران. ۵۲ (۳): ۶۶۳-۶۷۵.
۲. جعفری ح. و مقدم م. ۱۴۰۱. اثر سطوح مختلف سلنات و سلنیت سدیم بر ویژگی‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر غذایی در نعناع فلفلی. نشریه روابط خاک و گیاه. ۱۳ (۳): ۱-۱۶.
۳. جمالی ص. انصاری ح. نادریان فر م. و صفری‌زاده ثانی ع. ۱۴۰۱ الف. بررسی تغییرات صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاهان دارویی نعناع فلفلی تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی. ۱۶ (۴): ۸۵۲-۸۶۲.
۴. جمالی ص. بانزاد ح. صفری‌زاده ثانی ع. و هادی ب. ۱۴۰۱ ب. بررسی اثر سطوح آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه دارویی نعناع فلفلی تحت تنش شوری. نشریه علوم آب و خاک. ۲۶ (۱): ۱۳۱-۱۴۶.
۵. حداد ر. رستمی‌نیا ب. و اصغری ب. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر رژیم‌های رطوبتی بر روی گیاه نعناع فلفلی. سومین کنفرانس ملی علوم زیستی ایران. مرکز پژوهشی زمین کاو. تهران. ایران.
۶. خادمی آستانه ر. طباطبایی س. ج. و بلندنظر ص. ۱۳۹۶. تأثیر سلنیوم بر روی عملکرد و ویژگی‌های رویشی کلم تکمه‌ای کشت‌شده در هیدروپونیک. نشریه علوم باغبانی. ۳۱ (۱): ۱۶۷-۱۷۹.
۷. روستا ح. ر. ۱۳۹۵. تغذیه گیاه در آبکشت (هیدروپونیک). دانشگاه ولیعصر رفسنجان. ۵۷۷ ص.
۸. شمس‌آبادی و. بانزاد ح. انصاری ح. و نعمتی س. ح. ۱۴۰۱. بررسی بهره‌وری آب و خصوصیات گیاه نعناع فلفلی در شرایط تنش آبی و شوری در حضور سلنیوم. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۹ (۲): ۷۲-۷۳.
۹. شهریاری س. ۱۳۹۰. بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع خاکپوش بر خصوصیات رویشی، میزان، عملکرد و اجزای اسانس نعناع فلفلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.

- Effects of Drought Stress on Biomass, Essential Oil Content, Nutritional Parameters, and Costs of Production in Six Lamiaceae Species. *Water (MDPI)*. 11: 1-12.
20. Han-Wens S. Jing H. Shu-Xuan L. Wei-Jun K. 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 41: 1195–1204.
 21. Ihuoma S.O. and Madramootoo C.A. 2017. Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*. 141: 267-275.
 22. Jahani F. Tohidi-Moghadam H. R. Larijani H.R. Ghooshchi F. and Oveysi M. 2021. Influence of zinc and salicylic acid foliar application on total chlorophyll, phenolic components, yield and essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita L.*) under drought stress condition. *Arabian Journal of Geosciences*. 14(8): 1-12.
 23. Pilon-Smits E. A. Quinn C. F. 2010. *Selenium Metabolism in Plants. Cell Biology of Metals and Nutrients*. Springer, Berlin Heidelberg.
 24. Qiang-yun Sh. Turakainen M. Seppanen M. and Makela P. 2008. Effects of selenium on maize ovary development at pollination stage under water deficits. *Agricultural Sciences in China*. 7(11): 1298-1307.
 25. Turakainen M. 2007. Selenium and its effects on growth, yield and tuber quality in potato. *Julkaisuja/Helsingin Yliopisto, Soveltavan Biologian Laitos*. 50–55.
 26. Xue T.L. Hartikainen H. and Piironen V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*. 273: 55-61.
 27. Yuan B. Z. Kang Y. and Nishiyama S. 2001. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse. *Irrigation Science* 20: 149-154.

