نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۷، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۲، ص. ۲۴-۱۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 17, Apr.-May. 2023, p. 14-24

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی بهره‌وری آب، خصوصیات و غلظت عناصر نعناع فلفلی تحت تنش کادمیوم در حضور سلنیوم

وحید شمس آبادی[1*]، افسانه محمدیان فر[2]، حسین بانژاد[3]، مهدی مرادی[4]، سعید عبدی تازیک[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱

چکیده

کادمیوم از جمله مهمترین عناصر سنگین سمی برای گیاهان می‌باشد. سلنیوم یک عنصر ضروری و مفید در افزایش تحمل به تنش‌های محیطی، در گیاهان است. در این پژوهش که در سال ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی در تربت جام صورت گرفت، تاثیر کادمیوم در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلریدکادمیوم) و فاکتور سلنیوم در ۲ سطح (صفر و پنج میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم) و در سه تکرار انجام گردید. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم از صفر به ۷۵ و ۱۵۰، وزن تر و خشک، بهره‌وری آب، درصد اسانس و ارتفاع گیاه دچار کاهش گردید. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم به ترتیب موجب افزایش ۶۷/۳۳، ۶۷/۹۸، ۶۸/۱۱، ۶۱/۱۶ و ۴۰/۶۸ درصدی وزن تر، وزن خشک، بهره‌وری آب، درصد اسانس و ارتفاع گیاه نسبت به عدم حضور سلنیوم گردید. نتایج اثرات متقابل کادمیوم و سلنیوم نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر در سطوح مختلف تنش کادمیوم موجب افزایش وزن تر و خشک، بهره‌وری آب و ارتفاع گیاه نسبت به عدم مصرف سلنیوم گردید. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم، موجب تغییر در غلظت آهن، روی، سدیم، پتاسیم و کادمیوم در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم، گردید. نتایج حاکی از این بود که با افزایش سطوح تنش کادمیوم از صفر به ۷۵ و ۱۵۰، سلنیوم موجب کاهش به ترتیب ۲۳/۹۷، ۱۴/۸۴ و ۱۴/۲۳ درصدی غلظت کادمیوم در برگ‌های نعناع فلفلی می‌گردد. نتایج حاکی از این بود که با افزایش تنش کادمیوم، بهره‌وری آب کاهش یافت. همچنین محلول پاشی سلنیوم موجب کاهش اثرات تنش کادمیوم گردید.

واژه‌های کلیدی: جذب اتمی، فلزات سنگین، گیاهان دارویی

مقدمه

یکی از پیامدهای صنعتی شدن، آلودگی محیط زیست و یکی از مهمترین آلاینده‌های محیط زیست فلزات سنگین هستند. این فلزات می‌توانند باعث آلودگی خاک، آب و هوا شده و مشکلات جدی در بیوسفر ایجاد نمایند (Street et al., 2007). فلزات سنگین به صورت قراردادی به عناصری گفته می‌شود که دارای چگالی بالاتر از پنج گرم بر سانتیمتر مکعب باشند (Street et al., 2007). آمارها نشان می‌دهد در کشور ایران سالانه حدود ۱۰ میلیارد مترمکعب حجم فاضلاب‌های بخش شرب شهری، روستایی و صنعت است که با فرض ۶۰ تا ۷۰ درصد ضریب بازیافت آن‌ها، حدود ۶ تا ۷ میلیارد متر مکعب آب در سال قابل استفاده مجدد در بخش کشاورزی می‌باشد. در بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه از فاضلاب‌های تصفیه شده برای آبیاری گیاهان استفاده می‌شود (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷). تنش فلزات سنگین یکی از تنش‌هایی است که باعث کاهش تولیدات کشاورزی شده است. این تنش باعث آسیب به ساختارهای فتوسنتزی گیاه می‌شود (Baszynski et al., 1980). کادمیوم یکی از سمی ترین آلاینده‌ها در لایه سطحی خاک است و تجمع آن در گیاهان و خاک نگرانی در این مورد را افزایش داده است (Alloway

۱- مدرس، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
۲- مدرس، گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- مدرس، گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
۵- مدرس، گروه مهندسی منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: v_shamsabadi@tjamcaas.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.1.2.6

et al., 1995). این عنصر از جمله فلزات سنگینی است که بیشترین سمیت را برای گیاهان و حیوانات ایجاد می‌نماید (Baszynski et al., 1980). این فلز عمدتاً طی فرآیندهای صنعتی، استخراج معادن، زباله‌های شهری و کودهای فسفاته به خاک وارد می‌شود (kumar., 2013). حداکثر غلظت قابل قبول کادمیوم در بسیاری از کشورها یک تا پنج میلی گرم در کیلو گرم خاک تعیین شده است، غلظت این عنصر در بسیاری از خاک‌های مطالعه شده در ایران بالاتر از حد مجاز است (Malakouti, 2008). بالاترین مقدار کادمیوم قابل تحمل برای انسان که توسط FAO معرفی شده است، ۷۰ میکرو گرم در روز می‌باشد (Alloway, 1995). با افزایش تنش کادمیم، ممانعت از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه از قبیل سنتز کلروفیل، فتوسنتز و جذب مواد غذایی و به دنبال آن تاخیر در رشد و کاهش بازده اتفاق می‌افتد (Yan et al., 2015). از آنجا که این فلز دو ظرفیتی می‌باشد با عناصری مانند منیزم موجود در کلروفیل یا با آهن که دو ظرفیتی‌اند رقابت کرده و جایگزین آنها می‌شود بنابراین فتوسنتز در گیاه را دچار اختلال می‌نماید. کادمیوم به دلیل قابلیت دسترسی بالا در خاک از مهمترین عوامل تهدید محسوب می‌گردد. این عنصر در گیاه از بازشدن روزنه‌ها جلوگیری کرده و موجب کمبود آب در گیاه می‌شود (Sarwar et al., 2010). جذب بالای کادمیوم توسط گیاهان از فتوسنتز و جذب عناصر غذایی جلوگیری کرده و موجب رشد پایین گیاه می‌گردد (Hossain et al., 2010). همواره ترکیبات مختلفی برای کاهش اثرات سوء تنش‌های وارده بر گیاهان مورد توجه و استفاده قرار گرفته‌اند. در این خصوص سلنیوم که به عنوان یکی از عناصر مفید برای گیاهان معرفی شده است می‌تواند گیاهان را در برابر اثرات نامطلوب تنش‌ها حفاظت نماید (Feng et al., 2013). تاثیر کاربرد سلنیوم در غلظت‌های پایین در تخفیف تنش‌های محیطی شامل تنش فلزات سنگین به اثبات رسیده است (Cartes et al., 2005). کادمیوم و سلنیوم هر دو از عناصر سنگین بوده و ممکن است سلنیوم برخی از اثرات مضر کادمیوم را در گیاهان کاهش دهد. سعیدی و همکاران گزارش کردند که افزودن سلنیوم به محیط کشت، سمیت کادمیوم را کاهش و میزان کلروفیل و فتوسنتز را افزایش داده است (Saeidi et al., 2014). در پژوهش دیگری بر روی گیاه گندم گزارش شده است که سلنیوم باعث کاهش اثرات منفی ناشی از تنش کادمیوم گردیده است (Thamas et al., 2010). افزایش تنش کادمیوم می‌تواند بر روی جذب عناصر مختلف توسط گیاه تاثیر بگذارد. صوفیان و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که با افزایش تنش کادمیوم در غلظت‌های صفر تا ۸۰ میلی‌گرم در لیتر در گیاه عدسک آبی، غلظت پتاسیم، کلسیم، فسفر، آهن، مس و منیزیم کاهش یافت. با عنایت به اینکه گیاهان دارویی و آثار دارویی آنان در طول تاریخ همواره با انسان قرابت خاصی داشته و خواص بهبود دهنده آنان بر هیچ کس پوشیده نمی‌باشد و با توجه به آلودگی اکثر مناطق سبزی کاری به فلزات و عناصر سنگین و احتمال انتقال این فلزات به تولیدات گیاهی و اثرات سوء آنها بر سلامت انسان، در این پژوهش به بررسی احتمالی نقش سلنیوم در افزایش تحمل گیاه نعناع فلفلی با نام علمی Mentha piperita L از خانواده Lamiaceae در برابر خسارات ناشی از تنش کادمیوم و تاثیر آن بر روی بهره‌وری آب، خصوصیات، درصد اسانس و غلظت عناصر موجود در این گیاه پرداخته شد. نعناع فلفلی ازجمله گیاهان دارویی و معطری است که اسانس آن مصارف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی فراوانی دارد، آمریکا بزرگترین تولید کننده اسانس گیاه نعناع فلفلی بوده و این خود اهمیت کشت آن را در نقاط مختلف کره زمین نشان می‌دهد (wildung et al., 2005).

مواد و روش‌ها

یک آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی تربت جام در اردیبهشت سال ۱۴۰۰ انجام گردید. در این پژوهش از سطوح مختلف کادمیوم و سلنیوم استفاده گردید. فاکتور کادمیوم در سه سطح (cd_1=۰، cd_2=۷۵ و cd_3=۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلریدکادمیوم) (jiang et al., 2001) و فاکتور سلنیوم در دو سطح (صفر و پنج میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم) (سپهری و قره‌باغلی، ۱۳۹۷؛ sun et al., 2010) و هر کدام در سه تکرار انجام گردید. در شکل (۱) نمونه‌ای از گیاه نعناع فلفلی تیمار شده در گلخانه تحقیقاتی ارائه شده است. نقشه شماتیک طرح آزمایشی در شکل (۲) آورده شده است. در این پژوهش ابتدا گلدان‌هایی که گیاه نعناع فلفلی در آن کاشت شده بود تهیه گردید، گلدان‌ها پلاستیکی و دارای قطر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بودند. به منظور استقرار مناسب گیاهچه‌ها، آبیاری گیاهان تا دو هفته پس از انتقال ریزوم‌ها یک روز در میان انجام گردید (وطن خواه و همکاران، ۱۳۹۶)، سپس به محض ظهور برگ‌های جدید (۲۰ روز پس از کاشت)، ابتدا گلدان‌ها تحت تیمار سلنات سدیم (Na_2SeO_4) با غلظت‌های صفر و ۵ میلی‌گرم در لیتر به صورت محلول پاشی برگی قرار گرفتند (دریایی و همکاران، ۱۳۹۳)، عمل محلول پاشی سه بار به صورت یک روز در میان انجام گردید و ۲۴ ساعت پس از آخرین محلول پاشی، گیاهان تحت تیمارهای کادمیوم به صورت محلول، قرار گرفتند (وطن خواه و همکاران، ۱۳۹۶).

در این پژوهش از آب مقطر با pH ۵/۹۵ و EC ۰/۰۶ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر استفاده گردید. نیاز آبی براساس مقدار تجمعی آب تبخیر شده از تشت تبخیر، پس از اعمال ضریب تشت محاسبه شده از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو 56 با توجه به موقعیت استقرار آن در محل (به طور میانگین ۰,۷) تعیین شد (Yuan, et al., 2001). مقدار نیاز آبی از رابطه (۱) بدست آمد:

$$ETa = \mathrm{Kc} \times \mathrm{Kp} \times \mathrm{Epan} \quad (۱)$$

ET_a میلیمتر بر روز (تبخیر تعرق روزانه) ،K_p ضریب تشت، E_{pan} تبخیر از سطح تشت (میلیمتر در روز)، K_c: ضریب گیاهی.

به منظور محاسبه نیاز آبی، ضرایب گیاهی منفرد نعناع فلفلی از نتایج شهریاری (۱۳۹۰) استفاده گردید. ضرایب گیاهی نعناع فلفلی برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه و میانی به ترتیب ۰/۳، ۰/۸ و ۰/۵ در نظر گرفته شدند. در این پژوهش، میزان نیاز تغذیه‌ای گیاهان در ابتدای آزمایش براساس منابع علمی معتبر برآورد شده و به همان میزان در اختیار گیاهان قرار داده می‌شود بطوریکه هر گیاه در پایان دوره رشد عناصر غذایی مورد نیاز خود را دریافت نموده است، به عبارت ساده تر، مقدار عناصر دریافتی مشابه می‌باشد. سه هفته پس اعمال تنش فلزات سنگین، گیاه برداشت گردید (امیر مرادی و همکاران، ۱۳۹۶) و بهره‌وری آب، عملکرد تر و خشک گیاه، ارتفاع ساقه اصلی گیاه، درصد اسانس و غلظت آهن، روی، کادمیوم، سدیم و پتاسیم موجود در برگ‌های آن، اندازه گیری گردید. تعداد بوته در هر گلدان به صورت یکسان برای تمام تیمارها، سه عدد در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری بهره‌وری آب: مطابق پژوهش کشاورز و دهقانی سانیج (۱۳۹۱)، برای محاسبه بهره‌وری آب از رابطه (۲) استفاده گردید.

$$WUE = \mathrm{Y/W} \quad (۲)$$

که در آن Y تولید در بوته (production per plant) برحسب کیلوگرم و W آب مصرفی بر حسب مترمکعب می‌باشد.

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک نمونه‌ها، ابتدا بوته‌ها جدا شده و وزن تر آنها اندازه‌گیری گردید، سپس جهت تعیین وزن خشک، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه خشک شده و سپس توزین گردیدند. با استفاده از ۳۰ گرم از برگ‌های خشک شده(در شرایط سایه در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد) از دستگاه کلونجر و از روش تقطیر استفاده شد. در این روش، ۳۰ گرم برگ‌های خشک نعناع فلفلی در ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در بالن به مدت ۱۲۰ دقیقه جوشانده شد و سپس حرارت دادن متوقف و مقدار اسانس اندازه‌گیری شد (Croteau et al., 2006). برای اندازه گیری ارتفاع گیاه، با استفاده از خط کش طول ساقه اصلی گیاه اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری غلظت آهن، کادمیوم، روی، سدیم و پتاسیم، ابتدا ۰/۵ گرم از برگ خشک و آسیاب شده، سپس در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت سه ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شوند. سپس در ادامه پنج میلی‌لیتر اسیدکلریدریک دو نرمال به هر نمونه خاکستر افزوده شد و در پایان توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس جهت اندازه‌گیری میزان غلظت آهن، کادمیوم، روی، سدیم و پتاسیم در برگ‌ها از دستگاه طیف سنج اتمی مدل Savantaa GBC استفاده گردید.

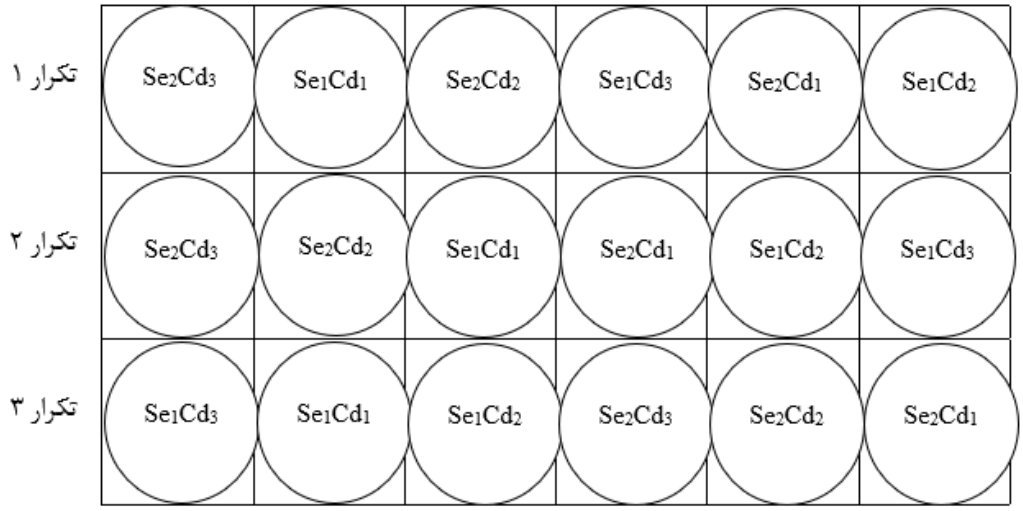
آنالیز داده‌های آماری: جهت تجزیه داده‌ها از برنامه آماری SAS مدل ۹/۴ استفاده شد. برای رسم نمودارها و شکل‌ها از برنامه اکسل استفاده گردید. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

وزن تر

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، علاوه بر اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم، اثر بر همکنش دوگانه آنها نیز بر وزن تر گیاه نعناع فلفلی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم از صفر به ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلریدکادمیوم، وزن تر به ترتیب ۲۷/۳۸ و ۴۵/۳۳ درصد کاسته شد. بعلاوه مصرف سلنیوم نسبت به عدم مصرف آن افزایش ۶۷/۳۳ درصدی وزن تر را به همراه داشت.

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



شکل ۲- نقشه شماتیک طرح آزمایشی (Se: سلنیوم و Cd: کادمیوم)

نتایج (شکل ۱) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم cd_1، cd_2 و cd_3 به ترتیب موجب افـزایش ۶۴/۱۶، ۶۴/۴۱ و ۷۷/۳۸ درصدی وزن تر نسبت به عدم محلول‌پاشی سـلنیوم، گردیـد. دریایی و همکاران (۱۳۹۳) نیز بیان کردند که با افزایش تنش کادمیوم (۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم) وزن تر گیاه گنـدم، کـاهش یافت، همچنین دریافتندکه محلول‌پاشی برگی سلنیوم (سه میلـی‌گـرم بر لیتر سلنات سدیم) موجب کاهش معنی‌دار صدمات ناشـی از تـنش کادمیوم در ارقام مختلف گیـاه گنـدم (بـه ویـژه رقـم کـویر) گردیـد. امیرمرادی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که تنش کـادمیوم موجـب کاهش وزن تر گیاه نعناع فلفلی گردید و شدت تنش در دوزهای بالاتر کادمیوم بیشتر بود. نتایج رحیمـی و همکـاران (۱۳۹۷) نشـان داد کـه تنش کادمیوم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرو مولار) موجب کاهش وزن تـر اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی گردید.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف سلنیوم و کادمیوم بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات				
		وزن تر	وزن خشک	بهره‌وری آب	درصد اسانس	ارتفاع گیاه
کادمیوم	۲	۱۱۷/۵۲**	۷/۴۵**	۷/۵۱**	۰/۵۳ **	۳۸۷/۳۸**
سلنیوم	۱	۲۴۶/۱۹**	۱۳/۲۴**	۱۳/۳۵**	۱/۷۹ **	۳۸۲/۷۲**
کادمیوم × سلنیوم	۲	۴/۹۲ **	۰/۵۵ **	۰/۵۵ **	۰/۰۰۲۲ ns	۳۷/۳۸ *
خطا	۱۲	۰/۶۵	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۰۴۵	۵/۶۱
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۴۸	۷/۸۴	۷/۸۴	۵/۰۲	۸/۶۸

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

جدول ۲- مقایسه اثر ساده کادمیوم و سلنیوم بر بهره‌وری آب و برخی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی

تیمارها		وزن تر (گرم در گلدان)	وزن خشک (گرم در گلدان)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	درصد اسانس (درصد)	ارتفاع گیاه (سانتیمتر)
سطوح کادمیوم (میلی گرم بر لیتر کلرید کادمیوم)	۰	۱۹/۳۹ a	۴/۵۵ a	۴/۵۷ a	۱/۶۴ a	۳۶/۳۳ a
	۷۵	۱۴/۰۸ b	۳/۳۰ b	۳/۳۱ b	۱/۳۴ b	۲۴/۵۰ b
	۱۵۰	۱۰/۶۰ c	۲/۳۳ c	۲/۳۴ c	۱/۰۵ c	۲۱/۰۰ c
سطوح سلنیوم (میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم)	۰	۱۰/۹۹ b	۲/۵۳ b	۲/۵۴ b	۱/۰۳ b	۲۲/۶۶ b
	۵	۱۸/۳۹ a	۴/۲۵ a	۴/۲۷ a	۱/۶۶ a	۳۱/۸۸ a

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

وزن خشک

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، علاوه بر اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم، اثرات بر همکنش دوگانه آنها نیز بر وزن خشک گیاه نعناع فلفلی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر وزن خشک (جدول ۲) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم از صفر به ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلریدکادمیوم از میزان وزن خشک به ترتیب ۲۷/۴۷ و ۴۸/۷۹ درصد کاسته و با افزایش سطح سلنیوم ۶۷/۹۸ درصد به میزان وزن خشک افزوده شد. همچنین نتایج اثرات بر همکنش دوگانه کادمیوم و سلنیوم بر وزن خشک گیاه نعناع فلفلی (شکل ۲) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم cd_1، cd_2 و cd_3 موجب افزایش به ترتیب ۷۱/۶۴، ۵۸/۸۲ و ۷۳/۵۲ درصدی وزن خشک نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم فوق گردید. دریایی و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که با افزایش تنش کادمیوم (۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم) وزن خشک گیاه گندم، کاهش یافت. قره‌باغلی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که تنش کادمیوم (10^{-4}، 10^{-3} و 10^{-2} مولار کلرید کادمیوم) موجب کاهش وزن خشک گیاه سیر شد. نتایج قانی و همکاران نشان داد که با افزایش مقدار کادمیوم (۰، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) وزن تر و خشک گیاه ماش کاهش یافت (Ghani., 2010). نتایج ژیائومینگ و همکاران نشان داد که سلنیوم (۱ و ۵ میکرو مولار) موجب افزایش وزن خشک، طول ریشه و حجم ریشه گیاه گندم تحت تنش کادمیوم (۵ میکرو مولار) گردید (Xiaoming et al., 2018).

بهره‌وری آب

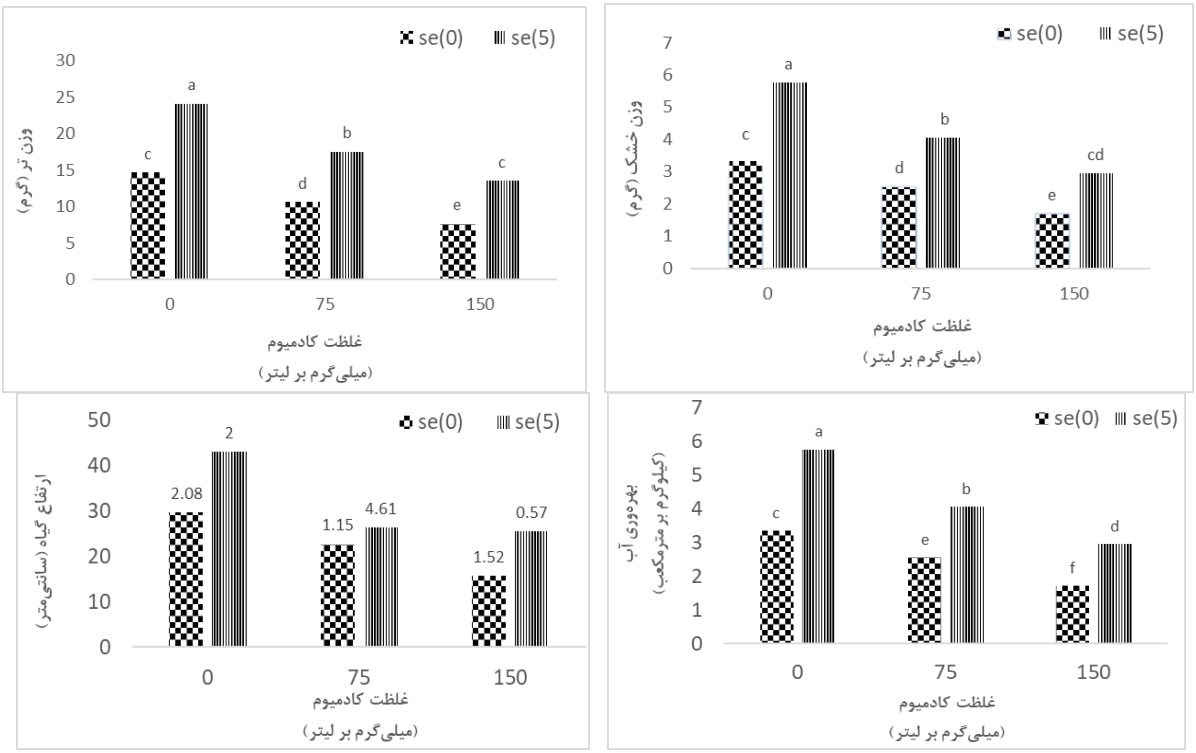
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، علاوه بر اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم، اثر بر همکنش دوگانه آنها نیز بر بهره‌وری آب گیاه نعناع فلفلی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم از صفر به ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلریدکادمیوم، بهره‌وری آب به ترتیب به میزان ۲۷/۵۷ و ۴۸/۵۸ درصد کاهش یافت. به نظر می‌رسد دلیل کاهش بهره‌وری آب با افزایش سطح تنش کادمیوم، کاهش وزن تر و خشک گیاه نعناع فلفلی در سطوح مورد نظر می‌باشد. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم موجب افزایش ۶۸/۱۱ درصدی بهره‌وری آب گردید. نتایج اثرات بر همکنش دوگانه کادمیوم و سلنیوم بر بهره‌وری آب (شکل ۳) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم cd_1، cd_2 و cd_3 موجب افزایش به ترتیب ۷۱/۷۲، ۵۸/۵۹ و ۷۳/۰۹ درصدی بهره‌وری آب نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم فوق شد. به نظر می‌رسد سلنیوم با بهبود وزن تر و خشک و کاهش اثرات تنش کادمیوم، موجب افزایش بهره‌وری آب گردید.

درصد اسانس

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر درصد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. در حالیکه اثر متقابل تیمارهای اعمال شده معنی دار نبود. افزایش سطوح تنش کادمیوم از صفر به ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید کادمیوم، موجب کاهش درصد اسانس به ترتیب به میزان ۱۸/۲۹ و ۳۵/۹۷ درصد شد (جدول ۲)، همچنین محلول‌پاشی سلنیوم موجب افزایش ۶۱/۱۶ درصدی درصد اسانس گردید. به نظر می‌رسد دلیل افزایش درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی با انجام محلول‌پاشی سلنیوم، افزایش مقاومت گیاه و کاهش اثرات تنش کادمیوم با انجام محلول پاشی سلنیوم، می‌باشد. امیرمرادی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که تنش کادمیوم (۱۰۰ پی پی ام) موجب کاهش درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی گردید. سلنیوم با کاهش اثرات تنش کادمیوم موجب افزایش درصد اسانس می‌گردد.\

ارتفاع گیاه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد و اثرات بر همکنش دوگانه آن‌ها نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید. نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر ارتفاع گیاه (جدول ۲) نشان دهنده این است که افزایش سطوح تنش کادمیوم موجب کاهش ارتفاع گیاه به ترتیب به میزان ۳۲/۵۶ و ۴۲/۱۹ درصد گردید، همچنین محلول‌پاشی سلنیوم موجب افزایش ۴۰/۶۸ درصدی ارتفاع گیاه گردید. نتایج اثرات بر همکنش دوگانه کادمیوم و سلنیوم بر ارتفاع گیاه (شکل ۴) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم cd_1، cd_2 و cd_3 موجب افزایش به ترتیب ۴۴/۹۷، ۱۶/۱۹ و ۶۲/۸۳ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم فوق شد. دریایی و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که با افزایش تنش کادمیوم (۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم) ارتفاع گیاه کاهش یافت. امیرمرادی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که تنش کادمیوم (۱۰۰ پی پی ام) موجب کاهش درصد ارتفاع گیاه نعناع فلفلی گردید.



شکل ۳- مقایسه اثر برهمکنش کادمیوم و سلنیوم بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات نعناع فلفلی

(Se(0): عدم محلول پاشی سلنیوم، Se(5): محلول پاشی به میزان ۵ میلی‌گرم بر لیتر)

اندازه‌گیری عناصر در برگ‌ها

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم و اثرات بر همکنش دوگانه آنها بر غلظت عناصر موجود در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید و فقط اثر بر همکنش کادمیوم و سلنیوم بر غلظت کادمیوم برگ‌های گیاه فوق در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید.

آهن: نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر غلظت آهن (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم به ترتیب ۲۰/۸۵ و ۵۷/۲۱ درصد و با افزایش سطح سلنیوم ۲۳/۰۷ درصد از میزان غلظت آهن کاسته شد. همچنین نتایج اثرات بر همکنش دوگانه کادمیوم و سلنیوم بر غلظت آهن در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی (شکل ۲) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم cd_1، cd_2 و cd_3 موجب کاهش به ترتیب ۳۱/۲۲، ۱۵/۶۲ و ۱۳/۹۵ درصدی غلظت آهن نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم فوق گردید. نور علی و همکاران (۱۳۹۷) عنوان کردند که با افزایش تنش کادمیوم از میزان غلظت آهن در بافت گیاه گشنیز کاسته می‌شود.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف کادمیوم و سلنیوم بر غلظت عناصر برگ‌های گیاه نعناع فلفلی

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات				
		آهن	روی	سدیم	پتاسیم	کادمیوم
کادمیوم	۲	۱/۷۴**	۰/۰۰۸۴**	۲۶۵/۸۱**	۴۰۷/۶۰ **	۷۷۷۹/۰۹**
سلنیوم	۱	۰/۵۶۶**	۰/۰۰۶۱**	۴۴۵/۱۳**	۱۰۸۵/۱۸ **	۲۰۱/۵۳**
کادمیوم × سلنیوم	۲	۰/۱۳۵**	۰/۰۰۳۷ **	۲۴۰/۳۰ **	۳۰۶/۸۲ **	۳۹/۵۹ *
خطا	۱۲	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۰۷۴	۰/۱۶	۱۱/۵۲	۱۰/۴۰
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۴۵	۵/۹۸	۳/۲۵	۲/۳۹	۷/۷۹

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

جدول ٤- مقایسه اثر ساده کادمیوم و سلنیوم بر غلظت عناصر برگ گیاه نعناع فلفلی

تیمارها		آهن (میلی‌گرم بر گرم)	روی (میلی‌گرم بر گرم)	سدیم (میلی‌گرم بر گرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم)	کادمیوم (میلی‌گرم بر گرم)
سطوح کادمیوم (میلی گرم بر لیتر کلرید کادمیوم)	۰	۱/۸۷ a	۰/۰۲۸ b	۱۹/۹۰ a	۱۴۴/۱۳ b	۶/۳۹۵ c
	۷۵	۱/۴۸ b	۰/۰۸۸ a	۹/۳۰ b	۱۴۹/۰۳ a	۳۹/۵۰ b
	۱۵۰	۰/۸۰ c	۰/۰۱۹ c	۷/۶۳ c	۱۳۲/۹۵ c	۷۸/۳۳ a
سطوح سلنیوم (میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم)	۰	۱/۵۶ a	۰/۰۲۷ b	۱۷/۲۵ a	۱۳۴/۲۷۶ b	۴۴/۷۵۶ a
	۵	۱/۲۰ b	۰/۰۶۴ a	۷/۳۱ b	۱۴۹/۸۰۵ a	۳۸/۰۶۳ b

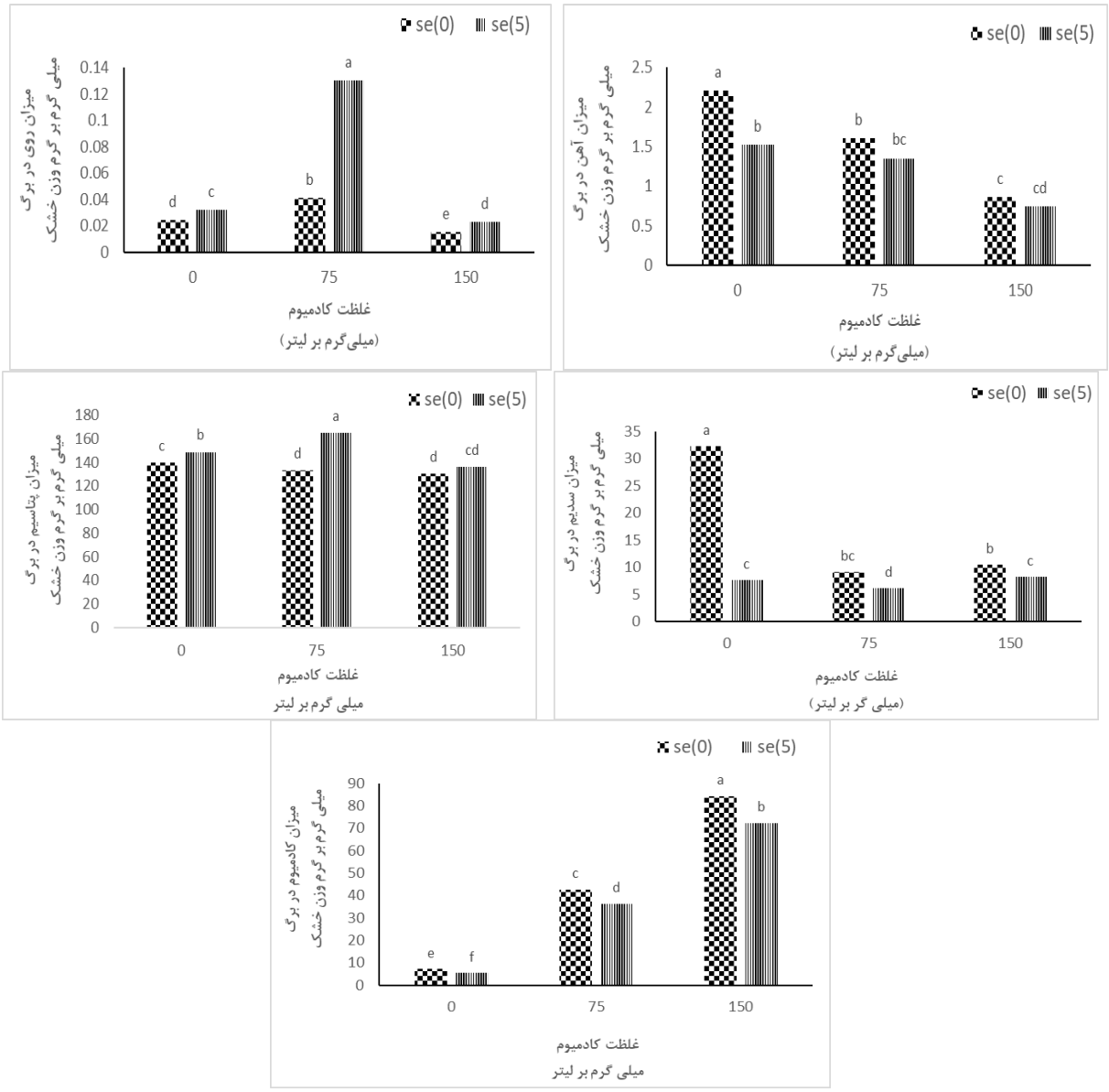
در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند

روی: نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر غلظت روی (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم، غلظت روی به ترتیب ۲۱۴/۲۸ درصد افزایش و ۳۲/۱۴ درصد کاهش یافته و با افزایش سطح سلنیوم ۱۳۷/۰۳ درصد به میزان غلظت روی افزوده شد. همچنین نتایج اثرات بر همکنش دوگانه کادمیوم و سلنیوم بر غلظت روی در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی (شکل ۲) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید کادمیوم، موجب افزایش به ترتیب ۳۳/۳۳، ۲۱۷/۰۷ و ۵۳/۳۳ درصدی غلظت روی نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم فوق گردید. نور علی و همکاران (۱۳۹۷) عنوان کردند که با افزایش تنش کادمیوم از میزان غلظت روی در بافت گیاه گشنیز کاسته می‌شود.

سدیم: نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر غلظت سدیم (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم، غلظت سدیم به ترتیب ۵۳/۲۶ و ۶۱/۶۶ درصد کاهش یافته و با افزایش سطح سلنیوم ۵۷/۶۲ درصد از میزان غلظت سدیم کاسته شد. همچنین نتایج اثرات بر همکنش دوگانه کادمیوم و سلنیوم بر غلظت سدیم در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی (شکل ۲) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید کادمیوم، موجب کاهش به ترتیب ۷۶/۲۸، ۳۲/۸۶ و ۲۱/۷۴ درصدی غلظت سدیم نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم فوق گردید.

پتاسیم: نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر غلظت پتاسیم (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم، غلظت پتاسیم به ترتیب ۳/۴۰ درصد افزایش و ۷/۷۶ درصد کاهش یافته و با افزایش سطح سلنیوم ۱۱/۵۶ درصد به میزان غلظت پتاسیم افزوده شد. همچنین نتایج اثرات بر همکنش دوگانه کادمیوم و سلنیوم بر غلظت پتاسیم در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی (شکل ۲) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید کادمیوم، موجب افزایش به ترتیب ۶/۳۹، ۲۴/۰۱ و ۳/۷۴ درصدی غلظت پتاسیم نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم فوق گردید.

کادمیوم: نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده کادمیوم و سلنیوم بر غلظت کادمیوم موجود در برگ (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم، غلظت کادمیوم از ۶/۳۹۵ به ترتیب به ۳۹/۵۰ و ۷۸/۳۳ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت و با افزایش سطح سلنیوم ۱۴/۹۵ درصد از میزان غلظت کادمیوم کاسته شد. همچنین نتایج اثرات بر همکنش دوگانه کادمیوم و سلنیوم بر غلظت کادمیوم در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی (شکل ۲) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم cd_1، cd_2 و cd_3 موجب کاهش به ترتیب ۲۳/۹۷، ۱۴/۸۴ و ۱۴/۲۳ درصدی غلظت کادمیوم نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم فوق گردید. به عبارتی سلنیوم موجب کاهش غلظت کادمیوم موجود در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی شد. نتایج ژیائومینگ و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که سلنیوم (۱ و ۵ میکرو مولار) موجب کاهش غلظت کادمیوم اندام‌های هوایی گیاه گندم تحت تنش کادمیوم (۵ و ۱۰ میکرو مولار) گردید. نور علی و همکاران (۱۳۹۷) عنوان کردند که با افزایش تنش کادمیوم، میزان غلظت کادمیوم در بافت گیاه گشنیز، افزایش می‌شود.



شکل ٤- مقایسه اثر برهمکنش کادمیوم و سلنیوم بر غلظت عناصر موجود در برگ

(Se(0): عدم محلول پاشی سلنیوم، Se(5): محلول پاشی به میزان ۵ میلی‌گرم بر لیتر)

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش سطوح تنش کادمیوم از صفر به ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید کادمیوم، به ترتیب از وزن تر ۲۷/۳۸ و ۴۵/۳۳ درصد، از وزن خشک ۲۷/۴۷ و ۴۸/۷۹ درصد، از بهره‌وری آب ۲۷/۵۷ و ۴۸/۵۸ درصد، از درصد اسانس۱۸/۲۹ و ۳۵/۹۷ و از ارتفاع گیاه ۳۲/۵۶ و ۴۲/۱۹ درصد کاسته شد. همچنین محلول‌پاشی برگی سلنیوم به ترتیب موجب افزایش ۶۷/۳۳، ۶۷/۹۸، ۶۸/۱۱، ۶۱/۱۶ و ۴۰/۶۸ درصدی وزن تر، وزن خشک، بهره‌وری آب، درصد اسانس و ارتفاع گیاه نسبت به عدم حضور سلنیوم گردید. نتایج اثرات متقابل کادمیوم و سلنیوم نیز نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در سطوح تنش کادمیوم cd_1، cd_2 و cd_3 به ترتیب موجب افزایش ۶۴/۱۶، ۶۴/۴۱ و ۷۷/۳۸ درصدی وزن تر، ۷۱/۶۴، ۵۸/۸۲ و ۷۳/۵۲ درصدی وزن خشک، ۷۱/۷۲، ۵۸/۵۹ و ۷۳/۰۹ درصدی بهره‌وری آب و ۴۴/۹۷، ۱۶/۱۹ و ۶۲/۸۳ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به عدم مصرف سلنیوم گردید. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش تنش کادمیوم میزان غلظت آهن موجود در برگ به ترتیب ۲۰/۸۵ و ۵۷/۲۱ درصد کاهش، غلظت روی به ترتیب ۲۱۴/۲۸ درصد افزایش و ۳۲/۱۴ درصد کاهش یافته، غلظت سدیم به ترتیب ۵۳/۲۶ و ۶۱/۶۶

درصد کاهش، غلظت پتاسیم به ترتیب ۳/۴۰ درصد افزایش و ۷/۷۶ درصد کاهش و غلظت کادمیوم از ۶/۳۹۵ میلی‌گرم بر گرم به ترتیب به ۳۹/۵۰ و ۷۸/۳۳ میلی‌گرم بر گرم، افزایش یافت. نتایج حاکی از آن بود که محلول‌پاشی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم موجب کاهش ۲۳/۰۷ درصدی غلظت آهن، افزایش ۱۳۷/۰۳ درصدی روی، کاهش ۵۷/۶۲ درصدی سدیم، افزایش ۱۱/۵۶ درصدی پتاسیم و کاهش ۱۴/۹۵ درصدی کادمیوم موجود در برگ‌های گیاه نعناع فلفلی گردید. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح تنش کادمیوم شامل cd_1، cd_2 و cd_3 موجب کاهش به ترتیب ۳۱/۲۲، ۱۵/۶۲ و ۱۳/۹۵ درصدی غلظت آهن، افزایش به ترتیب ۳۳/۳۳، ۲۱۷/۰۷ و ۵۳/۳۳ درصدی غلظت روی، کاهش به ترتیب ۷۶/۲۸، ۳۲/۸۶ و ۲۱/۷۴ درصدی غلظت سدیم، افزایش به ترتیب ۶/۳۹، ۲۴/۰۱ و ۳/۷۴ درصدی غلظت پتاسیم و کاهش به ترتیب ۲۳/۹۷، ۱۴/۸۴ و ۱۴/۲۳ درصدی غلظت کادمیوم نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم، گردید.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات مجتمع آموزش عالی تربت جام می‌باشد. بدین‌وسیله از حمایت مالی این مجتمع، تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

امیرمرادی، ش.، رضوانی مقدم، پ.، کوچکی، ع.ر.، دانش، ش. و فتوت، ا. ۱۳۹۶. اثر کادمیم و سرب بر خصوصیات کمی و درصد اسانس نعناع فلفلی. نشریه بوم شناسی کشاورزی. ۹ (۱): ۱۴۲-۱۵۷.

دریایی، ف.، کرامت، ب. و آروین، م.ج. ۱۳۹۳. اثر محلول‌پاشی سلنیوم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و ریخت شناسی دو رقم گندم (کویر- روشن) تحت تنش کادمیوم. ۱۰ (۳): ۱۰۱-۱۱۴.

رحیمی، پ.، قنبرزاده، ز.، بهداد، ا. و محسن زاده، س. ۱۳۹۷. تاثیر متقابل سیلیکون و کادمیوم بر رشد و پارامترهای فیزیولوژیکی گیاهچه‌های گوجه فرنگی. ۲۴: ۱۹۹-۲۱۱.

رضایی، ح. و سعادت، س. ۱۳۹۷. استفاده از فاضلاب در کشاورزی: فرصت‌ها، چالش‌ها و راهکارها. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی. ۶ (۲): ۲۱۳-۲۳۲.

شهریاری س. ۱۳۹۰. بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع خاکپوش بر خصوصیات رویشی، میزان، عملکرد و اجزاء اسانس نعناع فلفلی. پایانامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.

صوفیان، ج.، گلچین، ا.، مرادی، ص.، جهانبان، ل. و غیرتی آرانی، ل. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر کاربرد کادمیوم و شوری محلول‌های آبی بر رشد و غلظت عناصر غذایی عدسک آبی. مجله پژوهش‌های گیاهی. ۳۲ (۳): ۶۱۰-۶۲۲.

قره باغلی، ن. و سپهری، ع. ۱۳۹۷. اثر سلنیوم بر جذب کادمیوم، خصوصیات رشدی و فتوسنتزی گیاهچه سیر در معرض کادمیوم و کلرید سدیم در شرایط هیدروپونیک. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱ (۲): ۴۳۵-۴۴۸.

کشاورز، ع. و دهقانی سانیج، ح. ۱۳۹۱. شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور. فصلنامه راهبرد اقتصادی. ۱ (۱): ۱۹۹-۲۳۳.

نورعلی، ا.، نادیان، ح.، جعفری، س. و حیدری، م. ۱۳۹۷. تاثیر شوری و کادمیوم بر برخی مولفه‌های رشد و جذب عناصر ریز مغذی توسط گیاه گشنیز. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱ (۳): ۷۳۷-۷۴۸.

وطن‌خواه، ا.، کلانتری، ب. و عندلیبی ب. ۱۳۹۶. اثر متیل جاسمونات و تنش شوری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و فیتو شیمیایی گیاه نعناع فلفلی. نشریه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۳ (۳): ۴۶۵-۴۴۹.

Alloway, B.J. 1995. Toxic metals in soil-plant systems: Edited by Sheila M. Ross. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 469 p.

Baszynski, T., Wajda, L., Krol, M., Wolinska, D., Krupa, Z. and Tukendorf, A. 1980. Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plants. Physiologia Plantarum. 48: 365–370.

Cartes, P., Gianfreda, L. and Mora, M. L. 2005. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms, Plant and Soil. 276: 359-367.

Croteau, R., Ketchum, R., Long, R., Kaspera, R. and Wildung, M. 2006. Taxol biosynthesis and molecular genetics. Phytochemistry reviews. 5(1): 75-97.

Feng, R., Wei, C. and Tu, M. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses.

plants. Journal of Science Food Agriculture. 90: 925-937.

Street, R.A., Kulkarni, M.G., Stirk, W.A., Southway C. and Staden, J. 2007. Toxicity of metal elements on germination and seedling growth of widely used medicinal plants belonging to Hyacinthaceae. Bull. Environmental Contamination Toxicology 79: 371-376.

Sun Y, Zhou Q, Xie X. and Liu R, 2010. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, Journal of Hazardous Materials. 174:455-462.

Tamas, M., Mandoki, Z. and Pipkin, D. 2010 The role of selenium content of wheat in the human nutrition. Acta Universal. Izvestija TSHA 34: 505-512.

Wildung, M.R. and Croteau, R.B., 2005. Genetic engineering of peppermint for improved essential oil composition and yield. Transgenic Research. 14(4): 365-372.

Xiaoming, Q., Zhaojun, N., Hongen, L., Peng, Z., Shiyu, Q. and Zhiwei, Sh. 2018. Influence of selenium on root morphology and photosynthetic characteristics of winter wheat under cadmium stress. Environmental and Experimental Botany. 150: 232-239.

Yan, Z., Li, X., Chen, J. and Tam, N. 2015. Combined toxicity of cadmium and copper in Avicennia marina seedlings and the regulation of exogenous jasmonic acid. Ecotoxicology and Environmental Safety 113: 124–132.

Yuan, B. Z., Kang, Y. and Nishiyama, S. 2001. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse. Irrigation Science 20: 149 – 154.

Environmental and Experimental Botany. 87: 58-68.

Ghani, A. 2010. Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of mungbean [Vigna radiata (L.) Wilczek]. World Applied Sciences (Special Issue of Biotechnology and Genetic Engineering) 8: 26-29.

Hossain, M.A., Hasanuzzaman, M. and Fujita, M., 2010. up regulation of antioxidant and glyoxalase systems by exogenous glycinebetaine and proline in mung bean confer tolerance to cadmium stress. Physiology and Molecular Biology of Plant. 16: 259-272.

Jiang, W., Liu, D. and Hou, W. 2001. Hyperaccumulation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (Allium sativum L.). Bioresource Technology. 76: 9-13.

Kumar, M. 2013. Crop plants and abiotic stresses. Biomolecular Research Therapeutics 3: e125. Lee, S. K., Sohn, E. Y., Hamayun, M., Yoon, J. Y. and Lee, I. J. 2010. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. Agroforestry Systems. 80: 333-340.

Malakouti, M.J. 2008. Relationship between Balanced Fertilization and Healthy Agricultural Products (A review). Journal of Ecophysiology of Crops and Weeds.16, 133150. [In Persian with English Summary].

Saidi, I., Chtourou, Y., Djebali, W., 2014. Selenium alleviates cadmium toxicity by preventing oxidative stress in sunflower (Helianthus annuus) seedlings. Journal of Plant Physiology. 171: 85-91.

Sarwar, N., Sukhdev, S.M., Munir, H.Z., Asif, N., Sadia, B. and Ghulam, F. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 17, Apr.-May. 2023, p. 14-24

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۷، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۲، ص. ۲۴-۱۴

Investigating Water Productivity, Characteristics and Elements Concentration of Mentha piperita L under Cadmium Stress in the presence of Selenium

V. Shamsabadi[1]*, A. Mohamadianfar[2], H. Banejad[3], M. Moradi[4], S. Abditazi[5]
Recived: Sep.28, 2022 Accepted: Oct.23, 2022

Abstract

Cadmium is one of the most important toxic heavy elements for plants. Selenium is a necessary and useful element in increasing tolerance to environmental stresses in plants. In this research which was performed in a research greenhouse in Torbat-e Jam region, Iran during 2021, The effect of cadmium in 3 levels (0, 75 and 150 mgrperlit $CdCl_2$, and selenium factor in 2 levels (0 and 5 mgrperlit Na_2SeO_4) and was done in three replications. The results showed that with the increase of cadmium stress levels from 0 to 75 and 150, fresh and dry weight, water productivity, essential oil percentage and plant height decreased. Also, foliar spraying of selenium increased above fresh and dry weight, water productivity, essential oil percentage and plant height respectively 67/33, 67/98, 68/11, 61/16 and 40/68 percent compared to the absence of selenium. The results of the interaction effects of cadmium and selenium showed that foliar spraying of selenium with concentrations of 5 milligrams per liter in cadmium stress levels increased fresh and dry weight, water productivity and plant height compared to not consuming of selenium. Also, the results showed that foliar spraying of selenium at cadmium stress levels caused a change in the concentration of iron, zinc, sodium, potassium and cadmium in the leaves of peppermint compared to the absence of foliar spraying of selenium. The results indicated that with the increase of cadmium stress levels from 0 to 75 and 150, selenium decreases the concentration of cadmium in peppermint leaves respectively 23/97, 14/84 and 14/23 percent. The results indicated that water productivity decreased with the increase of cadmium stress. Also, selenium foliar application reduced the effects of cadmium stress.

Keyword: Atomic absorption, Heavy metals, Medicinal plants

1- Lecturer, Department of Water Sciences and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran
2- Lecturer, Department of Horticulture Plants, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran
3- Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Lecturer, Department of Horticulture Plants, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran
5- Lecturer, Department of Natural Resources, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran
(*- Corresponding Author Email: v_shamsabadi@tjamcaas.ac.ir)