نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص. ۱۳۰-۱۱۵

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 2, Autumn and Winter 2023, 115-130

مقاله علمی- پژوهشی

بررسی بهره‌وری آب و خصوصیات گیاه نعناع فلفلی در شرایط تنش آبی و شوری در حضور سلنیوم

وحید شمس آبادی[۱]، حسین بانژاد[۲*]، حسین انصاری[۳] و سید حسین نعمتی[۴]

چکیده

تنش شوری و خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان محسوب می‌شوند. سلنیوم به‌عنوان یکی از عناصر مفید در برابر اثرات مخرب تنش‌ها شناخته می‌شود. به‌منظور بررسی اثر تنش‌های آبی و شوری بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی در حضور سلنیوم، آزمایشی به‌صورت اسپیلیت در زمان در گلخانه در منطقه تربت‌جام و در سال ۱۳۹۹ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل ۲ سطح چین (چین اول، چین دوم)، ۳ سطح آبیاری (I1=۱۰۰، I2 ۷۵= و I3= ۵۰ درصد نیاز آبی)، ۳ سطح شوری (S1=۰، S2= ۵۰ و S3= ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) و دو سطح سلنیوم (۰ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) بود. نتایج پژوهش حاضر بیانگر کاهش وزن تر و خشک، ارتفاع، تعداد برگ و گره در شرایط اعمال تنش خشکی و نیز تنش شوری هست. همچنین محلول‌پاشی برگی سلنیوم به میزان ۵ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر، خشک، بهره‌وری آب، درصد اسانس، ارتفاع گیاه، تعداد گره و تعداد برگ به میزان به ترتیب ۹/۰۲، ۱۷/۴۳، ۱۷/۶۷، ۵/۶۴، ۱۷/۹۲، ۶/۶۵ و ۱۴/۵۲ درصد گردید. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم در هنگام تنش خشکی، تنش شوری و اثرات متقابل آن‌ها در هر دو چین، موجب افزایش درصد اسانس گردید. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب با افزایش تنش خشکی به ترتیب ۱۴/۷۰ و ۳۹/۸۸ درصد افزایش و با افزایش سطوح شوری ۳۴/۹۶ و ۵۲/۷۷ درصد کاهش یافت. همچنین با اعمال تنش‌های ملایم خشکی در قالب کم‌آبیاری (I2)، درصد اسانس ۱۴/۳۵ درصد افزایش‌یافته و سپس با اعمال تنش به نسبت شدید (I3)، درصد اسانس ۲۷/۴۰ درصد کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش خشکی، تنش شوری، چین، سلنیوم

مقدمه

استفاده از شیوه‌های کم‌آبیاری و ترویج مفهوم بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی، روش عملی و رایج در نقاط مختلف دنیا برای نگهداری و استفاده بهینه از منابع آب است. بهره‌وری آب در واقع مبین مقدار محصول یا درآمد به‌دست‌آمده از مصرف آب است و در برگیرنده جنبه‌های مختلف مدیریتی است. ارتقای بهره‌وری آب در تولید مواد غذایی از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و به‌خصوص کشورهای کم آب نظیر ایران است. احسانی و خالدی (۱۳۸۲) بیان کردند که عصاره اصلی و ساختار بنیادی مفهوم بهره‌وری آب کشاورزی استفاده صحیح از آب به همراه افزایش تولید محصولات کشاورزی، است. کشاورز و دهقانی‌سانیج (۱۳۹۱) نیز راه‌های اثربخش زیادی را برای بهبود بهره‌وری آب در اراضی آبی و دیم توصیه نمودند. تعدادی از این راهکارها عبارت‌اند از برنامه‌ریزی آبیاری یا آبیاری دقیق (تعیین و اعمال دقیق نیاز آبی، عمق و دور آبیاری)، تحویل حجمی آب به کشاورزان بر اساس تعیین نیاز آبی

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (*نویسنده مسئول: Banejad@um.ac.ir)
[۳] استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۴] استادیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵
DOR: 20.1001.1.24764531.1401.9.2.9.2

واقعی گیاهان کشت‌شده و کم‌آبیاری کنترل‌شده می‌باشند. همچنین با اصلاح ارقام و در نتیجه تولید ارقام پر محصول و مقاوم به آفات، بیماری‌ها و سایر تنش‌های محیطی، می‌توان به‌طور غیرمستقیم بهره‌وری آب را بهبود بخشید. مولدن و همکاران و چاکالا و همکاران پوشاندن سطح خاک، انتخاب آرایش کاشت بهینه برای گیاهان جهت کاهش تبخیر از سطح خاک، کشت نشائی گیاهان ردیفی برای حذف آبیاری‌های اول و کشت‌های متراکم (کشت گلخانه‌ای) را از دیگر راهکارهای افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی دانستند (Molden et al., 2010 ; Chukalla et al., 2015).

قربانی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود عنوان نمودند که با افزایش سطح شوری وزن ماده خشک (برگ، ساقه و ریشه) و درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی کاهش می‌یابد. شهریاری و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که کشت و پرورش گیاه نعناع فلفلی در شرایط تنش خشکی به دلیل پایین بودن عملکرد پیکر رویشی اقتصادی نبوده و قابل توصیه نیست. باقریان و همکاران (۱۳۹۵) عنوان کردند که تنش شوری و خشکی در گیاه نعناع فلفلی، به‌طور معنی‌داری سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و نیز وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه گردید. بصیری و همکاران (۱۳۹۹) عنوان کردند که اعمال تنش خشکی در گیاه نعناع فلفلی موجب کاهش صفات هوایی شامل وزن تر و خشک ساقه و برگ و ارتفاع ساقه گردید. گیاهان در دوران رشد خود با تنش‌های متعددی روبه رو می‌شوند. تنش‌های محیطی و به‌ویژه تنش شوری و خشکی از عوامل بازدارندهٔ رشد و نمو گیاهان به شمار می‌آیند. تنش شوری در کنار تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تولیدات زراعی و باغی در سراسر دنیا به شمار می‌روند. مانس بیان کرد که گیاهانی که دچار تنش شوری هستند به‌احتمال زیاد تنش آبی را نیز تجربه خواهند کرد که منجر به آسیب اکسیدانی می‌شود (Munns, 2005). وسعت زیاد اراضی شور و البته رو به فزون بودن آن، همچنین کاهش منابع آب قابل‌استفاده یا به اصلاح شیرین، توجه زیادی را در حال حاضر به مباحث مربوط به شوری به‌خصوص در مناطق خشک معطوف کرده است. تراجکوا و همکاران اظهار داشتند که بیشترین مطالعات صورت گرفته در خصوص شوری بر روی کلرید سدیم انجام شده است و معدود مطالعاتی به بررسی اثر شوری ناشی از کلرید کلسیم بر رشد و فیزیولوژی گیاه پرداخته‌اند (Trajkova et al., 2006). فنگ و همکاران بیان کردند که همواره ترکیبات مختلفی برای کاهش اثرات سوء تنش‌ها بر گیاهان موردتوجه قرار گرفته است، در این خصوص سلنیوم به‌عنوان یکی از عناصر مفید برای گیاهان معرفی شده است به‌طوری‌که می‌تواند گیاهان را در برابر اثرات نامطلوب تنش‌ها حفاظت کند (Feng et al., 2013). دانشورراد و همکاران (۱۳۹۷) بیان کردند که محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر در گیاه بادرشبویه موجب کاهش اثرات منفی تنش شوری بر ارتفاع گیاه و تعداد برگ شد و افزایش درصد اسانس را نیز در پی داشت. حاجی بلند و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که تأثیر کاربرد سلنیوم در غلظت‌های پایین در تخفیف تنش‌های محیطی شامل تنش فلزات سنگین نیز به اثبات رسیده است، قره باغلی و همکاران (۱۳۹۷) بیان کردند که کاربرد سلنیوم با کلرید سدیم موجب افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه سیر می‌گردد. کارتس و همکاران عنوان نمودند که سلنیوم با افزایش جذب پتاسیم در اندام‌های هوایی گیاه، هدایت روزنه‌ای را افزایش داده که این موضوع سبب افزایش سرعت تعرق و به دنبال آن افزایش فتوسنتز در گیاهان تحت تنش می‌شود (Cartes et al., 2006).

سمصام شریعت (۱۳۸۳) عنوان نمود که گیاهان دارویی و آثار دارویی آنان در طول تاریخ همواره با انسان قرابت خاصی داشته و خواص بهبوددهنده آنان بر هیچ‌کس پوشیده نیست. اگرچه علاقه و همدمی و توجه به این گیاهان مفید در سال‌های گذشته ناچیز بوده اما خوشبختانه اخیراً مورد عنایت بیشتری قرار گرفته‌اند. ویلدانگ و همکاران نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* را ازجمله گیاهان دارویی و معطری دانستند که اسانس آن مصارف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی فراوانی دارد (wildung et al., 2005). سیدنی و همکاران نعناع فلفلی و اسانس آن را برای درمان کاهش اشتها، درمان گرفتگی عضلات، نفخ و سوءهاضمه مفید دانستند

(sydney et al., 2010). با عنایت به اینکه بهره‌وری آب، تنش شوری و تنش آبی از مسائل و مشکلات جدی در مناطق خشک می‌باشند، بنابراین بررسی تنش شوری و خشکی بر روی بهره‌وری آب و خصوصیات گیاهان دارویی در حضور سلنیوم ضروری است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی بهره‌وری آب در شرایط تنش آبی و شوری در گیاه نعناع فلفلی به‌عنوان یک گیاه دارویی پر خاصیت و تجاری در حضور سلنیوم در شرایط هیدروپونیک، این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی تربت‌جام با طول و عرض جغرافیایی ۶۰/۶۴ و ۳۵/۲۳ و ارتفاع ۹۸۲ متر از سطح دریا واقع در استان خراسان رضوی و در سال زراعی ۱۳۹۹ انجام گردید. در این پژوهش ۱۸ تیمار شامل سطوح و غلظت‌های مختلف شوری، خشکی و سلنیوم و در دو چین (چین اول (cut1) و چین دوم (cut2)) موردبررسی قرار گرفت، فاکتور شوری در ۳ سطح (S1=۰، S2=۵۰ و S3=۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم)، فاکتور تنش آبی در ۳ سطح (I1=۱۰۰، I2= ۷۵ و I3= ۵۰ درصد نیاز آبی) و فاکتور سلنیوم در ۲ سطح (صفر و پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) و ۳ تکرار انجام گردید. در هر گلدان ۳ عدد ریزوم ۴ برگی با طول مساوی کشت گردید (قربانی و همکاران،۱۳۹۷). به‌منظور استقرار مناسب گیاهچه‌ها، آبیاری گیاهان تا دو هفته پس از انتقال ریزوم‌ها یک روز در میان انجام گردید (وطن‌خواه و همکاران، ۱۳۹۶)، سپس به‌محض ظهور برگ‌های جدید، ابتدا گلدان‌ها تحت تیمار سلنات سدیم (Na2SeO4) با غلظت‌های صفر و ۵ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی برگی قرار گرفتند، محلول‌پاشی سه بار به‌صورت یک روز در میان انجام گردید و ۲۴ ساعت پس از آخرین محلول‌پاشی، گیاهان تحت سایر تیمارها قرار گرفتند.

تیمارهای شوری از کمترین میزان و غلظت‌های بیشتر به‌تدریج در طی چند روز به گلدان‌ها افزوده شد (وطن‌خواه و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش از آب مقطر با pH ۶/۰۵ و EC ۰/۰۵۵ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر استفاده گردید و سپس در تیمارهای شوری، سایر سطوح شوری به آن افزوده شد. جهت تعیین مقدار آب موردنیاز از تشت تبخیر کلاس A استفاده شد و تیمارهای آبی براساس آن اعمال شدند. همانند یوآن و همکاران، نیاز آبی براساس مقدار تجمعی آب تبخیر شده از تشت تبخیر، پس از اعمال ضریب تشت محاسبه‌شده از روش پیشنهادشده در نشریه فائو ۵۶ با توجه به موقعیت استقرار آن در محل (به‌طور میانگین ۰/۷) تعیین شد (Yuan et al., 2001). مقدار نیاز آبی از رابطه (۱) به دست آمد.

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

ETa میلی‌متر بر روز (تبخیر تعرق روزانه)،Kp ضریب تشت، Epan:تبخیر از سطح تشت (میلی‌متر در روز)، Kc ضریب گیاهی است.

به‌منظور 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. سطوح ثابت تغذیه‌ای برای تمامی تیمارهای آبیاری اعمال گردید. 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 شد به‌طوری‌که هر گیاه در پایان دوره رشد عناصر غذایی مورد نیاز خود را دریافت نمود، به عبارت ساده‌تر، مقدار عناصر دریافتی مشابه گردید. ۳۰ روز پس از شروع اعمال تنش شوری و تنش خشکی اولین برداشت (چین اول) انجام گردید، برداشت دوم (چین دوم) ۴۵ روز پس از برداشت اول صورت گرفت. پس از برداشت در هر چین بهره‌وری آب، وزن تر، وزن خشک، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و گره و درصد اسانس اندازه‌گیری گردید.

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

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (۲)$$

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

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. برای تعیین درصد اسانس همانند کروتیو و همکاران 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 اندازه‌گیری ارتفاع گیاه از خط‌کش استفاده گردید.

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

نتایج و بحث

وزن تر و خشک

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده چین برداشت، شوری، آبیاری و سلنیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در خصوص اثرات متقابل فاکتورها نیز اثر متقابل دوگانه شوری و آبیاری، چین و آبیاری و چین و شوری در وزن تر و اثر متقابل دوگانه شوری و آبیاری و نیز چین و شوری در وزن خشک و اثر متقابل سه‌گانه چین، شوری و آبیاری در وزن تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید مابقی اثرات متقابل غیر معنی‌دار بود.

جدول مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورها بر وزن تر (جدول ۲) نشان داد که وزن تر و وزن خشک در چین اول به ترتیب ۳۷/۹۶ و ۴۳/۲۲ درصد بیشتر از چین دوم بود، همچنین با افزایش سطوح تنش خشکی، از وزن تر به ترتیب ۱۳/۹۵ و ۲۷/۰۱ درصد و از وزن خشک به ترتیب ۱۳/۷۳ و ۲۹/۹۲ درصد کاسته شد. رابطه افزایش تنش شوری و وزن تر و خشک نیز معکوس گردید به‌تدریج با افزایش سطوح تنش شوری به ترتیب ۴۲/۹۹ و ۶۴/۶۵ درصد از عملکرد وزن تر و به ترتیب ۳۴/۸۳ و ۵۳/۳۴ درصد از عملکرد وزن خشک کاسته شد.

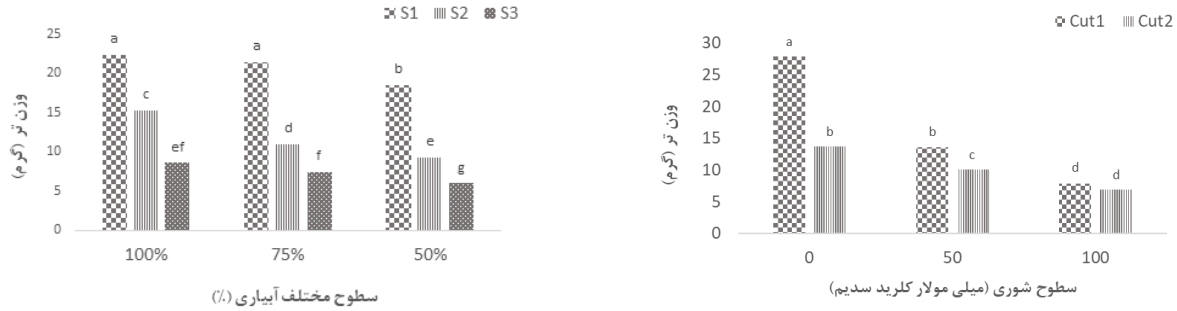
محلول‌پاشی برگی سلنیوم به میزان ۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز موجب افزایش ۹/۰۲ درصدی وزن تر و ۱۷/۴۳ درصدی وزن خشک گردید. نتایج اثرات متقابل تنش شوری و خشکی بر وزن تر (شکل ۱) و بر وزن خشک (شکل ۲) نشان داد که در هر سطح آبیاری با افزایش سطح شوری، وزن تر و خشک کاهش پیدا کرد، همچنین افزایش تنش خشکی و نیز تنش شوری به‌صورت هم‌زمان موجب تشدید کاهش وزن تر و خشک گردید. بیشترین وزن تر و وزن خشک به ترتیب به میزان ۲۲/۳۹ و ۵/۵۴ گرم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و سطح شوری ۰ میلی مولار محلول کلرید کلسیم و کمترین میزان آن‌ها به ترتیب به میزان ۵/۹۷ و ۱/۸۸ گرم در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم اتفاق افتاد.

همچنین نتایج اثرات متقابل تنش شوری و چین بر وزن تر (شکل ۱) و بر وزن خشک (شکل ۲) نشان داد که بیشترین میزان وزن تر و وزن خشک در سطوح شوری ۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم و چین اول با میانگین به ترتیب ۲۷/۹۲ و ۶/۱۱ گرم و کمترین آن در سطوح شوری ۱۰۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم و چین دوم و با میانگین به ترتیب ۶/۸۷ و ۱/۶۶ گرم اتفاق افتاد و بیشترین کاهش به میزان ۷۱/۹۳ درصد در وزن تر و ۵۵/۶۱ درصد در وزن خشک با اعمال شوری ۵۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم در چین اول اتفاق افتاد. اثرات متقابل تنش خشکی و چین بر وزن تر (شکل ۱) نیز نشان داد که بیشترین وزن تر در سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و چین اول با میانگین ۱۹/۱۱ گرم و کمترین آن در سطوح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و چین دوم و با میانگین ۸/۸۴ گرم رخ داد.

اثرات متقابل چین، تنش شوری و تنش خشکی بر وزن تر و وزن خشک (جدول ۳) نشان داد که بیشترین وزن تر و وزن خشک در سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، شوری ۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم و چین اول با میانگین به ترتیب ۲۹/۴۳ و ۶/۷۴ گرم و کمترین آن در چین دوم، آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و شوری ۱۰۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم و با

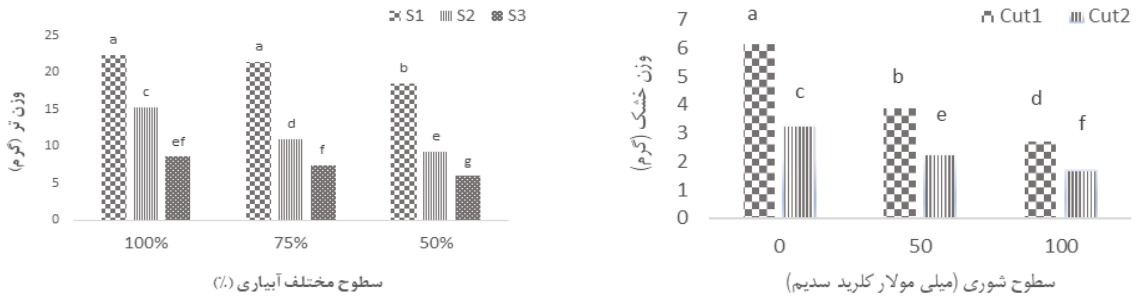
میانگین به ترتیب ۵/۶۹ و ۱/۳۱ گرم اتفاق افتاد. بیشترین مقدار کاهش وزن تر و خشک به ترتیب به میزان ۶۱/۱۹ و ۴۶/۴۳ درصد، در چین اول و در سطح آبیاری ۵۰ درصد (پایین‌ترین سطح آبیاری) و با افزایش تنش شوری به میزان ۵۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم، اتفاق افتاد. نتایج نشان داد که افزایش تنش خشکی همراه با افزایش تنش شوری و نیز افزایش چین برداشت موجب تشدید کاهش وزن تر و وزن خشک گردید.

جمالی و همکاران (۱۴۰۱) اظهار داشتند افزایش تنش خشکی و شوری موجب کاهش عملکرد وزن تر گیاه نعناع فلفلی می‌گردد. لیانگ و همکاران دلیل کاهش وزن خشک در اثر افزایش تنش شوری را تأثیری دانستند که شوری بر روی فعالیت روزنه‌ها (باز و بسته شدن روزنه) در تأمین دی‌اکسید کربن مورد نیاز گیاه ایجاد می‌نماید و موجب کاهش رشد می‌گردد (Liang et al., 2015). شهریاری و همکاران (۱۳۹۲) عنوان نمودند که کشت و پرورش گیاه نعناع فلفلی در شرایط کم‌آبی (۶۰ درصد نیاز آبی)، به دلیل پایین بودن عملکرد پیکر رویشی اقتصادی نبوده و قابل توصیه نیست. سلاح‌ورزی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش نمودند که وزن تر و خشک در شرایط تنش خشکی در سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در گیاه پرچینی برگ نو کاهش یافت. حاجی بلند و همکاران (۱۳۹۳) افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاهان در شرایط تنش خشکی را تأثیر عنصر سلنیوم در افزایش تحمل گیاهان دانستند. تحریک رشد ناشی از سلنیوم تحت تأثیر تنش‌های مختلف محیطی به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داده شده است، داده‌های این بررسی نشان داد که سلنیم با تأثیر بر مورفولوژی ریشه‌ها، اثر مهمی در تعادل آبی داشته و موجب افزایش جذب از خاک خشک گردد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۵) رشد مناسب‌تر گیاه نعناع فلفلی در چین اول را نسبت به چین دوم گزارش نمودند.



شکل ۱- اثرات متقابل تنش‌های شوری و خشکی، تنش شوری و چین برداشت و تنش خشکی و چین برداشت بر وزن تر

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند)



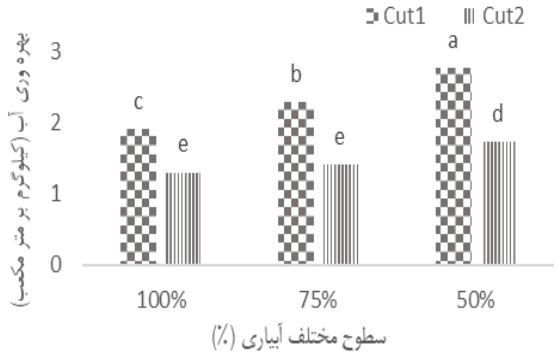
شکل ۲- اثرات متقابل تنش‌های شوری و خشکی و تنش شوری و چین برداشت بر وزن خشک

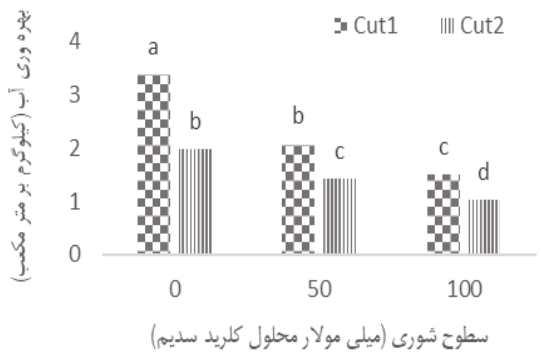
(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند)

بهره‌وری آب

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده چین برداشت، شوری، آبیاری و سلنیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در خصوص اثرات متقابل فاکتورها نیز اثر متقابل دوگانه چین و آبیاری و چین و شوری و اثر متقابل سه‌گانه چین، شوری و آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید مابقی اثرات متقابل غیر معنی‌دار بود. میزان مصرف آب در هر تیمار و در هر چین در (شکل ۳) ارائه گردید. با بررسی جدول مقایسه میانگین اثرات ساده بر بهره‌وری آب (جدول ۲) مشخص شد که بهره‌وری آب در چین اول ۳۶/۱۹ درصد بیشتر از چین دوم بود، همچنین با افزایش تنش خشکی از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب ۱۴/۷۰ و ۳۹/۸۸ درصد بر بهره‌وری آب افزوده شد. همچنین بررسی جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که با کاهش سطوح شوری به ترتیب ۳۴/۹۶ و ۵۲/۷۷ درصد از میزان بهره‌وری آب کاسته شد.

همچنین نتایج (جدول ۲) نشان داد که محلول‌پاشی برگی سلنیوم به میزان ۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز موجب افزایش ۱۷/۶۷ درصدی بهره‌وری آب گردید. همچنین نتایج اثرات متقابل تنش شوری و چین بر بهره‌وری آب (شکل ۴) نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری آب در سطوح شوری ۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم و چین اول با میانگین ۳/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن در سطوح شوری ۱۰۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم و چین دوم و با میانگین ۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب اتفاق افتاد و بیشترین کاهش به میزان ۳۸/۷۶ درصد در بهره‌وری آب با اعمال شوری ۵۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم در چین اول اتفاق افتاد. اثرات متقابل تنش خشکی و چین (شکل ۴) نیز نشان داد که بیشترین بهره‌وری آب در سطوح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و چین اول با میانگین ۲/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن در سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و چین دوم و با میانگین ۱/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب رخ داد. اثرات متقابل چین، تنش شوری و تنش خشکی بر بهره‌وری آب (جدول ۳) نشان داد که بیشترین بهره‌وری آب در چین اول، سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و سطح شوری شاهد با میانگین ۴/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن در چین دوم، سطح آبیاری شاهد و شوری ۱۰۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم و با میانگین ۰/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب اتفاق افتاد. بیشترین مقدار کاهش در میزان بهره‌وری آب ۴۶/۴۳ درصد و در چین اول و در سطح آبیاری ۵۰ درصد (پایین‌ترین سطح آبیاری) و با افزایش سطح شوری به میزان ۵۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم، اتفاق افتاد. مکاری و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که با افزایش تنش شوری در گیاه شلغم، بهره‌وری آب کاهش می‌یابد. شهریاری و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که بالاترین شاخص بهره‌وری آب در گیاه نعناع فلفلی در سطح سوم آبیاری یعنی آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی ایجاد گردید.



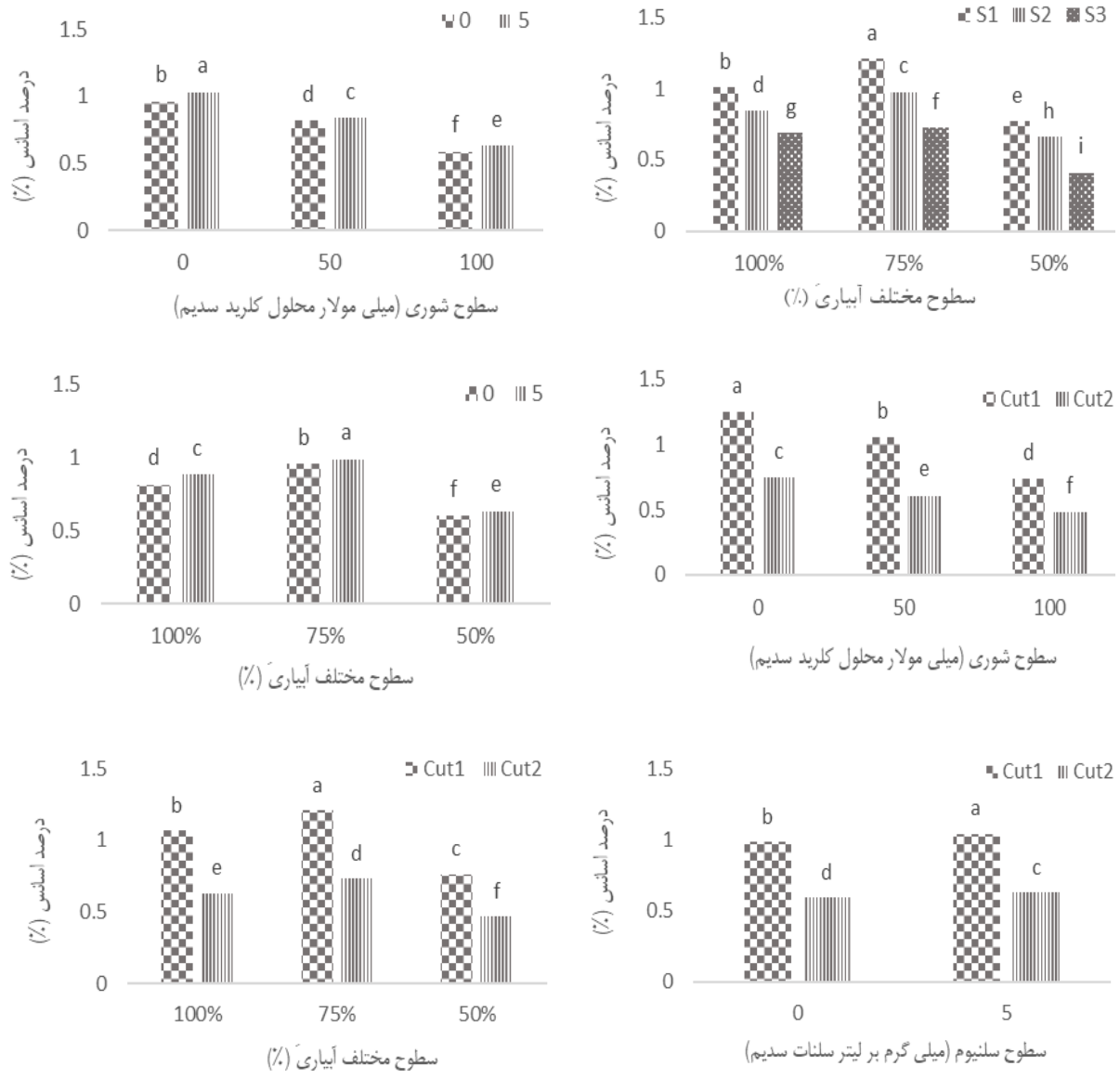


٤- اثرات متقابل تنش شوری و چین برداشت و تنش خشکی و چین برداشت بر بهره‌وری آب

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند)

درصد اسانس

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده چین برداشت، شوری، آبیاری و سلنیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در خصوص اثرات متقابل فاکتورها نیز به غیر از اثرات متقابل چهارگانه چین در شوری در آبیاری در سلنیوم مابقی اثرات متقابل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. بررسی جدول مقایسه میانگین اثرات ساده بر درصد اسانس (جدول ۲) نشان داد که درصد اسانس در چین اول ۳۹/۶۶ درصد بیشتر از چین دوم بود، همچنین با افزایش تنش خشکی از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۷۵ درصد نیاز آبی، ۱۴/۳۵ درصد بر درصد اسانس افزوده شد و با اعمال سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی، ۲۷/۴۰ درصد از درصد اسانس کاسته شد. همچنین بررسی جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که با افزایش تنش شوری از تیمار شاهد تا کمترین سطح شوری به ترتیب ۱۶/۷۶ و ۳۹/۰۲ درصد از میزان درصد اسانس کاسته شد. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی سلنیوم به میزان ۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز موجب افزایش ۵/۶۴ درصدی میزان اسانس گردید. همچنین نتایج اثرات متقابل دوگانه چهار فاکتور (شکل ۵) نشان داد که با اعمال تنش‌های ملایم در قالب کم‌آبیاری (۷۵ درصد نیاز آبی)، درصد اسانس افزایش‌یافته و سپس با اعمال تنش به نسبت شدید (۵۰ درصد نیاز آبی)، درصد اسانس کاهش می‌یابد. همچنین اعمال تنش شوری هم‌زمان با تنش‌های شدید خشکی موجب تشدید کاهش درصد اسانس گردید. همچنین با عنایت به اینکه خروج آب از زیر گلدان‌ها جهت آبشویی اتفاق نیفتاد و در پایان چین اول جهت شستشوی نمک‌ها، زهکشی صورت نگرفت، به دلیل تجمع شوری در محیط رشد گیاه، کاهش درصد اسانس در هنگام اعمال سطوح تنش شوری، در چین دوم بیشتر از چین اول بود. بررسی اثرات متقابل سه‌گانه چهار فاکتور (جداول ۳ تا ۶) نشان داد که بیشترین درصد اسانس در چین اول در سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و در سطح شوری شاهد و به میزان ۱/۴۹ درصد و کمترین آن در چین دوم در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و به میزان ۰/۳۳ درصد اتفاق افتاد. نتایج نشان داد در تیمارهای تنش شدید خشکی در سطوح مختلف شوری به دلیل کاهش وزن تر، درصد اسانس دچار کاهش می‌شود، در این راستا افزایش چین نقش تشدیدکنندگی این مسئله را داشت. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم در هنگام تنش خشکی، تنش شوری و اثرات متقابل آن‌ها در هر دو چین، موجب افزایش درصد اسانس گردید. به‌طوری‌که با افزایش تنش خشکی به ترتیب سلنیوم موجب افزایش ۸/۶۴، ۴/۲۱ و ۵ درصدی درصد اسانس و با افزایش سطوح شوری، موجب افزایش ۷/۲۹، ۳/۷۰ و ۸/۶۲ درصدی آن نسبت به عدم حضور سلنیوم گردید. همچنین در اثرات سه‌گانه تنش شوری، تنش خشکی و سلنیوم، محلول‌پاشی سلنیوم در تیمارهای I1S1،I2S1،I3S1، I1S2، I2S2، I3S2، I1S3، I2S3 و I3S3 موجب افزایش ۱۳/۸۲، ۴/۲۳، ۴، ۲، ۲، ۴/۶۱، ۹/۲۳، ۵/۷۱ و ۷/۷ درصدی درصد اسانس نسبت به شرایط عدم حضور سلنیوم گردید. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم موجب افزایش ۶/۱۲ و ۵/۰۸ درصدی درصد اسانس به ترتیب در چین اول و چین دوم گردید. اکبرزاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیشترین درصد اسانس در گیاه نعناع فلفلی را در تیمار آبیاری ۷۰ رطوبت قابل‌استفاده گیاه دانستند و عنوان داشتند که در تنش‌های ملایم درصد اسانس افزایش پیدا می‌کند و با افزایش شدید تنش درصد اسانس دچار کاهش می‌شود. خراسانی نژاد و همکاران (۱۳۹۴) بیان نمودند که با افزایش شدت تنش، مقدار اسانس در گیاه اسطوخودوس همیشه افزایش نمی‌یابد، زیرا در تنش‌های شدیدتر، گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیب‌های تنظیم‌کننده اسمزی کند تا شرایط برای ادامه حیاتش را فراهم نماید. شمسایی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در پژوهش خود نشان دادند که محلول‌پاشی سلنیوم در گیاه رزماری در زمان تنش خشکی موجب افزایش درصد اسانس گردید.



شکل ۵- اثرات متقابل تنش‌های شوری و خشکی، تنش شوری و سلنیوم، تنش خشکی و سلنیوم، تنش شوری و چین، تنش خشکی و چین و چین برداشت و سلنیوم بر درصد اسانس

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند)

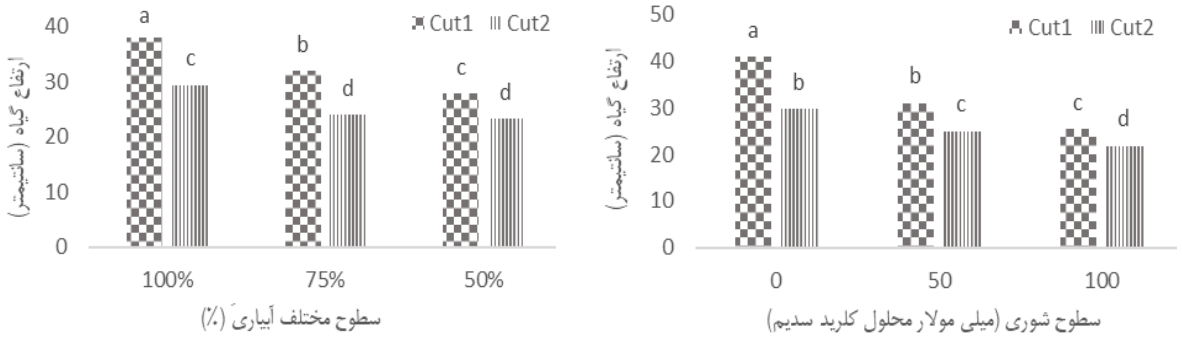
ارتفاع گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده چین برداشت، شوری، آبیاری و سلنیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در خصوص اثرات متقابل فاکتورها نیز اثر متقابل دوگانه چین در آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و چین در شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، مابقی اثرات متقابل غیر معنی‌دار بود. با بررسی جدول مقایسه میانگین اثرات ساده بر ارتفاع گیاه (جدول ۲) مشخص شد که ارتفاع گیاه در چین اول ۲۱/۵۶ درصد بیشتر از چین دوم بود، همچنین با افزایش تنش خشکی از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب ۱۶/۸۸ و ۲۳/۹۹ درصد از ارتفاع گیاه کاسته شد به‌طوری‌که بیشترین میزان ارتفاع گیاه، ۳۳/۶۰

سانتی‌متر و در سطح آبیاری کامل و کمترین آن به میزان ۲۵/۵۴ سانتی‌متر و در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی، مشاهده گردید. همچنین بررسی جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که با افزایش تنش شوری از شاهد به ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، به ترتیب ۲۰/۶۸ و ۳۲/۹۶ درصد از میزان ارتفاع گیاه کاسته شد. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی سلنیوم به میزان ۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز موجب افزایش ۱۷/۹۲ درصدی ارتفاع گیاه گردید. همچنین نتایج اثرات متقابل تنش خشکی و چین بر ارتفاع گیاه (شکل ۶) نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع گیاه در سطوح چین اول و آبیاری کامل با میانگین ۳۷/۸۷ سانتی‌متر و کمترین آن در سطوح چین دوم و آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و با میانگین ۲۳/۲۲ سانتی‌متر اتفاق افتاد. اثرات متقابل تنش شوری و چین (شکل ۶) نیز نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در سطوح شوری شاهد و چین اول با میانگین ۴۰/۹۷ سانتی‌متر و کمترین آن در سطوح شوری ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم و چین دوم و با میانگین ۲۱/۸۳ سانتی‌متر رخ داد. گرگینی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود عنوان نمودند که به‌طورکلی خصوصیات رشدی گیاه بادرنجبویه با افزایش تنش خشکی، کاهش می‌یابد که دلیل آن کمبود آب در دسترس ریشه گیاه است.

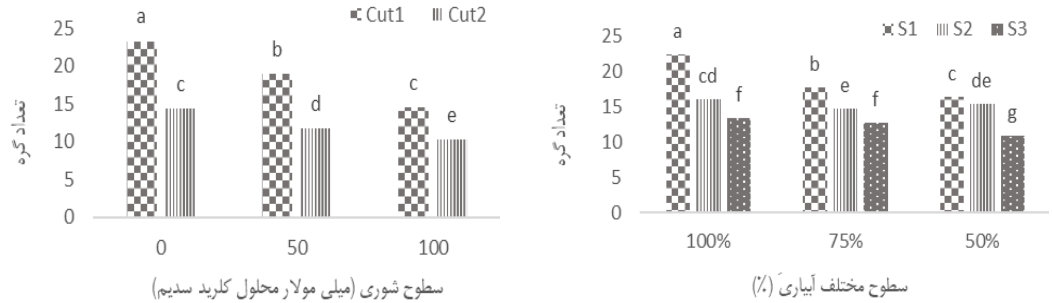
تعداد گره

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که فقط اثر ساده چین برداشت، شوری، آبیاری و سلنیوم و نیز اثر متقابل دوگانه شوری در آبیاری و چین در شوری و اثر متقابل سه‌گانه چین در شوری در آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. با بررسی جدول مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۲) مشخص شد که تعداد گره در چین اول ۳۶ درصد بیشتر از چین دوم بوده که دلیل آن می‌تواند ارتفاع بالاتر گیاه باشد همچنین با کاهش سطوح آبیاری به ترتیب ۱۲/۸۶ و ۱۷/۶۸ درصد و با افزایش سطوح شوری به ترتیب ۱۸/۴۳ و ۳۴/۳۶ درصد از تعداد گره‌ها کاسته شد. محلول‌پاشی سلنیوم برگی سلنیوم نیز موجب افزایش ۶/۶۵ درصدی تعداد گره نسبت به تیمار شاهد شد. بررسی نتایج اثرات متقابل تنش شوری در چین (شکل ۷) حاکی از نقش تشدیدکنندگی افزایش سطوح شوری و چین در کاهش تعداد گره‌ها دارد. همچنین بررسی اثر متقابل تنش شوری در تنش آبیاری (شکل ۷) نیز نشان از تأثیر مضاعف اعمال شوری و کم‌آبیاری در سطوح ملایم آن‌ها در کاهش تعداد گره‌ها دارد. اثرات متقابل چین در تنش شوری در تنش خشکی بر تعداد گره (جدول ۳) نشان داد که بیشترین تعداد گره در چین اول، سطح آبیاری کامل و سطح شوری شاهد با میانگین ۲۷/۱۶ و کمترین آن در چین دوم، شدیدترین سطح کم‌آبیاری و شوری ۱۰۰ میلی مولار محلول کلرید سدیم و با میانگین ۹ اتفاق افتاد. امیرمرادی و همکاران (۱۳۹۶) اظهار داشتند که با افزایش تنش در گیاه نعناع فلفلی تعداد گره در ساقه اصلی کاهش می‌یابد. این کاهش در چین دوم بیشتر از چین اول گزارش شد.



شکل ٦- اثرات متقابل تنش خشکی و چین و تنش شوری و چین بر ارتفاع گیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل ۷- اثرات متقابل تنش‌های شوری و خشکی و تنش شوری و چین بر تعداد گره

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند)

تعداد برگ

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که فقط اثر ساده چین برداشت، شوری، آبیاری و سلنیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با بررسی جدول مقایسه میانگین اثرات ساده بر تعداد برگ (جدول ۲) مشخص شد که تعداد برگ در چین اول ۱۳/۴۴ درصد بیشتر از چین دوم بود، همچنین با افزایش تنش خشکی به ترتیب ۲۱/۶۱ و ۳۸/۷۹ درصد و با افزایش تنش شوری در هر سطح، به ترتیب ۲۵/۸۰ و ۴۴/۵۳ درصد از تعداد برگ‌ها کاسته شد. محلول‌پاشی برگی سلنیوم نیز موجب افزایش ۱۴/۵۲ درصدی تعداد برگ نسبت به تیمار شاهد (فاقد محلول‌پاشی برگی سلنیوم) شد. خادمی آستانه و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که خصوصیات رویشی گیاه کلم تکمه‌ای از جمله تعداد برگ، با افزایش غلظت سلنیوم تا ۸ میلی‌گرم در لیتر افزایش و بعد از آن کاهش پیدا کرد.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی تحت تأثیر تیمارهای مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک	بهره‌وری آب	درصد اسانس	ارتفاع گیاه	تعداد گره	تعداد برگ در گیاه
تکرار	۲	۲۰/۰۳۶	۱/۵۶۶۱	۰/۶۱۵	۰/۰۰۱	۶۰/۲۹۰	۴/۴۵۳	۱۴۹۷/۷۸۷
شوری	۲	۱۶۸۸/۵۰۳**	۵۸/۲۴۹**	۱۸/۷۱۳**	۱/۳۶۹ **	۱۲۴۸/۵۳۷**	۳۷۷/۶۷۵**	۵۰۹۲/۱۶۰**
آبیاری	۲	۱۵۶/۹۵۲**	۱۲/۱۶۶**	۳/۷۸۳**	۱/۱۶۴ **	۶۱۷/۶۳۲**	۸۹/۸۱۴**	۱۱۱۶۱/۳۴۲**
سلنیوم	۱	۳۵/۸۴۵**	۷/۶۳۷**	۲/۵۷۱**	۰/۰۵۳ **	۶۱۵/۳۷۸**	۲۷/۰۰۰**	۲۵۹۱/۱۲۰**
شوری× آبیاری	۴	۱۴/۵۵۵**	۰/۸۹۴**	۰/۲۰۸ ns	۰/۰۲۸ **	۲۷/۶۳۰ ns	۲۷/۶۲۰**	۶۰۰/۶۷۵ ns
شوری× سلنیوم	۲	۲/۲۱۷ ns	۰/۰۹۵ ns	۰/۰۶۴ ns	۰/۰۰۵ **	۷/۸۹۸ ns	۳۸۶۱ ns	۱۰۲/۶۷۵ ns
سلنیوم × آبیاری	۲	۵/۵۵۳ ns	۰/۰۶۷ ns	۰/۰۴۵ ns	۰/۰۰۴ **	۳۷/۱۴۶ ns	۴/۱۱۱ ns	۳۱۶/۷۳۱۴ ns
شوری× آبیاری × سلنیوم	۴	۴/۱۶۴ ns	۰/۱۴۶ ns	۰/۰۹۰ ns	۰/۰۰۱ **	۱۸/۰۵۰ ns	۱/۰۵۵ ns	۵۳۲/۶۲۰ ns
خطای اول	۳۴	۲/۳۹۶	۰/۱۹۰	۰/۱۰۰	۰/۰۰۱	۱۱/۷۹۸	۱/۵۴۱	۱۵۹۵/۲۶۰
چین	۱	۱۰۵۵/۹۳۷**	۹۰/۳۱۰**	۱۹/۰۴۲**	۴/۳۴۵ **	۱۳۲۸/۶۰۵**	۱۲۵۳/۹۲۵**	**۸۹۸۱/۲۹۳
چین × شوری	۲	۴۴۳/۹۴۴**	۷/۶۳۱**	۲/۱۴۴**	۰/۱۴۸ **	۱۳۳/۴۹۸**	۵۱/۰۰۹**	۱۰۸/۹۵۳ ns
چین × آبیاری	۲	۱۴/۱۰۸**	۰/۴۹۶ ns	۰/۴۰۰**	۰/۰۷۹ **	۳۹/۱۵۴*	۱/۰۳۷ ns	۱۰۱/۱۲۰ ns
چین × سلنیوم	۱	۶/۴۷۲ ns	۰/۰۴۴۸ ns	۰/۱۵۵ ns	۰/۰۰۶ **	۲/۹۳۳ ns	۰/۰۳۳ ns	۲۱۱/۱۲۰ ns
چین × شوری × آبیاری	۴	۱۵/۲۰۶**	۰/۹۵۶**	۰/۴۷۸**	۰/۰۲۶ **	۱۳/۰۵۵ ns	۶/۰۳۷**	۳۴/۱۷۵ ns
چین × شوری × سلنیوم	۲	۶/۲۹۸ ns	۰/۱۲۶ ns	۰/۰۷۶ ns	۰/۰۰۳ **	۱۴/۷۰۴ ns	۵/۰۸۳ ns	۲۵/۸۹۸ ns
چین × آبیاری × سلنیوم	۲	۲/۹۵۲ ns	۰/۱۴۷ ns	۰/۰۹۱ ns	۰/۰۰۶ **	۲۱/۷۹۰ ns	۴/۷۷۷ ns	۲۵/۷۳۱ ns
چین × شوری × آبیاری ×	۴	۳/۹۲۴ ns	۰/۱۳۲ ns	۰/۰۴۸ ns	۰/۰۰۲ ns	۶/۹۸۶ ns	۱۲/۰۲۷ ns	۳۲/۶۷۵ ns
خطای دوم	۳۶	۲/۴۹۳	۰/۱۹۸	۰/۰۵۷	۰/۰۰۱	۹/۹۰۳	۱/۱۸۵	۶۱/۰۴۶

جدول ۲- مقایسه اثر ساده چین برداشت، تنش خشکی، تنش شوری و سلنیوم بر بهره‌وری آب و برخی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی

تیمارها		وزن تر	وزن خشک	بهره‌وری آب	درصد اسانس	ارتفاع گیاه	تعداد گره	تعداد برگ در گیاه
		گرم	گرم	کیلوگرم بر مترمکعب	درصد	سانتیمتر		
چین	اول	a۱۶/۴۷۰	a۴/۲۳۰	a۲/۳۱۹	a۱/۰۱۱	a۳۲/۵۳۳	a۱۸/۹۲۵	a۷۷/۵۵۵
	دوم	b۱۰/۲۱۶	b۲/۴۰۱	b۱/۴۸۰	b۰/۶۱۰	b۲۵/۵۱۸	b۱۲/۱۱۱	b۶۷/۱۲۹
سطوح مختلف آبیاری (نیاز آبی به درصد)	۱۰۰	a۱۵/۴۵۴	a۳/۸۸۱	c۱/۶۰۷	b۰/۸۴۷	a۳۳/۶۰۵	a۱۷/۲۷۷	a۹۰/۵۸۳
	۷۵	b۱۳/۲۹۸	b۳/۳۴۸	b۱/۸۴۳	a۰/۹۶۹	b۲۷/۹۳۰	b۱۵/۰۵۵	b۷۱/۰۰۰
	۵۰	c۱۱/۲۷۸	c۲/۷۱۹	a۲/۲۴۸	c۰/۶۱۵	b۲۵/۵۴۱	c۱۴/۲۲۲	c۵۵/۴۴۴
سطوح شوری (میلی مولار کلرید سدیم)		a۲۰/۸۱۱	a۴/۶۹۶	a۲/۶۸۵	a۰/۹۹۶	a۳۵/۳۴۷	a۱۸/۸۳۳	a۹۴/۵۰۰
	۵۰	b۱۱/۸۶۳	b۳/۰۶۰	b۱/۷۴۶	b۰/۸۲۹	b۲۸/۰۳۶	b۱۵/۳۶۱	b۷۰/۱۱۱
	۱۰۰	c۷/۳۵۶	c۲/۱۹۱	c۱/۲۶۸	c۰/۶۰۷	b۲۳/۶۹۴	c۱۲/۳۶۱	c۵۲/۴۱۶
سطوح سلنیوم (میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم)	۰	b۱۲/۷۶۷	b۳/۰۵۰	b۱/۷۴۵	b۰/۷۸۸	b۲۶/۶۳۸	b۱۵/۰۱۸	a۶۷/۴۴۴
	۵	a۱۳/۹۱۹	a۳/۵۸۲	a۲/۰۵۴	a۰/۸۳۳	a۳۱/۴۱۳	a۱۶/۰۱۸	b۷۷/۲۴۰

جدول ۳- مقایسه اثر متقابل چین برداشت، تنش خشکی، تنش شوری بر بهره‌وری آب و برخی خصوصیات گیاه نعناع فلفلی

چین	سطوح آبیاری	سطوح شوری	وزن تر	وزن خشک	بهره‌وری آب	درصد اسانس	تعداد گره
	درصد نیاز آبی	میلی مولار کلرید سدیم	گرم	گرم	کیلوگرم بر مترمکعب	درصد	
چین اول	۱۰۰	۰	۲۹/۴۳۵^{a}	۶/۷۴۸^{a}	۲/۶۶۲^{c}	۱/۲۵۳^{c}	۲۷/۱۶۶^{a}
		۵۰	۱۹/۱۴۱^{c}	۴/۶۵۸^{c}	۱/۸۳۴^{g}	۱/۰۷۲^{d}	۱۹/۱۶۶^{d}
		۱۰۰	۸/۷۶۰^{h}	۳/۱۴۱^{e}	۱/۲۳۹^{hi}	۰/۸۶۶^{g}	۱۵/۸۳۳^{f}
	۷۵	۰	۲۹/۱۸۸^{a}	۶/۳۶۸^{a}	۳/۳۵۰^{b}	۱/۴۹۰^{a}	۲۲/۳۳۳^{b}
		۵۰	۱۲/۰۶۸^{ef}	۴/۱۰۸^{d}	۲/۱۶۱^{def}	۱/۲۸۳^{b}	۱۷/۶۶۶^{e}
		۱۰۰	۸/۴۹۵^{h}	۲/۵۵۳^{g}	۱/۳۴۳^{h}	۰/۸۴۶^{h}	۱۴/۸۳۳^{f}
	۵۰	۰	۲۵/۱۴۱^{b}	۵/۲۴۰^{b}	۴/۱۳۵^{a}	۰/۹۹۹^{e}	۲۰/۵۰۰^{c}
		۵۰	۹/۷۵۵^{gh}	۲/۸۰۶^{fg}	۲/۲۱۵^{de}	۰/۷۹۵^{i}	۲۰/۰۰۰^{cd}
		۱۰۰	۶/۲۵۰^{i}	۲/۴۵۱^{gh}	۱/۹۳۵^{fg}	۰/۴۹۴^{q}	۱۲/۸۳۳^{g}
چین دوم	۷۵	۰	۱۵/۳۵۵^{d}	۴/۳۴۵^{cd}	۱/۹۴۲^{efg}	۰/۷۶۶^{j}	۱۷/۶۶۶^{e}
		۵۰	۱۱/۵۳۰^{fg}	۲/۴۹۱^{g}	۱/۱۱۳^{hij}	۰/۶۲۱^{L}	۱۲/۸۳۳^{g}
		۱۰۰	۸/۵۰۳^{h}	۱/۹۰۱^{jk}	۰/۸۵۱^{j}	۰/۵۰۵^{p}	۱۱/۰۰۰^{h}
	۵۰	۰	۱۳/۷۶۵^{de}	۲/۹۴۵^{ef}	۱/۷۵۶^{g}	۰/۹۲۶^{f}	۱۳/۰۰۰^{g}
		۵۰	۹/۸۳۳^{gh}	۲/۳۳۰^{ih}	۱/۳۸۹^{h}	۰/۶۶۸^{k}	۱۱/۸۳۳^{gh}
		۱۰۰	۶/۴۳۸^{i}	۱/۷۸۳^{kL}	۱/۰۵۳^{ij}	۰/۶۰۱^{m}	۱۰/۶۶۶^{h}
	۱۰۰	۰	۱۱/۹۸۳^{ef}	۲/۵۵۳^{g}	۲/۲۶۶^{d}	۰/۵۴۰^{n}	۱۲/۳۳۳^{g}
		۵۰	۸/۸۵۱^{h}	۱/۹۷۰^{ihj}	۱/۷۶۲^{g}	۰/۵۳۳^{o}	۱۰/۶۶۶^{h}
		۱۰۰	۵/۶۹۱^{i}	۱/۳۱۶^{L}	۱/۱۷۷^{hi}	۰/۳۳۰^{r}	۹/۰۰۰^{i}

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

جدول ٤- مقایسه اثر متقابل چین برداشت، تنش خشکی و سلنیوم بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی

چین	چین اول						چین دوم					
سطوح مختلف آبیاری (درصد نیاز آبی)	۱۰۰		۷۵		۵۰		۱۰۰		۷۵		۵۰	
سطوح سلنیوم (میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم)	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵
درصد اسانس (درصد)	d۱/۰۰۶	c۱/۱۲۲	b۱/۱۸۸	a۱/۲۲۵	f۰/۷۴۹	e۰/۷۷۶	j۰/۶۲۰	i۰/۶۴۲	h۰/۷۱۷	g۰/۷۴۶	L۰/۴۵۰	k۰/۴۸۵

جدول ۵- مقایسه اثر متقابل چین برداشت، تنش شوری و سلنیوم بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی

چین	چین اول										چین دوم									
سطوح مختلف آبیاری (درصد نیاز آبی)	۱۰۰		۷۵		۵۰		۱۰۰		۷۵		۵۰									
سطوح سلنیوم (میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم)	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵
درصد اسانس (درصد)	b۱/۱۹۴	a۱/۳۰۱۸	d۱/۰۳۶	c۱/۰۶۴	h۰/۷۱۳	f۰/۷۵۸	g۰/۷۲۸	e۰/۷۵۹	j۰/۶۰۱	i۰/۶۱۴	L۰/۴۵۷	k۰/۵۰۰								

جدول ٦- مقایسه اثر متقابل سلنیوم، تنش شوری و تنش خشکی بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی

چین	چین اول										چین دوم									
سطوح مختلف آبیاری (درصد نیاز آبی)	۱۰۰		۷۵		۵۰		۱۰۰		۷۵		۵۰									
سطوح سلنیوم (میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم)	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵
درصد اسانس (درصد)	o۰/۶۵۵	m۰/۷۰۴	r۰/۳۹۶	c۱/۰۷۱	a۱/۲۳۳	i۰/۷۸۷	g۰/۸۵۸	d۰/۹۸۱	n۰/۶۷۹	L۰/۷۱۶	k۰/۷۴۳	q۰/۴۲۷								

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر بیانگر کاهش وزن تر و خشک، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و گره در شرایط اعمال تنش خشکی و نیز تنش شوری است. به‌طورکلی وزن تر و خشک، ارتفاع، تعداد برگ و گره، درصد اسانس و بهره‌وری آب در چین اول به ترتیب ۳۷/۹۶، ۴۳/۲۲، ۲۱/۵۶، ۱۳/۴۴، ۳۶، ۳۹/۶۶ و ۳۶/۱۹ درصد بیشتر از چین دوم بود. همچنین محلول‌پاشی برگی سلنیوم به میزان ۵ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تر، خشک، بهره‌وری آب، درصد اسانس، ارتفاع گیاه، تعداد گره و تعداد برگ به میزان به ترتیب ۹/۰۲، ۱۷/۴۳، ۱۷/۶۷، ۵/۶۴، ۱۷/۹۲، ۶/۶۵ و ۱۴/۵۲ درصد گردید. همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم در هنگام تنش خشکی، تنش شوری و اثرات متقابل آن‌ها در هر دو چین، موجب افزایش درصد اسانس گردید. به‌طوری‌که با افزایش تنش خشکی به ترتیب سلنیوم موجب افزایش ۸/۶۴، ۴/۲۱ و ۵ درصدی و با افزایش سطوح شوری، موجب افزایش ۷/۲۹، ۳/۷۰ و ۸/۶۲ درصدی درصد اسانس نسبت به عدم حضور سلنیوم گردید. همچنین در اثرات سه‌گانه تنش شوری، تنش خشکی و سلنیوم، محلول‌پاشی سلنیوم در تیمارهای I1S1،I2S1،I3S1، I1S2، I2S2، I3S2، I1S3، I2S3 و I3S3 موجب افزایش ۱۳/۸۲، ۴/۲۳، ۴، ۲، ۲، ۴/۶۱، ۹/۲۳، ۵/۷۱ و ۷/۷ درصدی درصد اسانس نسبت به عدم حضور سلنیوم گردید. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم موجب افزایش ۶/۱۲ و ۵/۰۸ درصدی درصد اسانس به ترتیب در چین اول و چین دوم گردید. همچنین نتایج حاکی از این بود که بهره‌وری آب با افزایش تنش خشکی به ترتیب ۱۴/۷۰ و ۳۹/۸۸ درصد افزایش و با افزایش سطوح شوری ۳۴/۹۶ و ۵۲/۷۷ درصد کاهش یافت. همچنین با اعمال تنش‌های ملایم خشکی در قالب کم‌آبیاری (I2)، درصد اسانس ۱۴/۳۵ درصد افزایش‌یافته و سپس با اعمال تنش به نسبت شدید (I3)، درصد اسانس ۲۷/۴۰ درصد کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه فردوسی مشهد و آزمایشگاه مرکزی مجتمع آموزش عالی تربت‌جام جهت تأمین هزینه‌های این پروژه قدردانی می‌گردد.

منابع

اکبرزاده، ع.، شاهنظری، ع.، ضیاتبار احمدی، م.خ. و اکبرزاده، م. ۱۳۹۷. اثر سطوح مختلف آبیاری بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع فلفلی. نشریه علوم و مهندسی آبیاری. ۴۱ (۴): ۱۱۸-۱۰۷.

احسانی، م. و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۸۲: ۱۰۹-۱۱۰.

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 بوم‌شناسی کشاورزی. ۹ (۱): ۱۴۲-۱۵۷.

باقریان، ع.، سعیدی سار، س.، عباسپور، ح. و مسعودیان، ن. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تنش خشکی و شوری بر جوانه‌زنی گیاه نعناع فلفلی. دومین همایش ملی علوم زیستی. اردیبهشت. دامغان.

بصیری، م.، قمری نیا، ه. و قبادی، م. ۱۳۹۹. اثر شدت‌های مختلف کم‌آبی و شوری بر رشد برگ، ساقه و ریشه گیاه نعناع فلفلی. نشریه مدیریت آب و آبیاری. ۱۰ (۱): ۱-۱۴.

دانشورراد، ن.، ساجدی، ن. ع. و نائینی، م.ر. ۱۳۹۷. تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم بر تحمل تنش شوری و عملکرد اسانس گیاه بادرشبویه. نشریه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۴ (۶): ۹۶۳-۹۷۵.

جمالی، ص.، بانژاد، ح.، صفری زاده ثانی، ع. و هادی، ب. ۱۴۰۱. بررسی اثر سطوح آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه دارویی نعنا فلفلی تحت تنش شوری. نشریه علوم آب و خاک. ۲۶(۱): ۱۳۱-۱۴۶.

حاجی بلند، ر.، کیوان فر، ن.، جودمند، ا.، رضائی، ح. و نژادمحمد، ی. ۱۳۹۳. تأثیر تیمار سلنیم روی تحمل تنش خشکی در گیاه کلزا. نشریه پژوهش‌های گیاهی. ۲۷ (۴): ۵۵۷-۵۶۸.

خادمی آستانه، ر.، طباطبائی، س.ج. و بلندنظر، ص.ع. ۱۳۹۶. تأثیر سلنیوم بر روی عملکرد و ویژگی‌های رویشی کلم تکمه‌ای کشت‌شده در هیدروپونیک. ۱۳۹۶. نشریه علوم باغبانی. ۳۱ (۱): ۱۶۷-۱۷۹.

خراسانی نژاد، س.، سلطانلو، ح.، رمضان پور، س.س.، هادیان، ج. و آتشی، ج. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی روی برخی خصوصیات مورفولوژیکی، کمیت و کیفیت اسانس در اسوخودوس. نشریه به زراعی کشاورزی. ۱۷ (۴): ۹۷۹-۹۸۸.

سلاح ورزی، ی.، سرفراز، س.، ذبیحی، م. و کمالی، م. ۱۳۹۹. بررسی اثر زئولیت و بافت خاک بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه پرچینی برگ نو در سطوح مختلف آبیاری. نشریه علوم باغبانی. ۳۴ (۳): ۴۵۱-۴۶۳.

شمسایی، ا.، آران، م. و فاخری، ب. ۱۳۹۹. تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رزماری تحت تنش خشکی. نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک. ۲ (۲): ۱۲۷-۱۴۰.

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

شهریاری، س.، عزیزی، م.، آرویی، ح. و انصاری، ح. ۱۳۹۲. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع خاک‌پوش بر خصوصیات رویشی و میزان اسانس نعنا فلفلی. نشریه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۹ (۳): ۵۶۸-۵۸۲.

صمصام شریعت، ح. ۱۳۸۳. گزیده گیاهان دارویی. فصل دوم. انتشارات مانی. ۱۰۳۴.

عزیزی، م.، شهریاری، س.، آروئی، ح. و انصاری، ح. ۱۳۹۴. بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع مالچ بر خصوصیات رویشی و میزان اسانس نعنا فلفلی. نشریه علوم باغبانی. ۲۹ (۱): ۱۱-۲۱.

قربانی، م.، موحدی، ز.، خیری، ع. و رستمی، م. ۱۳۹۷. تأثیر تنش شوری بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و کمیت و کیفیت اسانس نعناع فلفلی. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱ (۲): ۴۱۳-۴۲۰.

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

گرگینی شبانکاره، ح.، فاخری، ب. و محمدپور وشوایی، ر. ۱۳۹۴.

تأثیر سطوح مختلف تنش‌های شوری و خشکی بر شاخص‌های رشدی و اسانس بادرنجبویه. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶ (۴): ۶۷۳-۶۸۶.

مکاری، م.، عابدین پور، م. و دهقان، ه. ۱۳۹۹. تعیین ضرایب حساسیت و بهترین تابع تولید آب – شوری – عملکرد شلغم در منطقه کاشمر. نشریه پژوهش آب ایران. ۱۴ (۲): ۱۱۱-۱۱۹.

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.

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.

Chukala, A.D., Krol, M.S. and Hoekstra, A.Y. 2015, Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: Effect og irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. Hydrol. Earth Syst. Sci. 19: 4877-4891.

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. Environmental and Experimental Botany. 87: 58-68.

Liang, Y., Nikolic, M., Belenger, R., and Gong, H. and Song, A. 2015. Silicon-mediated tolerance to salt stress. Silicon in agriculture. P.123-142.

Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Munir, A., Hanjra, M.A. and Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. Agricultural Water Management. 97: 528-535.

Munns, R. 2005. Genes and Salt Tolerance: Bringing Them Together. New Ohytologist. 167: 645-663.

Sydney de Sousa, A., Soares, P.M.G., Saldanha de Almeida, A.N., Rufino Maia, A., Prata de Souza, E, and Sampaio Assreuy, AN. 2010. Antispasmodic effect of Mentha piperita essential oil on tracheal smooth muscle of rats. Journal of ethnopharmacology. 130:433-436.

Trajkova, F., Papadantonakis, N. and Savvas, D. 2006. Comparative effects of nacl and cacl2 salinity on cucumber grown in a closed hydroponic system. Hortscience: a publication of the American Society for Horticultural Science. 41(41):437-441.

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.

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

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 2, Autumn and Winter 2023, 115-130

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص. ۱۳۰-۱۱۵

Investigating Water Productivity and Characteristics of Mentha Piperita L under Salinity and Drought Stress

V. Shamsabadi[1], H. Banejad[2]*, H. Ansari[3] and S.H. Nemati[4]

Abstract

Drought and salinity stress are the most important limiting factors for plant growth. Selenium has been introduced as one of the useful elements against the destructive effects of stresses. To the investigation of influence salinity and drought stress on water productivity and characteristics of Mentha piperita L in the presence of selenium, an experiment on the split in time was performed in the Torbat-e Jam region, Iran, in 2020, including two levels of cut (cut1 and cut2), three levels of irrigation (I1=100, I2=75 and I3=50 percent of water requirements), three levels of Salinity (S1=0, S2=50 and S3=100 mmol NaCl) and selenium factor in 2 levels (0 and 5 mg/lit Na2SeO4). The results showed that fresh and dry weight, plant height, the number of leaves per plant, and the number of nodes under salinity and drought stress decreased. Also, foliar spraying of selenium (5 mg/lit Na2SeO4) increased above fresh and dry weight, water productivity, essential oil percentage, plant height, number of leaves per plant, and number of nodes respectively 9.02, 17.43, 17.67, 5.64, 17.92, 6.65 and 14.52 percent. Also, results showed that foliar spraying of selenium under salinity and drought stress and their interaction in 2 cuts, increased essential oil percentage. Results showed that water productivity influences drought stress, increase respectively 14.70 and 39..8 percent, and with the increase of salinity, decreases respectively 34.96 and 52.77 percent. Also, results showed that by applying mild stress in the form of deficit irrigation (I2), the essential oil percentage increased by 14.35 percent, and by applying intense stress (I3) essential oil percentage decreased as 27.40 percent.

Keywords: Cut, Drought Stress, Salinity Stress, Selenium, Water Productivity

[1] PhD Candidate, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[2] Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (* Corresponding Author Email: Banejad@um.ac.ir)
[3] Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Horticulture Plants, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Received: 5 Aug 2022
Accepted: 27 Aug 2022