

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر محلول پاشی سلنیوم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه سلوی زینتی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

فرهاد بیرانوند^۱، بهمن زاهدی^{۲*} و عبدالحسین رضایی‌نژاد^۳

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹)

چکیده

با توجه به تغییرات آب‌وهوایی، کمبود منابع آبی و همچنین اهمیتی که کشت گیاهان زینتی در فضای سبز دارد، برای مدیریت بهتر آب و افزایش تحمل به تنش خشکی، آزمایش حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول پاشی سلنیوم در کاهش اثرات منفی کم‌آبی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سلوی زینتی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه سطح رژیم آبیاری (تخلیه پس از ۱۰ (شاهد)، ۲۰ و ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی) و چهار سطح سلتات سدیم (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میکرومولار) در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد سطوح رژیم آبیاری پس از تخلیه ۲۰ و ۳۰ درصد از حد ظرفیت زراعی باعث کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت الکترولیت و غلظت مالون دی‌آلدئید شد. کاربرد سلنیوم در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میکرومولار، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و محتوای نسبی آب برگ و غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی را افزایش و در مقابل غلظت مالون دی‌آلدئید و نشت یونی را کاهش داد. با این وجود سلنیوم در غلظت ۱/۵ میکرومولار تأثیر منفی بر ویژگی‌های ذکر شده داشت. به طور کلی، نتایج داده‌ها نشان داد که کمبود آب تأثیر منفی روی رشد و نمو گیاهان سلوی زینتی دارد. سلنیوم در رژیم‌های مختلف آبیاری در غلظت‌های پایین باعث بهبود رشد رویشی و زایشی گیاهان سلوی زینتی شد اما در غلظت‌های بالاتر تأثیر منفی بر پارامترهای مذکور داشت.

واژه‌های کلیدی: سلنیوم، دوره گلدهی، رژیم آبیاری، گیاهان باغچه‌ای، محتوای نسبی آب

مقدمه

با توجه به محدودیت استفاده از آب، دچار تنش کم‌آبی شوند. لذا امروزه از گیاهانی که مقاوم به کم‌آبی هستند بیش‌تر استفاده می‌شود (Jedrzejuk et al., 2016). گیاه سلوی زینتی (مریم گلی زینتی) (*Salvia splendens*)، گیاهی یکساله - چندساله زینتی - دارویی از خانواده نعنائیان Lamiaceae است. که به دلیل رنگ قرمز روشنی که دارد برای فضای سبز و باغچه‌ها استفاده می‌شود. دارای ارقامی با گل‌های لوله‌ای شکل و

گیاهان باغچه‌ای فصلی اغلب در معرض کمبود رطوبت خاک قرار می‌گیرند به خصوص زمانی که در فضای سبز شهری کاشته می‌شوند. با توجه به تغییرات آب‌وهوایی، افزایش شدت و دوره خشکی در آینده‌ای نزدیک، قابل پیش‌بینی است. با این وجود اهمیت گیاهان باغچه‌ای برای کیفیت بخشیدن به زندگی انسان در حال پیشرفت است و این گیاهان ممکن است در ابتدا

*نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: Zahedi.b@lu.ac.ir

al., 1991a)، نیز باعث بهبود رشدونمو و گلدهی سلوی زیتنی می‌شوند.

خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سلنیوم در دهه گذشته توجه بیولوژیست‌ها را به خود جلب کرده است. نقش مفیدی که این عنصر در گیاهان بازی می‌کند با افزایش رشد گیاهان، کاهش خسارت وارده توسط تنش اکسیداتیو ناشی از تنش‌های غیرزنده و زنده، افزایش کلروفیل و کارتنوئید و در مجموع سیستم آنتی‌اکسیدان آنزیمی و همچنین بهبود تحمل گیاه به تنش کم‌آبی با تنظیم وضعیت آبی گیاه است (Nawaz et al., 2014). سلنیوم می‌تواند سطوح گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان تنش دیده را از طریق (۱) تحریک خودبخوبی تجزیه آنیون سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) به پراکسید هیدروژن؛ (۲) واکنش مستقیم بین ترکیبات حاوی سلنیوم و ROS؛ و یا (۳) از طریق تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (آنزیم‌های گلوتاتیون پراکسیداز، گلوتاتیون اس ترانسفراز)، کاهش دهد (Feng et al., 2013). غلظت پایین این عنصر مکانیسم آنتی‌اکسیدان در گیاهان را تحریک می‌کند اما سطوح بالای آن به عنوان پراکسیدانت عمل می‌کند (Nawaz et al., 2014). سلنیوم می‌تواند تحمل گیاهان به تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی (Xue et al., 2001; Djanaguiraman et al., 2005; Hartikainen et al., 2000) شوری (Kong et al., 2005)، و پیری گل در آنتوریم (Tognon et al., 2016)، ری‌گراس (Hartikainen et al., 2000)، کاهو (Xue et al., 2001)، و همچنین سویا (Djanaguiraman et al., 2005) را افزایش دهد. با توجه به اهمیت گیاهان زیتنی در زندگی امروزی و پژوهش‌های نسبتاً کمی که در مورد نیاز آبی گیاهان زیتنی وجود دارد (Alvarez and Sanchez-Blanco, 2019)، لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول پاشی سلنیوم در کاهش اثرات منفی کم‌آبی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سلوی زیتنی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

براکته‌های رنگی (قرمز، بنفش، صورتی و سفید) است. گاهی رنگ کاسه گل با جام گل متفاوت است و در تمام طول ساقه علفی، برگ دارد. ارتفاع آن می‌تواند به ۱۰۰ سانتی‌متر برسد. در باغبانی، سلوی زیتنی در گروه گل‌های یکساله فصلی در باغچه‌ها و فضای سبز عمومی داخل و بیرون شهر کاشته می‌شود که به دلیل تحمل شرایط نیم‌سایه می‌تواند در سایه درختان نیز کاشته شود (قاسمی قهساره و کافی، ۱۳۹۱).

در بین تمامی تنش‌های غیرزنده، خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه است که باعث تلفات زیادی در تولیدات کشاورزی و محدودیت‌های شدیدی در تأسیس و مدیریت فضای سبز شهری می‌شود. در بسیاری از نقاط جهان همراه با صنعتی‌شدن، رشد سریع جمعیت و تغییرات آب‌وهوایی، کمبود آب باعث مشکلات عمده‌ای به‌ویژه در محیط‌های شهری شده است. لذا نگهداری آب در فضای سبز، موضوع بسیار مهمی به‌شمار می‌رود. بنابراین به‌منظور کاهش نیاز آبی باید به دنبال استراتژی‌های بلند مدت و کوتاه مدت (آبیاری صحیح فضای سبز، شناسایی نیازهای متغیر آبی دخیل در مراحل نمو)، بود (Alvarez et al., 2019). بیشتر تأثیرات کم‌آبی روی نمو گیاهان به محدودیت جذب آب و در نتیجه مواد معدنی مربوط می‌شود. این محدودیت باعث کاهش میزان تعرق و تغییر نفوذپذیری غشاء و انتقال فعال می‌شود که فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Fernandez-Lizarazo et al., 2016). یکی از اثرات تنش کم‌آبی، ایجاد آسیب‌های اکسیداتیو توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که تحت شرایط خشکی به طور بالقوه خطرناک هستند و می‌توانند از طریق ایجاد خسارت اکسیداتیو به غشاها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، کارکرد معمول آنها را مختل سازند. همچنین منجر به پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب پروتئین و موتاسیون DNA شوند (Asada, 1999). مطالعات روی سلوی زیتنی نشان می‌دهد تنش خشکی می‌تواند صفات آناتومیک، مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Burnett et al., 2005; Joseph et al., 1991b). کاربرد برخی مواد از جمله پتاسیم (Joseph et

(B) میزان رطوبت موجود در همان مقدار خاک (C) - وزن خاک خالص اولیه گلدان = وزن خاک خشک گلدان
(C) وزن خاک بعد از آون - وزن خاک قبل از آون = میزان رطوبت خاک

برای تعیین میزان آب در فواصل رژیم آبیاری از روش وزنی استفاده شد. بدین صورت که بعد از مشخص شدن دور آبیاری، با استفاده از فرمول ذیر وزن گلدانها محاسبه و مقدار کاهش رطوبت تا رسیدن به مقدار رطوبت مورد نظر برحسب گرم محاسبه و به گلدانها اضافه گردید (محمدنیا و همکاران، ۱۳۹۷؛ Niu et al., 2006).

$$X = 0/9 (0/8 \text{ or } 0/7) \times FC(A-C) + A$$

X: وزن گلدان در دور آبیاری دو روز، A: وزن خاک خشک اولیه و C: وزن ظرف (وزن گلدان خالی و وزن زهکش).

سلنات سدیم (Na_2SeO_4) از شرکت زیست آزمای افلاک تهیه شد. مخلوط خاکی به صورت نسبت مساوی ۱:۱:۱ خاک زراعی، کود دامی پوسیده و ماسه (با بافت خاک لومی رسی - شنی، ظرفیت زراعی ۲۳/۲۲ درصد، نقطه پژمردگی ۱۷/۶۶ درصد، حاوی ۰/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم سلیوم، نیتروژن ۰/۰۸۳ درصد، فسفر قابل جذب، پتاسیم، منیزیم و آهن به ترتیب ۱/۸۶، ۰/۲۲، ۰/۴۵۲ و ۰/۰۰۲۲ میلی گرم در کیلوگرم) بود. اعمال رژیم آبیاری تا مرحله اتمام دوره گلدهی (پژمردگی گل آذین اصلی، به مدت ۱۰۰ روز) ادامه داشت و سپس نمونه برداری انجام شد. در این آزمایش شاخص های مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، سطح برگ، طول گل آذین، تعداد گلچه، دوره گلدهی)، فیزیولوژیک (نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ) و بیوشیمیایی (فعالیت آنزیم های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز، رنگدانه های کلروفیل، کارتنوئید و مالون دی آلدئید) مورد بررسی قرار گرفت.

ویژگی های ریخت شناسی شامل ارتفاع گیاه، سطح برگ (با نرم افزار Image J برحسب سانتی متر مربع)، طول گل آذین، تعداد گلچه گل آذین، دوره گلدهی (دوره گلدهی از زمان باز شدن ۲۰ درصد از غنچه های گل آذین تا پژمرده شدن بیش از ۷۰ درصد از غنچه های باز شده گل آذین اصلی محاسبه شد)،

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و چهار تکرار در گلخانه های پژوهشی دانشکده کشاورزی لرستان با دمای روزانه ۲۸-۲۰، شبانه ۲۰-۱۵ درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و شدت نور ۵۰۰-۴۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در بهار و تابستان ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اول شامل رژیم آبیاری (تخلیه پس از ۱۰ (شاهد)، ۲۰ و ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم محلول پاشی سلیوم از منبع سلنات سدیم در چهار سطح (صفر (شاهد)، بدون محلول پاشی سلیوم)، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میکرومولار بود. زمان محلول پاشی یک ماه بعد از جوانه زنی بذور در مرحله چهار برگی دو بار قبل (سری اول) و بعد (سری دوم) از اعمال رژیم آبیاری، ساعت ۵ الی ۷ غروب برای جلوگیری از سوختگی سطحی برگ ها، روی سطح رویی و زیرین برگ ها انجام شد. بذور خالص (F_1 Pan American Seed) گیاهان سلوی زیتنی (*Salvia Spelendes*. var. Vista Red) تهیه شده از شرکت پاکان بذور اصفهان در گلدان های با قطر دهانه ۱۳ سانتی متر، ارتفاع ۱۲ سانتی متر و حجم ۱/۵ لیتری کشت شدند. اعمال رژیم آبیاری با روش وزنی و استفاده از داده های دستگاه صفحات فشاری انجام شد بدین صورت که در ابتدا درصد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری محاسبه شد. پس از آن به روش وزنی فاصله و دور آبیاری تعیین شد. بدین ترتیب که میانگین وزن خاک خشک سه نمونه خاک گلدان تعیین شد. سپس سه گلدان حاوی خاک به عنوان سه تکرار در نظر گرفته شد و پس از آبیاری کامل (اشباع سازی)، هر روز کاهش وزن خاک گلدانها (به مدت ۱۰ روز) یادداشت شد و میانگین میزان آب خاک در حد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد تخلیه رطوبت از حد ظرفیت زراعی خاک با استفاده از فرمول زیر به ترتیب در روزهای ۳، ۴ و ۵ روز بدست آمد.

$$A - B/A \times 100 = \text{میزان رطوبت خاک}$$

(A) وزن گلدان همراه زهکش - وزن روزانه گلدانها بعد از اشباع سازی = وزن خاک خالص همراه با رطوبت موجود

اندازه‌گیری شد. ارتفاع گیاه و طول گل‌آذین بوسیله خط‌کش برحسب سانتی‌متر از ناحیه یقه محاسبه شد.

ویژگی‌های فیزیولوژیکی: نشت یونی براساس روش Lutts و همکاران (۱۹۹۶) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ گیاه به روش Ritchie و Nguyen (۱۹۹۰)، از برگ‌های توسعه یافته بالایی بدست آمد. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کارتنوئید برگ‌ها، به روش Lichtenthaler (۱۹۸۷)، رنگی‌های گیاهی توسط حلال استون ۱۰۰ درصد استخراج شدند. اندازه‌گیری میزان مالون دی‌آلدئید با استفاده از تیوباریتوریک اسید به‌عنوان معرف و براساس روش Wang و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد.

سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، آنزیم کاتالاز: استخراج آنزیم کاتالاز طبق روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) انجام شد. برای استخراج آنزیم نمونه‌های برگ‌گی از بافر فسفات پتاسیم حاوی EDTA (Ethylenediamin tetra-acetic acid) و PVP (Polyvinylpolypyrrolidone) استفاده شد و سوسپانسیون حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ گردید. جذب روشناور نمونه در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-600A) خوانده شد. میزان فعالیت آنزیم برحسب میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر محاسبه شد.

سنجش آسکوربات پراکسیداز: فعالیت این آنزیم با استفاده از روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) اندازه‌گیری شد. نمونه برگ‌گی در بافر فسفات سدیم حاوی EDTA و PVP هموزن شد. سپس محلول حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت جذب روشناور در طول موج ۲۹۰ نانومتر با دستگاه استفاده از اسپکتروفتومتر (UV-600A) خوانده شد. میزان فعالیت آنزیم برحسب میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر محاسبه شد.

سنجش پراکسیداز: برای استخراج آنزیم پراکسیداز از روش Mac Adam و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. برای استخراج آنزیم نمونه‌های برگ‌گی از بافر فسفات پتاسیم استفاده

شد. محلول حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت جذب روشناور در طول موج ۴۷۵ نانومتر به مدت ۱۳۰ ثانیه با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-600A) خوانده گردید. میزان فعالیت بر حسب میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab 18 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج

ویژگی‌های ریخت‌شناسی، ارتفاع گیاه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده رژیم آبیاری و محلول‌پاشی سلنیوم روی ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشده است (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها، نشان داد تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث کاهش ارتفاع گیاه (۲۹/۷ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد (تخلیه ۱۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی) شد، هر چند اختلاف معنی‌داری با تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی ندارد. محلول‌پاشی سلنیوم ارتفاع گیاه را افزایش داد اما در غلظت‌های بالا تأثیر منفی داشت، به‌طوری‌که تیمار ۰/۵ و ۱/۵ میکرومولار به ترتیب باعث افزایش (۹/۳ درصد) و کاهش (۲ درصد) ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شدند، با این حال، تیمار ۱/۵ میکرومولار اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد (جدول ۲).

سطح برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی سلنیوم روی سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با کاهش رطوبت خاک، سطح برگ گیاه به شدت کاهش یافت و استفاده از سلنیوم باعث بهبود سطح برگ گیاه شد. به‌طوری‌که تخلیه ۱۰ و ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی همراه با غلظت ۱ میکرومولار سلنیوم به ترتیب باعث افزایش ۳/۲ درصدی و

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری و سلنیوم بر صفات اندازه گیری شده سلوی زیتی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	سطح برگ	طول خوشه گل آذین	دوره گلدهی	تعداد گلچه باز شده	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتونید
رژیم آبیاری	۲	۴۴۷/۵۰**	۳۹۰۶۲۱**	۹۰/۰۷**	۱۳/۷۷**	۵۵۹/۷۷**	۸۴/۷۰**	۸/۳۲**	۲۷/۹۶**	۹۲/۵۴**
سلنیوم	۳	۲۳/۷۳**	۲۱۳۷۰**	۱۱/۱۲**	۲۷/۹۱**	۳۴۰/۱۳**	۵/۷۴*	۱/۶۴*	۹۱/۸۰**	۵۷/۱۹**
رژیم آبیاری×سلنیوم	۶	۴/۷۰ ^{ns}	۷۵۸۰**	۵/۰۲**	۱/۲۷ ^{ns}	۳۸/۵۷**	۲۰/۷۱**	۲/۸۰**	۱۷۶/۱۲**	۴۷/۷۰**
خطای آزمایشی	۳۳	۳/۰۴	۳۳۹	۱/۳۱	۱/۱۹	۵/۳۶	۱/۳۱	۰/۵۳	۲/۹۷	۰/۸۱
ضریب تغییرات	-	۶/۸	۵/۱	۸/۴	۴/۳	۸/۱	۶/۱	۹	۸/۱	۸

^{ns} عدم وجود اختلاف معنی دار، * و ** اختلاف معنی دار به ترتیب در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری و محلول پاشی سلنیوم بر صفات اندازه گیری شده سلوی زیتی

تیمار آزمایشی	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	دوره گلدهی (روز)
رژیم آبیاری (تخلیه ۱۰ درصد)	۳۱/۶ ^a	۲۴/۵ ^b
از حد رطوبت ۲۰ درصد	۲۲/۸ ^b	۲۶/۳ ^a
ظرفیت زراعی ۳۰ درصد	۲۲/۲ ^b	۲۵/۱ ^b
صفر	۲۴/۶ ^b	۲۴/۸ ^{bc}
سلنیوم (میکرومولار)	۰/۵	۲۷/۵ ^a
۱	۲۶/۶ ^a	۲۴/۹ ^b
۱/۵	۲۴/۱ ^b	۲۴/۰ ^c

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک اند، اختلاف معنی داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

کاهش ۶۹/۷۴ درصدی سطح برگ گیاه در مقایسه با تیمار شاهد شدند. با این حال سلنیوم به تنهایی تأثیر کمتری روی افزایش سطح برگ داشت و اختلاف معنی داری آن به کاهش سطح برگ در غلظت ۱/۵ میکرومولار بر می گردد که تأثیر منفی به همراه داشته است (جدول ۳).

طول گل آذین: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و محلول پاشی سلنیوم بر طول گل آذین در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول ۱). بررسی اثرات متقابل کم آبی و سلنیوم بر طول گل آذین نشان داد که کمبود رطوبت خاک طول گل آذین را کاهش داده است اما کاربرد سلنیوم در مقایسه با تیمار شاهد

باعث افزایش طول این شاخص شد، به طوری که غلظت ۰/۵ میکرومولار سلنیوم در تخلیه ۱۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی و ۱/۵ میکرومولار سلنیوم در تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی به ترتیب بیشترین افزایش (۲۰/۸ درصد) و کاهش (۲۵/۱۹ درصد) طول گل آذین را در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند (جدول ۳).

تعداد گلچه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و محلول پاشی سلنیوم بر تعداد گلچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که رژیم آبیاری تأثیر منفی بر تعداد گلچه سلوی زیتی دارد و با کاهش

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری و سلیوم بر صفات اندازه‌گیری شده سلوی زیتنی

رژیم آبیاری (درصد تخلیه از حد رطوبت ظرفیت زراعی)	سلیوم (میکرومولار)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	طول خوشه گل‌آذین (سانتی‌متر)	تعداد گلچه	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتونوئید
								(میکرومول بر گرم وزن تر)
صفر	۵۵۵/۵۸ ^a	۵۵۵/۵۸ ^a	۱۴/۳۷ ^b	۳۸/۲۵ ^a	۸/۵۹ ^d	۴/۴۱ ^{ef}	۱۳/۷۰ ^f	۳/۱۶ ^{de}
۱۰ درصد	۰/۵	۵۶۹/۱۸ ^a	۱۷/۳۷ ^a	۳۵/۰۰ ^{ab}	۱۰/۲۲ ^{cd}	۵/۳۱ ^{b-e}	۱۶/۳۷ ^{cd}	۳/۲۴ ^{cde}
(آبیاری-شاهد)	۱	۵۷۳/۴۷ ^a	۱۷/۱۲ ^a	۳۵/۵۰ ^{ab}	۹/۲۵ ^{cd}	۵/۰۸ ^{c-f}	۱۵/۰۹ ^{c-f}	۲/۹۸ ^e
۱/۵	۴۳۵/۵۹ ^b	۱۶/۴۲ ^a	۳۰/۵۰ ^c	۹/۳۲ ^{cd}	۴/۰۶ ^f	۱۳/۹۳ ^{ef}	۳/۰۷ ^{de}	
صفر	۲۹۷/۱۰ ^d	۱۱/۹۲ ^{cd}	۲۸/۰۰ ^{cd}	۱۳/۵۴ ^b	۶/۱۳ ^b	۲۰/۴۶ ^b	۳/۷۵ ^{bcd}	
۲۰ درصد	۰/۵	۳۵۲/۶۹ ^c	۱۴/۶۲ ^b	۳۴/۰۰ ^b	۹/۲۷ ^{cd}	۴/۴۱ ^{ef}	۱۴/۴۳ ^{def}	۲/۹۰ ^e
۱	۳۳۶/۵۰ ^c	۱۲/۱۲ ^{cd}	۲۹/۷۵ ^c	۹/۲۴ ^{cd}	۴/۴۸ ^{def}	۱۴/۴۶ ^{def}	۳/۰۳ ^e	
۱/۵	۲۴۴/۷۴ ^{ef}	۱۰/۷۵ ^d	۱۹/۲۵ ^e	۱۰/۲۹ ^c	۴/۸۶ ^{c-f}	۱۵/۹۷ ^{cde}	۳/۱۸ ^{cde}	
صفر	۲۵۶/۵۳ ^e	۱۲/۳۰ ^{cd}	۲۵/۷۵ ^d	۱۰/۶۶ ^c	۵/۴۹ ^{bcd}	۱۶/۵۵ ^c	۲/۸۳ ^e	
۳۰ درصد	۰/۵	۲۸۵/۳۳ ^d	۱۳/۰۰ ^{bc}	۲۶/۲۵ ^d	۱۷/۲۲ ^a	۷/۴۴ ^a	۲۶/۰۰ ^a	۴/۹۳ ^a
۱	۱۶۸/۷۱ ^g	۱۰/۸۷ ^d	۲۸/۲۵ ^{cd}	۱۳/۵۰ ^b	۵/۷۰ ^{bc}	۲۰/۲۵ ^b	۳/۹۹ ^b	
۱/۵	۲۲۳/۱۴ ^f	۱۲/۱۷ ^{cd}	۱۲/۰۰ ^f	۱۳/۸۳ ^c	۵/۶۶ ^{bc}	۲۰/۵۴ ^b	۳/۸۴ ^{bc}	

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک‌اند، اختلاف معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

غلظت ۰/۵ میکرومولار باعث افزایش دوره گلدهی (۱۰/۸ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد شد اما با افزایش غلظت از دوره گلدهی کاسته شد (جدول ۳).

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، رنگدانه‌های فتوسنتزی،

کلروفیل a: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری و سلیوم اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار کلروفیل a دارند (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد میزان کلروفیل a در تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی افزایش یافت اما در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی روند کاهشی پیدا کرد. محلول‌پاشی سلیوم به تنهایی باعث افزایش مقدار کلروفیل a شد هر چند اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها نداشت. سلیوم در تمامی سطوح رژیم آبیاری (تخلیه ۱۰ و ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی) باعث افزایش مقدار کلروفیل a در مقایسه با تیمار شاهد شد اما در تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت

رطوبت خاک، تعداد گلچه نیز در مقایسه با تیمار شاهد، کاهش (۳۲/۶۷ درصد) پیدا کرد. کاربرد سلیوم به تنهایی باعث کاهش تعداد گلچه شد، اما تحت تأثیر رژیم آبیاری، غلظت ۰/۵ و ۱ میکرومولار آن به ترتیب در تخلیه ۲۰ و ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث افزایش (به ترتیب ۲۱/۴۲ درصد و ۹/۷ درصد) تعداد گلچه در مقایسه با تیمارهای بدون سلیوم شد. نتایج نشان می‌دهد سلیوم تحت شرایط غیرتنشی، تأثیری روی افزایش تعداد گلچه ندارد (جدول ۳).

دوره گلدهی: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده رژیم آبیاری و سلیوم بر دوره گلدهی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشده است (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تغییرات دوره گلدهی به صورت جداگانه تحت تأثیر رژیم آبیاری و کاربرد سلیوم قرار گرفتند. تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث افزایش دوره گلدهی (۷/۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد (بدون سلیوم) شد. کاربرد سلیوم نیز به تنهایی در

باعث افزایش مقدار کلروفیل کل شد. به طور کلی، غلظت ۰/۵ میکرومولار سلنیوم در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش چشمگیر مقدار کلروفیل کل (۸۹/۷ درصد) شد و تیمار شاهد نیز کمترین (۱۳/۷) میکرومول بر گرم وزن تر) مقدار کلروفیل کل را به خود اختصاص داد (جدول ۳).

کارتونوئیدها: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و سلنیوم بر میزان کارتونوئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کارتونوئید نیز الگویی مشابه کلروفیل a، b و کلروفیل کل دارد. اثر ساده رژیم آبیاری بر مقدار کارتونوئید نشان داد که تیمار تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث افزایش نسبی در مقدار کارتونوئید شد و با افزایش کمبود رطوبت خاک از مقدار آن کاسته شد. همچنین کاربرد سلنیوم در تخلیه ۱۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی تنها در غلظت ۰/۵ میکرومولار باعث افزایش جزئی در مقدار کارتونوئید شد و با افزایش غلظت، کاهش مقدار آن را در پی داشت. مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که در مجموع تیمار ۰/۵ میکرومولار سلنیوم در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث افزایش ۵۶ درصدی مقدار کارتونوئید در مقایسه با تیمار شاهد شد. تیمار تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی بدون سلنیوم نیز در مقایسه با تیمار شاهد کمترین میزان کارتونوئید (۱۰/۴ درصد) را نشان داد (جدول ۳).

محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و سلنیوم بر شاخص محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد محتوای نسبی آب برگ با افزایش سطوح رژیم آبیاری کاهش پیدا می‌کند به طوری که تیمار تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی کمترین محتوای نسبی آب برگ با ۳۱/۲ درصد کمتر از شاهد را به خود اختصاص داد و تیمار تخلیه ۱۰ درصدی رطوبت از حد ظرفیت زراعی با ۱ میکرومولار

زراعی در مقایسه با تیمار شاهد سطح تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی بدون سلنیوم منجر به کاهش مقدار کلروفیل شد. در مجموع، غلظت ۰/۵ میکرومولار سلنیوم در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی بیشترین غلظت کلروفیل a با ۶۱ درصد افزایش را نشان داد و تیمار شاهد نیز کمترین میزان کلروفیل a (۸/۵۹ میکرومول بر گرم وزن تر) را ثبت کرد (جدول ۳).

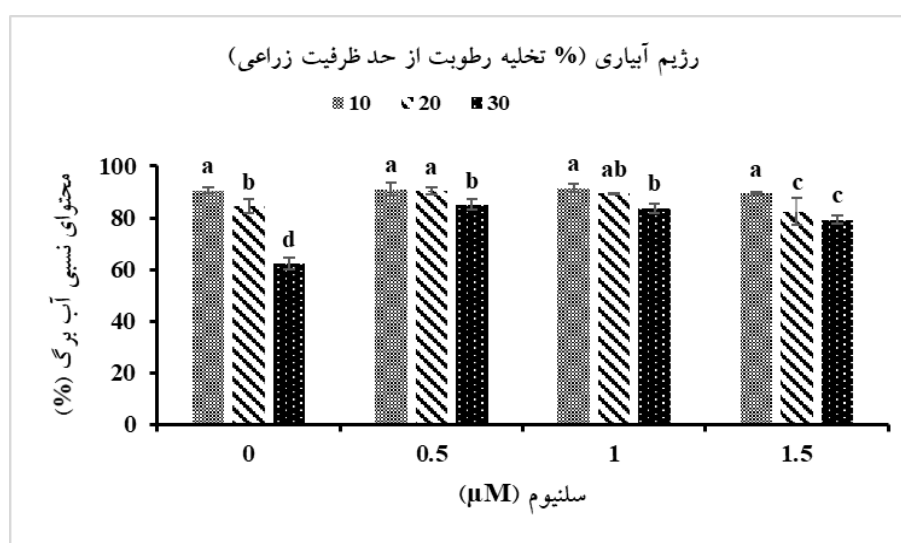
کلروفیل b: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری و سلنیوم اثر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کلروفیل b دارند (جدول ۱). مشابه کلروفیل a، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد میزان کلروفیل b نیز در تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی افزایش یافت اما در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی روند کاهشی پیدا کرد. محلول پاشی سلنیوم باعث افزایش مقدار کلروفیل b شد اما اختلاف معنی داری با دیگر تیمارها نداشت. با این حال، غلظت ۰/۵ میکرومولار آن در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش چشمگیر مقدار کلروفیل b شد که با افزایش غلظت سلنیوم روند کاهشی نشان داد. در مجموع، غلظت ۰/۵ میکرومولار سلنیوم در سطح تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی بیشترین افزایش (۶۸ درصد) کلروفیل b در مقایسه با تیمار شاهد را نشان داد و غلظت ۱/۵ میکرومولار آن در تخلیه ۱۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی نیز باعث کاهش مقدار کلروفیل b (۷/۹ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳).

کلروفیل کل: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری و سلنیوم اثر معنی داری بر میزان کلروفیل کل دارند (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد میزان کلروفیل کل مشابه کلروفیل a و b در تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی افزایش یافت، اما در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی کاهش پیدا کرد. کاربرد سلنیوم به تنهایی مقدار کلروفیل کل را افزایش داد هر چند اختلاف معنی داری با دیگر تیمارها نداشت. با این حال، سلنیوم در تمامی سطوح رژیم آبیاری در مقایسه با شاهد (بدون سلنیوم)

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری و سلیوم بر صفات اندازه گیری شده سلوی زیتی

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	نشت الکترولیت	مالون دی آلدئید	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز
رژیم آبیاری	۲	۷۱۴/۸۱**	۸۱۸۵/۸۷**	۰/۱۵۸۶**	۰/۰۰۵۴۲۴**	۱۸۱/۵۰**	۰/۰۰۰۳۵۶**
سلیوم	۳	۲۴۳/۰۳**	۱۳۵۲/۷۸**	۰/۰۶۴۹**	۰/۰۰۰۵۱۳**	۲۳/۱۷**	۰/۰۰۰۴۵۳**
رژیم آبیاری × سلیوم	۶	۱۲۹/۵۸**	۱۵۷/۹۷**	۰/۰۳۰۷**	۰/۰۰۰۰۶۷**	۱۰/۷۴**	۰/۰۰۰۰۹۲**
خطای آزمایشی	۳۳	۴/۹۷	۶/۵۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۱۴	۲/۴۳	۰/۰۰۰۰۰۳
ضریب تغییرات	-	۲/۶	۴/۴	۷/۲	۵/۳	۵/۸	۷/۸

^{ns} عدم وجود اختلاف معنی دار، * و ** اختلاف معنی دار به ترتیب در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد



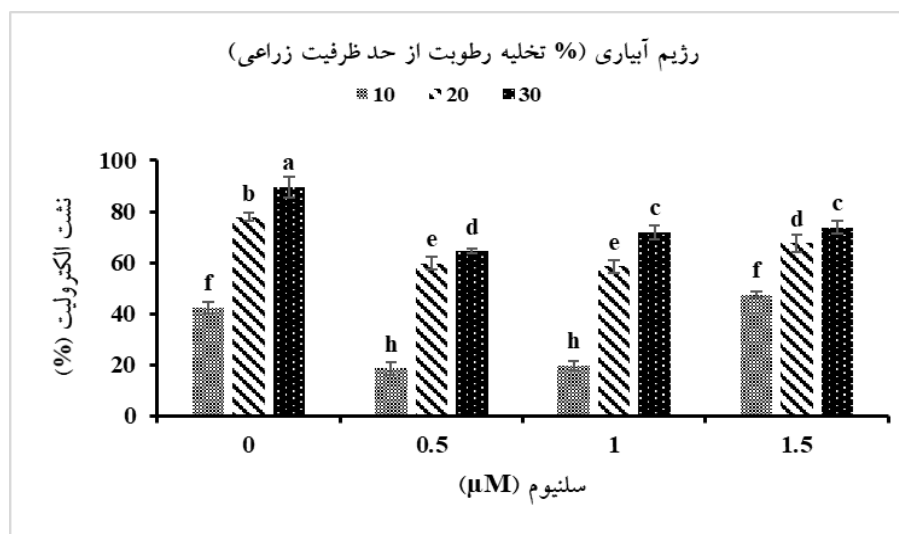
شکل ۱- اثر متقابل رژیم آبیاری و سلیوم بر محتوای نسبی آب برگ گل سلوی زیتی

به دنبال داشت. اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول پاشی سلیوم نشان داد که تیمار تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث افزایش نشت یونی (۱۱۰/۸ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد شد همچنین تیمار ۰/۵ میکرومولار سلیوم در تخلیه ۱۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی نیز کاهش ۵۶/۴ درصدی نشت یونی در مقایسه با تیمار شاهد را نشان داد (شکل ۲).

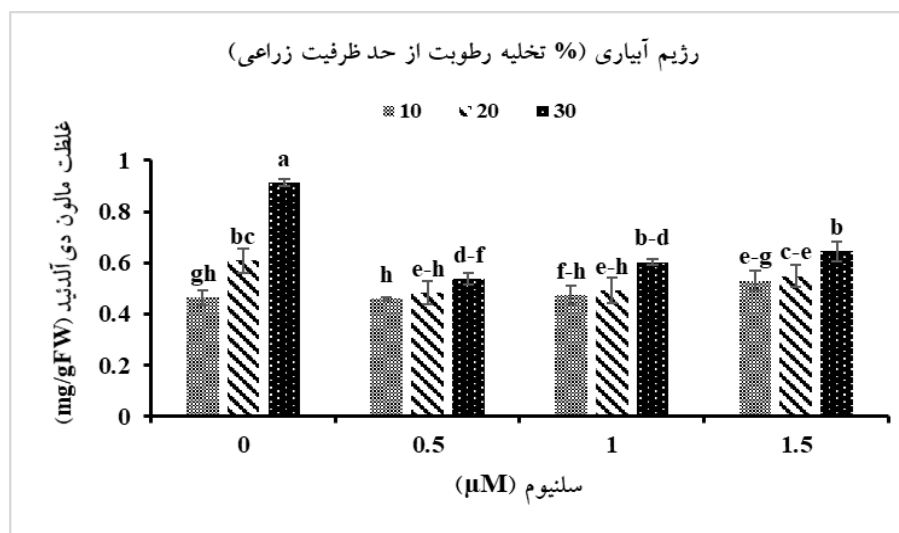
غلظت مالون دی آلدئید: نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد، اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و سلیوم بر غلظت مالون دی آلدئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است

سلیوم نیز بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۰/۸ درصد بیش تر از شاهد) را نشان داد. با افزایش غلظت سلیوم، محتوای نسبی آب برگ اندکی کاهش پیدا کرد هر چند اختلاف معنی داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۱).

نشت الکترولیت (نشت یونی): نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد، اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و سلیوم بر نشت یونی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول ۴). مقایسه میانگین ها داده ها نشان داد با کاهش رطوبت خاک، نشت یونی افزایش پیدا کرد و استفاده از سلیوم باعث کاهش نشت یونی شد، هر چند در غلظت بالا افزایش نشت یونی را



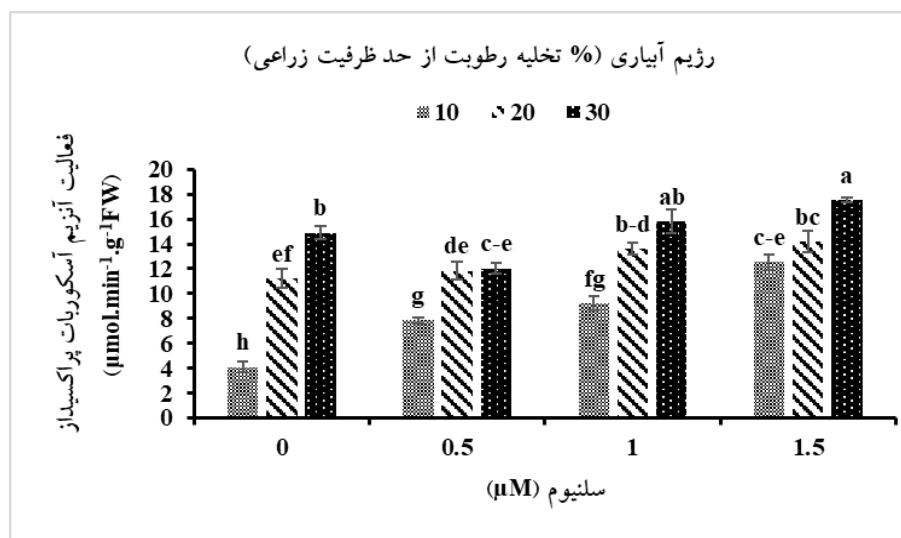
شکل ۲- اثر متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم بر نشت الکترولیت گل سلوی زیتی



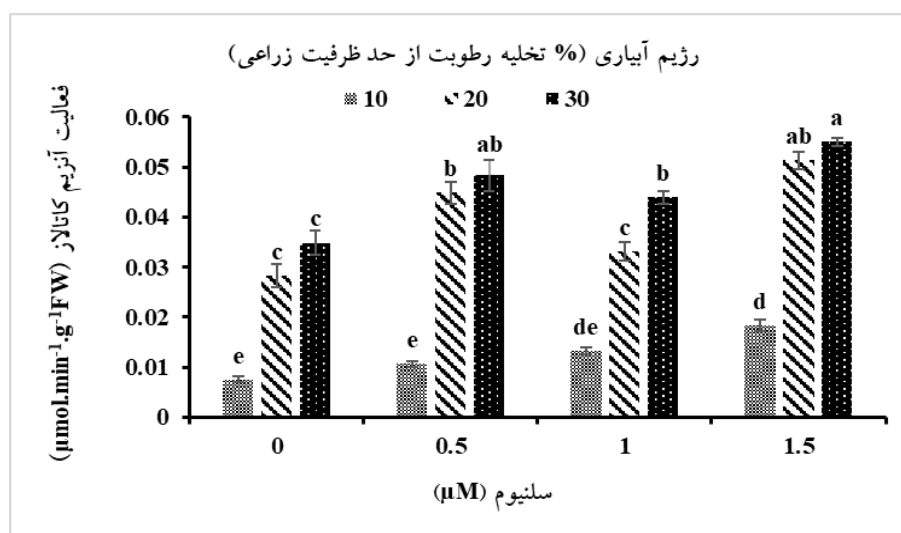
شکل ۳- اثر متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم بر غلظت مالون دی آلدئید گل سلوی زیتی

آنزیم های آنتی اکسیدانی، فعالیت آسکوربات پراکسیداز: نتایج جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول ۴). مقایسه میانگین داده ها نشان داد کمبود رطوبت خاک باعث افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شد، همچنین کاربرد سلینیوم نیز باعث افزایش فعالیت این آنزیم شد به طوری که بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی در غلظت ۱/۵ میکرومولار سلینیوم با ۶۲/۴ درصد افزایش در مقایسه با تیمار

(جدول ۴). مقایسه میانگین داده ها نشان داد غلظت مالون دی آلدئید الگویی مشابه نشت یونی داشته و با کاهش رطوبت خاک مقدار آن افزایش پیدا کرد و کاربرد سلینیوم باعث کاهش غلظت این شاخص شد. تیمار تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی بدون سلینیوم و تخلیه ۱۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی با ۰/۵ میکرومولار سلینیوم به ترتیب باعث افزایش (۹۷/۸ درصد) و کاهش (۲/۱ درصد) غلظت مالون دی آلدئید در مقایسه با تیمار شاهد شدند. همچنین با افزایش غلظت سلینیوم مقدار مالون دی آلدئید نیز بیش تر شد (شکل ۳).



شکل ۴- اثر متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گل سلوی زیتنی



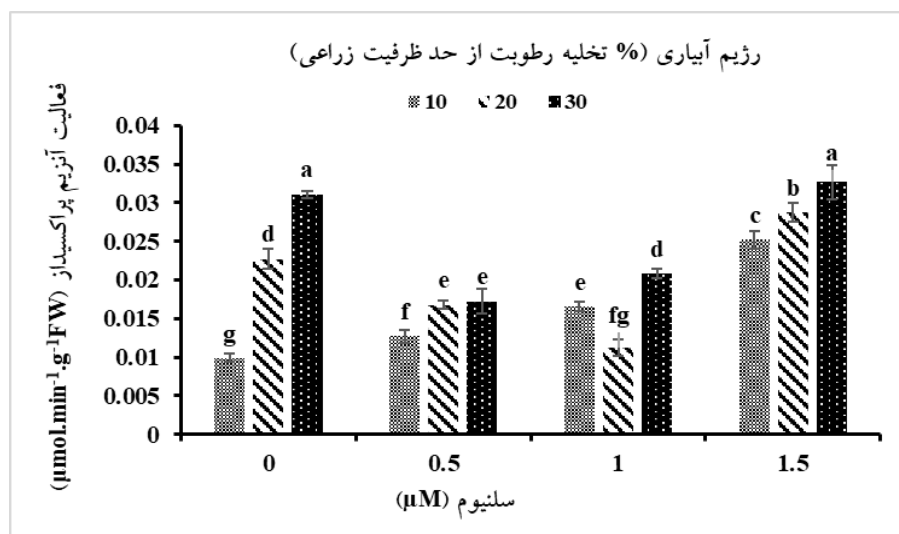
شکل ۵- اثر متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم بر فعالیت آنزیم کاتالاز گل سلوی زیتنی

۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی با غلظت ۱/۵ میکرومولار سلینیوم (۶۱/۴ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۵).

فعالیت پراکسیداز: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده نشان داد کمبود رطوبت خاک باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد و بیش‌ترین میزان فعالیت آن نسبت به تیمار شاهد در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد

شاهد به‌دست آمد و کم‌ترین میزان فعالیت آن نیز در تیمار شاهد ثبت شد (شکل ۴).

فعالیت کاتالاز: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برگ‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۴). فعالیت آنزیم کاتالاز نیز مشابه آسکوربات پراکسیداز عمل کرد و در تیمارهای رژیم آبیاری و سلینیوم به-صورت جداگانه و با هم افزایش نشان داد به‌طوری‌که کم‌ترین میزان فعالیت در تیمار شاهد (۰/۰۰۷۵ میکرومول بر گرم وزن تر در دقیقه) و بیش‌ترین میزان فعالیت آن نیز در تیمار تخلیه



شکل ۶- اثر متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز گل سلوی زیتی

نتیجه آن افزایش در عملکرد گیاهان از طریق حفاظت از کلروفیل خواهد بود (Ramos *et al.*, 2010). نتایج این پژوهش نشان داد که گونه های سلوی زیتی در مقابله با کمبود رطوبت خاک و غلظت بالای سلینیوم دارای چندین روش سازگاری (پژمردگی، ریزش برگ های بزرگ مسن و جایگزین شدن آنها با برگ های کوچک تر با مقاومت روزنه ای بیش تر و هم پوشانی بیشتر برگ ها جهت کاهش جذب نور)، طول گل آذین، تعداد گلچه و دوره گلدهی. تنش کم آبی روی سلوی زیتی باعث کاهش پتانسیل آب برگ، پتانسیل تورگر، تعداد عناصر آوندی، فتوسنتز، تنفس و هدایت روزنه ای می شود که در نتیجه باعث کاهش رشدونمو گیاه می شود (Burnett *et al.*, 2005; Joseph *et al.*, 1991b). نتایج Van Iersel و Nemali (۲۰۰۴) نیز نشان داد که تنش کم آبی در گل جعفری می تواند باعث کاهش پارامترهای رشدی از جمله وزن خشک شاخساره، سطح برگ، تعداد برگ و ارتفاع گیاه شود هر چند در بین این پارامترها، ارتفاع گیاه کمترین حساسیت را به کاهش رطوبت خاک در محیط ریشه نشان داد. در پژوهش حاضر نتایج نشان داد که تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث افزایش دوره گلدهی شد. کاربرد سلینیوم در غلظت پایین باعث افزایش دوره گلدهی شد اما در غلظت های بالا تأثیر منفی را به همراه داشت. هر چند اثرات متقابل رژیم آبیاری و سلینیوم معنی دار

گلدهی می شود. کاهش در ارتفاع، سطح برگ و طول گل آذین قبلاً توسط پژوهش گران برای سلوی زیتی تحت شرایط تنش کم آبی گزارش شده است (Burnett *et al.*, 2005; Joseph *et al.*, 1991b). نتایج پژوهش نشان داد رژیم آبیاری سطح برگ را در گیاه سلوی زیتی کاهش داده است. کاهش سطح برگ را می توان در نتیجه کاهش سرعت گسترش سلول ها و یا کاهش سرعت تقسیم سلولی به علت کم شدن آماس سلولی بیان نمود که در پاسخ به تنش کم آبی می تواند منجر به کاهش تعرق و افزایش تحمل گیاهان به تنش کم آبی شود (Volkmar *et al.*, 1998). تحقیقات نشان می دهد سلینیوم می تواند در غلظت های مناسب تحمل گیاهان مختلف به تنش کم آبی را افزایش دهد (Xue *et al.*, 2001; Djanaguiraman *et al.*, 2005; Hartikainen *et al.*, 2000). در پژوهش حاضر، احتمالاً افزایش سطح برگ به دلیل تأخیر در ریزش برگ های مسن (که از برگ های جدید بزرگ تر هستند)، و جلوگیری از رشدونمو برگ های جدید به وسیله سلینیوم باشد. همچنین تحقیقات نشان داده است سلینیوم با افزایش جذب پتاسیم از طریق اکسین می تواند باعث طول شدن سلول و ایجاد پتانسیل اسمزی لازم برای جذب آب و در نتیجه ایجاد فشار تورگر داخل سلولی شود که گسترش سلول را به دنبال دارد (Elumalai *et al.*, 2002). افزایش غلظت سلینیوم تا مقدار مشخصی باعث افزایش قابل توجه محتوای سلینیوم در محصولات مختلف می شود که

نشده بود. سلنیوم با افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی از پیری گل جلوگیری می کند (Tognon et al., 2016; Djanaguiraman et al., 2010). نتایج مولکولی بررسی تجمع سلنیوم در گیاه *Stanleya pinnata* نشان می دهد سلنیوم باعث بیان ژن های درگیر در مسیر اسیمیلایسیون گوگرد، فعالیت های آنتی اکسیدانی و ژن های دفاعی مسیر جاسمونیک اسید و اسید سالیسیلیک می شود (Diao et al., 2014). تحقیقات روی گوجه فرنگی نشان داد سلنیوم با مهار ژن های بیوسنتزی اتیلن (۱- آمینوسیکلوپروپان ۱ کربوکسیلیک اسید (ACC) سنتاز و ACC اکسیداز) و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی، تولید اتیلن و سرعت تنفس را کاهش داد و باعث تأخیر در رسیدن میوه و افزایش طول عمر آن شد (Zhu et al., 2017). با این حال مکانیسم عمل تحمل و یا مقاومت به تنش مربوط به سلنیوم هنوز هم به طور کامل شناسایی نشده است اما مکانیسم های مختلفی در آن دخالت دارند (Diao et al., 2014).

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی: محتوای نسبی آب معیار مناسبی برای بررسی وضعیت آبی گیاه است (Fu et al., 2004). نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش تخلیه رطوبت از حد ظرفیت زراعی، محتوای نسبی آب برگ کاهش پیدا می کند. کاربرد سلنیوم در شرایط کمبود رطوبت خاک باعث افزایش محتوای نسبی آب نسبت به تیمار شاهد شد هر چند با افزایش غلظت تأثیر به نسبت کمتری را به همراه داشت. با این وجود، کاربرد سلنیوم در این آزمایش نسبت به دیگر شاخص ها تأثیر کمتری روی محتوای نسبی آب برگ ایجاد کرد. بررسی ها نشان می دهد سلنیوم می تواند باعث بهبود روابط آبی گیاهان از طریق جذب فعال آب (نه کاهش تبخیر و تعرق) شده و عملکرد را افزایش دهد (Nawaz et al., 2014).

نشت الکترولیت پارامتری مناسب جهت نمایش ثبات غشاء و بیان مقدار نسبی یون ها در فضای آپوپلاست است (Kaya et al., 2001). در پژوهش حاضر تخلیه رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث افزایش نشت یونی در گیاهان شد و کاربرد سلنیوم نشت الکترولیت برگ ها را کاهش داد اما با افزایش غلظت سلنیوم، نشت یونی نیز افزایش پیدا کرد. سلنیوم در

غلظت های پایین به دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی باعث کاهش نشت یونی می شود اما در غلظت های بالا به عنوان اکسیدانت عمل کرده و افزایش نشت یونی را به دنبال دارد (Hartikainen et al., 2000). اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسید می شوند از آنجایی که غشاء سلولی یک غشاء فسفولیپیدی است واکنش اکسیژن با آن سبب تخریب غشاء سلولی و ترشح الکترولیت ها به بیرون سلول می شود. سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی سبب پاک سازی گونه های اکسیژن فعال و در نتیجه کاهش اکسیداسیون چربی های غشاء سلولی می شود (Hartikainen et al., 2000). نتایج خادمی آستانه و همکاران بر روی کلم تکمه ای (۱۳۹۳) نشان داد با افزایش سطوح سلنیوم (صفر تا ۸ میلی گرم در لیتر) در محلول غذایی، غلظت سلنیوم در بافت های مختلف (برگ های پیر< برگ های جوان< جوانه ها) افزایش می یابد که در غلظت های کم بر رشد و عملکرد تأثیر مثبتی دارد اما با افزایش غلظت عملکرد کاهش و نشت الکترولیت افزایش پیدا می کند.

تنش خشکی سرعت فتوسنتز، محتوای نسبی آب، پتانسیل آب و هدایت روزنه ای برگ را تغییر می دهد. در نهایت نفوذپذیری غشاء و ساختار و عملکرد پروتئین را بی ثبات کرده و منجر به مرگ سلول ها می شود (Asada, 1999). تحمل خشکی و شوری در گیاهان ممکن است بوسیله سازش های کاربردی و ساختاری مختلفی از جمله تنظیمات رشدی، تنظیم اسمزی، هدایت روزنه ای، تغییرات در کشش دیواره سلولی، تعادل هورمونی و مواد معدنی صورت گیرد که به کاهش اثرات زیانبار این تنش ها کمک می کند (Alvarez and Sanchez-Blanco, 2015). اثر تحریک کنندگی سلنیوم بر رشد گیاهان بیش تر به کاهش پراکسیداسیون لیپید، پراکسید هیدروژن، رادیکال سوپراکسید و افزایش کلروفیل a و b و کلروفیل کل بر می گردد (Djanaguiraman et al., 2005). سلنیوم در سطوح زیاد می تواند باعث اختلالات متابولیکی شود. در حقیقت سلنیوم می تواند جایگزین گوگرد شده و آمینو اسیدهای سلنیومی را وارد پروتئین ها کند. تشکیل آمینو اسیدهای پروتئینی

باعث افزایش تولید اتیلن شده که می تواند اجزاء غشاء لیپیدی را تغییر و نفوذپذیری غشاء را افزایش دهد و در نتیجه باعث افزایش نشت یون پتاسیم شود. بنابراین می توان فرض کرد که غلظت بالای سلنیوم نشت پتاسیم را افزایش داده و برای حفظ تعادل فشار اسمزی بالا، آب زیادی را در فضای بین سلولی نگه می دارد (Xue et al., 2001).

نتایج پژوهش نشان داد که تخلیه ۲۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی باعث افزایش میزان کلروفیل شد اما در تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی کاهش یافت. کاربرد سلنیوم در غلظت های کم باعث افزایش محتوای کلروفیل شد اما با افزایش غلظت از مقدار آن کاسته شد. سلنیوم در غلظت کم با محافظت از آنزیم های کلروپلاستی (Pennanen et al., 2002) و افزایش جذب آهن و منیزیم (Kopsell et al., 2007) باعث افزایش بیوستتزر رنگدانه های فتوسنتزی می شود. اما با افزایش غلظت، آنزیم های بیوستتزرکننده کلروفیل (مانند پورفوبیلینوژن سنتاز) را مهار کرده و با گروه سولفیدریل موجود در آنزیم های ۵-آمینولولینیک اسید دهیدراتاز و پورفوبیلینوژن دامیناز واکنش می دهد و از این طریق تأثیر منفی بر سنتز کلروفیل می گذارد (Hawrylak et al., 2007). تحقیقات نشان می دهد سطوح بالای سلنیوم تأثیری بر فتوسیستم II نداشته و از مسیر دیگری باعث کاهش میزان فتوستتزر می شود اما غلظت های پایین سلنیوم راندمان فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش می دهد (Germ et al., 2007). به احتمال زیاد جایگزینی سلنیوم به جای منیزیم موجود در ساختار کلروفیل نیز از دیگر مکانیزم های آسیب به ساختار کلروفیل باشد (Hawrylak et al., 2007). کاهش کلروفیل تحت شرایط تنش کم آبی می تواند یک جنبه سازگاری و مفید داشته باشد. زیرا با کاهش مقدار کلروفیل انرژی خورشیدی جذب شده کاهش یافته و به دنبال آن، خسارت های ناشی از تشکیل رادیکال های آزاد اکسیژن کاهش می یابد (Yao et al., 2009). در گیاهانی که تحت تنش های مختلف از جمله کم آبی قرار گرفته اند کارتنوئیدها علاوه بر خواص آنتی اکسیدانی در خاموش کردن الکترون های مازاد در طی فتوستتزر مؤثر بوده و

موجب کاهش آسیب های ناشی از الکترون های پر انرژی می شوند (Muller and Niyogi, 2001). در برخی از گیاهان، تیمار سلنیوم از طریق افزایش فعالیت زنجیره انتقال الکترون رشد گیاه را افزایش می دهد. فعالیت بیش تر زنجیره انتقال الکترون منجر به افزایش پتانسیل تنفسی گیاه و نیز فعالیت بیش تر آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز وابسته به سلنیوم میتوکندریایی می شود که رشد گیاه را به دنبال دارد (Ozolt et al., 2008).

گیاهان برای حفاظت از خودشان در برابر گونه های فعال اکسیژن دارای سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی هستند. به طوری که واکنش هم زمان برخی آنزیم ها از جمله سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز/ پراکسیداز برای غریبال گونه های فعال اکسیژن ضروری است. سوپراکسید دیسموتاز رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل کرده سپس کاتالاز، آسکورات پراکسیداز، پراکسیداز و گلوکاتایون پراکسیداز، پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل می کنند (Djanaguiraman et al., 2010). فعالیت بالای آنزیم های آنتی اکسیدان و نقش هماهنگ آن ها، به عنوان بخشی از مکانیسم کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و تأخیر در پیری، بسیاری از محصولات باغبانی است. مطابق نتایج Djanaguiraman و همکاران (۲۰۱۰) بر روی سورگوم و Hartikainen و همکاران (۲۰۰۰) روی ری گراس، نتایج این تحقیق نیز نشان داد سلنیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکورات پراکسیداز می شود هر چند فعالیت آنزیم پراکسیداز در غلظت های کم کاهش یافت اما با افزایش غلظت روند صعودی نشان داد. افزایش فعالیت کاتالاز نسبت به دیگر آنزیم ها از جمله پراکسیداز به احتمال زیاد به دلیل توانایی بالای آن در حذف مولکول های پراکسید هیدروژن باشد پس در نتیجه باعث کاهش غلظت پراکسید هیدروژن سیتوزولی و خسارت وارده به سلول می شود (Djanaguiraman et al., 2010; 2005). با این وجود در برخی موارد ممکن است به واسطه فعالیت کم فتوستتزی برای کاهش تولید گونه های فعال اکسیژن از طریق کلروپلاست ها، سیستم آنزیمی (آنزیم های کاتالاز، آسکورات

پراکسیداز و پراکسیداز) نسبت به تنش‌های محیطی فعالیت یا حساسیت کمتری داشته باشد (Apel and Hirt, 2004). همچنین نتایج نشان داده است که سلنیوم در غلظت بالا به دلیل خاصیت اکسیدکنندگی (با مصرف گروه‌های تیول)، باعث افزایش فعالیت دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Djanaguiraman et al., 2005; Hartikainen et al., 2000).

نتیجه‌گیری

اطلاعات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بدست آمده از این مطالعه، نشان می‌دهد که گیاه سلوی زیتنی به کم‌آبی بسیار حساس است. هر چند گیاهان سلوی زیتنی به دلیل طبیعت چندساله بودن در تنش شدید نیز رشد رویشی خود را حفظ

منابع

خادمی آستانه، ر.، طباطبایی، س. ج. و بلندنظر، ص. ع. (۱۳۹۳) تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی کلم تکمه‌ای (*Brassica oleracea* var. *Gemmifera*). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۸: ۵۴۳-۵۳۵.

قاسمی قهساره، م. و کافی، م. (۱۳۹۱) گلکاری. جلد ۱، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

محمدنیا، ر.، رضایی‌نژاد، ع. و بهرامی‌نژاد، ص. (۱۳۹۷) تأثیر دور آبیاری و کاربرد سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). علوم باغبانی ایران ۴۹: ۳۷-۴۵.

Alvarez, S., Gomez-Bellota, M. J., Acosta-Motosc, J. R. and Sanchez-Blanco, M. J. (2019) Application of deficit irrigation in *phillyrea angustifolia* for landscaping purposes. *Agricultural Water Management* 218: 193-202.

Alvarez, S. and Sanchez-Blanco, M. J. (2015) Comparison of individual and combined effects of salinity and deficit irrigation on physiological, nutritional and ornamental aspects of tolerance in *callistemon laevis* plants. *Journal of Plant Physiology* 185: 65-74.

Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55: 373-399.

Asada, K. (1999) The water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annual Review, Plant Physiology Plant Molecule Biology* 50: 601-639.

Burnett, S. E., Pennisi, S. V., Thomas, P. A. and Van Iersel, M. W. (2005) Controlled drought affects morphology and anatomy of *salvia splendens*. *Journal American Society Horticultur Science* 130: 775-781.

Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) [136] Assay of catalase and peroxidase. In: *Methods in Enzymology* (eds. Colowick, S. P. and Kaplan, N. D.) Pp. 764-775. Academic Press, New York.

Diao, M., Ma, L., Wang, J., Cui, J., Fu, A. and Liu, H. Y. (2014) Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. *Journal of Plant Growth Regulation* 33: 671-682.

Djanaguiraman, M., Durga Devi, D., Shanker, A. K., Annie Sheeba, J. and Bangarusamy, U. (2005) Selenium – an antioxidative protectant in *soybean* during senescence. *Plant and Soil* 272: 77-86.

Djanaguiraman, M., Prasad, P. V. V. and Seppanen, M. (2010) Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 999-1007.

Elumalai, R. P., Nagpal, P. and Reed, J. W. (2002) A mutation in the *arabidopsis* KT2/KUP2 potassium transporter gene affects shoot cell expansion. *The Plant Cell* 14: 119-131.

- Feng, R., Wei, C. and Tu, S. (2013) The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany* 87: 58-68.
- Fernandez-Lizarazo, J. C. and Moreno-Fonseca, L. P. (2016) Mechanisms for tolerance to water-deficit stress in plants inoculated with *arbuscular mycorrhizal* fungi. A review. *Agronomia Colombiana* 34: 179-189.
- Fu, J., Fry, J. and Huang, B. (2004) Minimum water requirements of four turf grasses in the transition zone. *Horticultural Science* 39: 1740-1744.
- Germ, M., Stibilj, V. and Kreft, I. (2007) Metabolic importance of selenium for plants. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1: 91-97.
- Hartikainen, H., Xue, T. and Piironen, V. (2000) Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant and Soil* 225: 193-200.
- Hawrylak, B., Matraszek, R. and Szynanska, M. (2007) Response of lettuce (*lactuca sativa* L.) to selenium in nutrient solution contaminated with nickel. *Vegetable Crops Research Bulletin* 67: 63-70.
- Jedrzejuk, A., Lukaszewska, A. and Pacholczak, A. (2016) Effects of CaCl_2 solutions to alleviate drought stress effects in potted ornamentals *salvia splendens* and *ageratum houstonianu*. *Acta Agrobot* 69: 1686.
- Joseph, E. D., Wright, R. D. and Seiler, J. R. (1991a) Water relations of *salvia splendens* 'bonfire' as influenced by potassium nutrition and moisture stress conditioning. *Journal American Society Horticultur SCI* 116: 712-715.
- Joseph, E. D., Wright, R. D. and Seiler, J. R. (1991b) Moisture stress conditioning effects on *salvia splendens* 'bonfire'. *Journal American Society Horticultur SCI* 116: 716-719.
- Kaya, C., Higgs, D. and Krinak, H. (2001) The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Journal of Plant Physiology* 27: 47-59.
- Kong, L., Wang, M. and Bi, D. (2005) Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation* 45: 155-163.
- Kopsell, D. A., Sams, C. E., Charron, C. S., Randle, W. M., Kopsell, D. E. and Kale, W. M. (2007) Carotenoids remain stable while glucosinolates and flavor compounds respond to changes in selenium and sulfur fertility. *Acta Horticulture* 744: 303-310.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembrane. *Methods of Enzymology* 148: 350.
- Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78: 389-398.
- Mac Adam, J. W., Nelson, C. J. and Sharp, R. E. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology* 99: 872-878.
- Muller, P. and Niyogi, K. (2001) Nonphotochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant Physiology* 125: 1558-1566.
- Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867-880.
- Nawaz, F., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., Waraich, E. A. and Shabbir, R. N. (2014) Selenium (Se) regulates seedling growth in wheat under drought stress. *Advances in Chemistry* 2014: 1-7.
- Niu, G., Rodriguez, D. S. and Wang, Y. T. (2006) Impact of drought and temperature on growth and leaf gas exchange of six bedding plant species under greenhouse conditions. *Hort Science* 41: 1408-1411.
- Ozbolt, L., Kreft, S., Kreft, I., Germ, M. and Stibilj, V. (2008) Distribution of selenium and phenolics in buckwheat plants grown from seeds soaked in Se solution and under different levels of UV-B radiation. *Food Chemistry* 110: 691-696.
- Pennanen, A., Xue, T., Hartikainen, H. and Xue, T. L. (2002) Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. *Journal of Applied Botany* 76: 66-76.
- Ramos, S. J., Faguin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Avila, F. W., Carvalho, G. S., Bastos, C. E. A. and Oliveira, C. (2010) Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant and Soil Environment* 12: 584-588.
- Ritchie, S. W. and Nguyen, H. T. (1990) Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30: 105-111.
- Tognon, G. B., Sanmartin, C., Alcolea, V., Cuque, F. L. and Goicoechea, N. (2016) Mycorrhizal inoculation and/or selenium application affect postharvest performance of snapdragon flowers. *Plant Growth Regulation* 78: 389-400.
- Van Iersel, M. W. and Nemali, K. S. (2004) Drought stress can produce small but not compact marigolds. *Horticultural Science* 39: 1298-1301.
- Volkmar, K., Hu, Y. and Steppuhn, H. (1998) Physiological responses of plants to salinity: A review. *Canadian Journal of Plant Science* 78: 19-27.
- Wang, F., Z, B., Sun, Z. and Zhu, C. (2009) Relationship between proline and Hg_2^+ -induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 56: 723-731.

- Xue, T., Hartikainen, H. and Piironen, V. (2001) Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil* 237: 55-61.
- Yao, X., Chu, J. and Wang, G. (2009) Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biology Trace Elem Research* 130: 283-290.
- Zhu, Z., Chen, Y., Shi, G. and Zhang, X. (2017) Selenium delays tomato fruit ripening by inhibiting ethylene biosynthesis and enhancing the antioxidant defense system. *Food Chemistry* 219: 179-184.

Investigation of the effect of selenium foliar application on morphophysiological and biochemical characteristics of ornamental salvia under irrigation regime

Farhad Beiramvand, Bahman Zahedi*, Abdolhossein Rezaei Nejad

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

(Received: 10/04/2021, Accepted: 11/10/2021)

Abstract

Due to climate changes, deficiency of water resources and the importance of the cultivation of ornamental plants in green space, in order to better water management and increased tolerance to water deficit-stress, the present experiment was designed to investigate the effect of selenium foliar application on reducing the negative effects of irrigation regime on some morphophysiological and biochemical characteristics of scarlet sage. Factorial experiment based on completely randomized design with three levels of irrigation regimes (discharge after 10 (water control), 20 and 30 percent moisture of field capacity) and four levels of sodium selenate (0, 0.5, 1 and 1.5 μM) were performed in greenhouse conditions. The experimental results showed that the irrigation regime levels of 20 and 30 percent decreased plant height, leaf area, and relative leaf water content and increased electrolyte leakage and malondialdehyde concentration. Application of selenium at concentrations of 0.5 and 1 μM increased the activity of antioxidant enzymes such as catalase, ascorbate peroxidase, peroxidase and the relative content of leaf water and the concentration of photosynthetic pigments and decreased the concentration of malondialdehyde and ion leakage. However, selenium at a concentration of 1.5 μM had a negative effect on the mentioned characteristics. In general, the results showed that deficiency of water has a negative effect on the growth and development of ornamental salvia plants. Selenium in different conditions of irrigation regime at low concentrations improved the vegetative and reproductive growth of ornamental salvia plants, but at higher concentrations had a negative effect on these parameters.

Keywords: Ascorbate peroxidase, Flowering period, Garden plants, Irrigation regime, Relative water content, Selenium