



Application of Selenium and Iodine on Vegetative Traits, Yield and Nutritional Properties of Spinach (*Spinacia oleracea* Linn)

Amirali Eslamiparvar¹, Mehdi Hosseinifarahi^{2*}, Sedigheh Amiri³, Mohsen Radi⁴

¹ PhD student, Department of Horticultural Science, Yas. C., Islamic Azad University, Yasuj, Iran

² Associate Professor, Department of Horticultural Science, Yas. C., Islamic Azad University, Yasuj, Iran

³ Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Yas. C., Islamic Azad University, Yasuj, Iran

³ Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Yas. C., Islamic Azad University, Yasuj, Iran

* Corresponding Author's Email: maghsoodi@uk.ac.ir

(Received: March. 27, 2025 – Accepted: May. 17, 2025)

ABSTRACT

Objective: Spinach (*Spinacia oleracea* Linn) is a plant belonged to cruciferous vegetables. Spinach can be widely used raw (salads), in processed foods, or as an ingredient in vegetable and meat dishes. This plant is a good source of vitamins B, K, C, and A, folic acid, minerals such as manganese, magnesium, iron, potassium, calcium, and selenium, as well as dietary fiber.

Material and methods: In order to investigate the effect of foliar application of iodine and selenium on the yield and biofortification of spinach, an experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in Dehdasht city. The experimental factors included control (no foliar application), combined treatments of selenium and iodine at selenium concentrations of 1, 2.5, and 5 mg/L, and iodine at concentrations of 1 and 5 mg/L.

Results: The results of this study showed that enrichment with selenium and iodine 5 mg/L increased plant height (by 19%), leaf area index (by 47%), petiole length (by 20.3 cm), leaf length (by 16.5 cm), leaf diameter (by 11.6 cm), selenium content (by 63.57 ng/g), iodine (13.69 ng/g) and enrichment with selenium 2.5 and iodine 1 mg/L increased the number of leaves (by 20 per plant) and yield (by 60.07 tons) compared to unsprayed plants.

Conclusion: The results clearly show that enrichment of spinach with selenium and iodine led to a significant increase in plant growth parameters. This improvement in growth parameters is of great importance as it contributes to the overall vigor and health of the plant, which can lead to increased yield and better quality. From a consumer perspective, these fortified spinach leaves can be very useful and practical as an additional source of iodine and selenium.

Keywords: Phytochemicals, Biofortification, Yield, Quality, Thyroid

Cite this article: Esmailiparvar, A., Hosseinifarahi, M., Amiri, S. Radi., M. 2025. Application of Selenium and Iodine on Vegetative Traits, Yield and Nutritional Properties of Spinach (*Spinacia oleracea* Linn). *Journal of Sustainable Agricultural Science Research*, 5 (1), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.368420.2866>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.368420.2866>

Publisher: Islamic Azad University of Kerman Branch Press.

کاربرد سلیوم و ید بر صفات رویشی، عملکرد و خصوصیات تغذیه ای اسفناج (*Spinacia oleracea* Linn)

امیرعلی اسلامی پرور^۱، مهدی حسینی فرهی^{۲*}، صدیقه امیری^۳ و محسن رادی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: mehdi.hosseinfarahi@iau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۷)

چکیده

هدف: اسفناج (*Spinacia oleracea* Linn) گیاهی از خانواده تاج خروسیان است. اسفناج را می توان به طور گسترده به صورت خام (سالاد)، غذاهای فرآوری شده و یا به عنوان یک ماده در غذاهای سبزیجات و گوشت استفاده کرد. این گیاه منبع خوبی از ویتامینهای گروه ب، ک، ث و آ، فولیک اسید مواد معدنی همچون منگنز، منیزیم، آهن، پتاسیم کلسیم و سلیوم و همچنین فیبرهای خوراکی است.

مواد و روش ها: به منظور بررسی تاثیر محلول پاشی ید و سلیوم بر عملکرد و زیست غنی سازی اسفناج، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در شهر دهدشت انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل شاهد (بدون محلول پاشی)، تیمارهای ترکیبی سلیوم و ید در غلظت های سلیوم ۱، ۲/۵، ۵ میلی-گرم در لیتر و ید در غلظت های ۱ و ۵ میلی-گرم در لیتر بود.

یافته ها: نتایج این تحقیق نشان داد که غنی سازی با سلیوم و ید ۵ میلی-گرم در لیتر، باعث افزایش ارتفاع گیاه (به میزان ۱۹ درصد)، شاخص سطح برگ (به میزان ۴۷ درصد)، طول دم برگ (به میزان ۲۰/۳ سانتی متر)، طول برگ (به میزان ۱۶/۵ سانتی متر)، قطر برگ (به میزان ۱۱/۶ سانتی متر)، میزان سلیوم (۶۳/۵۷ نانوگرم/گرم)، میزان ید (۱۳/۶۹ نانوگرم/گرم) و غنی سازی با سلیوم ۲/۵ و ید ۱ میلی-گرم در لیتر باعث افزایش تعداد برگ (به میزان ۲۰ عدد در بوته) و میزان عملکرد (به میزان ۶۰/۰۷ تن) نسبت به گیاهان محلول پاشی نشده گردید.

نتیجه گیری: نتایج به وضوح نشان می دهند که غنی سازی گیاه اسفناج با سلیوم و ید منجر به افزایش قابل توجه پارامترهای رشد گیاه گردید. این بهبود در معیارهای رشد از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا به قدرت و سلامت کلی گیاه کمک می کند که می تواند به افزایش عملکرد و کیفیت بهتر منجر شود. از دیدگاه مصرف کننده، این برگ های اسفناج غنی شده می تواند به عنوان منبع اضافی ید و سلیوم بسیار مفید و کاربردی باشد.

واژه های کلیدی: ترکیبات فیتوشیمیایی، زیست غنی سازی، عملکرد، کیفیت، تیروئید.

استناد:

Esmailiparvar, A., Hosseinfarahi, M., Amiri, S. Radi., M. 2025. Application of Selenium and Iodine on Vegetative Traits, Yield and Nutritional Properties of Spinach (*Spinacia oleracea* Linn). *Journal of Sustainable Agricultural Science Research*, 5 (1), 1-17.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.368420.2866>



© The Author(s).

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.368420.2866>

مقدمه

سبزیجات برگ‌ری از جمله اسفناج منابع غنی بسیاری از مواد مغذی هستند و دسته اصلی از گروه‌های سبزیجاتی را تشکیل می‌دهند که به عنوان «معجزه ضد پیری طبیعی» با ارزش دارویی شناخته شده‌اند (Roughan & Miri, 2019). اسفناج یک گیاه خوراکی دارویی است که حاوی ویتامین‌ها، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (مانند فلاونوئیدها، اسید اسکوربیک) و عناصر ضروری (مانند آهن و سلنیوم) می‌باشد. اسفناج قادر است مقادیر زیادی سلنیوم را بیشتر در بافت‌های اندام هوایی و ریشه جمع کند (Dehkharghanian *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2004).

اسفناج با تولید بیش از ۲۶ میلیون تن در حدود ۹۲۱۰۰۰ هکتار در جهان یک محصول ارزشمند برای مصارف غذایی و دارویی است. چین با حدود ۲۵ میلیون تن تولید در آسیا پیش‌تاز بوده و ایران در سال ۲۰۱۶ در رتبه ششم تولید اسفناج جهان (۱۱۷۰۰۰ تن) قرار گرفت (FAO, 2018). ترکیبات فیتوشیمیایی و زیست‌فعال موجود در اسفناج می‌توانند گونه‌های فعال اکسیژن را از بین ببرند و از آسیب اکسیداتیو ماکرومولکولی جلوگیری کنند، بیان و فعالیت ژن‌های دخیل در متابولیسم، تکثیر، التهاب و دفاع آنتی‌اکسیدانی را تعدیل کنند و همچنین با القای ترشح هورمون‌های سیری، مصرف غذا را محدود کنند (Roberts & Moreau, 2016).

سلنیوم و یُد در همه جا وجود دارند و جزء عناصر ضروری برای پستانداران محسوب می‌شوند. کمبود هر دو عنصر در رژیم غذایی روزانه منجر به بروز بیماری‌ها و اختلالات سلامتی مختلف می‌شود. کمبود این عناصر می‌تواند منجر به مشکلات جدی سلامتی، از جمله اختلال در رشد و تکامل،

افزایش زوال شناختی و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌ها شود. در کشورهایی که میزان سلنیوم و یُد در خاک پایین است، زیست غنی‌سازی روشی امیدوارکننده برای افزایش سطح آن در گیاهان و در نتیجه در بدن انسان است (de Lima Gomes *et al.*, 2025; Pisarek *et al.*, 2022; Smoleń *et al.*, 2019).

یُد یکی از عناصر کمیاب ضروری برای عملکرد طبیعی بدن انسان است. این ماده عمدتاً از طریق غذا، نمک خوراکی و آب آشامیدنی به بدن می‌رسد. کمبود یُد همچنان یک مشکل جدی در کشورهای در حال توسعه است که خطر بیماری تیروئید را ایجاد می‌کند. به همین دلیل، بسیاری از کشورها پروفیلاکسی با یُد را انجام می‌دهند که به معنای وارد کردن یُد به رژیم غذایی از طریق نمک یُددار است. کمبود یُد در رژیم غذایی انسان و نیاز به جستجوی منابع جدید برای غنی‌سازی غذاها با این ماده مغذی، زمینه را برای انجام تحقیقاتی با هدف شناسایی مناسب‌ترین روش‌ها برای تقویت زیستی با یُد فراهم می‌کند (Voogt & Jackson, Krzepińko *et al.*, 2016; White & Broadley, 2009; 2010).

سلنیوم یک عنصر کمیاب و ضروری برای انسانها و گیاهان محسوب می‌شود که عملکردهای بیولوژیکی متعددی را ایفا می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد که سلنیوم اثرات مفید بسیاری بر بدن دارد و کمبود آن می‌تواند بر سلامت انسان به طرق مختلف (کاهش عملکرد سیستم ایمنی، افزایش احتمال عفونت ویروسی، کاهش باروری (به ویژه در مردان)، اختلال در عملکرد تیروئید، احتمال ایجاد آسم و فراهم آوردن شرایط التهابی) تأثیر بگذارد. سلنیوم همچنین نقش مهمی در پیشگیری از بیماری‌های قلبی عروقی دارد (Saffaryazdi *et al.*, 2012).

گیاهان سلنیوم را به فرم غیر آلی سلنیت و سلنات جذب می‌کنند. جذب سلنات یک فرآیند فعال در گیاهان است که از طریق انتقال دهنده های سولفات صورت می‌گیرد. در ابتدا اعتقاد بر این بود که جذب سلنیت یک فرآیند غیرفعال است، ولی بعداً ثابت گردید که جذب سلنیت یک فرآیند فعال است که از طریق انتقال دهنده های فسفات صورت می‌گیرد (Li *et al.*, 2008; Takahashi *et al.*, 2000). همچنین برخی پژوهشگران گزارش کرده اند که جذب سلنیت می‌تواند از طریق انتقال دهنده های سیلیکونی انجام شود. افزودن غلظت های بالای سلنیوم می‌تواند باعث اختلالات فیزیولوژیکی در گیاهان به دلیل اتصال سلنیوم به سیستمین و متیونین و در نتیجه وارد شدن سلنوسیتستین و سلنومتیونین به ساختار پروتئین ها شود (Terry *et al.*, 2000; Zhao *et al.*, 2010). گفته می‌شود که هر دو عنصر یُد و سلنیوم برای رشد و عملکرد مناسب اندام های گیاهی ضروری نیستند، اما در گروه عناصر مفید برای گیاهان قرار می‌گیرند (Medrano-Macías *et al.*, 2016; Smoleń *et al.*, 2019).

تاکنون تحقیقات متعددی برای غنی سازی گیاهان با این دو عنصر انجام شده است. در پژوهشی که با هدف زیست غنی سازی هویج با سلنیوم و یُد صورت گرفت، نتایج نشان داد که کاربرد یُد همراه با سلنیوم بر عملکرد هویج تأثیری نداشت، اما میزان هر دو عنصر در برگ و ریشه هویج زیاد شده بود به گونه ای که میزان یُد در ریشه ۷/۷ و میزان سلنیوم ۴/۹ برابر افزایش یافت. بنابراین مصرف ۱۰۰ گرم هویج غنی شده به طور قابل ملاحظه ای می‌تواند مقدار توصیه شده روزانه برای یُد و سلنیوم را پوشش دهد (Smoleń *et al.*, 2019). در آزمایشی دیگر که

با هدف بررسی اثر سلنیوم بر رشد، تجمع سلنیوم و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه اسفناج انجام گرفت، نتایج نشان داد که سلنیوم تا ۱ میلی-گرم در لیتر میزان کلروفیل *a* و کلروفیل *b* را به ترتیب ۸۷ و ۱۶۵ درصد افزایش داد، در حالی که سطوح بالاتر سلنیوم اثرات سمی دارد. کل ترکیبات فنلی برگ با افزایش سطح سلنیوم افزایش یافت. همچنین، میزان سلنیوم، سدیم و کلسیم افزایش و محتوای پتاسیم کاهش یافت. بیشترین مقدار سلنیوم در اندام هوایی (۳/۸۹ میلی-گرم در گرم در ماده خشک) و ریشه (۴/۲۷ میلی-گرم در گرم در ماده خشک) به دست آمد (Saffaryazdi *et al.*, 2012).

در مطالعه ای که با هدف زیست غنی سازی کلم قمری با سلنیوم و یُد انجام گرفت، نتایج نشان داد که تیمارهای حاوی سلنیوم بر میزان کلروفیل کل، محتوای کاروتنوئیدها و ابعاد روزنه برگ تأثیر مثبت گذاشت. افزودن یُد باعث افزایش آنتوسیانین شد و افزایش سلنیوم اثرات آنتاگونیستی بر تجمع یُد در برگ داشت. سطوح مشابه سلنیوم و یُد در برگ ها و غده ها نشان داد که انتقال هر دو عنصر در این گیاهان از طریق آوند آبکش از برگ ها به غده ها انجام می‌شود (Golob *et al.*, 2020). کرزیلیکو و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی غنی سازی گیاهچه تربچه و کاهو با یُد نتیجه گرفتند که گیاهچه های رشد یافته در حضور یُد پتاسیم دارای محتوای یُد بیشتری بودند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که مناسب ترین میزان غلظت زیست غنی سازی ۰/۰۷۵ و ۰/۱۵ میلی-گرم بود، زیرا نهال های غنی شده دارای پارامترهای کیفی بیولوژیکی مشابه شاهد بودند. تفاوت آماری معنی داری در پارامترهای مشخص کننده کیفیت نهال اغلب در بالاترین مقادیر یُد

طول رشد می‌تواند به طور موثری فاکتورهای رشد گیاه را بهبود بخشد. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی اثر محلول پاشی اسفناج با سلنیوم و یُد بر عملکرد، اجزای عملکرد و زیست غنی سازی با سلنیوم انجام شد.

مواد و روش ها

مواد گیاهی و مکان آزمایش

به منظور بررسی اثر سلنیوم و یُد بر خصوصیات کمی و زیست غنی سازی گیاه اسفناج رقم سیروس، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با هفت تیمار (جدول یک) و سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در شهر دهدشت با مشخصات جغرافیایی ۳۱ و ۲۷ درجه عرض شمالی و ۵۶ و ۵۰ درجه طول شرقی، ارتفاع ۷۳۰ متر، متوسط بارندگی درازمدت سالیانه ۵۱۲ میلی متر انجام شد. عملیات آماده سازی خاک شامل شخم و دیسک قبل از کاشت انجام شد. مشخصات خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول شماره ۱ آورده شده است. کاشت بذر با دست با تراکم کاشت ۱۴ بوته در مترمربع و فاصله ۱۵ سانتی متر بین بوته ها و ۵۰ سانتی متر بین ردیف ها صورت گرفت.

پتاسیم (۰.۳۷۵-۱.۵ میلی گرم) مشاهده شد (Krzepiřko et al., 2016).

با توجه به اهمیت کمبود سلنیوم و یُد و خطرات ناشی از کمبود آنها بر سلامتی، ارائه استراتژی های جایگزین برای تامین این عناصر، به ویژه در مناطقی که کمبود این ریزمغذی ها در خاک و بنابراین در محصولات غذایی وجود دارد، ضروری به نظر می رسد. زیست غنی سازی گیاهان یکی از استراتژی های موثر ارائه شده توسط محققین است که در سالهای اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور، سبزیجات برگدار کاندیداهای خوبی هستند، زیرا نشان داده شده است که سلنیوم/یُد به درستی در اندام های گیاهان با تعرق بالا تجمع می یابد. لاوسون و همکاران (Lawson et al., 2015) گزارش دادند که غنی سازی گیاه کاهو از طریق اسپری کردن محلول یُد بر برگ منجر به تجمع بیشتر یُد در کاهو نسبت به کاربرد خاکی می شود. علاوه بر این، جذب یُد در میوه های شلیل، آلو و گوجه فرنگی تنها پس از محلول پاشی به طور معنی داری افزایش یافت (Landini et al., 2011). اولیویرا و همکاران (Oliveira et al., 2018) محتوای سلنیوم و کاروتنوئیدهای اندام هوایی و ریشه هویج را به ترتیب با محلول پاشی سلنیت بهبود بخشیدند.

می توان گفت که اجرای روش های زراعی غنی سازی گیاهی (زیست غنی سازی) با عناصر معدنی مختلف نسبتاً مقرون به صرفه ترین و کارآمدترین روش برای مقابله با کمبود آنها در انسانها و حیوانات می باشد. در حال حاضر در مورد غنی سازی همزمان اسفناج با یُد و سلنیوم تحقیقات کمی صورت گرفته است. فرضیه ما در این پژوهش نشان می دهد که محلول پاشی برگ های اسفناج با یُد و سلنیوم در

جدول ۱- تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر

pH	EC (ds/m)	O.C (%)	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	N %	P (Av.) (mg/kg)	K (Av.) (mg/kg)	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cu ppm	I (mg/kg)	Se (mg/kg)
7.79	0.81	1.09	55.8	28	15.2	0.076	3.8	466	0.40	0.68	0.80	2.94	0.87	0.2

طرح آزمایشی و تیمارها

این آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (گیاهان محلول پاشی نشده)، سلنیوم در غلظت های ۱، ۲/۵ و ۵ میلی-گرم در لیتر از منبع سلنات سدیم و یُد در غلظت های ۱ و ۵ میلی-گرم در لیتر از منبع یدید پتاسیم بود. تیمارهای مورد استفاده در

آزمایش در جدول شماره ۲ آورده شده است. تیمارهای مورد بررسلیوم و یُد دو مرتبه در طول فصل رشد محلول پاشی گردیدند. عملیات داشت از قبیل آبیاری، مبارزه با علف های هرز، مبارزه با آفات و بیماری ها طبق شرایط استاندارد و عرف منطقه انجام گرفت. در پایان فصل رشد نسبت به برداشت محصول و اندازه گیری پارامترهای کمی و کیفی اقدام گردید.

جدول ۲- تیمارهای مورد استفاده در آزمایش

Abbreviation	Treatment
Control	Selenium 0 mg/L – Iodine 0 mg/L
Se 1 mg/l + I 1 mg/l	Selenium 1 mg/L – Iodine 1 mg/L
Se 2.5 mg/l + I 1 mg/l	Selenium 2.5 mg/L – Iodine 1 mg/L
Se 5 mg/l + I 1 mg/l	Selenium 5 mg/L – Iodine 1 mg/L
Se 1 mg/l + I 5 mg/l	Selenium 1 mg/L – Iodine 5 mg/L
Se 2.5 mg/l + I 5 mg/l	Selenium 2.5 mg/L – Iodine 5 mg/L
Se 5 mg/l + I 5 mg/l	Selenium 5 mg/L – Iodine 5 mg/L

اندازه گیری شاخص های زراعی

برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد در هنگام برداشت پنج بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات ارتفاع بوته، وزن تر بوته (گرم/گیاه)، وزن خشک بوته (گرم/گیاه)، ارتفاع گیاه (سانتی متر)، طول و عرض برگ (سانتی متر)، طول دمبرگ (سانتی متر) و مساحت برگ (سانتی مترمربع) اندازه گیری شدند. برای تعیین عملکرد، پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدای کرت و

نیم متر از انتهای کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای، بوته-های موجود برداشت شده و عملکرد گیاه بر حسب تن در هکتار تعیین گردید. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی (برحسب گرم در مترمربع) ابتدا پنج بوته از هر گیاه در هر کرت در پایان فصل رشد، انتخاب و پس از انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه اندام هوایی و ریشه‌ها جدا گردید و وزن تر با ترازوی دیجیتال اندازه گیری گردید. سپس اندام هوایی هر تیمار به طور جداگانه در آون با دمای ۷۰ درجه

سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و سپس وزن خشک با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد (Saeid Nezhad & Rezvani Moghaddam, 2010).

میزان سلنیوم برگ

برای اندازه‌گیری سلنیوم برگ ابتدا ۰/۲۵ گرم از بافت خشک شده با استفاده از روش مایکروویو با اسیدنیتریک (۸ میلی‌لیتر) و پراکسید هیدروژن (۲ میلی‌لیتر) در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد هضم شد تا عصاره بی‌رنگی تشکیل شود. محلول عصاره به دست آمده سپس با آب Milli-Q به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رقیق شد. غلظت سلنیوم کل با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت القایی (ICP-MS, Perkin Elmer, NexION®، ایالات متحده) با استفاده از کالیبراسیون خارجی و استانداردهای داخلی تعیین شد (Montes-Bayón et al., 2006).

تجزیه آماری

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) و ترسیم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

صفات رویشی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد ترکیبی سلنیوم و یُد بر پارامترهای کمی گیاه اسفناج تاثیر معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). بنابر نتایج، کاربرد ترکیبی سلنیوم و یُد باعث افزایش ارتفاع گیاه اسفناج

در مقایسه با گیاهان محلول پاشی نشده گردید. بیشترین میزان ارتفاع گیاه اسفناج به میزان ۳۸/۰۳ سانتی‌متر در گیاهان محلول پاشی شده با سلنیوم ۵ میلی‌گرم در لیتر و یُد ۵ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان عملکرد در گیاهان محلول پاشی نشده به میزان ۳۲/۲ سانتی‌متر مشاهده گردید. در این پژوهش کاربرد سلنیوم و یُد به میزان ۵ میلی‌گرم در لیتر میزان ارتفاع گیاه را ۱۹ درصد نسبت به گیاهان محلول پاشی نشده افزایش داد (شکل ۱).

میزان ماده خشک گیاه اسفناج تحت تاثیر محلول پاشی ترکیبی سلنیوم و یُد قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که، کاربرد ترکیبی سلنیوم و یُد باعث افزایش ماده خشک گیاه اسفناج در مقایسه با گیاهان محلول پاشی نشده شد. بیشترین میزان ماده خشک گیاه اسفناج به میزان ۹/۹۱ گرم در بوته در گیاهان محلول پاشی شده با سلنیوم ۱، ۲/۵، ۵ و یُد ۱ و ۵ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان ماده خشک به میزان ۷/۲ گرم در بوته در گیاهان محلول پاشی نشده مشاهده گردید (شکل ۲).

در رابطه با تعداد برگ گیاه نتایج نشان داد که تعداد برگ گیاه اسفناج تحت تاثیر محلول پاشی ترکیبی سلنیوم و یُد قرار گرفت به این ترتیب که که کاربرد ترکیبی سلنیوم و یُد در غلظت متوسط باعث افزایش تعداد برگ در گیاه اسفناج گردید. در این پژوهش غلظت‌های زیاد سلنیوم و یُد (غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر) باعث کاهش تعداد برگ گیاه اسفناج گردید. بیشترین تعداد برگ گیاه اسفناج به میزان ۲۰ عدد در بوته در گیاهان محلول پاشی شده با سلنیوم ۲/۵ و یُد ۱ میلی‌گرم در لیتر و کمترین تعداد برگ در بوته به تعداد ۱۷ عدد در بوته در گیاهان محلول پاشی نشده و گیاهان محلول پاشی شده با سلنیوم و یُد ۵

میلی-گرم در لیتر مشاهده گردید (شکل ۳). شاخص سطح برگ گیاه اسفناج تحت تاثیر محلول پاشی ترکیبی سلیوم و ید قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که، کاربرد ترکیبی سلیوم و ید باعث افزایش شاخص سطح برگ در گیاه اسفناج گردید. بیشترین شاخص سطح برگ در گیاه اسفناج به میزان ۱۸۶ سانتی متر مربع در بوته در گیاهان محلول پاشی شده با سلیوم ۵ و ید ۵ میلی-گرم در لیتر و کمترین شاخص سطح برگ در بوته به میزان ۱۲۷ سانتی مترمربع در بوته در گیاهان محلول پاشی نشده مشاهده گردید. در این پژوهش کاربرد سلیوم و ید به میزان ۵ میلی-گرم در لیتر میزان شاخص سطح برگ را به میزان ۴۷ درصد نسبت به گیاهان محلول پاشی نشده افزایش داد (شکل ۴).

طول دمبرگ همچنین تحت تاثیر محلول پاشی ترکیبی سلیوم و ید قرار گرفت. کاربرد ترکیبی سلیوم و ید باعث افزایش طول دمبرگ گیاه اسفناج گردید. با افزایش غلظت ید از ۱ به ۵ میلی-گرم در لیتر، میزان طول دمبرگ افزایش معنی داری نشان داد. بیشترین طول دمبرگ در گیاه اسفناج به میزان ۲۰/۳ سانتی متر در گیاهان محلول پاشی شده با سلیوم ۵ و ید ۵ میلی-گرم در لیتر و کمترین طول دمبرگ به میزان ۱۴/۶ سانتی متر در گیاهان محلول پاشی نشده مشاهده گردید (شکل ۵).

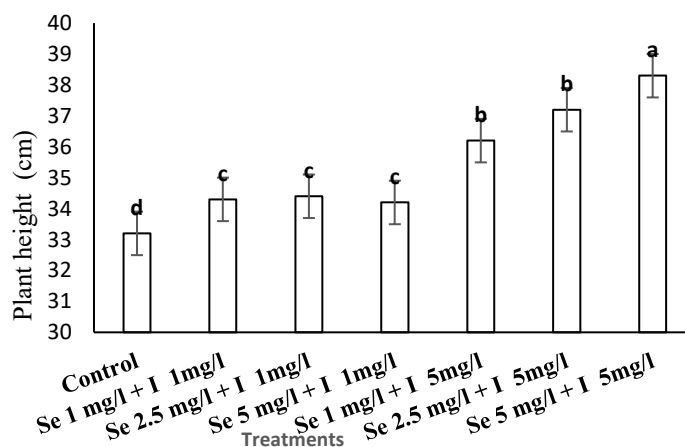
طول و قطر برگ اسفناج نیز تحت تاثیر محلول پاشی ترکیبی سلیوم و ید قرار گرفت به این ترتیب که کاربرد ترکیبی سلیوم و ید باعث افزایش طول و قطر برگ اسفناج گردید. با افزایش غلظت ید از ۱ به ۵ میلی-گرم در لیتر، طول برگ افزایش معنی داری را نشان داد. بیشترین طول برگ در گیاه اسفناج به میزان ۱۶/۵ سانتی متر در گیاهان محلول پاشی شده با

سلیوم ۱، ۲/۵ و ۵ و ید ۵ میلی-گرم در لیتر و کمترین طول برگ به میزان ۱۳ سانتی متر در گیاهان محلول پاشی نشده مشاهده گردید. همچنین بیشترین قطر برگ به میزان ۱۱/۶ سانتی متر در گیاهان محلول پاشی شده با سلیوم ۱ و ید ۵ میلی-گرم در لیتر و کمترین آن به میزان ۸/۵ سانتی متر در گیاهان محلول پاشی نشده مشاهده گردید (شکل های ۶ و ۷).

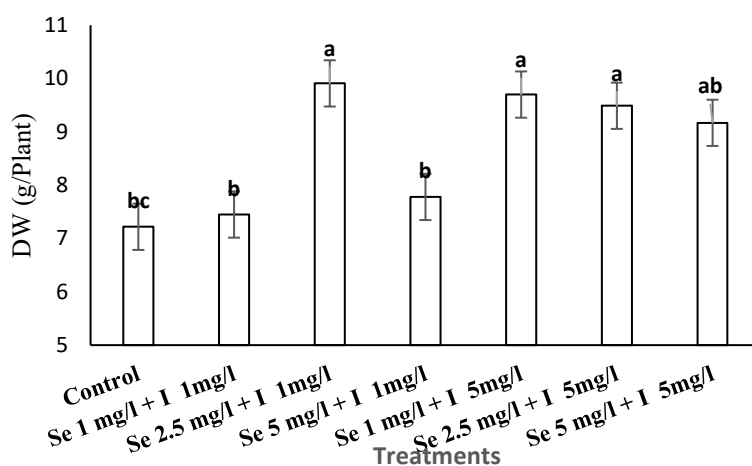
بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، بهترین رشد گیاه اسفناج در غلظت متوسط سلیوم (۲/۵ میلی-گرم در لیتر) بدست آمد، ولی در غلظت های کمتر و بیشتر از ۲/۵ میلی-گرم در لیتر روند کاهشی را نشان داد. سلیوم یک عنصر مهم در ارتباط با افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در گیاهان میباشد. این عنصر در غلظت های پایین به عنوان یک آنتی اکسیدان عمل میکند و رشد گیاه را افزایش میدهد، ولی در سطوح بالاتر، بازده گیاه را کاهش میدهد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2024). با گیاهان به غلظت آن بستگی دارد. در غلظت های پایین تر، سلیوم رشد را تحریک می کند، در حالی که در دوزهای بالا به عنوان پرواکسیدان عمل می کند، بازده را کاهش می دهد و باعث ایجاد اختلالات متابولیک می شود. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش های سایر محققین مطابقت دارد (Golob et al., 2020; Hartikainen et al., 2000; Saffaryazdi et al., 2012; Turakainen et al., 2004). اثر محرک رشد سلیوم ممکن است به عملکرد آنتی اکسیدانی آن مرتبط باشد. سلیوم بر تعادل فیتوهورمون ها و/یا محتوای پلی آمین تاثیر دارد. در پژوهشی گیاه سیب زمینی تیمار شده با سلیوم محتوای پوترسین بالاتری را نشان دادند (Turakainen et al., 2008). سطوح بالای سلیوم ممکن است فرایند فتوسنتز را مهار،

اگرچه یُد برای گیاهان عنصری ضروری نیست، اما می‌تواند به عنوان یک محرک زیستی در غلظت‌های مناسب عمل کند و باعث افزایش بهره‌وری خوب محصول و تغییرات متابولیسم شود (Andrade-Sifuentes *et al.*, 2024). در پژوهشی افزایش عملکرد یونجه سبز، خشک و پروتئین کل با کاربرد میزان یُد افزایش یافت (Altinok *et al.*, 2003). نتایج بدست آمده از این پژوهش با نتایج برخی تحقیقات مطابقت دارد (Kiferle *et al.*, 2021; Riyazuddin *et al.*, 2023). در غلظت‌های پایین، یُد به عنوان یک محرک زیستی عمل می‌کند و به طور موثری باعث افزایش بهره‌وری و کیفیت محصول می‌شود. این اثر مثبت از تنظیم بیان ژن تا ادغام در پروتئین‌های متنوع از جمله یدات ردوکتاز را شامل می‌شود (Riyazuddin *et al.*, 2023). یُدات ردوکتاز به عملکردهای مختلف سلولی کمک و اثرات مفیدی را در گیاهان ایجاد می‌کند. افزایش غلظت یُد در سلول باعث ایجاد سمیت و در نتیجه منجر به مهار جذب CO_2 ، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز، همراه با شروع کلروز، نکروز، کاهش اندازه و ریزش برگ‌ها می‌شود (Kiferle *et al.*, 2021).

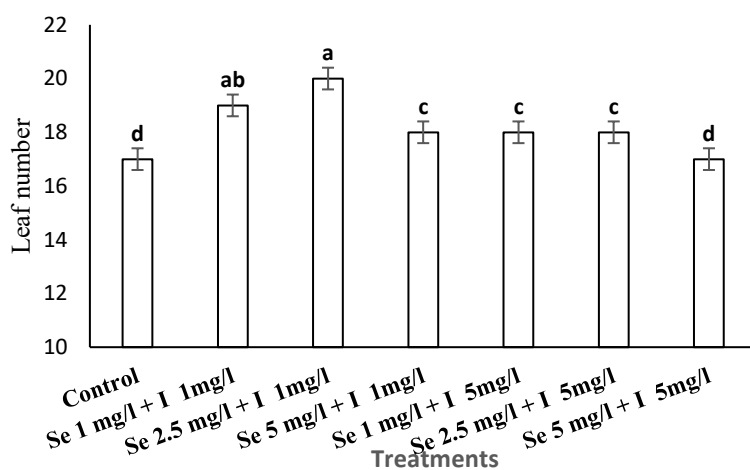
جذب و انتقال مواد مغذی را مختل کند. در پژوهشی، اختلالات رشد و کاهش زیست توده گیاه ذرت در حضور غلظت‌های بالای سلنیوم در محلول غذایی، به دلیل اختلال تعادل مواد معدنی گیاهان و تجمع مقادیر زیادی فسفر در بافت اندام هوایی گزارش شده است (Hawrylak-Nowak, 2008). در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد سلنیوم میزان کلروفیل *a* و کلروفیل *b* را به ترتیب ۸۷ و ۱۶۵ درصد افزایش داد، در حالی که سطوح بالاتر سلنیوم اثرات منفی و سمیت را نشان داد. همچنین محلول پاشی سلنیوم، میزان جذب عناصر سلنیوم، سدیم و کلسیم را افزایش داد (Saffaryazdi *et al.*, 2012). همچنین، گزارش شده است که محلولپاشی سلنیوم افزایش معنی‌داری را در خصوصیات رشدی، عملکردی، اجزای عملکرد و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه باقلا داشت (Boghdady *et al.*, 2017). افزایش سطح برگ، طول و عرض و تعداد برگ در گیاهان محلول پاشی شده با اسفناج، ممکن است به دلیل نقش سلنیوم در محافظت از آنزیم‌های کلروپلاست و در نتیجه افزایش بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی نسبت داده شود (Pennanen *et al.*, 2002).



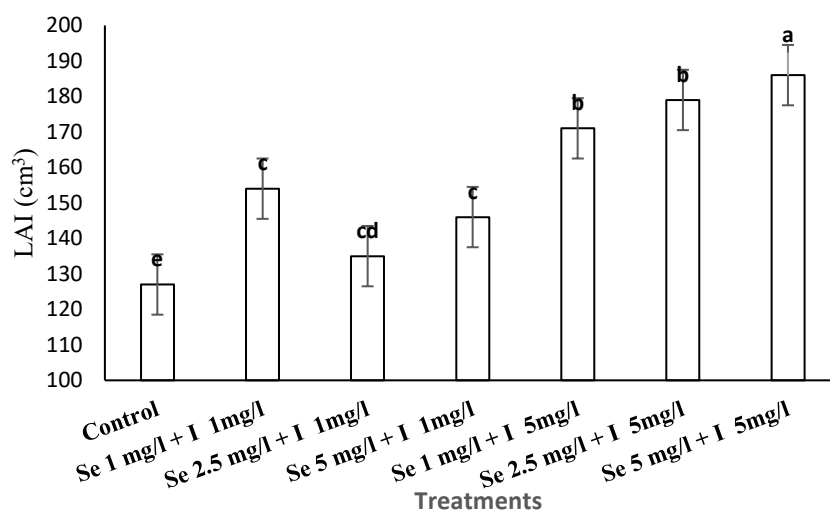
شکل ۱- کاربرد ترکیبی سلنیوم و یُد بر ارتفاع گیاه اسفناج



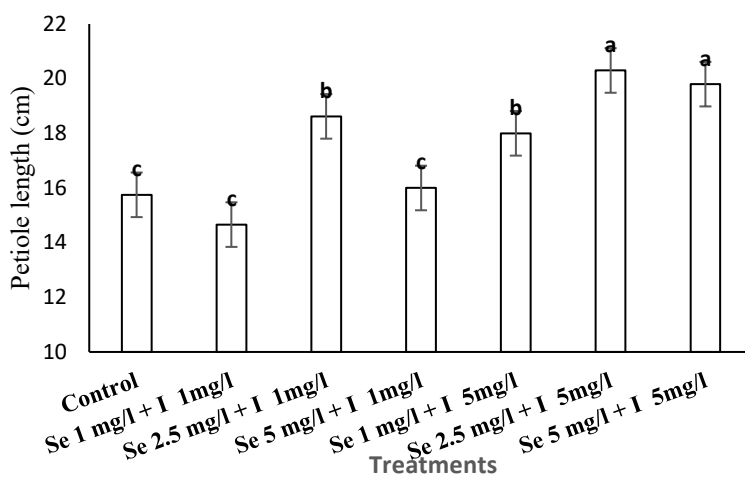
شکل ۲- کاربرد ترکیبی سelenium و I بر ماده خشک گیاه اسفناج



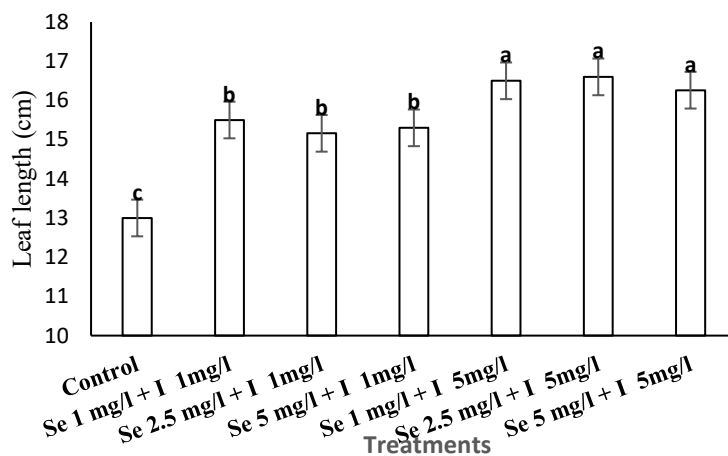
شکل ۳- کاربرد ترکیبی سelenium و I بر تعداد برگ گیاه اسفناج



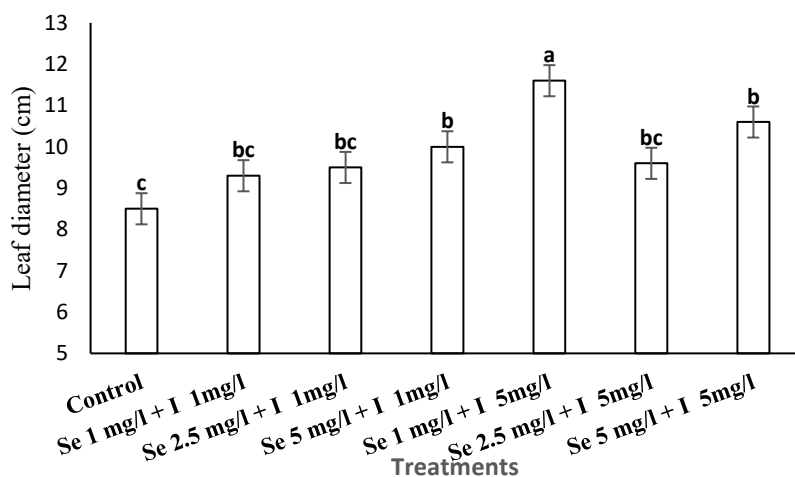
شکل ۴- کاربرد ترکیبی سelenium و I بر شاخص سطح برگ گیاه اسفناج



شکل ۵- کاربرد ترکیبی سلینیوم و بُد بر طول دمبرگ گیاه اسفناج



شکل ۶- کاربرد ترکیبی سلینیوم و بُد بر طول برگ گیاه اسفناج



شکل ۷- کاربرد ترکیبی سلینیوم و بُد بر قطر برگ گیاه اسفناج

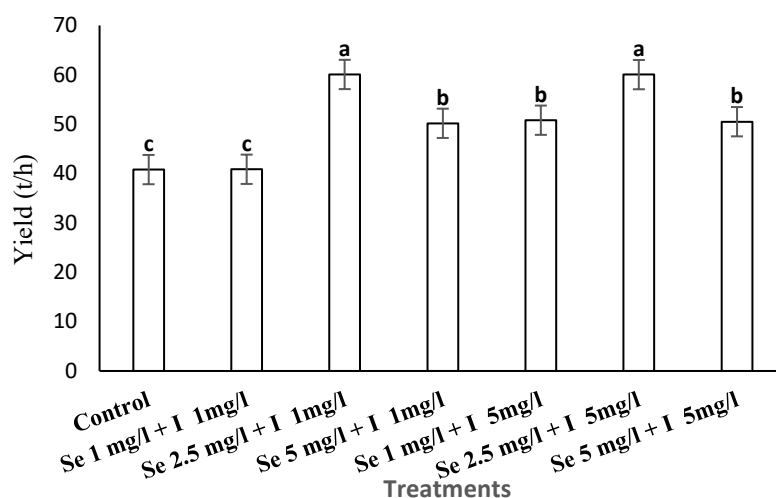
میزان عملکرد اسفناج

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که محلول پاشی ترکیبی سلیوم و ید بر میزان عملکرد گیاه اسفناج تاثیر معنی داری داشته است ($p < 0.05$). در این پژوهش، کاربرد ترکیبی سلیوم و ید باعث افزایش قابل توجه عملکرد گیاه اسفناج در مقایسه با گیاهان محلول پاشی نشده گردید. بیشترین میزان عملکرد اسفناج به میزان ۶۰/۰۷ و ۶۰/۰۴ تن در هکتار در گیاهان محلول پاشی شده با سلیوم ۲/۵ میلی-گرم در لیتر و ید ۱ میلی-گرم در لیتر و کمترین میزان عملکرد در گیاهان محلول پاشی نشده و محلول پاشی با غلظت سلیوم ۱ میلی-گرم در لیتر و ید ۱ میلی-گرم در لیتر به میزان ۴۰/۸ و ۴۰/۸۶ تن در هکتار به ترتیب به دست آمد. در این پژوهش کاربرد سلیوم با غلظت ۱ میلی-گرم در لیتر تاثیر معنی داری بر افزایش عملکرد نشان نداد ولی افزایش غلظت سلیوم از یک به ۲/۵ میلی-گرم در لیتر باعث افزایش عملکرد محصول گردید. کاهش عملکرد محصول با کاربرد غلظت زیاد سلیوم (۵ میلی-گرم در لیتر) مشاهده گردید. در این پژوهش کاربرد سلیوم به میزان ۲/۵ میلی-گرم در لیتر میزان عملکرد محصول را ۴۹/۸ درصد نسبت به گیاهان محلول پاشی نشده افزایش داد (شکل ۸).

سلیوم اگرچه برای رشد گیاه ضروری نیست، اما برای رشد گیاه مفید است. علاوه بر این، ظرفیت فتوسنتزی، حداکثر بازده کوانتومی فتوسنتس و فرایندهای فتوشیمیایی انواع گونه های گیاهی را افزایش می دهد. این عنصر همچنین ممکن است با فعال کردن مسیرهای مهار کننده گونه های فعال اکسیژن در طول تنش خشکی از گیاهان در برابر تنش اکسیداتیو محافظت کند. سلیوم فواید مثبت متعددی

دارد و در غلظت های پایین باعث رشد می شود (Feng *et al.*, 2015; Kaur & Nayyar, 2015; Nawaz *et al.*, 2015; White, 2018). در پژوهشی کاربرد سلیوم بر روی گندم در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه گردید. همچنین محلول پاشی سلیوم در شرایط تنش خشکی اثر مطلوبی بر افزایش میزان رطوبت نسبی، شاخص سطح برگ و نرخ تبدیل رشد گندم در شرایط تنش خشکی داشت (Teimouri *et al.*, 2014). نتایج پژوهشی نشان داد که غلظت های پایین ید (۵ میکرومولار در لیتر) باعث بهبود عملکرد خربزه و کیفیت تجاری آن شد، در حالی که غلظت های بالا (۲۰ میکرومولار در لیتر) عملکرد و کیفیت تجاری را کاهش داد، اما باعث افزایش بیوستت ترکیبات فعال زیستی و ید روی میوه شد (Andrade-Sifuentes *et al.*, 2024).

در مطالعه ای کاربرد سلیوم (۰، ۳، ۶ و ۹ میلی-گرم در لیتر) بر رشد، خصوصیات فیزیوشیمیایی و صفات عملکرد کاهو تحت رژیم های آبی بررسی گردید و نتایج نشان داد که محلول پاشی سلیوم به طور قابل توجهی زیست توده تازه و خشک را تحت شرایط کنترل و تحت تنش آب افزایش داد. کاربرد خارجی سلیوم تا حدی اثرات خشکی بر کاهو را با افزایش سیستم آنتی اکسیدانی و قندهای محلول در برگ و کاهش همزمان نشت الکترولیت کاهش داد. در نتیجه، کاربرد خارجی سلیوم (۶ میلی-گرم در لیتر) پتانسیل بیشتری برای بهبود رشد کاهو، ویژگی های فیزیولوژیکی و تعدیل پتانسیل آنتی اکسیدانی آنزیمی دارد که می تواند برای استفاده برای به حداکثر رساندن بهره وری و کیفیت کاهو در یک محیط خشک توصیه شود (Tufail *et al.*, 2023).



شکل ۸- کاربرد ترکیبی سلیوم و ید بر میزان عملکرد گیاه اسفناج

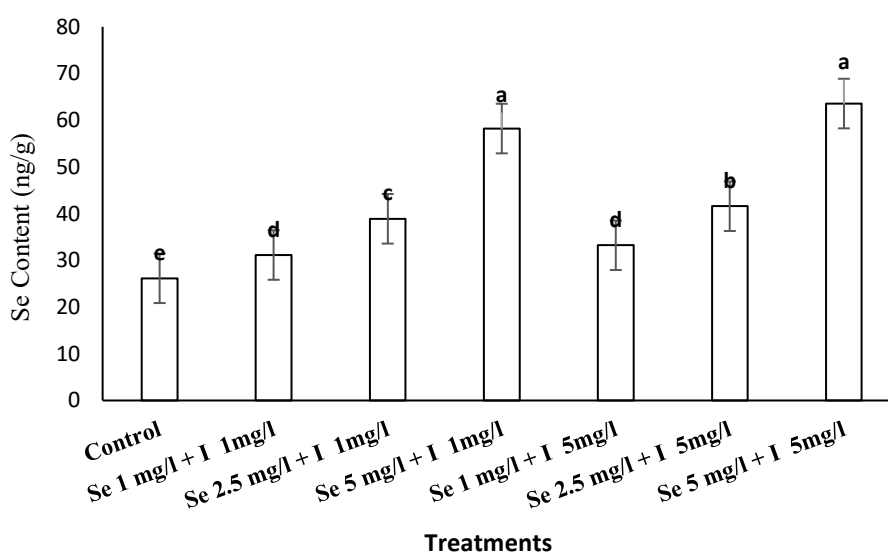
میزان سلیوم و ید در برگ اسفناج

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد ترکیبی سلیوم و ید باعث افزایش قابل توجه سلیوم و ید در برگ اسفناج در مقایسه با نمونه شاهد شد (شکل ۹ و ۱۰). در این پژوهش، کاربرد ترکیبی سلیوم و ید باعث افزایش قابل توجه سلیوم در برگ اسفناج در مقایسه با نمونه شاهد (محلول پاشی نشده) شد. بیشترین میزان سلیوم برگ به میزان ۶۳/۵۷ و ۵۸/۲۲ نانوگرم/گرم در گیاهان محلول پاشی شده با سلیوم ۵ میلی گرم در لیتر و ید ۵ میلی گرم در لیتر و کمترین میزان سلیوم برگ در گیاهان محلول پاشی نشده به میزان ۲۶/۱۷ نانوگرم/گرم بدست آمد. همچنین بیشترین محتوی ید به میزان ۱۳/۶۹ نانوگرم/گرم در برگ اسفناج محلول پاشی شده با سلیوم ۵ و ید ۵ میلی گرم در لیتر در مقایسه با گیاهان محلول پاشی نشده به میزان ۱۰/۴۴ نانوگرم/گرم مشاهده گردید. در همین حال، افزایش غلظت سلیوم/ ید منجر به افزایش محتوای سلیوم/ ید شد زیرا افزایش دو برابری سلیوم همراه با

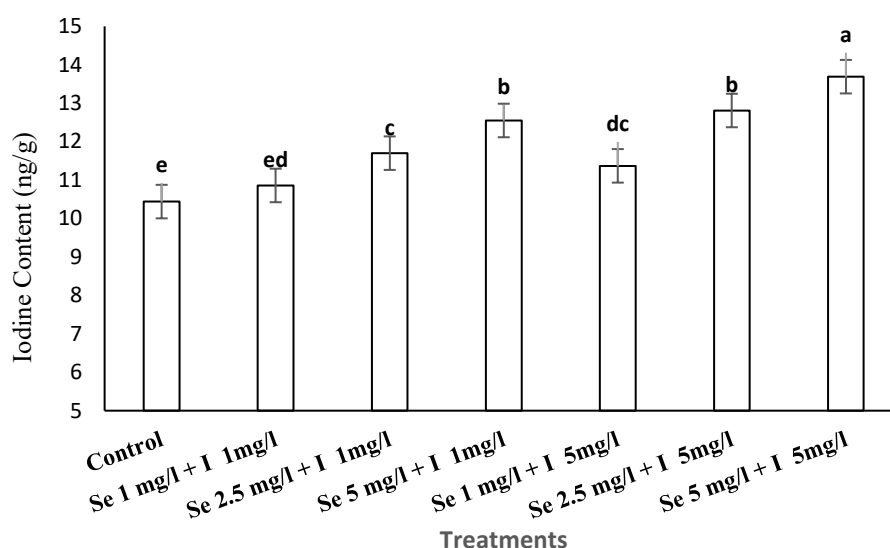
افزایش غلظت سلیوم از ۱ به ۵ میلی گرم در لیتر مشاهده شد. با این حال، این سطح افزایش در غلظت سلیوم برای ید مشاهده نشد. به عبارت دیگر، افزایش محتوای ید بسیار کمتر از افزایش محتوای سلیوم بود. همزمان با افزایش غلظت سلیوم مصرفی (یا ید مصرفی)، سطح ید (یا سلیوم) در برگها نیز افزایش یافت که نشان دهنده تأثیر دو عنصر ریز در افزایش جذب یکدیگر و حتی تأثیر غلظت آنها در بهبود سرعت جذب در گیاه است. این ممکن است به دلیل برهمکنش هم افزایی بین جذب سلیوم و ید توسط گیاه، افزایش فراهمی زیستی آنها برای گیاه یا کاهش هر گونه اثر آنتاگونیستی هنگام استفاده از آنها با هم در غلظت های بهینه و در فرم های مناسب باشد. محلول پاشی سلیوم و ید به غلظت ۵ میلی گرم در لیتر، محتوی سلیوم و ید داخلی برگ اسفناج را به ترتیب به میزان ۱۴۲ و ۲۳ درصد نسبت به گیاهان محلول پاشی نشده افزایش داد. این ممکن است به دلیل برهمکنش هم افزایی بین جذب سلیوم و ید توسط گیاه، افزایش فراهمی زیستی آنها برای گیاه یا

می‌کند که رشد گیاهان توسط عوامل محیطی - مانند غلظت سلیوم / یُد - زمانی که در سطوح بسیار بالا یا پایین وجود دارند محدود می‌شود (Izydorczyk *et al.*, 2021). برخی محققان اعلام کردند که استفاده از سلنات سدیم و یدید پتاسیم با هم برای تقویت زیستی کاهو با سلیوم و یُد موثر است (Puccinelli *et al.*, 2016; Smoleń *et al.*, 2021). در پژوهش دیگری محلول پاشی یُد یا سلیوم باعث افزایش محتوای یُد و سلیوم هویج شد (Rakoczy-Lelek *et al.*, 2021). همچنین، کاربرد سلیوم باعث افزایش محتوی سلیوم اندام های هوایی و ریشه در گیاه اسفناج گردید (Saffaryazdi *et al.*, 2012).

کاهش هر گونه اثر آنتاگونیستی هنگام استفاده از آنها با هم در غلظت های بهینه و در فرم های مناسب باشد (de Lima Lessa *et al.*, 2019). مطالعات متعدد نشان داده است که میزان سلیوم و یُد گیاه با دوزهای مصرفی بالاتر افزایش می‌یابد (Babalar *et al.*, 2019; de Lima Lessa *et al.*, 2019). با این حال، مهم است که بدانیم هر گونه گیاهی دارای حداکثر دوز قابل تحمل سلیوم یا یُد است. فراتر از این آستانه می‌تواند منجر به اثرات سمیت شود. این اثرات سمی ممکن است به صورت کاهش عملکرد، تغییر در خواص ارگانولپتیک، تغییر در محتوای رنگدانه یا کاهش فعالیت آنزیم در گیاهان ظاهر شود. این پدیده با قانون شلفورد مطابقت دارد، که بیان



شکل ۹- کاربرد ترکیبی سلیوم و یُد بر میزان سلیوم برگ اسفناج



شکل ۱۰- کاربرد ترکیبی سلیوم و ید بر میزان ید برگ اسفناج

نتیجه گیری

در این پژوهش، کاربرد ترکیبی سلیوم و ید باعث افزایش خصوصیات کمی، میزان عملکرد و محتوی سلیوم در برگ اسفناج در مقایسه با گیاهان تیمار نشده گردید. محلول پاشی سلیوم به میزان ۲/۵ میلی-گرم در لیتر و ید به میزان ۱ و ۵ میلی-گرم در لیتر میزان عملکرد محصول را ۴۹/۸ درصد نسبت به گیاهان محلول پاشی نشده افزایش داد. همچنین افزایش غلظت سلیوم / ید منجر به افزایش محتوای سلیوم و ید برگ های اسفناج شد. محلول پاشی سلیوم و ید به غلظت ۵ میلی-گرم در لیتر، محتوی سلیوم و ید داخلی برگ اسفناج را به ترتیب به میزان ۱۴۲ و ۲۳ درصد نسبت به گیاهان محلول پاشی نشده افزایش داد. همچنین افزایش غلظت ید باعث افزایش میزان جذب سلیوم در

برگ اسفناج گردید که نشان دهنده تأثیر دو عنصر کمیاب در افزایش جذب یکدیگر و حتی تأثیر غلظت آنها در بهبود سرعت جذب در گیاه است. این ممکن است به دلیل برهمکنش هم افزایی بین جذب سلیوم و ید توسط گیاه، افزایش فراهمی زیستی آنها برای گیاه یا کاهش هر گونه اثر آنتاگونیستی هنگام استفاده از آنها با هم در غلظت های بهینه و در فرم های مناسب باشد. از دیدگاه مصرف کننده، این برگ های اسفناج غنی شده می تواند به عنوان منبع اضافی ید و سلیوم بسیار مفید و کاربردی باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله دکتری نگارنده اول می باشد. بدینوسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج به جهت فراهم کردن امکانات لازم جهت اجرای این پژوهش تقدیر و تشکر به عمل می آید.

REFERENCES

- Altınok, S., Sozudogru-Ok, S. and Halilova, H., 2003. Effect of iodine treatments on forage yields of alfalfa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34, 55-64.

- Andrade-Sifuentes, A., Gaucin-Delgado, J.M., Fortis-Hernandez, M., Ojeda-Barrios, D.L., Rodríguez-Ortiz, J.C., Sánchez-Chavez, E. and Preciado-Rangel, P., 2024. Iodine biofortification improves yield and bioactive compounds in melon fruits. *Horticultura Brasileira* 42, e275325.
- Babalar, M., Mohebbi, S., Zamani, Z. and Askari, M.A., 2019. Effect of foliar application with sodium selenate on selenium biofortification and fruit quality maintenance of 'Starking Delicious' apple during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99, 5149-5156.
- Boghdady, M.S., Desoky, E., Azoz, S.N. and Abdelaziz, D.M., 2017. Effect of selenium on growth, physiological aspects and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.). *Egyptian Journal of Agronomy* 39, 83-97.
- de Lima Gomes, F.T., Chales, A.S., Borghi, E.J.A., Ferreira, A.C.M., de Souza, B.C.d.O.Q., Nascimento, V.L. and de Souza Silva, M.L., 2025. Agronomic Biofortification with Selenium and Zinc in Tomato Plants (*Solanum lycopersicum* L.) and their Effects on Nutrient Content and Crop Production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.
- de Lima Lessa, J.H., Araujo, A.M., Ferreira, L.A., da Silva Júnior, E.C., de Oliveira, C., Corguinha, A.P.B., Martins, F.A.D., de Carvalho, H.W.P., Guilherme, L.R.G. and Lopes, G., 2019. Agronomic biofortification of rice (*Oryza sativa* L.) with selenium and its effect on element distributions in biofortified grains. *Plant and Soil* 444, 331-342.
- Dehkharghanian, M., Adenier, H. and Vijayalakshmi, M.A., 2010. Study of flavonoids in aqueous spinach extract using positive electrospray ionisation tandem quadrupole mass spectrometry. *Food Chemistry* 121, 863-870.
- FAO, 2018. FAOSTAT. Available online, In: Database, S. (Ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO.
- Feng, T., Chen, S., Gao, D., Liu, G., Bai, H., Li, A., Peng, L. and Ren, Z., 2015. Selenium improves photosynthesis and protects photosystem II in pear (*Pyrus bretschneideri*), grape (*Vitis vinifera*), and peach (*Prunus persica*). *Photosynthetica* 53, 609-612.
- Golob, A., Novak, T., Maršić, N.K., Šircelj, H., Stibilj, V., Jerše, A., Kroflič, A. and Germ, M., 2020. Biofortification with selenium and iodine changes morphological properties of *Brassica oleracea* L. var. gongylodes) and increases their contents in tubers. *Plant Physiology and Biochemistry* 150, 234-243.
- 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-Nowak, B., 2008. Effect of selenium on selected macronutrients in maize plants. *Journal of Elementology* 13, 513-519.
- Izydorczyk, G., Ligas, B., Mikula, K., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K. and Chojnacka, K., 2021. Biofortification of edible plants with selenium and iodine – A systematic literature review. *Science of the Total Environment* 754, 141983.
- Kaur, S. and Nayyar, H., 2015. Selenium fertilization to salt-stressed mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) plants reduces sodium uptake, improves reproductive function, pod set and seed yield. *Scientia Horticulturae* 197, 304-317.

- Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, A.M., Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, P.A., Hora, K., Holwerda, H.T., Scaloni, A. and Perata, P., 2021. Evidences for a nutritional role of iodine in plants. *Frontiers in Plant Science* 12, 616868.
- Krzepiło, A., Zych-Wężyk, I., Molas, J., Skwaryło-Bednarz, B., Święciło, A. and Skowrońska, M., 2016. The effect of iodine biofortification on selected biological quality parameters of lettuce and radish seedlings. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus* 15, 3-16.
- Landini, M., Gonzali, S. and Perata, P., 2011. Iodine biofortification in tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174, 480-486.
- Lawson, P.G., Daum, D., Czauderna, R., Meuser, H. and Härtling, J.W., 2015. Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. *Frontiers in Plant Science* 6.
- Li, H.F., McGrath, S.P. and Zhao, F.J., 2008. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. *New phytologist* 178, 92-102.
- Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A. and Benavides-Mendoza, A., 2016. Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science* 7, 1146.
- Montes-Bayón, M., Molet, M.J.D., González, E.B. and Sanz-Medel, A., 2006. Evaluation of different sample extraction strategies for selenium determination in selenium-enriched plants (*Allium sativum* and *Brassica juncea*) and Se speciation by HPLC-ICP-MS. *Talanta* 68, 1287-1293.
- Nawaz, F., Ashraf, M., Ahmad, R., Waraich, E., Shabbir, R. and Bukhari, M., 2015. Supplemental selenium improves wheat grain yield and quality through alterations in biochemical processes under normal and water deficit conditions. *Food Chemistry* 175, 350-357.
- Oliveira, V.C.d., Faquin, V., Guimarães, K.C., Andrade, F.R., Pereira, J. and Guilherme, L.R.G., 2018. Agronomic biofortification of carrot with selenium. *Ciência e Agrotecnologia* 42, 138-147.
- Pennanen, A., Xue TaiLin, X.T. and Hartikainen, H., 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress.
- Pisarek, P., Bueno, M., Thiry, Y., Legout, A., Gallard, H. and Le Hécho, I., 2022. Influence of tree species on selenium and iodine partitioning in an experimental forest ecosystem. *Science of the Total Environment* 809, 151174.
- Puccinelli, M., Malorgio, F., Incrocci, L., Rosellini, I. and Pezzarossa, B., 2021. Effects of individual and simultaneous selenium and iodine biofortification of baby-leaf lettuce plants grown in two different hydroponic systems. *Horticulturae* 7, 590.
- Rakoczy-Lelek, R., Smoleń, S., Grzanka, M., Ambroziak, K., Pitala, J., Skoczylas, Ł., Liszka-Skoczylas, M. and Kardasz, H., 2021. Effectiveness of foliar biofortification of carrot with iodine and selenium in a field condition. *Frontiers in Plant Science* 12, 656283.
- Riyazuddin, R., Singh, K., Iqbal, N., Nisha, N., Rani, A., Kumar, M., Khatri, N., Siddiqui, M.H., Yasheshwar and Kim, S.T., 2023. Iodine: an emerging biostimulant of growth and stress responses in plants. *Plant and Soil* 486, 119-133.

- Roberts, J.L. and Moreau, R., 2016. Functional properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) phytochemicals and bioactives. *Food & function* 7, 3337-3353.
- Roughan, i. and Miri, S.M., 2019. Spinach: An important green leafy vegetable and medicinal herb, *The 2nd International Conference on Medicinal Plants, Organic Farming, Natural and Pharmaceutical Ingredients*, pp. 1-7.
- Saeid Nezhad, A.H. and Rezvani Moghaddam, P., 2010. Effect of Biofertilizers and Chemical Fertilizers on Morphological Properties, Yield, Yield Components and Essence Percentage of Cumin (*Cuminum cyminum*). *Journal of Horticultural Science* 24, -.
- Saffaryazdi, A., Lahouti, M., Ganjeali, A. and Bayat, H., 2012. Impact of selenium supplementation on growth and selenium accumulation on spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants. *Notulae Scientia Biologicae* 4, 95-100.
- Shafagh-Kolvanagh, J., Tajkhalili, M.B., Bybordi, A. and Amani, M., 2024. Effect of selenium, silicon and zeolite on yield and yield components and percentage of essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller.) in Khosrowshahr region. *Plant Productions* 47, 441-454.
- Smoleń, S., Baranski, R., Ledwożyw-Smoleń, I., Skoczylas, Ł. and Sady, W., 2019. Combined biofortification of carrot with iodine and selenium. *Food Chemistry* 300, 125202.
- Smoleń, S., Kowalska, I., Czernicka, M., Halka, M., Kęska, K. and Sady, W., 2016. Iodine and selenium biofortification with additional application of salicylic acid affects yield, selected molecular parameters and chemical composition of lettuce plants (*Lactuca sativa* l. var. capitata). *Frontiers in Plant Science* 7, 1553.
- Takahashi, H., Watanabe-Takahashi, A., Smith, F.W., Blake-Kalff, M., Hawkesford, M.J. and Saito, K., 2000. The roles of three functional sulphate transporters involved in uptake and translocation of sulphate in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal* 23, 171-182.
- Teimouri, S., Hasanpour, J. and Tajali, A.A., 2014. Effect of Selenium spraying on yield and growth indices of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress condition. *Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res* 2, 2091-2103.
- Terry, N., Zayed, A., De Souza, M. and Tarun, A., 2000. Selenium in higher plants. *Annual review of plant biology* 51, 401-432.
- Tufail, B., Ashraf, K., Abbasi, A., Ali, H.M., Sultan, K., Munir, T., Khan, M.T. and uz Zaman, Q., 2023. Effect of Selenium on Growth, Physio-Biochemical and Yield Traits of Lettuce under Limited Water Regimes. *Sustainability* 15, 6804.
- Turakainen, M., Hartikainen, H. and Sarjala, T., 2008. Impact of selenium enrichment on seed potato tubers. *Agricultural and Food Science* 17, 278-288.
- Turakainen, M., Hartikainen, H. and Seppänen, M.M., 2004. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. *Journal of agricultural and food chemistry* 52, 5378-5382.
- Voogt, W. and Jackson, W.A., 2010. Perchlorate, nitrate, and iodine uptake and distribution in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and potential impact on background levels in humans. *Journal of agricultural and food chemistry* 58, 12192-12198.
- White, P.J., 2018. Selenium metabolism in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* 1862, 2333-2342.

- White, P.J.and Broadley, M.R., 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New phytologist* 182, 49-84.
- Zhao, X.Q., Mitani, N., Yamaji, N., Shen, R.F.and Ma, J.F., 2010. Involvement of silicon influx transporter OsNIP2; 1 in selenite uptake in rice. *Plant Physiology* 153, 1871-1877.
- Zhu, Y.-G., Huang, Y., Hu, Y., Liu, Y.and Christie, P., 2004. Interactions between selenium and iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) in solution culture. *Plant and Soil* 261, 99-105.