

(OPEN ACCESS)

Improving growth and physiological indices of cabbage seedlings through different concentrations of selenium under alkaline stress conditions

**Seyyede Ghazaleh Seyyedinezhad¹, Edris Shabani^{*2}, Esmail Khaleghi³,
Morteza Taki⁴**

1. M.Sc. Graduate of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: ghazalehseyyedini@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: edris.shabani@scu.ac.ir
3. Professor, Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: khaleghi@scu.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: mortezataaki@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Alkaline stress, by creating high pH and the accumulation of sodium ions, can lead to proton deficiency and the destruction or inhibition of the electrochemical gradient/potential in root cells, which consequently disrupts water and ion absorption. In recent years, many researchers have proposed the biological enrichment technique to reduce selenium deficiency in humans. Selenium is one of the non-essential but beneficial elements for plants that can neutralize or somewhat reduce the effects of alkaline stress. This study aimed to investigate the effect of different concentrations of selenium on the morphological and physiological characteristics of cabbage seedlings under conditions of high alkalinity water.
Article history: Received: 02.18.2025 Revised: 03.22.2025 Accepted: 04.23.2025	
Keywords: Chlorophyll, Electrolyte leakage, Hypocotyl diameter, Plant height	
	Materials and Methods: The experiment was conducted as a factorial in a randomized complete block design with three replications in the fall and winter of 2024 in the greenhouse complex of Shahid Chamran University of Ahvaz. The experimental treatments included selenium concentrations (0, 5, 15, and 30 mg/L) and bicarbonate levels (0, 3, and 6 meq/L). After applying the treatment and completing the experiment, morphological traits such as seedling height and hypocotyl length were measured using a ruler, hypocotyl diameter was measured using a digital caliper, fresh and dry weights of shoots and roots were measured using a scale and dried in an oven at 70 °C for 48 h, leaf area was measured using a leaf area meter, and physiological traits of cabbage seedlings such as photosynthetic pigments were measured using a spectrophotometer, relative leaf water content, and electrolyte leakage were calculated using standard equations.
	Results: The results showed that adding selenium to the culture medium under alkaline stress generally led to an increase in the fresh and dry

weight of different organs. Under stress conditions, the highest shoot fresh weight (2 g)-a key indicator of seedling quality-was observed in the 15 mg/L selenium + 3 meq/L bicarbonate treatment which compared to the treatment of 0 mg/L selenium + 3 meq/L bicarbonate stress, increased the shoot fresh weight of cabbage seedlings by 16.27%, which is one of the interesting findings of this study. The use of selenium under alkaline stress conditions reduced ion leakage and increased the relative water content of cabbage seedlings. The results of this study showed that selenium at optimal concentrations can act as a factor improving plant growth and tolerance to alkaline stress. However, high concentrations of selenium can have toxic effects and damage plant growth. For instance, in the non-stress treatment increasing the selenium concentration to 30 mg/L reduced seedling fresh weight by 59.44% compared to the 0 mg/L selenium treatment.

Conclusion: Research results show that cabbage has the ability to enrich selenium. Appropriate levels of selenium treatment can improve the growth and quality of cabbage. Considering the unusual water consumption in seedling production greenhouses in the south of the country and the subsequent development of yellow leaves and thin stems, it seems absolutely necessary to provide a practical solution for enriching cabbage and solving the problems of seedling production units. Considering the moderation of the adverse effects of water quality used in the greenhouse by optimal selenium levels, it seems that this is an important step towards developing sustainable agriculture and increasing agricultural production in areas with alkaline water research by modifying conventional agricultural practices. Based on the results, a selenium concentration of 15 mg/L is recommended to moderate the negative effects of alkali stress and improve seedling growth in greenhouses producing of cabbage seedlings, especially in greenhouses with alkaline water.

Cite this article: Seyyedinezhad, Seyyedeh Ghazaleh, Shabani, Edris, Khaleghi, Esmaeil, Taki, Morteza. 2026. Improving growth and physiological indices of cabbage seedlings through different concentrations of selenium under alkaline stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 33 (2), 117-145.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2025.23341.3236

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک نشاء کلم‌پیچ از طریق غلظت‌های مختلف سلنیوم تحت شرایط تنش قلیائیت

سیده غزاله سیدی‌نژاد^۱، ادريس شعبانی^{۲*}، اسماعیل خالقی^۳، مرتضی تاکي^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
ghazalehseyyedini@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
edris.shabani@scu.ac.ir
۳. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: khaleghi@scu.ac.ir
۴. دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، خوزستان، ایران. رایانامه: mortezataaki@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: تنش قلیایی با ایجاد pH بالا و تجمع یون سدیم می‌تواند منجر به کمبود پروتون و تخریب یا مهار شیب/پتانسیل الکتروشیمیایی در سلول‌های ریشه شود که در نتیجه جذب آب و یون را مختل می‌کند. در سال‌های اخیر بسیاری از محققین برای کاهش پدیده کمبود سلنیوم در انسان تکنیک غنی‌سازی زیستی را پیشنهاد می‌دهند سلنیوم یکی از عناصر غیرضروری ولی سودمند برای گیاهان است که می‌تواند عوارض تنش قلیائیت را خنثی یا تا حدودی کاهش دهد. این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک نشاء کلم‌پیچ در شرایط استفاده از آب‌های با قلیائیت بالا انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳	
واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، قطر هیپوکوتیل، کلروفیل، نشت الکترولیت	مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در فصل پاییز و زمستان ۱۴۰۲ در مجتمع گلخانه‌ای دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف سلنیوم (۰، ۵، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سطوح بی‌کربنات (۰، ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) بود. بعد از اعمال تیمار و پس از اتمام آزمایش صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع نشاء و طول هیپوکوتیل توسط خط‌کش، قطر هیپوکوتیل توسط کولیس دیجیتالی، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه به ترتیب توسط ترازو و خشک کردن در آون ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ‌سنج و صفات فیزیولوژیک نشاء کلم‌پیچ مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت با استفاده از معادلات استاندارد اندازه‌گیری و محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزودن سلیوم به محیط کشت تحت تنش قلیائیت، به‌طور کلی منجر به افزایش وزن تر و خشک اندام‌های مختلف شد. در شرایط تنش، بیش‌ترین وزن تر شاخساره (۲ گرم) که از مولفه‌های یک نشاء با کیفیت می‌باشد، در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلیوم و تنش ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات مشاهده گردید که در قیاس با تیمار صفر میلی‌گرم بر لیتر سلیوم و تنش ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات سبب افزایش ۱۶/۲۷ درصدی وزن تر شاخساره نشاء کلم پیچ گردید که از یافته‌های جالب توجه این پژوهش می‌باشد. استفاده از سلیوم در شرایط تنش قلیائیت باعث کاهش نشت یونی و افزایش محتوای نسبی آب نشاء کلم پیچ شد. نتایج این پژوهش نشان داد که سلیوم در غلظت‌های بهینه می‌تواند به عنوان یک عامل بهبود دهنده رشد و تحمل گیاه در تنش قلیائیت عمل کند. با این حال، غلظت‌های بالای سلیوم می‌تواند اثرات سمی داشته باشد و به رشد گیاه آسیب برساند؛ برای نمونه تنها در تیمار بدون تنش، افزایش غلظت سلیوم تا سطح ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب کاهش ۵۹/۴۴ درصدی وزن تر شاخساره نشاء کلم پیچ در قیاس با تیمار صفر میلی‌گرم بر لیتر سلیوم شد.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که گیاه کلم توانایی غنی‌سازی سلیوم را دارد. سطوح مناسب تیمار سلیوم می‌تواند باعث بهبود رشد و کیفیت کلم شود. با توجه به مصرف آب‌های نامتعارف در گلخانه‌های تولید نشاء جنوب کشور و ایجاد برگ‌های زرد و ساقه‌های نازک متعاقب استفاده از آن، ارائه راهکار عملی برای غنی‌سازی کلم پیچ و حل مشکلات واحدهای تولید نشاء کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به تعدیل اثرات نامطلوب کیفیت آب مورد استفاده در گلخانه توسط سطوح بهینه سلیوم، به نظر می‌رسد که این پژوهش با اصلاح شیوه‌های زراعی مرسوم، گامی مهم در جهت توسعه کشاورزی پایدار و افزایش تولید محصولات کشاورزی در مناطق با آب‌های قلیایی است. بر اساس نتایج غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلیوم جهت تعدیل اثرات منفی تنش قلیائیت و بهبود رشد نشاء در گلخانه‌های تولید نشاء کلم پیچ به ویژه در گلخانه‌های با آب‌های قلیایی قابل توصیه است.

استناد: سیدی‌نژاد، سیده غزاله، شعبانی، ادریس، خالقی، اسماعیل، ناکی، مرتضی (۱۴۰۵). بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک نشاء کلم پیچ از طریق غلظت‌های مختلف سلیوم تحت شرایط تنش قلیائیت. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۳ (۲)، ۱۴۵-۱۱۷.

DOI: 10.22069/jopp.2025.23341.3236



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

کلم پیچ با نام علمی *Brassica oleracea* var. *capitate*، به عنوان یک سبزی حیاتی فصل زمستان در سراسر جهان شناخته شده است (۱). کلم پیچ منبع مهمی از ویتامین‌ها خصوصاً ویتامین‌های گروه A، B و C، اسید فولیک، فلاونوئیدها، کلسیم، پتاسیم، فسفر و فیتوکمیکال‌ها (گلوکوزینولات‌ها) می‌باشد (۲، ۳). از خواص دارویی گیاه کلم پیچ می‌توان به خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضد التهاب، ضد سرطان، ضد باکتری، ضد چاقی و نیز اثرات ارتقادهنده سلامت دستگاه گوارش و روده اشاره کرد (۴، ۵، ۶).

در سبزیجات برگ‌دار، تولید نشاء یکی از مهم‌ترین تکنیک‌ها جهت دستیابی به بازده بالا محصول می‌باشد (۷، ۸). در واقع کشت نشایی فرآیندی از کشت است که در آن گیاهان جوان با کیفیت بالا قبل از پیوند به طور یکنواخت در شرایط مناسب رشد می‌کنند. از مزایای کشت نشاء می‌توان به صرفه‌جویی در بذر، رشد سریع‌تر و کیفیت و یکنواختی بالاتر نسبت به کاشت مستقیم اشاره کرد (۹). نشاءهای ضعیف می‌توانند رشد گیاه را مختل و چرخه آنها را طولانی‌تر کنند و باعث ایجاد کاهش تولید شوند (۷، ۸). همچنین شرایط نامناسب در طول دوره کشت نشاء کلم می‌تواند رشد و کیفیت نهال‌ها را کاهش دهد (۱۰).

آهک کلسیتی که از لایه کلسیک در پروفیل خاک به وجود می‌آید و در خاک‌های ایران به حد کافی موجود است به مرور حل شده و سبب تولید یون‌های بی‌کربنات می‌شود. حلالیت خود کربنات کلسیم پایین بوده ولی در اثر ترکیب با اسید کربنیک به بی‌کربنات تبدیل شده و حلالیت آن حدود ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. حلالیت بالای بی‌کربنات در خاک‌ها و راهیابی آنها به آب‌های آبیاری و افزایش غلظت آنها در آب و اطراف ریشه سبب به وجود آمدن مشکلات تغذیه‌ای

می‌گردد (۱۱). نمک‌های قلیایی نظیر NaHCO_3 و Na_2CO_3 باعث ایجاد تنش قلیایی می‌شود (۱۱). تنش قلیایی با ایجاد pH بالا و تجمع یون Na می‌تواند منجر به کمبود پروتون و تخریب یا مهار شیب/پتانسیل الکتروشیمیایی در سلول‌های ریشه شود که در نتیجه جذب آب و یون را مختل می‌کند (۱۲). تنش قلیایی فتوسنتز و در نتیجه رشد گیاه را مهار می‌کند (۱۳). هم‌چنین قلیائیت باعث تشکیل شکل‌های غیرمحلول آهن، روی و مس می‌گردد که قابل جذب برای گیاه نمی‌باشند، در نتیجه سنتز کلروفیل کاهش یافته و برگ‌های جوان زرد می‌شوند (۱۴). باقری و روستا (۱۳۹۱) نشان دادند که تنش قلیایی ناشی از بی‌کربنات سدیم باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ و ریشه، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، و افزایش پرولین و کربوهیدرات محلول کلم پیچ شده است (۱۵). هم‌چنین در اثر افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم، میزان فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی و منگنز گیاهان کلم پیچ کاهش و میزان سدیم و کلسیم افزایش یافت. هم‌چنین نتایج پژوهش توکلی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم، وزن خشک اندام هوایی و ریشه کاهش، محتوای کلروفیل و غلظت آهن به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (۱۶).

سلنیوم (Se) یکی از عناصر غیرضروری ولی سودمند برای گیاهان است که می‌تواند عوارض تنش قلیائیت را خنثی یا تا حدودی کاهش دهد. در واقع سلنیوم یک مواد معدنی ضروری برای سلامت انسان و حیوان‌ها است که در تنظیم ایمنی، متابولیسم هورمون تیروئید و پیشگیری از بیماری سرطان، بیماری‌های قلبی و عروقی، بیماری‌های کبد و آب مروارید نقش مهمی دارد (۱۷). با این حال، تقریباً ۰/۵ تا ۱ میلیارد نفر در سراسر جهان با تهدید کمبود Se مواجه هستند (۱۸). گیاهان منبع مهمی از

اسکوربیک، پروتئین، آنزیم (کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز)، پراکسید هیدروژن، کاربوفیلین و اکسید کاربوفیلین گردید (۲۶). هوانگ و همکاران (۲۰۲۳) بیان کردند که کاربرد سلنیوم برونزا باعث افزایش فعالیت آنزیمی و بیان ژن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سوپراکسید دیسموتاز-پراکسیداز و کاتالاز کاهو گردید. همچنین کاربرد سلنیوم برونزا به میزان قابل‌توجهی تجمع مواد مغذی، محتوای Se و آنتوسیانین در کاهو را در مرحله دانهال افزایش داد (۲۷).

با توجه به این‌که رودخانه‌های استان خوزستان (منبع اصلی تامین آب گلخانه‌های تولید نشا) دارای مقادیر زیادی بی‌کربنات است، بررسی اثر سلنیوم بر تعدیل یا کاهش اثرات نامطلوب بی‌کربنات ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین یکی از چالش‌های گلخانه‌داران در تولید نشا کلم‌پیچ، رشد ضعیف نشاها، سبزی‌نگی کم برگ‌ها، ضعیف و شکننده بودن ساقه‌ها، ساقه‌های طویل و نازک، برگ‌های زرد رنگ و نازک نشا کلم‌پیچ می‌باشد. بنابراین در این پژوهش سعی شد اثرات کاربرد سلنیوم تحت شرایط قلیائیت به‌منظور بهبود شاخص‌های رشدی نشا کلم‌پیچ مورد بررسی قرار بگیرد. از طرفی با توجه به خواص بالای سلنیوم در پیشگیری از بیمارهای انسانی، تولید کلم‌پیچ غنی از سلنیوم ضروری است. بنابراین به‌نظر می‌رسد که کاربرد سلنیوم در تغذیه محصولات کشاورزی تحت تنش قلیائی می‌تواند علاوه بر غنی‌سازی زیستی و تامین سلنیوم مورد نیاز انسان، راهکار ایمن و سالمی را جهت ارتقاء عملکرد و کیفیت محصولات و کمک به کشاورزی پایدار ارائه نماید. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک نشاء کلم‌پیچ در شرایط استفاده از آب‌های با قلیائیت بالا انجام شد.

سلنیوم در رژیم غذایی هستند، اما محتوای Se در گیاهان پاسخگوی نیاز انسان نیست. در سال‌های اخیر بسیاری از محققین برای کاهش پدیده کمبود Se در انسان تکنیک غنی‌سازی زیستی را پیشنهاد می‌دهند (۱۹). گزارش‌ها نشان داده است که تیمار سلنیت به‌طور قابل‌توجهی محتوای قند محلول گیاه را افزایش داد اما مانع از تجمع اسیدآمینۀ آزاد در گیاه *Brassica oleracea* L. var. *italica* شد. همچنین کاربرد تیمار سلنیت ۱۰۰ میکرومول در لیتر باعث افزایش محتوای فلاونوئیدها در سه نوع کلم گردید (۲۰).

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که گیاه کلم توانایی غنی‌سازی سلنیوم را دارد. سطوح مناسب تیمار Se می‌تواند باعث بهبود رشد و کیفیت کلم شود، برای مثال، محلول‌پاشی ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم باعث افزایش تجمع سلنیوم در برگ‌ها و ریشه‌های کلم می‌شود (۲۱). رائو و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که Se می‌تواند باعث بهبود وزن تازه، اسیدهای آمینۀ آزاد و محتوای اسید اسکوربیک در گیاه *Cardamine violifolia* تحت تیمار Na_2SeO_4 شود (۲۲). کلم‌ها، سبزیجاتی حائز اهمیت هستند زیرا ترکیبات Se را جمع می‌کنند. به عنوان مثال، مطالعات روی کلم بروکلی نشان داد که مخمر سلنیوم و سلنیت سدیم به‌طور قابل‌توجهی محتوای آلی Se را افزایش می‌دهند (۲۳). در بررسی‌های اخیر مشخص شده است که در غلظت‌های پایین سلنیوم، این عنصر می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی باعث بالا رفتن تحمل کلم به تنش اکسیداتیو گردد که در نهایت منجر به کاهش در پراکسیداسیون لیپید و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌گردد (۲۴، ۲۵). نتایج توکلی و همکاران (۲۰۲۰) حاکی از آن بود که کاربرد سلنیوم باعث افزایش وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک ریشه و اسید

مواد و روش‌ها

مکان و زمان و تیمارهای آزمایشی: به منظور بررسی غلظت‌های مختلف سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک نشاء کلم‌پیچ در شرایط تنش قلیائیت آزمایشی به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در فصل پاییز و زمستان ۱۴۰۲ در مجتمع گلخانه‌ای (با محدوده جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ارتفاع حدود ۲۰ متر از سطح دریا) و آزمایشگاه تجزیه کیفی گروه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید. تولید نشاهای کلم‌پیچ در گلخانه و با متوسط شدت نور $820 \pm 20 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$ انجام گرفت. متوسط دما در گلخانه فوق ۲۵/۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت نسبی ۶۵ درصد بود. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف سلنیوم (۰، ۵، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سطوح قلیائیت (۰، ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) بود. جهت اعمال تیمارهای سلنیومی از نمک سلنیت سدیم و جهت اعمال سطوح مختلف قلیائیت از نمک معدنی بی‌کربنات پتاسیم استفاده گردید. از بذر کلم مورد استفاده در این آزمایش رقم Green coronet محصول شرکت Takii seed ژاپن بود. قبل از انجام آزمایش، بی‌کربنات آب تصفیه محاسبه و از غلظت نهایی کسر گردید. با استفاده از بیکربنات پتاسیم نیز سطوح مختلف قلیائیت در تیمارهای مختلف تنظیم گردید.

بستر مورد استفاده سینی‌های نشاء ترکیب کوکوپیت و پرلیت دانه ریز با نسبت حجمی ۵۰:۵۰ بود. محیط گلخانه به منظور ضدعفونی کردن و از بین بردن حشرات با سموم پرمترین و سیوانتو سمپاشی شد. تا قبل از ظهور دومین برگ حقیقی، نشاهای توسط

آب تصفیه و تیمار شاهد توسط آب مقطر آبیاری شدند. بعد از این مرحله تغذیه نشاهای توسط محلول غذایی تغییر یافته هوگلند (۲۸) تا پایان آزمایش ادامه داشت. سطوح مختلف قلیائیت مرتبط با هر تیمار در بشکه‌های مجزای حاوی محلول غذایی تهیه گردید و در طول دوره تولید نشاء، روزانه بر گیاهان تحت رشد اعمال شد. محلول‌دهی به صورت دستی انجام گردید. جهت تغذیه نشاء در هفته اول و دوم روزانه به ترتیب ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌لیتر و در هفته سوم و چهارم ۵۰۰ میلی‌لیتر از محلول غذایی ذکر شده در هر سینی نشاء استفاده گردید. به منظور اعمال تیمارهای سلنیومی ابتدا از نمک سلنیت سدیم (Sodium selenite) تهیه شده از شرکت سیگما آلدריך، یک استوک تهیه گردید و به همراه محلول غذایی در تیمارهای موردنظر با غلظت‌های ذکر شده اعمال گردید. پس از اعمال تیمارها و پس از اتمام آزمایش (۳۵ روز) از سینی‌های حاوی نشاء کلم‌پیچ تعدادی نمونه (در مرحله ۶-۵ برگ حقیقی) به تصادف جهت ارزیابی و اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک انتخاب گردید.

صفات مورد بررسی

ارتفاع نشاء، طول هیپوکوتیل و قطر هیپوکوتیل: پس از اتمام آزمایش در مرحله ۶-۵ برگ حقیقی جهت بررسی خصوصیات رشدی نمونه‌ها به صورت تصادفی انتخاب گردید و ارتفاع نشاء و طول هیپوکوتیل با خط‌کش اندازه‌گیری شد و به سانتی‌متر گزارش گردید. قطر هیپوکوتیل با کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد.

وزن تر، وزن خشک و درصد ماده خشک شاخساره و ریشه نشاء کلم‌پیچ: وزن تر شاخساره و ریشه با ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. سپس شاخساره و

(۳۰). بدین منظور ۰/۱ گرم وزن تازه از بافت برگ (W) جدا گردید و بعد از خرد کردن کامل نمونه برگی، ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد بر روی بافت برگی در هاون چینی ریخته شد و عمل هموژیناز نمونه‌ها با کوبیدن بافت‌های برگی انجام گرفت. سپس سوسپانسیون به دست آمده در فالكون ۱۰ میلی‌لیتری ریخته و با استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر (V) رسانده شد. در مرحله بعد نمونه‌ها در دستگاه سانتیفریوژ با ۵۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس قسمت روشن‌آور محلول جدا و قرائت نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام گردید و با استفاده از روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب غلظت کلروفیل a و b، کل و کاروتنوئید محاسبه شد.

ریشه هر کدام جداگانه در پاکت کاغذی مخصوص قرار داده شدند و در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند تا خشک شوند، آنگاه وزن خشک شاخساره و وزن خشک ریشه هر کدام جداگانه اندازه‌گیری گردید. درصد ماده خشک شاخساره و درصد ماده خشک ریشه نیز از تقسیم وزن خشک بر وزن تر ضربدر ۱۰۰ حاصل گردید (۲۹).

تعداد برگ و سطح برگ: تعداد برگ هر نشاء در زمان اندازه‌گیری شمارش گردید. سطح برگ هر نشاء توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (Divises LTD, UK) Delta-T اندازه‌گیری و برحسب سانتی‌متر مربع ثبت گردید. **کلروفیل a و b و کل و کاروتنوئید:** از روش آرنون (۱۹۶۷) جهت سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید استفاده شد

$$\text{Chlorophyll a (mg/g tissue)} = \frac{(12/76 \times A_{663}) - (2/79 \times A_{645}) \times V}{(1000 \times W)} \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g tissue)} = \frac{(22/9 \times A_{645}) - (4/68 \times A_{663}) \times V}{(1000 \times W)} \quad (2)$$

$$\text{Total Chlorophyll (mg/g tissue)} = \frac{(20/2 \times A_{645}) + (8/02 \times A_{663}) \times V}{(1000 \times W)} \quad (3)$$

$$\text{Carotenoids} = \frac{(20/2 \times A_{645}) + (8/02 \times A_{663}) \times V}{(1000 \times W)} \quad (4)$$

دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و بعد از آن وزن خشک نیز با ترازو اندازه‌گیری شد، نهایتاً محتوای نسبی آب برگ طبق فرمول زیر محاسبه گردید (۳۱).

محتوای نسبی آب برگ: به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، یک برگ از هر بوته جدا و توزین شد، در مرحله بعد برگ‌ها به مدت چهار ساعت در آب مقطر در دمای یخچال نگهداری شدند، بعد وزن آماس شده آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس در آون با

$$\%RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (5)$$

به آن اضافه گردید، آن‌گاه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه روی دستگاه شیکر قرار گرفت. سپس EC نمونه‌ها با دستگاه EC سنج قرائت گردید (L_t). در مرحله بعد نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و مجدد هدایت الکتریکی (L_0) قرائت گردید و نهایتاً از رابطه ۶ نشت الکترولیت تیمارها محاسبه گردید (۲۹).

$$\%EL = \frac{L_t}{L_0} \times 100 \quad (6)$$

نشان داد بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته مربوط به تیمار سلنیوم صفر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۸/۴۶ سانتی‌متر) و تیمار سلنیوم ۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۸/۴۴ سانتی‌متر) بود که با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند و کم‌ترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۵/۷۳ سانتی‌متر) بود که کاهش ۳۲/۲۷ درصدی را نسبت به تیمار سلنیوم صفر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نشان داد (شکل ۱).

که در آن، $\%RWC$ درصد محتوای نسبی آب برگ، FW وزن تر بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، TW وزن اشباع برگ بعد از قرارگیری در آب مقطر (وزن تورگر)، DW وزن خشک بعد از قرارگیری در آون می‌باشد.

نشت الکترولیت: برای اندازه‌گیری نشت الکترولیت (EL) ابتدا ۱ گرم از نمونه برگی را ۳ بار با آب دیونیزه شسته، سپس خرد کرده و درون لوله آزمایش ۱۰ میلی‌لیتری ریخته، سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه

در نهایت تجزیه آماری داده‌های این آزمایش توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام گرفت و در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن میانگین‌ها مقایسه شدند.

نتایج و بحث

صفات رشدی و رویشی

ارتفاع نشاء: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر ارتفاع نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی‌کربنات

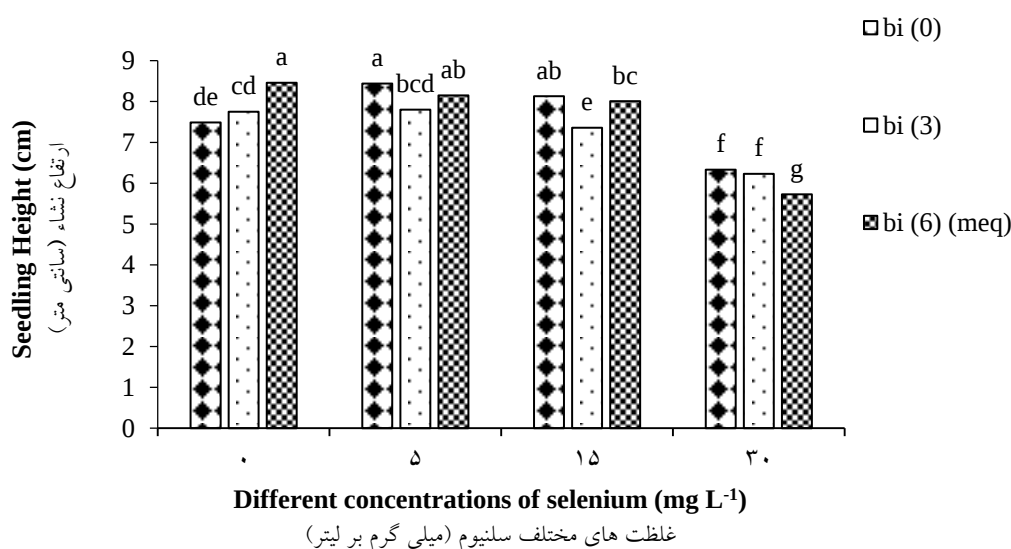
جدول ۱- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم در شرایط تنش قلیانیت بر صفات رشدی و رویشی نشاء کلم پیچ.

Table 1. Variance analysis of the effect of different selenium concentrations under alkalinity stress conditions on growth and vegetative traits of Cabbage seedlings.

میانگین مربعات Mean squared									df	منابع تغییر S.O.V
سطح برگ Leaf area	تعداد برگ Number of leaf	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	قطر هیپوکوتیل Hypocotyl diameter	طول هیپوکوتیل Hypocotyl length	ارتفاع نشاء Seedling height		
0.071 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.0000 ^{ns}	0.0000 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.003 ^{**}	0.001 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2	بلوک Block
1120.35 ^{**}	2.11 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0123 ^{**}	0.017 ^{**}	2.12 ^{**}	0.144 ^{**}	0.178 ^{**}	7.91 ^{**}	3	سلنیوم Selenium
95.15 ^{**}	0.027 ^{ns}	0.00001 ^{**}	0.0027 ^{**}	0.0054 ^{**}	0.200 ^{**}	0.217 ^{**}	0.082 ^{**}	0.37 ^{**}	2	بی‌کربنات Bicarbonate
5.34 ^{**}	0.027 ^{ns}	0.000003 ^{**}	0.00048 ^{**}	0.0000 ^{ns}	0.009 [*]	0.004 ^{**}	0.035 ^{**}	0.50 ^{**}	6	سلنیوم × بی‌کربنات Selenium × Bicarbonate
1.30	0.027	0.00000	0.0000	0.0001	0.003	0.001	0.004	0.04	22	خطا Error
3.17	2.91	14.44	5.15	8.55	3.83	1.66	3.51	2.82	-	ضریب تغییرات CV (%)

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** respectively non-significant and significant at the 5% and 1% probability level



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر ارتفاع نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیانیت.

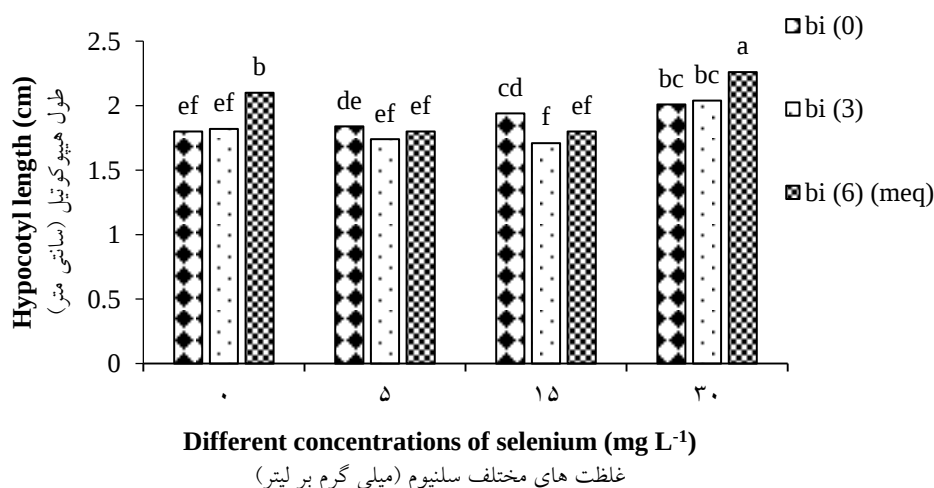
Fig. 1. Effect of different selenium concentrations on the seedling height of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

مطالعات متعددی اثرات تیمار سلنیوم و بی‌کربنات بر رشد گیاهان را بررسی کرده‌اند. یافته‌های قبلی نشان داد که کاربرد سلنیوم و سیلیکون به طور ترکیبی باعث بهبود رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم تحت تنش شوری شد (۳۲). یکی از نکات مهم در تولید نشاء سبزی تولید بوته‌های با سطح برگ و قطر هیپوکوتیل بالا و ارتفاع بوته متوسط می‌باشد. در تیمار شاهد (سلنیوم صفر میلی‌گرم بر لیتر) با افزایش شدت تنش ارتفاع نشاء رشد فزاینده‌ای داشته است (رشد نامتوازن همراه با افزایش طول میانگره)، در حالی که در سایر تیمارهای سلنیومی با افزایش غلظت بی‌کربنات رشد بوته کاهش پیدا کرد. مقایسه تیمارهای ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم در شرایط تنش بی‌کربنات نشان داد که غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم تحت تنش ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر وضعیت مطلوب‌تری را نسبت به تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط تنش ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به نمایش گذاشت به گونه‌ای که نشاء نه شبیه بوته‌های شاهد از رشد نامتوازن برخوردار بود و نه شبیه تیمار با غلظت بالای سلنیوم و بی‌کربنات دارای کوتاهی ارتفاع غیر منطقی بود. بنابر نتایج فوق می‌توان اظهار داشت که بهبود رشد نشاء کلم پیچ در شرایط تنش ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات در غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نتایج مطلوب‌تری را نسبت به سایر تیمارها ایجاد نموده است. به گونه‌ای که در تحقیقی نشان داده شده است که کاربرد سلنیوم و ژئولیت باعث افزایش ارتفاع گیاه و بهبود ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی کلزا تحت شرایط تنش شوری شد (۳۳). هم‌چنین، پژوهشی دیگر نشان داد که کاربرد سلنیوم در شرایط تنش بی‌کربنات به طور هم‌زمان باعث بهبود رشد در گونه‌های گیاهی شد که همسو با پژوهش حاضر می‌باشد (۳۴). از طرفی، افزایش ظرفیت آب درون سلولی و راندمان انتقال مواد مغذی نیز می‌تواند

به رشد و توسعه بهتر گیاه کمک کند. اثرات مثبت سلنیوم بر رشد گیاهان ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود متابولیسم آب و مواد مغذی باشد (۳۴).
طول هیپوکوتیل: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر طول هیپوکوتیل نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان طول هیپوکوتیل مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۲/۲۶ سانتی‌متر) و کم‌ترین طول هیپوکوتیل مربوط به تیمار سلنیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۱/۷۱ سانتی‌متر) بود (شکل ۲). در مطالعه‌ای بر گیاه خربزه، سلنیوم باعث بهبود پارامترهای رشد و کاهش اثرات منفی تنش شوری شد که همراستا با پژوهش حاضر می‌باشد (۳۵). این اثرات مثبت می‌تواند به دلیل بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تنظیم pH محیط ریشه باشد که به جذب بهتر مواد مغذی کمک می‌کند. در پژوهشی دیگر اثر ترکیب سلنیوم و کیفیت نور LED بر رشد و خواص تغذیه‌ای جوانه کلم بروکلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که جوانه‌ها تحت ترکیبی از سلنیوم و تیمار با کیفیت نور LED تغییر قابل‌توجهی در وزن تر بوته نشان ندادند، اما طول هیپوکوتیل کوتاه‌تر، رطوبت کم‌تر و وزن خشک سنگین‌تری داشتند، این نشان می‌دهد که مکمل سلنیوم تحت لامپ‌های LED ممکن است برای تولید جوانه کلم بروکلی تقویت شده با سلنیوم مفید باشد (۳۶). افزایش طول هیپوکوتیل از صفات نامطلوب در پرورش نشاء محسوب می‌گردد. چنانچه در شکل ۲ مشخص است غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر

قلیائیت باعث آسیب به کلم پیچ می‌شود در این پژوهش با افزودن سلیوم اثرات نامطلوب قلیائیت کاهش یافت.

سلیوم در شرایط تنش بی‌کربنات ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر وضعیت مطلوب‌تری را نسبت به سایر تیمارها از نظر طول هیپوکوتیل مطلوب به نمایش گذاشت. تنش



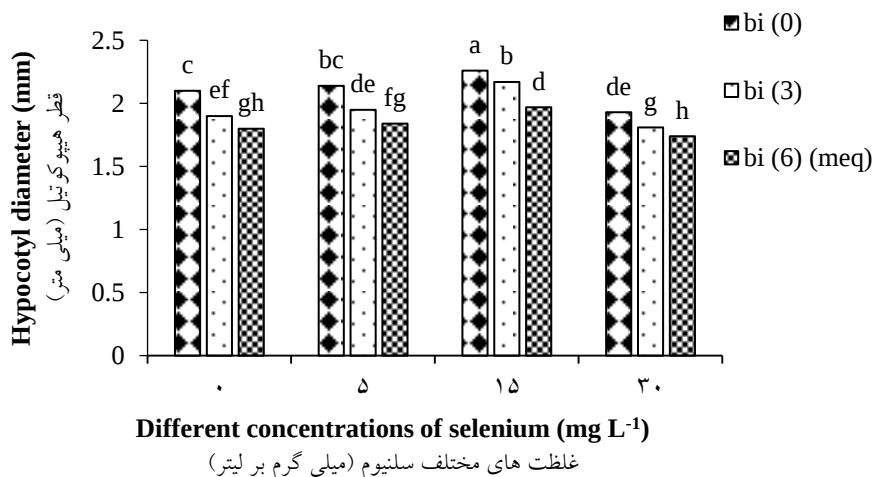
شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف سلیوم بر طول هیپوکوتیل نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 2. Effect of different selenium concentrations on hypocotyl length of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

بادام‌زمینی، اثرات سلیوم بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، سطوح رونوشت ژن‌های آنزیم آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیمی در هیپوکوتیل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد سلیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد که می‌تواند به کاهش سمیت اکسیداتیو کمک کند (۱۲). نتایج حاضر نشان می‌دهد که تیمار سلیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌ترین قطر هیپوکوتیل را داشته است، در حالی که تیمار سلیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کم‌ترین قطر را داشته است که می‌تواند متأثر از غلظت‌های بالای سلیوم و ایجاد شرایط منفی برای رشد نشاء باشد. همچنین، تیمار بی‌کربنات صفر میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیش‌ترین قطر هیپوکوتیل را داشته است که نشان می‌دهد بی‌کربنات می‌تواند تأثیر منفی بر رشد گیاهان داشته باشد. تفاوت تیماری در ساختار سلولی ساقه‌های نشاء که با استفاده از میکروسکوپ مشاهده شده در شکل ۴ نشان داده

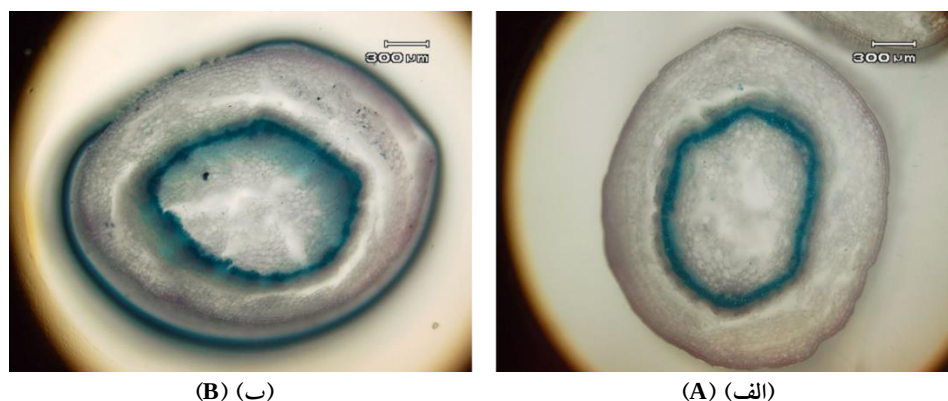
قطر هیپوکوتیل: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلیوم و تنش قلیائیت بر قطر هیپوکوتیل نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان قطر هیپوکوتیل مربوط به تیمار سلیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۲/۲۶ میلی‌متر) و کم‌ترین قطر هیپوکوتیل مربوط به تیمار سلیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۱/۷۴ سانتی‌متر) بود (شکل ۳). مطالعات مختلف نشان می‌دهند که سلیوم می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر رشد گیاهان داشته باشد. سلیوم می‌تواند به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان عمل کند، اما در غلظت‌های بالا ممکن است سمی باشد. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای بر روی گیاه

شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است سلنیوم سهم به‌سزایی در افزایش قطر ساقه و به تبع آن افزایش وزن تر شاخساره نشاهای کلم پیچ داشته است که از یافته‌های قابل توجه این پژوهش است.



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر قطر هیپوکوتیل نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 3. Effect of different selenium concentrations on hypocotyl diameter of cabbage seedlings under alkalinity stress condition.



شکل ۴- تفاوت تیماری در ساختار سلولی ساقه‌های نشاء کلم پیچ. الف) سمت راست- ساقه نازک‌تر در نشاهای فاقد سلنیوم ب) سمت چپ- ساقه ضخیم‌تر در نشاهای حاوی سلنیوم. فاصله دیواره سلولی تا آوند برای ساقه‌های نازک‌تر ۳۰ میکرون و برای ساقه‌های ضخیم‌تر ۴۵ میکرون می‌باشد. برای ساقه‌های نازک‌تر، فاصله از بافت آوندی تا آندودرم ۳/۵ میکرون و برای ساقه‌های ضخیم‌تر ۶/۵ میکرون بود که نشان‌دهنده یکپارچگی ساختاری یا پتانسیل رشد بهتر ساقه‌های ضخیم‌تر تحت تیمار سلنیوم است.

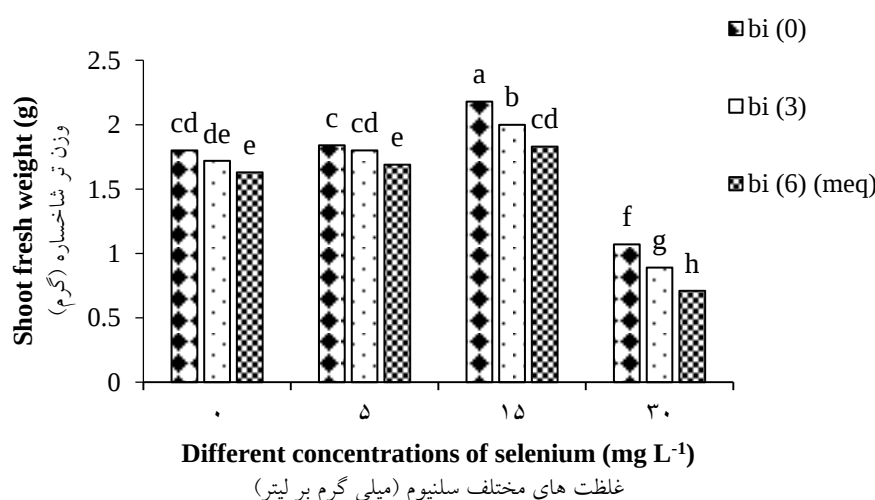
Fig. 4. Treatment differences in the cellular structure of cabbage seedlings. A) Right side - thinner seedlings in selenium-deficient seedlings B) Left side - thicker seedlings in selenium-containing seedlings. The distance from the cell wall to the vessel was 30 microns for thinner seedlings and 45 microns for thicker seedlings. For thinner seedlings, the distance from the vascular tissue to the endoderm was 3.5 microns and for thicker seedlings it was 6.5 microns, indicating better structural integrity or growth potential of thicker seedlings under selenium treatment.

پیچ به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین

وزن تر شاخساره: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر طول هیپوکوتیل نشاء کلم

اسفناج، گندم و آفتابگردان نشان داد که با افزایش غلظت سلینیوم، وزن تر اندام هوایی گیاه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در غلظت‌های بالای سلینیوم به دلیل سمیت حاصل از آن کاهش نرخ رشد مشاهده گردید (۳۷، ۳۸). نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار سلینیوم در غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر توانست اثرات منفی تنش ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات را تعدیل کند. تیمار سلینیوم در غلظت‌های پایین (۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) نتوانست اثرات کاهنده بی‌کربنات سدیم را تعدیل کند. همچنین در غلظت‌های بالاتر یعنی ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نه تنها اثرات مخرب بی‌کربنات سدیم ۶ میلی‌اکی‌والان را کاهش نداد بلکه به دلیل سمیت آن در گیاه باعث کاهش رشد نیز گردید. به گونه‌ای که تنها در تیمار بدون تنش، افزایش غلظت سلینیوم تا سطح ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب کاهش ۵۹/۴۴ درصدی وزن تر شاخساره نشاء کلم پیچ در قیاس با تیمار صفر سلینیوم شد. باقری و روستا (۱۳۹۱) بیان کردند که تیمار بی‌کربنات سدیم با افزایش pH، جذب عناصر به‌خصوص عنصر آهن را کاهش داده و در نهایت منجر به کاهش رشد گیاه کلم می‌شود (۱۵).

میزان وزن تر شاخساره مربوط به تیمار سلینیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۲/۱۸ گرم) و کم‌ترین وزن تر شاخساره مربوط به تیمار سلینیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۰/۷۱ گرم) بود. همان‌گونه که مشخص است در شرایط تنش، بیش‌ترین وزن تر شاخساره که از مولفه‌های یک نشاء با کیفیت می‌باشد، در تیمار ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلینیوم و تنش ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات مشاهده گردید و سبب افزایش ۱۶/۲۷ درصدی وزن تر شاخساره نشاء کلم پیچ گردید که از یافته‌های جالب توجه این پژوهش می‌باشد. همچنین در تنش ۶ میلی‌اکی‌والان، غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلینیوم وضعیت مطلوب‌تری را نسبت به تیمارهای صفر، ۵ و ۳۰ سلینیوم در این تنش ایجاد کرد (شکل ۵). نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که یکی از دلایل کاهش وزن تر شاخساره در تیمار سلینیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + عدم کاربرد بی‌کربنات سدیم نسبت به تیمار سلینیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + عدم کاربرد بی‌کربنات سدیم، سمیت سلینیوم می‌باشد که باعث کاهش وزن تر شاخساره شده است. نتایج پژوهش‌ها در گیاهان

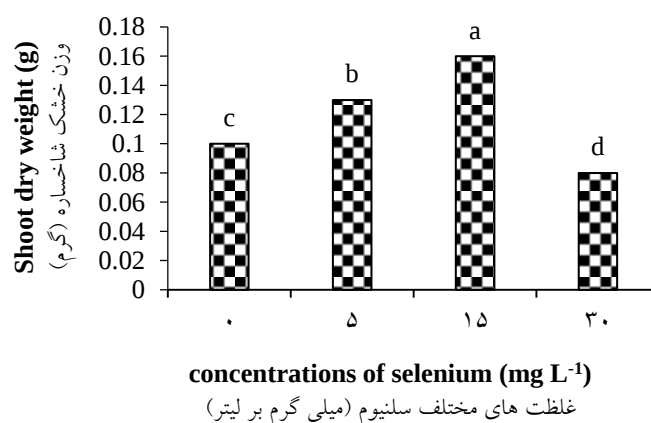


شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف سلینیوم بر وزن تر شاخساره نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 5. Effect of different selenium concentrations on the fresh weight of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

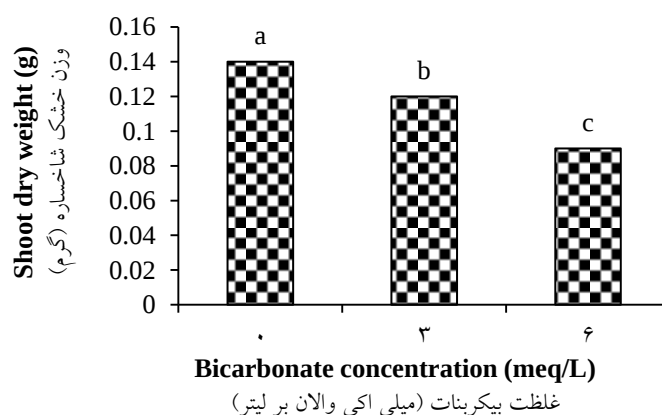
۰/۱۴ گرم) و کم‌ترین میزان وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۰/۰۹ گرم) بود (شکل ۷). در مطالعه‌ای هم‌راستا در فلفل، استفاده از سلنیوم به صورت محلول‌پاشی باعث افزایش وزن تر شاخساره و بهبود کیفیت میوه‌های فلفل شد (۳۹). به نظر می‌رسد سلنیوم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و گلوکاتیون پراکسیداز را افزایش داده که به کاهش تنش اکسیداتیو، به ویژه در شرایط تنش، کمک می‌کند. این کاهش تنش اکسیداتیو منجر به بهبود یکپارچگی سلولی و افزایش تجمع زیست توده شده است (۴۰).

وزن خشک شاخساره: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تنها اثرات اصلی سلنیوم و تنش قلیائیت بر وزن خشک شاخساره نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر اصلی تیمار سلنیوم نشان داد بیش‌ترین میزان وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار سلنیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر (با میزان ۰/۱۶ گرم) و کم‌ترین میزان وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر (با میزان ۰/۰۸ گرم) بود (شکل ۶). هم‌چنین نتایج مقایسات میانگین اثر اصلی تنش بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار بی‌کربنات صفر (با میزان



شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر وزن خشک شاخساره نشاء کلم پیچ.

Fig. 6. Effect of different selenium concentrations on the dry weight of cabbage seedlings.

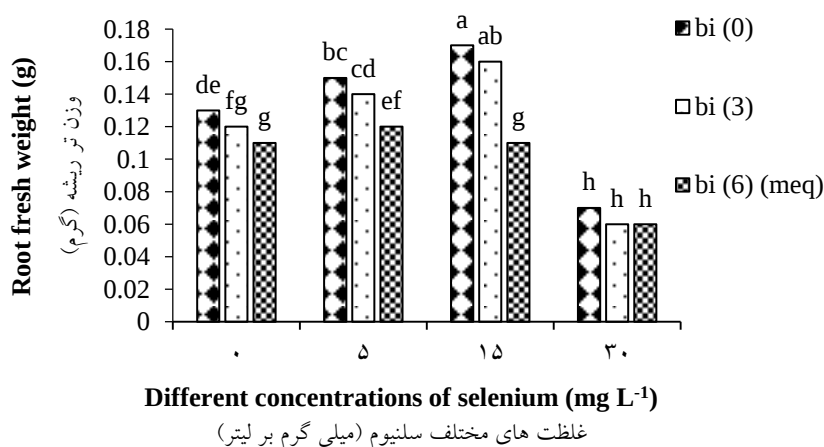


شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات بر وزن خشک شاخساره نشاء کلم پیچ.

Fig. 7. Effect of different bicarbonate concentrations on the dry weight of cabbage seedlings.

بهبود متابولیت‌های ثانویه و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرنجبویه شد که با پژوهش حاضر مطابقت داشت (۲۶) این مطالعات نشان می‌دهند که سلنیوم می‌تواند به عنوان یک عنصر مفید در بهبود رشد و وزن تر ریشه گیاهان به ویژه در شرایط تنش‌های محیطی عمل کند. با این حال، غلظت‌های بالای سلنیوم ممکن است اثرات سمی داشته باشد و باعث کاهش رشد و وزن تر ریشه شود. نتایج حاضر نشان می‌دهد که تیمار سلنیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر بیش‌ترین وزن تر ریشه را داشته است که با مطالعات دیگر همخوانی دارد (۴۱، ۴۲). این نتایج نشان می‌دهد که سلنیوم در غلظت‌های پایین می‌تواند اثرات مثبت بر رشد و وزن تر ریشه گیاهان داشته باشد، اما در غلظت‌های بالا و در حضور بی‌کربنات، اثرات منفی دارد. همچنین این نتایج نشان داد که سلنیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر توانسته است اثرات نامطلوب تنش ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات را تعدیل نماید و سبب بهبود وزن تر ریشه گردد به گونه‌ای که اختلاف معنی داری با سطح بدون تنش در همین غلظت سلنیومی نشان نداد.

وزن تر ریشه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر وزن تر ریشه نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان وزن تر ریشه مربوط به تیمار سلنیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۰/۱۷ گرم) بود که با تیمار سلنیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۰/۱۶ گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان وزن تر ریشه مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر هر دو (با میزان ۰/۰۶ گرم) بود که با تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۰/۰۷ گرم) تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۸). در مطالعه‌ای اثر سلنیوم بر رشد، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و متابولیت‌های ثانویه در گیاه بادرنجبویه بررسی گردید. نتایج نشان داد که استفاده از سلنیوم در غلظت‌های پایین (۰/۲ میکرومولار) باعث افزایش وزن تر ریشه و

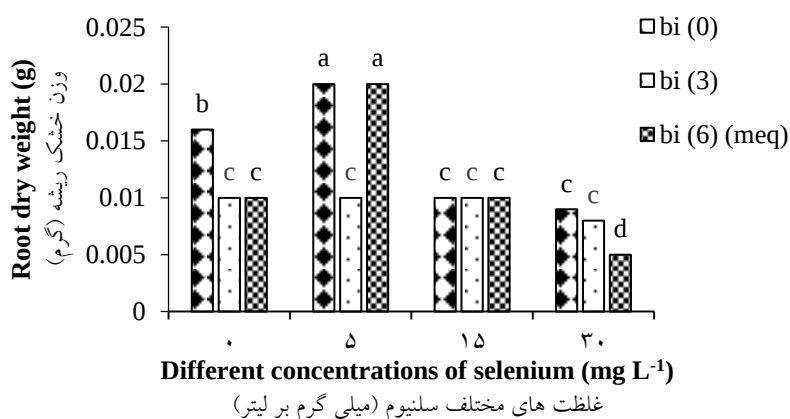


شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر وزن تر ریشه نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 8. Effect of different selenium concentrations on the fresh weight of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

هر دو با میزان ۰/۰۲۰ گرم بود و کمترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی گرم بر لیتر + بی کربنات ۶ میلی اکی والان بر لیتر (با میزان ۰/۰۰۵ گرم) بود (شکل ۹). همچنین غلظت ۳۰ میلی گرم بر لیتر سلنیوم برای گیاه کلم پیچ علائم سمیت را ایجاد کرده است. علائم مورفولوژی سمیت سلنیوم به صورت کاهش رشد بخش هوایی و ریشه گیاه مشاهده شده است که با نتایج صفاریزی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت داشت (۳۷).

وزن خشک ریشه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر وزن خشک ریشه نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی کربنات نشان داد بیشترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به تیمار سلنیوم ۵ میلی گرم بر لیتر + بی کربنات صفر و تیمار سلنیوم ۵ میلی گرم بر لیتر + بی کربنات ۶ میلی اکی والان بر لیتر

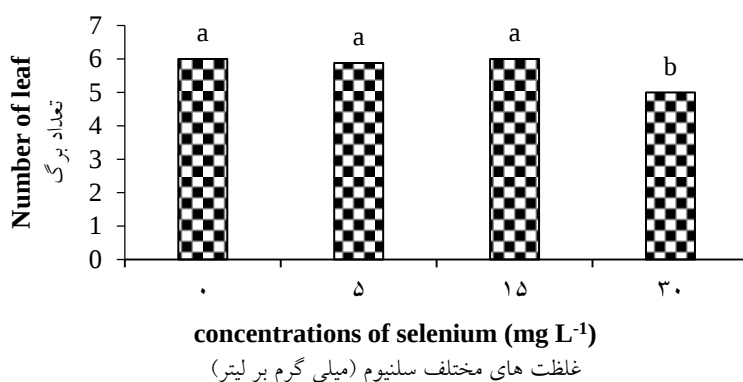


شکل ۹- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر وزن خشک ریشه نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 9. Effect of different selenium concentrations on root dry weight of Cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

در غلظت‌های پایین (۱ و ۳ میلی گرم در لیتر) سبب افزایش تعداد برگ‌ها و بهبود رشد گیاه شد. در غلظت‌های بالاتر (۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر)، کاهش تعداد برگ‌ها و رشد گیاه مشاهده شد که با پژوهش حاضر مطابقت داشت (۴۳). غلظت‌های پایین سلنیوم با بهبود جذب مواد مغذی و کاهش تنش اکسیداتیو، رشد نشاء کلم پیچ را تحریک می‌کند، در حالی که غلظت‌های بالاتر منجر به سمیت و کاهش تعداد برگ و رشد می‌شوند.

تعداد برگ: بر اساس نتایج، تنها اثر اصلی سلنیوم بر تعداد برگ نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بوده است (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین اثر اصلی سلنیوم نشان داد بیشترین تعداد برگ در تیمار سلنیوم صفر و ۱۵ (با تعداد ۶) بود که با سلنیوم ۵ میلی گرم بر لیتر (با تعداد ۵/۸۸) تفاوت معنی داری نداشتند و کمترین تعداد برگ در تیمار سلنیوم ۳۰ میلی گرم بر لیتر (با تعداد ۵) بود (شکل ۱۰). مطالعه بر سیب زمینی شیرین نشان داد که سلنیوم

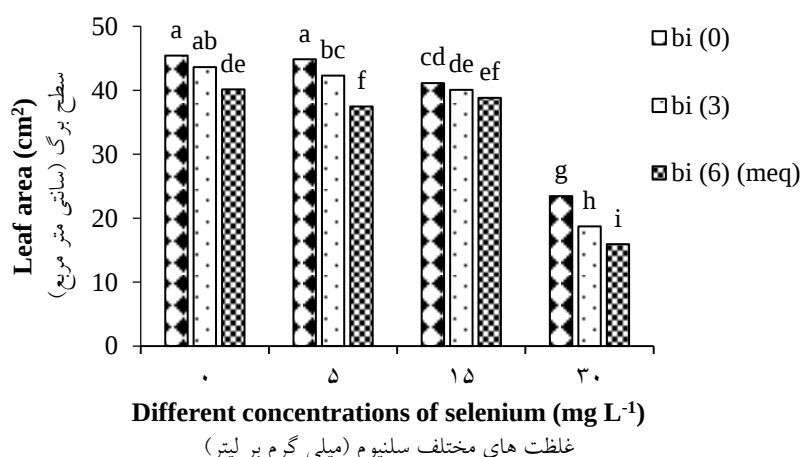


شکل ۱۰- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر میزان تعداد برگ.

Fig. 10. Effect of different selenium concentrations on leaf number.

به دلیل نقش سلنیوم در افزایش تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی و بهبود جذب نور است. با این حال، افزایش بیش از حد غلظت سلنیوم باعث کاهش سطح برگ و اختلال در رشد گیاه می‌شود (۴۴). در غلظت‌های بهینه، سلنیوم می‌تواند باعث افزایش ضخامت برگ و اندازه روزنه‌ها شود. با این حال، در غلظت‌های بالا، سلنیوم می‌تواند اثرات سمی داشته باشد و باعث کاهش سطح برگ شود. این امر به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد، آسیب به غشاهای سلولی و اختلال در فتوسنتز است (۴۵). کریمی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی بر انگور نشان دادند که استفاده از سلنیوم به صورت محلول‌پاشی در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش سطح برگ و بهبود سایر پارامترهای فیزیولوژیکی در شرایط تنش شوری شد (۴۶).

سطح برگ: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر سطح برگ نشاء کلم‌پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان سطح برگ مربوط به تیمار سلنیوم صفر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۴۵/۴۳ سانتی‌مترمربع) و تیمار سلنیوم ۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۴۴/۸۵ سانتی‌مترمربع) بود که تفاوت معنی‌داری نداشتند. هم‌چنین کم‌ترین میزان سطح برگ مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۱۵/۹۳ سانتی‌مترمربع) بود (شکل ۱۱). تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که افزایش غلظت سلنیوم در محیط کشت تا حد مشخصی باعث افزایش سطح برگ و بهبود رشد گیاه می‌شود. این اثر مثبت احتمالاً



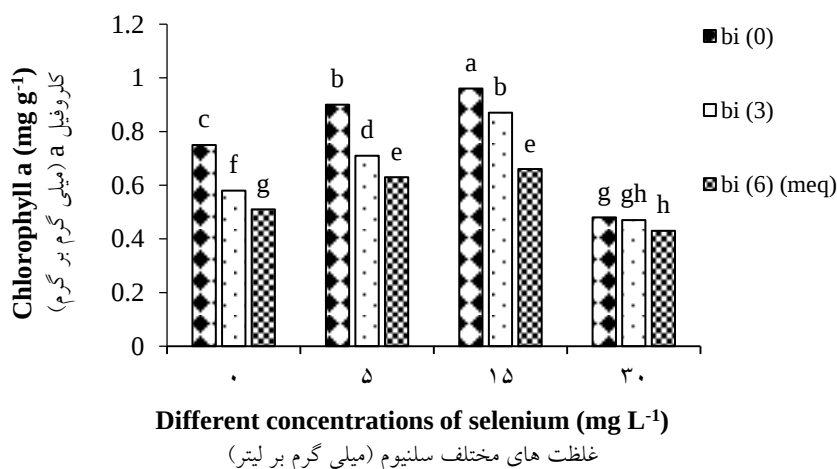
شکل ۱۱- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر سطح برگ نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 11. Effect of different selenium concentrations on the leaf surface of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

بر گرم) و کم‌ترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۰/۴۳ میلی‌گرم بر گرم) بود (شکل ۱۵). سلنیوم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد که به خشتی‌سازی ROS کمک می‌کند، در نتیجه تنش اکسیداتیو را که می‌تواند منجر به تخریب کلروفیل شود را کاهش می‌دهد (۴۷).

صفات فیزیولوژیک

کلروفیل a: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر میزان کلروفیل a برگ‌های نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار سلنیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۰/۹۶ میلی‌گرم



شکل ۱۲- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر کلروفیل a نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 12. Effect of different selenium concentrations on chlorophyll a of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سلیوم در شرایط تنش قلیانیت بر صفات فیزیولوژیک نشاء کلم پیچ.

Table 2. Variance analysis of the effect of different selenium concentrations under alkalinity stress conditions on physiological traits of cabbage seedlings.

میانگین مربعات Mean squared						درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
محتوای نسبی آب برگ Relative water content	نشء الکترولیت Electrolyte Leakage	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total Chlorophylle	کلروفیل b Chlorophylle b	کلروفیل a Chlorophylle a		
0.0031**	0.0038 ^{ns}	0.0118**	0.0000 ^{ns}	1.05 ^{ns}	2.11 ^{ns}	2	بلوک Block
0.2334**	0.2053**	0.8622**	0.0000**	473.46**	190.83**	3	سلیوم Selenium
0.1400**	0.1409**	0.05516**	0.0000 ^{ns}	530.82**	373.88**	2	بیکربنات Bicarbonate
0.0121**	0.0111**	0.0363**	0.0001**	70.86**	25.42**	6	سلیوم × بیکربنات Selenium × Bicarbonate
0.00048	0.0012	0.0014	0.00000	1.95	1.38	22	خطا Error
3.31	9.71	3.75	6.59	6.27	1.38	-	ضریب تغییرات CV (%)

^{ns}, * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

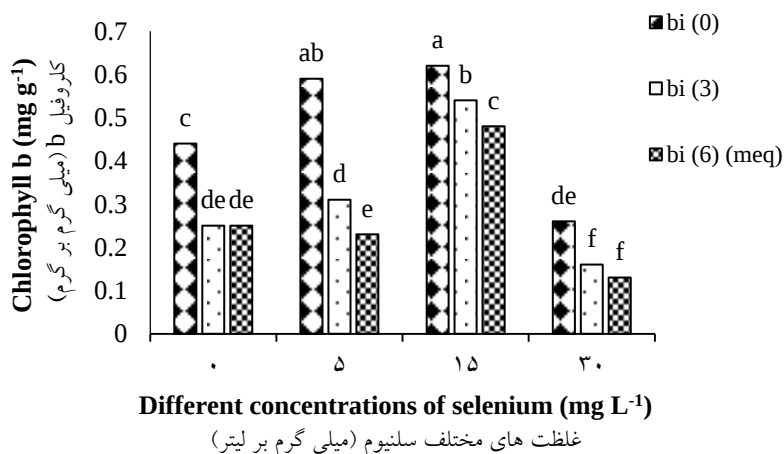
^{ns}, * and ** respectively non-significant and significant at the 5% and 1% probability level

میلی گرم بر گرم) بود که تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۱۳). افزایش میزان کلروفیل b در برخی تیمارها نشان‌دهنده افزایش توانایی گیاه در جذب نور و انجام فتوسنتز است. سلیوم به عنوان یک عنصر کمیاب غیرضروری، در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه نقش دارد. بی‌کربنات نیز نقش مهمی در تنظیم pH سلول و فعالیت آنزیم‌های مختلف دارد. بغدادی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر سلیوم بر رشد، جنبه‌های فیزیولوژیکی و بهره‌وری باقلا (*Vicia faba* L.) رقم Giza 716 پرداختند. نتایج تجربی نشان داد که محلول‌پاشی با ۲۰ میلی گرم بر لیتر سلیوم تأثیری بر رشد رویشی، اجزای عملکرد، کیفیت بذر، غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی (Chla، Chlb، Chl) کل و کاروتنوئیدها، کربوهیدرات‌های محلول، مواد معدنی و پروتئین خام

کلروفیل b: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلیوم و تنش قلیانیت بر میزان کلروفیل b برگ‌های نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل b مربوط به تیمار سلیوم ۱۵ میلی گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۰/۶۲ میلی گرم بر گرم) که با تیمار سلیوم ۵ میلی گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۰/۵۹ میلی گرم بر گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان کلروفیل b مربوط به تیمار سلیوم ۳۰ میلی گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۰/۱۳ میلی گرم بر گرم) و تیمار سلیوم ۳۰ میلی گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۰/۱۶ میلی

طریق چندین مکانیسم صورت می‌گیرد: جایگزینی یون منیزیم در ساختار کلروفیل با سلیوم، مهار آنزیم‌های کلیدی در مسیر سنتز کلروفیل مانند پورفوبیلینوژن سنتتاز، واکنش با گروه‌های سولفیدریل آنزیم‌های آمینولولینیک اسید دهیدراتاز و پورفوبیلینوژن دآمیناز و همچنین افزایش فعالیت آنزیم تجزیه‌کننده کلروفیل (کلروفیالز) و افزایش ترکیبات فنلی مانند کوماریک و فرولیک اسید که خود اثر تخریبی بر کلروفیل دارند، صورت می‌گیرد (۴۹). در این پژوهش غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر توانست اثرات نامطلوب تنش قلیائیت را کاهش و باعث بهبود رشد شود.

نداشت. اما محلول‌پاشی با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلیوم اثرات قابل‌توجهی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی باقلا دارد که در تطابق با پژوهش حاضر می‌باشد (۴۸). براساس نتایج غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلیوم در قیاس با سایر غلظت‌های سلیوم وضعیت مطلوب‌تری را در ایجاد رنگیزه فتوسنتزی در شرایط تنش ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات داشته است. سلیوم در غلظت مناسب با محافظت از رنگیزه‌های فتوسنتزی و بهبود فرآیند فتوسنتز، به افزایش عملکرد فتوسنتز کمک می‌کند (۴۹). سلیوم در غلظت‌های بالا، با تداخل در مراحل مختلف سنتز کلروفیل، باعث کاهش این رنگدانه حیاتی در گیاه می‌شود. این تداخل از



شکل ۱۳- اثر غلظت‌های مختلف سلیوم بر کلروفیل b نشاء کلم‌پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

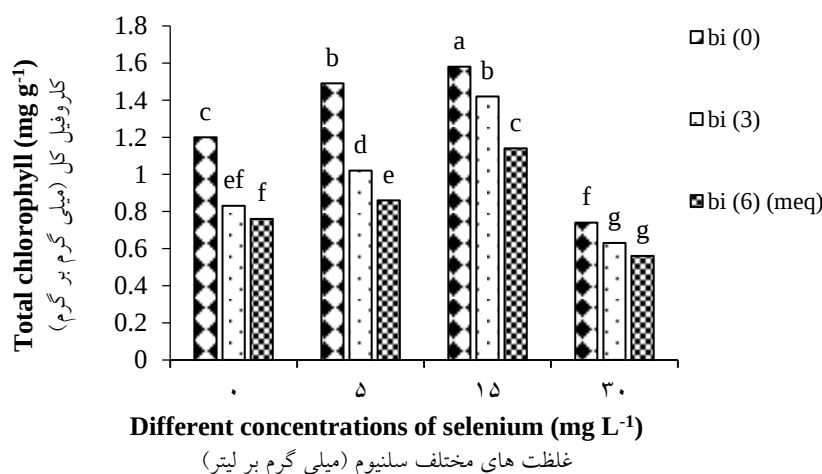
Fig. 13. Effect of different selenium concentrations on chlorophyll b of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۰/۵۶ میلی‌گرم بر گرم) بود (شکل ۱۴). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که سلیوم می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر میزان کلروفیل کل در گیاهان داشته باشد. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای روی خیار، تیمار سلیوم باعث افزایش معنی‌دار در میزان کلروفیل کل تحت شرایط تنش قلیایی شد (۵۰). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر بر ذرت، غلظت‌های پایین سلیوم

کلروفیل کل: بر اساس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلیوم و تنش قلیائیت بر کلروفیل کل برگ‌های نشاء کلم‌پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار سلیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین آن مربوط به تیمار سلیوم

می‌رسد کاهش میزان کلروفیل در غلظت‌های بالای سلینیوم احتمالاً به دلیل کاهش سطح پهنک برگ و کاهش تراکم کلروفیل a و کلروفیل کل در واحد سطح برگ باشد (۵۲).

باعث افزایش میزان کلروفیل کل شدند، در حالی که غلظت‌های بالاتر باعث کاهش آن شدند (۵۱). این احتمالاً به دلیل افزایش تنش اکسیداتیو و اختلال در فرآیندهای متابولیکی است که می‌تواند سنتز کلروفیل را مهار کرده و منجر به زرد شدن برگ‌ها شود. به نظر

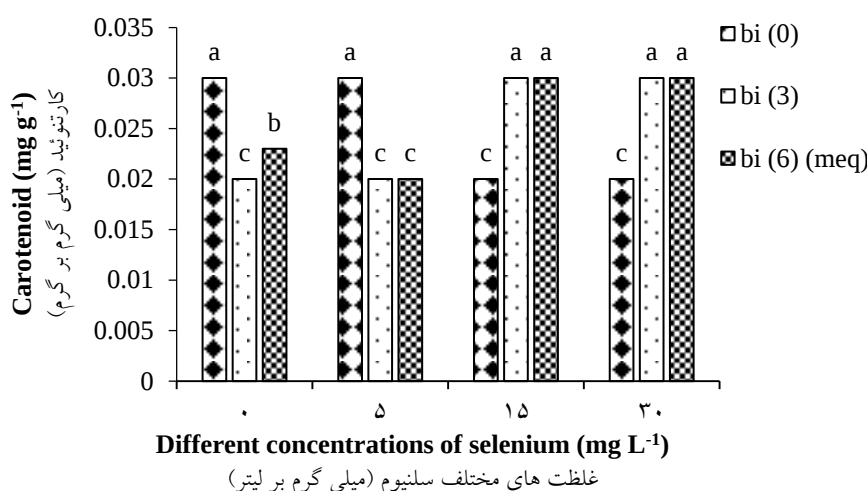


شکل ۱۴- اثر غلظت‌های مختلف سلینیوم بر کلروفیل کل نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 14. Effect of different selenium concentrations on total chlorophyll of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

لیتر، تیمار سلینیوم ۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، تیمار سلینیوم ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر، به میزان ۰/۰۲ میلی‌گرم بر گرم بود که تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۱۵). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که سلینیوم می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر میزان کاروتنوئید در گیاهان داشته باشد. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای بر ذرت، تیمار سلینیوم باعث افزایش ۶۰ درصدی کاروتنوئیدها تحت شرایط کم‌آبی شد (۵۳). همچنین، در مطالعه‌ای بر گیاه گوجی بری (*Lycium chinense*)، سلینیوم باعث افزایش ۴۰۰-۲۰۰ درصدی کاروتنوئید شد (۵۴). این نتایج با پژوهش حاضر همخوانی دارد که نشان می‌دهد تیمار سلینیوم می‌تواند باعث افزایش میزان کاروتنوئید شود.

کاروتنوئید: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تنها اثر اصلی سلینیوم و اثر متقابل سلینیوم و تنش قلیائیت بر میزان کاروتنوئید برگ‌های نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلینیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمارهای سلینیوم صفر + بی‌کربنات صفر، تیمارهای سلینیوم ۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر + بی‌کربنات صفر، تیمار سلینیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و تیمار سلینیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (همه با میزان ۰/۰۳۰ میلی‌گرم بر گرم) بود که تفاوت معنی‌داری نداشتند و کم‌ترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار سلینیوم صفر + بی‌کربنات ۳ میلی‌اکی‌والان بر

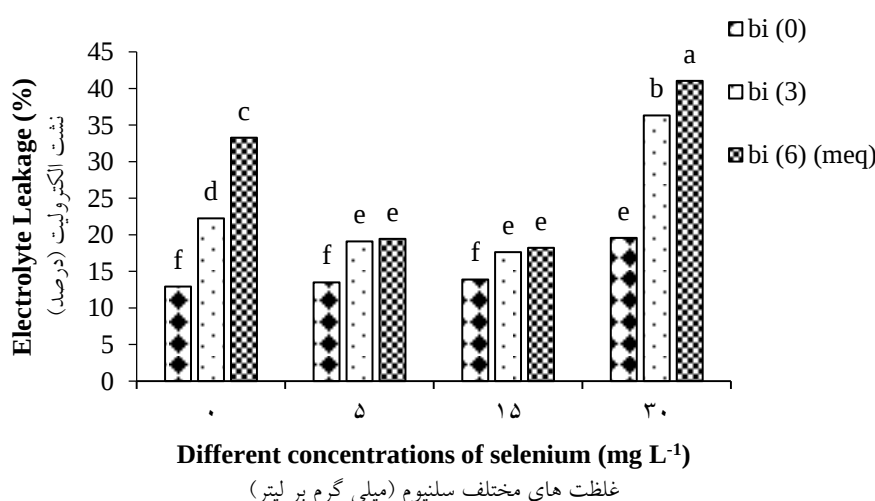


شکل ۱۵- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر کاروتنوئید نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 15. Effect of different selenium concentrations on carotenoids of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

باعث اختلال در ساختار داخلی کلروپلاست‌ها در برگ‌های کلم می‌شود، در حالی که تیمار Se برون‌زا آسیب کلروپلاست را تا حدودی کاهش می‌دهد، ثبات غشای داخلی را بهبود می‌بخشد و آسیب به اندام‌های فتوسنتزی ناشی از تنش Cd را کاهش می‌دهد (۵۵). سلنیوم، در غلظت‌های مناسب، می‌تواند نقش محافظتی قابل توجهی در برابر تنش قلیایی در گیاهان ایفا کند. این عنصر با تقویت غشاهای سلولی، حفظ تعادل یونی و کاهش تولید رادیکال‌های آزاد، به گیاه کمک می‌کند تا اثرات مخرب تنش قلیایی را کاهش دهد. سلنیوم با پایدارسازی غشاهای سلولی، از نفوذپذیری بیش از حد آن‌ها جلوگیری کرده و از خروج یون‌ها و مولکول‌های ضروری به خارج از سلول ممانعت می‌کند. همچنین، این عنصر با بهبود عملکرد پمپ‌های یونی، به حفظ تعادل یونی در سلول کمک کرده و از اختلال در فرایندهای متابولیکی جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، سلنیوم با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه، از آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد جلوگیری کرده و به گیاه کمک می‌کند تا در شرایط قلیایی بهتر زنده بماند (۵۶).

نشت الکترولیت: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر میزان نشت الکترولیت برگ‌های نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان نشت الکترولیت مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۴۱/۰۶ درصد) و کم‌ترین میزان نشت الکترولیت مربوط به تیمار سلنیوم صفر میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۱۲/۹۲ درصد) بود (شکل ۱۶). نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش بی‌کربنات در تیمار شاهد نشت یونی مطابق انتظار افزایش معنی‌داری را نشان داد. همچنین غلظت‌های ۵ و ۱۵ سلنیوم در شرایط تنش ۳ و ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات میزان نشت الکترولیت کم‌تری نسبت به تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر داشته‌اند. در مطالعه‌ای هم‌راستا محققان به بررسی تأثیر سلنیوم برون‌زا در بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی نشاء کلم (*Brassica oleracea* L. var. capitata) و تحمل تنش کادمیوم پرداختند. نتایج نشان داد که تنش Cd

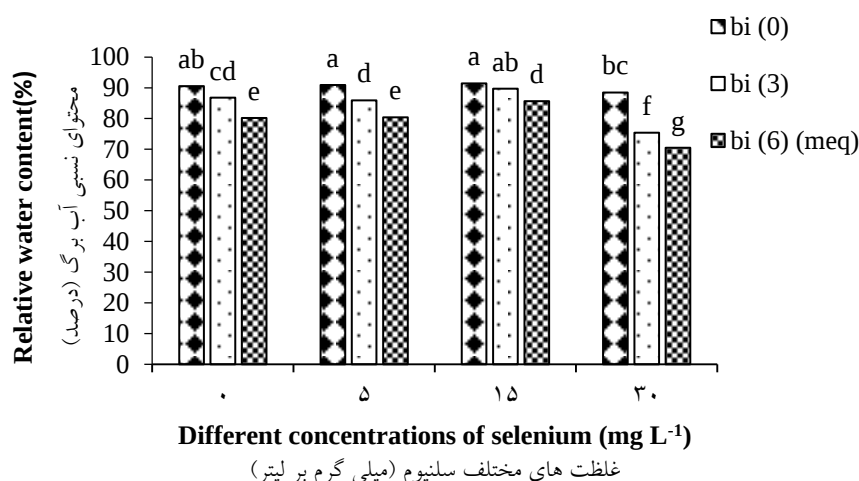


شکل ۱۶- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر نشت الکترولیت نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 16. Effect of different selenium concentrations on electrolyte leakage of cabbage seedlings under alkalinity stress conditions.

تیمار سلنیوم باعث افزایش RWC و بهبود تحمل گیاهان به تنش خشکی شد (۵۷). سلنیوم در غلظت مناسب با تحریک رشد ریشه و بهبود جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای، منجر به افزایش محتوای آب در گیاه می‌شود. به عبارت دیگر، سلنیوم با افزایش سطح جذب آب و توزیع آن در بافت‌های گیاهی، به بهبود وضعیت آبی گیاه کمک می‌کند پس می‌تواند به کاهش اثرات نامطلوب تنش قلیائیت کمک و باعث بهبود ویژگی‌های گیاه شود (۵۸). بر اساس پژوهشی دیگر سلنیوم به حفظ آب در گیاهان کمک کرده و تیمار حاوی سلنیوم محتوای نسبی آب در گیاهان را افزایش داده که برای حفظ فشار تورژسانس و سلامت کلی گیاه، به ویژه در شرایط تنش، ضروری است. به‌طورکلی، این مکانیسم‌ها نقش مهمی را در افزایش وزن تر و خشک شاخساره ایفا کرده است (۳۲).

محتوای نسبی آب برگ: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سلنیوم و تنش قلیائیت بر میزان محتوای نسبی آب برگ‌های نشاء کلم پیچ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل تیمار سلنیوم و بی‌کربنات نشان داد بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار سلنیوم ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۹۱/۴۶ درصد) و تیمار سلنیوم ۵ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات صفر (با میزان ۹۰/۹ درصد) بود که اختلاف معنی‌داری نداشتند. کم‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار سلنیوم ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر + بی‌کربنات ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (با میزان ۷۰/۵۱ درصد) بود (شکل ۱۷). در پژوهشی اثر کاربرد سلنیوم برگی تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری گیاه کلزا، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که



شکل ۱۷- اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر محتوای نسبی آب برگ نشاء کلم پیچ در شرایط تنش قلیائیت.

Fig. 17. Effect of different selenium concentrations on the relative water content of cabbage seedlings leaves under alkalinity stress conditions.

سمی بر کیفیت نشاء کلم پیچ داشته است و باعث کاهش رشد و عملکرد نشاءها گردید. بنابر نتایج به دست آمده استفاده از غلظت ۱۵ میلی گرم بر لیتر سلنیوم می تواند علاوه بر ایجاد قطر ساقه بهتر، سبزیگی بیش تر، ارتفاع بوته متعادل و وزن تر شاخساره بهتری را در شرایط تنش قلیائیت ایجاد نماید که به منظور بهبود رشد نشاء در واحدهای تولید صنعتی نشاء قابل توصیه می باشد. با این حال، برای استفاده بهینه از این عنصر، بررسی اثرات متقابل آن با سایر عوامل محیطی ضروری است. این پژوهش گامی مهم در جهت درک بهتر نقش سلنیوم در بهبود رشد و عملکرد نشای سبزی ها در شرایط تنش قلیایی است.

نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج این آزمایش افزودن سلنیوم به محلول های غذایی در شرایط تنش قلیائیت، منجر به افزایش رشد رویشی گیاه، افزایش سطح برگ و بهبود شاخص های فیزیولوژیکی نشاء کلم پیچ شد. تیمار سلنیوم در شرایط تنش قلیائیت منجر به افزایش رنگیزه های فتوسنتزی مفید مانند کلروفیل و کاروتنوئید شده است. استفاده از سلنیوم در شرایط تنش قلیائیت باعث کاهش نشت یونی و افزایش محتوای نسبی آب برگ های نشاء کلم پیچ شد. این نتایج نشان می دهد که این تیمارها به کاهش آسیب های اکسیداتیو ناشی از تنش قلیایی کمک می کنند. سلنیوم در غلظت های بالا اثرات مخرب و

منابع

- Goswami, L., Ekblad, A., Choudhury, R., & Bhattacharya, S. S. (2024). Vermicomposted Tea Industry Coal Ash efficiently substitutes chemical fertilization for growth and yield of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) in an alluvial soil: A field-based study on soil quality, nutrient translocation, and metal-risk remediation. *Science of the Total Environment*, 907, 168088.
- Balliu, A., Sallaku, G., & Nasto, T. (2017). Nursery management practices influence the quality of vegetable seedlings. *Italus Hortus*, 24(3), 39-52.
- Stajič, E., & Kunej, U. (2023). Optimization of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.) protoplast transformation for genome editing using CRISPR/Cas9. *Frontiers in Plant Science*, 14.

4. Rokayya, S., Li, C. J., Zhao, Y., Li, Y., & Sun, C. H. (2013). Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) phytochemicals with antioxidant and anti-inflammatory potential. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 14(11), 6657-6662.
5. Park, S., Arasu, M. V., Lee, M. K., Chun, J. H., Seo, J. M., Lee, S. W., Al-Dhabi, N. A., & Kim, S. J. (2014). Quantification of glucosinolates, anthocyanins, free amino acids, and vitamin C in inbred lines of cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Food chemistry*, 145, 77-85.
6. Lee, Y., Kim, S., Yang, B., Lim, C., Kim, J. H., Kim, H., & Cho, S. (2018). Anti-inflammatory effects of *Brassica oleracea* Var. capitata L. (Cabbage) methanol extract in mice with contact dermatitis. *Pharmacognosy magazine*, 14(54), 174.
7. Chrysargyris, A., Prasad, M., Kavanagh, A., & Tzortzakis, N. (2019). Biochar type and ratio as a peat additive/partial peat replacement in growing media for cabbage seedling production. *Agronomy*, 9(11), 693.
8. Martins, G. D., Santos, L. C. S., dos Santos Carmo, G. J., da Silva Neto, O. F., Castoldi, R., Machado, A. I. M. R., & de Oliveira Charlo, H. C. (2023). Multispectral images for estimating morphophysiological and nutritional parameters in cabbage seedlings. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100211.
9. Ban, S., Hong, I., & Kwack, Y. (2023). Prediction of growth and quality of Chinese cabbage seedlings cultivated in different plug cell sizes via analysis of image data using multispectral camera. *Horticulturae*, 9(12), 1288.
10. Khaeim, H., Kende, Z., Balla, I., Gyuricza, C., Eser, A., & Tarnawa, Á. (2022). The Effect of Temperature and Water Stresses on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Sustainability*, 14(7), 3887.
11. Gong, B., Zhang, C., Li, X., Wen, D., Wang, S., Shi, Q., & Wang, X. (2014). Identification of NaCl and NaHCO₃ stress responsive proteins in tomato roots using iTRAQ-based analysis. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 446(1), 417-422.
12. Wang, G., Zhang, H., Lai, F., & Wu, H. (2016). Germinating peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings attenuated selenite-induced toxicity by activating the antioxidant enzymes and mediating the ascorbate-glutathione cycle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(6), 1298-1308.
13. De la Torre-González, A., Montesinos-Pereira, D., Romero, L., Blasco, B., & Ruiz, J. (2018). Analysis of metabolic and nutritional biomarkers in *Brassica oleracea* L. cv. Bronco plants under alkaline stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 93(3), 279-288.
14. Bienfait, H. F., & Scheffers, M. R. (1992). Some properties of ferric citrate relevant to the iron nutrition of plants. *Plant and Soil*, 143, 141-144.
15. Bagheri, V., & Rousta, H. (2012). Investigation of the effect of different concentrations of sodium bicarbonate (alkalinity stress) on some varieties of cool crops in hydroponic system. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 5(1), 80-67. [In Persian]
16. Tavakoli, M., Bagheri, V., & Roosta, H. R. (2015). Comparison of efficiency of different Fe sources on growth and physiological characteristics of lettuce under alkaline conditions in hydroponic system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 5(20), 49-41. [In Persian]
17. Fairweather-Tait, S. J., Bao, Y., Broadley, M. R., Collings, R., Ford, D., Hesketh, J. E., & Hurst, R. (2011). Selenium in human health and disease. *Antioxidants & redox signaling*, 14(7), 1337-1383.
18. Gui, J. Y., Rao, S., Gou, Y., Xu, F., & Cheng, S. (2022). Comparative study of the effects of selenium yeast and sodium selenite on selenium content and nutrient quality in broccoli florets (*Brassica*

- oleracea L. var. italica). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(4), 1707-1718.
19. Newman, R., Waterland, N., Moon, Y., & Tou, J. C. (2019). Selenium biofortification of agricultural crops and effects on plant nutrients and bioactive compounds important for human health and disease prevention—a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74, 449-460.
20. Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. 2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM).
21. Liao, X., Rao, S., Yu, T., Zhu, Z., Yang, X., Xue, H., Gou, Y., Cheng, S., & Xu, F. (2021). Selenium yeast promoted the Se accumulation, nutrient quality and antioxidant system of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.). *Plant Signaling & Behavior*, 16(6), 1907042.
22. Rao, S., Yu, T., Cong, X., Xu, F., Lai, X., Zhang, W., Liao, Y., & Cheng, S. (2020). Integration analysis of PacBio SMRT-and Illumina RNA-seq reveals candidate genes and pathway involved in selenium metabolism in hyperaccumulator Cardamine violifolia. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1-20.
23. Yu, L., Chen, Q., Liao, X., Yang, X., Chao, W., Cong, X., Zhang, W., Liao, Y., Ye, J., & Qian, H. (2023). Exploring effects of exogenous selenium on the growth and nutritional quality of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.). *Horticulturae*, 9(3), 330.
24. Montesinos-Pereira, D., De la Torre-González, A., Blasco, B., & Ruiz, J. (2018). Hydrogen sulphide increase the tolerance to alkalinity stress in cabbage plants (*Brassica oleracea* L. 'Bronco'). *Scientia Horticulturae*, 235, 349-356.
25. Izydorczyk, G., Ligas, B., Mikula, K., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K., & Chojnacka, K. (2021). Biofortification of edible plants with selenium and iodine—A systematic literature review. *Science of the Total Environment*, 754, 141983.
26. Tavakoli, S., Enteshari, S., & Yousefifard, M. (2020). Investigation of the effect of selenium on growth, antioxidant capacity and secondary metabolites in *Melissa officinalis*. *Iranian journal of plant physiology*, 10(2), 3125-3134.
27. Huang, S., Ying, Z., Chen, J., Yang, Y., Zhang, J., Yang, L., & Liu, M. (2023). Effect of Selenium Application on Growth, Antioxidative Capacity, and Nutritional Quality in Purple Lettuce Seedlings. *Agronomy*, 13(7), 1664.
28. Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950) The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. *California Agricultural Experiment Station*, Circular-347.
29. Tabatabaei, S. J. (2013). Principles of plant mineral nutrition. Tabriz University Press. Tabriz. [In Persian]
30. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
31. Weatherley, P. (1950). Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytologist*, 81-97.
32. Taha, R. S., Seleiman, M. F., Shami, A., Alhammad, B. A., & Mahdi, A. H. (2021). Integrated application of selenium and silicon enhances growth and anatomical structure, antioxidant defense system and yield of wheat grown in salt-stressed soil. *Plants*, 10(6), 1040.
33. Bybordi, A. (2016). Influence of Zeolite, Selenium and Silicon upon Some Agronomic and Physiologic Characteristics of Canola Grown under Salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, 832-850. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146898>.
34. Xia, A., Wu, Y., Qin, Z., Zhu, Y., Li, L., Xiao, J., & Xiang, J. (2024). Synergistic Effects of Bicarbonate and Selenium on Cadmium Transport in Karst-Adaptable

- Plants Based on Plant Electrical Signals. *Agronomy*, 14(1), 218.
35. Hu, K. L., Zhang, L., Wang, J. T., & You, Y. (2013). Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under salt stress. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 82(3).
36. He, R., Gao, M., Shi, R., Song, S., Zhang, Y., Su, W., & Liu, H. (2020). The combination of selenium and LED light quality affects growth and nutritional properties of broccoli sprouts. *Molecules*, 25(20), 4788.
37. Saffar Yazdi, A., Lahooti, M., & Ganjali, A. (2012). The Effects of Different Selenium Concentrations on some Morpho-physiological Characteristics of Spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Horticultural Sciences Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, 26(3), 292-300. [In Persian]
38. Madaan, N., & Mudgal, V. (2011). Phytotoxic effect of selenium on the accessions of wheat and safflower. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5, 82-87.
39. Hassan, M. S., Belal, H. E., Abou-Sreea, A. I. B., & Rady, M. M. (2023). Exogenous application of selenium or iodine improves the growth, yield and antioxidant status of *Capsicum annum* L. *Labyrinth: Fayoum Journal of Science and Interdisciplinary Studies*, 1(1), 76-83.
40. D'Amato, R., De Feudis, M., Hasuoka, P. E., Regni, L., Pacheco, P. H., Onofri, A., & Proietti, P. (2018). The selenium supplementation influences olive tree production and oil stability against oxidation and can alleviate the water deficiency effects. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1191.
41. Haghighi, H., Licciardello, F., Fava, P., Siesler, H. W., & Pulvirenti, A. (2020). Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100551.
42. Omar, A. A., Heikal, Y. M., Zayed, E. M., Shamseldin, S. A., Salama, Y. E., Amer, K. E., & Mohamed, A. H. (2023). Conferring of drought and heat stress tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes and their response to selenium nanoparticles application. *Nanomaterials*, 13(6), 998.
43. Chen, H., Cheng, Q., Chen, Q., Ye, X., Qu, Y., Song, W., & Shen, Y. (2022). Effects of selenium on growth and selenium content distribution of virus-free sweet potato seedlings in water culture. *Frontiers in Plant Science*, 13, 965649.
44. Shekari, L., Kamelmanesh, M. M., Mozaffarian, M., & Sadeghi, F. (2015). Effect of Selenium on some Morphological and Physiological Properties of Hot Pepper (*Capsicum annum*) Grown in Hydroponic Culture. *Horticultural Sciences*, 29(4), 594-600. [In Persian]
45. Rizwan, M., Ali, S., Rehman, M. Z. U., Rinklebe, J., Tsang, D. C., Tack, F. M., ... & Ok, Y. S. (2021). Effects of selenium on the uptake of toxic trace elements by crop plants: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(21), 2531-2566.
46. Karimi, R., Ghabooli, M., Rahimi, J., & Amerian, M. (2020). Effects of foliar selenium application on some physiological and phytochemical parameters of *Vitis vinifera* L. Cv. Sultana under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 43(14), 2226-2242.
47. Hsu, C. Y., Chao, P. Y., Hu, S. P., & Yang, C. M. (2013). The antioxidant and free radical scavenging activities of chlorophylls and pheophytins. *Food and Nutrition Sciences*, 4(8), 1-8.
48. Boghdady, M. S., Desoky, E., Azoz, S. N., & Abdelaziz, D. M. (2017). Effect of selenium on growth, physiological aspects and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.). *Egyptian Journal of Agronomy*, 39(1), 83-97.

49. Namdar, M., Arvin, S. M. J., & Bahremand, N. (2019). Effect of selenium on growth, physiological and biochemical indices of garlic plant (*Allium sativum*) under cadmium toxicity. *Plant process and function*, 8(30), 137-153. [In Persian]
50. Mousavi, S. A., Roosta, H. R., Esmailizadeh, M., & Eshghi, S. (2022). Alleviating the adverse effects of salinity and alkalinity stresses on some physiological traits by selenium and silicon foliar applications on cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, 46(4), 556-573.
51. Sali, A., Zeka, D., Fetahu, S., Rusinovci, I., & Kaul, H. P. (2018). Selenium supply affects chlorophyll concentration and biomass production of maize (L.). *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 69(4), 249-255.
52. Karimi, N., & Saydikhah, Z. (2018). Effect of selenium on growth and some physiological parameters of *Allium iranicum* Wendelbo. and *Allium ampeloprasum* L. *Plant Process and Function*, 7(24), 183-197. [In Persian]
53. Nawaz, F., Naeem, M., Ashraf, M. Y., Tahir, M. N., Zulfiqar, B., Salahuddin, M., & Aslam, M. (2016). Selenium supplementation affects physiological and biochemical processes to improve fodder yield and quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1438.
54. Dong, J. Z., Wang, Y., Wang, S. H., Yin, L. P., Xu, G. J., Zheng, C., & Zhang, M. Z. (2013). Selenium increases chlorogenic acid, chlorophyll and carotenoids of *Lycium chinense* leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 310-315.
55. Jia, K., Zhan, Z., Wang, B., Wang, W., Wei, W., Li, D., Huang, W., & Xu, Z. (2023). Exogenous selenium enhances cadmium stress tolerance by improving physiological characteristics of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) seedlings. *Horticulturae*, 9(9), 1016.
56. Gupta, M., & Gupta, S. (2017). An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02074>.
57. Hemmati, M., Delkhosh, B., Rad, A. H. S., & Mohammadi, G. N. (2019). Effect of the application of foliar selenium on canola cultivars as influenced by different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Sciences*, 25(3), 309-318.
58. Habibi, Q., Ghorbanzadeh, P., & Abedini, M. (2016). Effects of selenium application on physiological parameters of *Melissa officinalis* L. plants. *Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research Bimonthly*, 32 (4), 715-698. (In Persian)

