مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۳ شماره ۱ صفحه های ۶۳ تا ۷۸ (۱۴۰۱)
مقاله پژوهشی

تاثیر سلنیوم و سیلیسیوم بر برخی از فراسنجه‌های رویشی و زیست‌شیمیایی خیار زیر تنش شوری و قلیائیت در کشت هیدروپونیک[1]

Effects of Selenium and Silicon on Some Vegetative and Biochemical Attributes of Cucumber under Salinity and Alkalinity Stresses in Hydroponic Culture

سید علی اصغر موسوی، حمیدرضا روستا، مجید اسماعیلی زاده* و سعید عشقی[2]

چکیده

شوری یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که تولیدهای باغی را زیر تاثیر خود قرار می‌دهد. مشخص شده است که برخی از عناصر معدنی سودمند ممکن است خسارت شوری را کاهش دهند. به‌منظور بررسی تاثیر مصرف عناصر سلنیوم و سیلیسیم در طی تنش شوری و قلیائیت بر رشد و برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و زیست‌شیمیایی خیار گلخانه‌ای "ناگین" آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی با سه سطح تنش (شاهد، کلراید سدیم و بی‌کربنات سدیم با غلظت ۷۵ میلی‌مولار) و پنج سطح عناصر سودمند (شاهد، ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم) با چهار تکرار انجام شد. براساس نتیجه‌های به‌دست آمده، کمترین سطح برگ (۲۱۵/۰۴ سانتی‌متر مربع) در تیمارهای قلیائیت بدون افزودن عناصر سودمند مشاهده شد و استفاده از غلظت‌های مختلف سیلیسیوم و سلنیوم سبب افزایش سطح برگ (۳۴۲/۲۵ سانتی‌متر مربع) نسبت به شاهد گردید. در غلظت‌های مختلف عناصر سودمند، بیشترین عملکرد میوه در تیمار ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم حاصل شد. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز را ۱۳/۹۱ درصد و فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز را ۳۸/۱۴ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های مورفولوژیکی، تحمل تنش، عناصر اصلاح‌کننده، سلنات سدیم و سیلیکات سدیم.

مقدمه

شوری یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که تولید محصول‌های باغی و زراعی را زیر تاثیر خود قرار می‌دهد (۱۰). شوری یکی از مهمترین عوامل تنش‌زا است که به شدت تولید محصول را کاهش می‌دهد و موجب تاثیر منفی بر تولید محصول‌های کشاورزی در مناطق متعدد جهان، به ویژه در زمین‌های خشک و نیمه خشک می‌شود. این تاثیر در مناطق خشک و نیمه خشک حدود ۱۱۰ میلیون هکتار را در بر می‌گیرد. طبق آمار فائو[3] حدود ۲۰ تا ۳۰ میلیون هکتار از زمین‌های زیر کشت جهان به شدت با شوری خراب شده‌اند (۴، ۱۰). شوری بر فرایندهای مختلف مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی مانند تنژیدن بذر، رشد گیاه، جذب آب و جذب مواد مغذی تاثیر می‌گذارد (۱۰).

یک مشکل مهم در بسیاری از نقاط دنیا، قلیائیت است. قلیائیت معیاری برای سنجش ظرفیت بافری آب و ظرفیت یک محلول برای خنثی‌سازی اسید می‌باشد. هنگامی‌که قلیائیت بالا باشد باعث افزایش پی‌اچ می‌شود (۲۳). بی‌کربنات یون اصلی

۱- تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۶

۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان، استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان و استاد بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (esmaeilizadeh@vru.ac.ir).

۳- FAO

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

است که باعث قلیائیت و بهره‌مندی از ظرفیت بافری برای آب می‌شود، اما در غلظت‌های بالاتر از ۲ میلی‌مولار می‌تواند باعث توقف معنی‌دار در رشد گونه‌های حساس به پی‌اچ بالای آب شود. گزارش شده که در تنش قلیائیت، سرعت رشد نسبی در مقایسه با تنش شوری به میزان بیشتری کاهش می‌یابد (۲۳). شوری و قلیائیت در خاک یک مشکل محیطی شایع است و نمک‌های قلیایی ($NaHCO_3$ و$NaCO_3$) تاثیرهای مخرب خیلی بیشتری روی گیاهان نسبت به نمک‌های خنثی (NaCl و Na_2SO_4) می‌گذارند (۲۰). در مطالعه‌ای که روی گیاه کاهو در شرایط تنش قلیایی انجام شد، مشخص شد که غلظت مواد غذایی در اندام‌های هوایی گیاهان شاهد نسبت به گیاهان تیمار شده با بی‌کربنات بیشتر بوده، اما تیمار بی‌کربنات و قلیائیت باعث انباشت مواد غذایی در ریشه‌ها و کاهش شدید رشد اندام هوایی ناشی از بی‌کربنات شده است (۱۸).

برخی از مواد معدنی غیر ضروری اما سودمند ممکن است عوارض شوری را خنثی یا تا حدودی کم کنند. عناصر غذایی مختلفی برای رشد و نمو گیاهان شناخته شده‌اند که در فرایندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاهان نقش‌های مختلفی دارند. از بین عناصر موجود، سلنیوم به عنوان یک عنصر غیر ضروری برای گیاهان، اما ضروری برای جانوران و انسان شناخته شده است. هرچند نقش این عنصر در گیاهان هنوز به درستی شناخته نشده است، اما گزارش‌های زیادی مبنی بر نقش آن در فیزیولوژی، متابولیسم و همچنین تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان علفی وجود دارد (۸). گزارش شده است که سیلیسیوم اهمیت حیاتی در بهبود رشد گیاهان در تنش شوری دارد. این عنصر با کاهش تحرک سدیم در گیاه، کاهش جذب سدیم، افزایش جذب پتاسیم و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم منجر به افزایش تحمل به شوری در گیاهان می‌شود (۱۲). در پژوهشی که توسط Yassen و همکاران (۲۴) روی تاثیر کودهای نانوسیلیسیم در رابطه با کاهش اثر شوری بر پارامترهای رشدی، عملکرد و ترکیبات شیمیایی خیار انجام شد، این پژوهشگران مشاهده کردند که کاربرد برگی نانوذره‌های سیلیسیم سبب افزایش پارامترهای رشدی گیاه خیار شده است. براساس نتیجه‌های به‌دست آمده با افزودن نانوکودهای سیلیسیم محتوا و جذب نیتروژن و فسفر افزایش یافته و مقدار سدیم کاهش یافت. بنابراین، کودهای نانوسیلیسیم می‌تواند تاثیر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد.

تولید سبزی به لحاظ اهمیت تازه‌خوری و فراوری زیاد آن در بین گیاهان زراعی از اهمیت بسیاری برخوردار است و در تولید جهانی پس از گندم، برنج و ذرت در مقام چهارم قرار دارد. گیاه خیار یکی از قدیمی‌ترین سبزی‌های اهلی شده با نام علمی *Cucumis sativus*، با رشد یکساله، نیمه‌گرمسیری و از تیره Cucurbitaceae می‌باشد که یکی از مهمترین محصول‌های گلخانه‌ای است که به روش خاکی و همچنین بی‌خاک پرورش می‌یابد (۱۶). بر اساس آمار سازمان خوار و بار جهانی (فائو) در سال ۲۰۱۹ ایران دارای سطح زیرکشتی به وسعت ۲۹۴۰۰ هکتار و تولید ۸۷۱۶۰۰۰ تن یکی از مهمترین کشورهای تولیدکننده خیار در جهان است (۴) و بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۷، خیار با ۹/۲درصد یکی از پنج محصول با بیشترین میزان تولید می‌باشد. خیار نسبت به شوری به ویژه در مرحله تنژیدن و رشد گیاهچه حساس است. تنش شوری بر تنژگی و رشد خیار بسیار تاثیرگذار است و هر ساله مشکلات ناشی از شوری در تولید این محصول بروز می‌کند. در مواجه با این مشکلات با توجه به این که ارقام خیار به شوری حساس می‌باشند، بایستی افزون بر معرفی ارقام متحمل به شوری، به دنبال راهکارهای مناسب دیگر در مواجه با این عوامل محیطی بود. با توجه به این که خیار یکی از محصولات مهم تولیدی در ایران است و ایران یکی از کشورهای خشک و نیمه خشک می‌باشد که به واسطه این شرایط آب و هوایی بیشتر زمین‌های کشور شور و قلیایی هستند و از سوی دیگر به دلیل مشکلات کم آبی کشاورزان ناچار به استفاده از آب‌های با کیفیت پایین و کشت بدون خاک در گلخانه‌ها هستند، بررسی روش‌های مختلف و استفاده از مواد مفید به عنوان مواد ضد تنش روی این گیاه برای بالا بردن تحمل آن به شرایط تنش شوری و قلیائیت امری ضروری است. با توجه به مطالب بیان‌شده این پژوهش با هدف بررسی تاثیر عناصر سلنیوم و سیلیسیم در غلظت‌های مختلف بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و پارامترهای رویشی خیار زیر تنش شوری و قلیائیت در سیستم کشت بدون خاک اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی خیار گلخانه‌ای رقم "ناگین" زیر تنش شوری و قلیائیت در سیستم آبکشت و به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح به طور کامل تصادفی که در آن تنش به عنوان عامل اول در سه سطح (بدون تنش، تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

کلرید سدیم (NaCl) و تنش قلیائیت ۷۵ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم ($NaHCO_3$) و عناصر سودمند به عنوان عامل دوم در پنج سطح شامل صفر، ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم از منبع سلنات سدیم و همچنین، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم از منبع سیلیکات سدیم در چهار تکرار در بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ در یک گلخانه تولید صیفی‌جات در شهرستان زرقان از توابع شیراز به اجرا در آمد. هر تکرار شامل دو گلدان بود که در هر گلدان یک بوته قرار داشت و در کل ۱۲۰ گلدان و گیاه مورد بررسی قرار گرفتند. این منطقه دارای آب و هوای معتدل است. بیشینه، کمینه و میانگین دما در این منطقه به ترتیب ۴۳، ۴- و ۲۵ درجه سلسیوس، میانگین بارندگی ۱۰۷/۷ میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۲۸ متر است. حداکثر، حداقل دما، رطوبت نسبی و نور گلخانه در طول انجام آزمایش به‌ترتیب ۲۸ درجه سلسیوس، ۱۸ درجه سلسیوس، ۸۰ درصد و ۱۶/۸ تاریکی/ روشنایی بود.

آماده سازی دانهال‌ها و شیوه انجام آزمایش

برای تهیه نشاء خیار، بذرهای خیار گلخانه‌ای رقم "ناگین" در سینی نشاء توپی حاوی کوکوپیت و پیت‌ماس کشت شدند. سیستم هیدروپونیک شامل مخازن جداگانه و هر کدام حاوی محلول غذایی هوگلند بود. پس از ۲ هفته از زمان کشت بذر زمانی که گیاهچه‌ها چهار برگی بودند، نشاء خیار در گلدان‌های پلاستیکی حاوی آمیخته کوکوپیت و پرلایت با نسبت حجمی ۳۰:۷۰ کشت شدند. سپس محلول غذایی از راه نازل‌ها به داخل گلدان هدایت شد. پس از انتقال نشاءها به گلدان‌ها به مدت بیست روز گیاهان به صورت منظم و هر روز دوبار با محلول‌غذایی هوگلند تغذیه شدند. پس از آن تیمارهای تنش روزانه دو بار و به مدت دو ماه همزمان با کودآبیاری (محلول غذایی هوگلند) اعمال شدند. درون هر کدام از مخزن‌ها افزون بر محلول‌غذایی هوگلند، تیمارها که شامل سطوح شوری حاصل از کلرید سدیم با غلظت ۷۵ میلی‌مولار و قلیاییت حاصل از بی‌کربنات سدیم با غلظت ۷۵ میلی‌مولار و کاربرد همزمان سلنیوم در غلظت‌های ۰، ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم و سیلیسیم در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از منبع سیلیکات سدیم بود، اعمال گردید. لازم به ذکر است در این مدت در صورت مشاهده هرگونه آفت و بیماری از جمله مینوز، شته و مگس سفید مبارزه شیمیایی (سمپاشی) و حذف برگ‌های آلوده صورت گرفت. همچنین از چسب زرد برای جذب حشرات استفاده شد. به منظور رشد رویشی بهتر و ایجاد گیاهی قوی‌تر، تمام شاخه‌ها و میوه‌ها تا ارتفاع ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری بالای بستر کشت حذف شدند. دو ماه پس از اعمال تیمارها، نمونه‌گیری انجام و ویژگی‌های مورد ارزیابی به شرح زیر اندازه‌گیری شدند.

سطح برگ

سطح برگ توسط دستگاه Leaf Area meter (مدل DELTA- T DEVICES LTD, Cambridge England) ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد.

ارتفاع گیاه و طول ساقه تا اولین میوه، قطر ساقه

اندازه‌گیری ارتفاع بوته دو ماه پس از اعمال تیمارهای تنش و طول ساقه تا اولین میوه، ۵۰ روز پس از انتقال گیاه به سیستم کاشت صورت گرفت. ارتفاع گیاه و طول ساقه تا اولین میوه با متر اندازه‌گیری شد. قطر ساقه در فاصله ۳ سانتی‌متری از پاهنگ با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری گردید.

وزن تر و خشک ریشه و شاخساره:

وزن تر اندام هوایی و ریشه‌های هر گلدان با استفاده از ترازوی دیجیتالی مدل SAS 3031 با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس اندام هوایی و ریشه به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و وزن خشک اندام هوایی و ریشه نیز با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شدند.

تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه در هر بوته، وزن تک میوه، طول تک میوه، قطر میوه

تعداد میوه در هر بوته با اولین برداشت شمارش گردید و تا ۴۵ روز ادامه داشت. طول میوه با خط‌کش سانتی‌متری، قطر میوه با دستگاه کولیس و وزن میوه با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شدند.

به منظور تعیین عملکرد میوه در هر تیمار (وزن و تعداد میوه) بعد از شمارش میوه‌ها، وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شدند. در نهایت، جمع داده‌ها به صورت میانگین محاسبه گردید.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها

دو ماه پس از اعمال تیمارها، نمونه‌های برگی (۳ برگ) به طور تصادفی از برگ‌های بالغ قسمت میانی بوته و برگ‌های وسط ساقه از هر گلدان برداشت شده و برای اندازه‌گیری آنزیم‌ها در فریزر با دمای ۸۰- درجه سلیسوس تا زمان اندازه‌گیری ویژگی‌های مد نظر نگهداری شد.

عصاره‌گیری جهت سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

برای استخراج عصاره آنزیمی، ۰/۵ گرم نمونه برگی با ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج فسفات پتاسیم به‌خوبی ورتکس شدند. پس از سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ rpm در دمای ۴ درجه سلسیوس فاز رویی جدا گردید. از این عصاره برای سنجش آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنول‌اکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز استفاده شد (۱۴).

سنجش فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (Px-GSH)

سنجش فعالیت این آنزیم بر اساس روش Flohe و Gunzler (۵) و با استفاده از پراکسید هیدروژن به عنوان ماده زمینه انجام شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۲ نانومتر خوانده شد و فعالیت آنزیم بر اساس میزان کاهش گلوتاتیون در گذشت زمان واکنش در مقایسه با نمونه بدون عصاره آنزیمی محاسبه گردید ($nmol\ GSH\ mg^{-1}\ protein\ min^{-1}$).

اندازه‌گیری فعالیت ویژه آنزیم پلی فنول اکسیداز

برای سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز، محلول واکنش در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر برای پلی فنول اکسیداز شامل ۲/۸ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با pH=۶/۸، ۱۰۰ میکرولیتر پیروگالول ۰/۳ مولار، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی است. تغییر جذب محلول واکنش نسبت به شاهد در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و فعالیت ویژه آنزیم بر پایه میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان شد (۹)

اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم برگ

ابتدا ۴ برگ توسعه یافته از قسمت میانی بوته انتخاب و به‌طور کامل با آب مقطر شسته شده و در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند و پس از عصاره‌گیری با اسید کلریدریک ۲ نرمال عناصر سدیم و پتاسیم توسط فلیم فتومتر مدل (JENWAY PFP7) ساخت کشور انگلستان خوانده شد. با قرار دادن عدد خوانده شده از دستگاه در فرمول به دست آمده از منحنی استاندارد، غلظت پتاسیم و سدیم بر حسب گرم بر کیلوگرم وزن خشک محاسبه شد.

واکاوی داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پژوهش حاضر با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($P<0.05$) محاسبه گردید. برای ترسیم شکل‌های مربوطه نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج

سطح برگ

در بررسی میانگین سطح برگ نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین میانگین سطح برگ مربوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلنیوم و سیلیسیوم میانگین سطح برگ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم بیشترین میانگین سطح برگ را داشتند (جدول ۱). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش میانگین سطح برگ گردید. کمترین میانگین سطح برگ در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد. در غلظت ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم میانگین سطح برگ بیشتری نسبت به غلظت‌های مختلف سیلیسیوم به‌دست آمد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میانگین سطح برگ کمتر بود. بین غلظت‌های مختلف سیلیسیوم نسبت به کلرید سدیم و سلنات سدیم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱). در شرایط تنش قلیائیت کمترین میانگین سطح برگ در تیمار کربنات سدیم تنها به‌دست آمد؛ اگرچه با غلظت‌های مختلف سیلیسیوم از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین میانگین سطح برگ در غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به دست آمد (جدول ۱). کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم سبب افزایش ۵۹/۱۵ درصدی سطح برگ در شرایط تنش قلیائیت نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها شد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

طول ساقه تا اولین میوه

در بررسی طول ساقه تا اولین میوه نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین طول ساقه تا اولین میوه مربوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سیلیسیوم و سلنیوم طول ساقه تا اولین میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم بیشترین طول ساقه تا اولین میوه را داشتند (جدول ۱). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سیلیسیوم و سلنیوم سبب افزایش طول ساقه تا اولین میوه گردید. کمترین طول ساقه تا اولین میوه در تیمار کلرید سدیم تنها به دست آمد. در غلظت ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم طول ساقه تا اولین میوه بیشتری نسبت به غلظت‌های مختلف سیلیسیوم به‌دست آمد و در غلظت۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم طول ساقه تا اولین میوه کمتر بود. بین غلظت مختلف سیلیسیوم نسبت به کلرید سدیم و سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم ۵۹/۶۵ درصد سبب افزایش طول ساقه تا اولین میوه در شرایط تنش کلرید سدیم نسبت به تیمار کلرید سدیم تنها شد (جدول ۱). در شرایط تنش قلیائیت کمترین طول ساقه تا اولین میوه در تیمار کربنات سدیم تنها به‌دست آمد و سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش طول ساقه تا اولین میوه در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم هم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین طول ساقه تا اولین میوه در غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم نسبت به سلنیوم طول ساقه تا اولین میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم ۴۱/۴۸ درصد سبب افزایش طول ساقه تا اولین میوه در شرایط تنش قلیائیت نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها شد (جدول ۱).

جدول ۱- تاثیر برهمکنش غلظت‌های مختلف سیلیکات سدیم، سلنات سدیم و تنش شوری بر میانگین سطح برگ، طول ساقه تا اولین میوه و وزن خشک اندام هوایی خیار.

Table1. Effect of combined different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on mean leaf area, shoot length up to the first fruit and shoot dry weight of cucumber

تنش شوری Salinity stress	عناصر سودمند Beneficial elements	(میلی‌گرم در لیتر) mg L^{-1}	میانگین سطح برگ Mean leaf area (cm^2)	طول شاخساره تا اولین میوه Shoot length to the first fruit (cm)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)
شاهد Control	سلنات سدیم Sodium selenate	0	457.10f†	8.63gh	72.78d
		4	689.88a	12.55a	82.56a
		6	585.96c	11.43bc	80.38b
	سیلیکات سدیم Sodium silicate	75	536.51d	10.87cd	74.32d
		100	489.77e	9.19fg	79.03c
کلرایدسدیم ۷۵ میلی‌مولار 75 mM sodium chloride	سلنات سدیم Sodium selenate	0	278.48j	7.51ij	55.06g
		4	636.84b	11.99ab	73.76d
		6	488.13e	10.31de	67.21e
	سیلیکات سدیم Sodium silicate	75	443.14g	9.68ef	57.55f
		100	317.40i	8.08hi	64.59e
بی‌کربنات سدیم ۷۵ میلی‌مولار 75 mM sodium bicarbonate	سلنات سدیم Sodium selenate	0	215.04l	4.71n	45.91i
		4	342.25h	6.95jk	50/91h
		6	237.71k	6.39kl	50.91h
	سیلیکات سدیم Sodium silicate	75	234.19l	5.82lm	51.91h
		100	215.04l	5.27mn	50.91h

†Mean values followed by the same letters in each column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test).

†میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

وزن خشک اندام هوایی

در بررسی وزن خشک اندام هوایی نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلنیوم و سیلیسیوم وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت‌های ۴ و ۶

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم بیشترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند (جدول ۱). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید. کمترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد. در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم میزان وزن خشک اندام هوایی بیشتری مشاهده شد و در غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میزان وزن خشک اندام هوایی کمتر بود. بین غلظت مختلف سیلیسیوم نسبت به کلرید سدیم و سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم ۳۳/۹۶ درصد سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش کلرید سدیم نسبت به تیمار کلرید سدیم تنها شد (جدول ۱). در شرایط تنش قلیائیت کمترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار کربنات سدیم تنها به‌دست آمد و سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سیلیسیوم و سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

قطر ساقه

در تنش شوری با ترکیب‌های مختلف شوری، کمترین قطر ساقه در شوری کلرید سدیم و بی‌کربنات سدیم به ترتیب با میانگین (۱/۵۵ و ۱/۴۲ میلی‌متر) مشاهده شد. بیشترین میانگین قطر ساقه در شاهد با میانگین ۱/۹۸ میلی‌متر به‌دست آمد (جدول ۲).

وزن تر اندام هوایی و ریشه

در تنش شوری بی‌کربنات سدیم کمترین وزن اندام هوایی با ۱۴۳/۶۱ گرم نسبت به شوری کلرید سدیم به‌دست آمد و بیشترین وزن اندام هوایی در تیمار شاهد (۲۱۸/۰۵ گرم) مشاهده گردید (جدول ۲). در تنش شوری حاصل از بی‌کربنات سدیم کمترین وزن تر ریشه با ۱۴/۴۸۱ گرم نسبت به شوری کلرید سدیم به‌دست آمد و بیشترین وزن تر ریشه در تیمار شاهد (۲۱/۸۳۱ گرم) مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲- تاثیر تنش شوری بر قطر شاخساره و وزن تر شاخساره و ریشه خیار.

Table 2. Effect of salinity stress on shoot diameter and shoot and root fresh weights of cucumber.

تنش شوری Salinity stress	قطر شاخساره (سانتی‌متر) Shoot diameter (cm)	وزن تر شاخساره (گرم) Shoot fresh weight (g)	وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight (g)
شاهد Control	1.98a†	218.05a	21.83a
کلرید سدیم ۷۵ میلی‌مولار 75 mM sodium chloride	1.55b	178.03b	18.28b
بی‌کربنات سدیم ۷۵ میلی‌مولار 75 mM sodium bicarbonate	1.42b	143.61c	14.48c

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test).

†میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

وزن خشک ریشه

اثر تیمارهای سلنات و سیلیکات سدیم بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. کمترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد به‌دست آمد و بیشترین میزان وزن خشک ریشه در تیمار ۶ میلی‌گرم در لیتر سدیم سلنات به‌دست آمد. بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۳).

ارتفاع گیاه

اثر تیمارهای سیلیسیوم و سلنیوم بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود. کمترین ارتفاع گیاه در شاهد به‌دست آمد و بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد. بین غلظت‌های مختلف سیلیسیوم و سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۳).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

تعداد میوه در بوته

در غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم، کمترین تعداد میوه در بوته در شاهد و بیشترین تعداد میوه در بوته در تیمار ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد. بین غلظت‌های مختلف سیلیسیوم و سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۳).

عملکرد میوه

در غلظت‌های مختلف سیلیسیوم و سلنیوم، کمترین عملکرد میوه در تیمار شاهد و بیشترین عملکرد میوه در تیمار ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد. بین غلظت‌های مختلف سیلیسیوم و سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۳).

جدول ۳- تاثیر غلظت‌های مختلف سلنات سدیم و سیلیکات سدیم، بر ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، تعداد میوه و عملکرد خیار.

Table 3. Effect of different concentrations of sodium selenate and sodium silicate on plant height, root dry weight, fruit number, and yield of cucumber.

عناصر سودمند Beneficial elements	میلی‌گرم در لیتر	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد میوه Fruit number	عملکرد میوه Yield (kg)
سلنات سدیم	0	180.07d†	7.65d	28.00d	41.77d
Sodium selenate	4	197.24a	8.37b	40.00a	50.29a
	6	195.70ab	8.97a	41.00a	51.16a
سیلیکات سدیم	75	189.63bc	8.49b	36.00b	46.89b
Sodium silicate	100	186.51c	7.97c	32.90c	44.33c

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test).

†میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

میانگین وزن میوه

در بررسی میانگین وزن میوه نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین میانگین وزن میوه مربوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلنیوم و سیلیسیوم میانگین وزن میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم بیشترین میانگین وزن میوه را داشتند (جدول ۴). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش میانگین وزن میوه گردید. کمترین میانگین وزن میوه در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد. بیشترین میانگین وزن میوه در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد. همچنین، در غلظت‌های مختلف سلنیوم میزان میانگین وزن میوه بیشتری نسبت به غلظت‌های سیلیسیم مشاهده شد و بین غلظت مختلف سیلیسیوم از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم میانگین وزن میوه را ۲۳/۳۴ درصد نسبت به تیمار کلرید سدیم تنها در شرایط تنش کلرید سدیم افزایش داد (جدول ۴). در شرایط تنش قلیائیت کمترین میانگین وزن میوه در تیمار کربنات سدیم تنها به‌دست آمد و سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش میانگین وزن میوه در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میانگین وزن میوه در غلظت‌های ۴ و۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد و در غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم نسبت به سلنیوم میانگین وزن میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم میانگین وزن میوه را ۲۴/۶۰ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (جدول ۴).

میانگین طول میوه

در بررسی طول میوه نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین طول میوه مر بوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلنیوم و سیلیسیوم طول میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم بیشترین طول میوه را داشتند؛ هر چند که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های سلنیوم و سیلیسیوم وجود نداشت (جدول ۴). در تنش

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش طول میوه گردید. کمترین طول میوه در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد. در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و ۷۵ میلی‌گرم سیلیسیوم میزان طول میوه بیشتری مشاهده شد و در غلظت‌های ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میزان طول میوه کمتر بود. بین غلظت مختلف سیلیسیوم نسبت به کلرید سدیم و سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم طول میوه را ۲۳/۴۱ درصد نسبت به تیمار کلرید سدیم تنها در شرایط تنش کلرید سدیم افزایش داد (جدول ۴). در شرایط تنش قلیائیت کمترین طول میوه در تیمار کربنات سدیم تنها به‌دست آمد. سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش طول میوه در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین طول میوه در غلظت‌های ۴ و۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد و در غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم نسبت به سلنیوم طول میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم طول میوه را ۳۵/۱۴ درصد نسبت به تیمار بی‌کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (جدول ۴).

میانگین قطر میوه

در بررسی قطر میوه نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین قطر میوه مر بوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلنیوم و سیلیسیوم قطر میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم بیشترین قطر میوه را داشت؛ هر چند که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم وجود نداشت (جدول ۴). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش قطر میوه گردید. کمترین قطر میوه در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد. در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم میزان قطر میوه بیشتری مشاهده شد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میزان قطر میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم قطر میوه را ۲۴/۸۲ درصد نسبت به تیمار کلرید سدیم تنها در شرایط تنش کلرید سدیم افزایش داد. در شرایط تنش قلیائیت کمترین قطر میوه در تیمار کربنات سدیم تنها به‌دست آمد و سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش قطر میوه در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین قطر میوه در غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم نسبت به سلنیوم قطر میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم قطر میوه را ۲۸/۵۷ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (جدول ۴).

فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز

در بررسی میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز مر بوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلنیوم و سیلیسیوم میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در مقایسه با شاهد افزایش یافت؛ اگرچه تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز گردید. کمترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد. در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز بیشتری مشاهده شد و در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز کمتر بود. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز را ۳۸/۱۴ درصد نسبت به تیمار کلرید سدیم تنها در شرایط تنش کلرید سدیم افزایش داد. در شرایط تنش قلیائیت کمترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در تیمار کربنات سدیم تنها به‌دست آمد و سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد و در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم نسبت به سلنیوم میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز کمتر بود. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز را ۳۸/۱۴ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (شکل۱).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

جدول ۴- اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف سیلیکات سدیم، سلنات سدیم و تنش شوری بر میانگین وزن، طول و قطر میوه خیار.

Table4. Interaction effect of different concentrations of sodium silicate, sodium selenate, and salinity stress on the mean of weight, length, and diameter cucumber fruit.

تنش شوری Salinity Stress	عناصر سودمند Beneficial elements	در (میلی‌گرم لیتر) mg L^{-1}	وزن میوه Fruit weight (g)	طول میوه Fruit length (cm)	قطر میوه Fruit diameter (cm)
شاهد Control	سلنات سدیم Sodium selenate	0	30.61hi†	17.44d	1.48e
		4	41.00a	20.41a	2.06a
		6	39.60ab	18.26c	1.98b
	سیلیکات سدیم Sodium silicate	75	36.95cd	19.10b	1.91b
		100	38.30bc	18.20bc	1.84c
کلرید سدیم۷۵ میلی‌مولار 75 mM Sodium chloride	سلنات سدیم Sodium selenate	0	28.82ij	15.33e	1.41f
		4	35.59de	18.92b	1.76c
		6	32.88fg	18.68b	1.62d
	سیلیکات سدیم Sodium silicate	75	34.24ef	18.71b	1.69d
		100	31.51gh	17.55d	1.56e
بی‌کربنات سدیم ۷۵ میلی‌مولار 75 mM Sodium Bicarbonate	سلنات سدیم Sodium selenate	0	22.03lm	12.72f	1.05i
		4	27.45jk	17.19d	1.35g
		6	26.12mn	16.86d	1.26h
	سیلیکات سدیم Sodium silicate	75	24.76n	14.96e	1.19i
		100	23.41kl	14.10e	1.12j

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test).

†میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

فعالیت ویژه آنزیم پلی فنول اکسیداز

در بررسی میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز مربوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلنیوم و سیلیسیوم میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در مقایسه با شاهد افزایش یافت، اگرچه تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز گردید. کمترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد. در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز بیشتری مشاهده شد و در غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز کمتر بود. بین غلظت مختلف سیلیسیوم نسبت به کلرید سدیم و سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز را ۱۳/۳۳ درصد نسبت به تیمار کلرید سدیم تنها در شرایط تنش کلرید سدیم افزایش داد (شکل ۲). در شرایط تنش قلیائیت کمترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در تیمار کربنات سدیم تنها به‌دست آمد و سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد و در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نسبت به سیلیسیوم میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز کمتر بود. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز را ۱۳/۹۱ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (شکل ۲).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

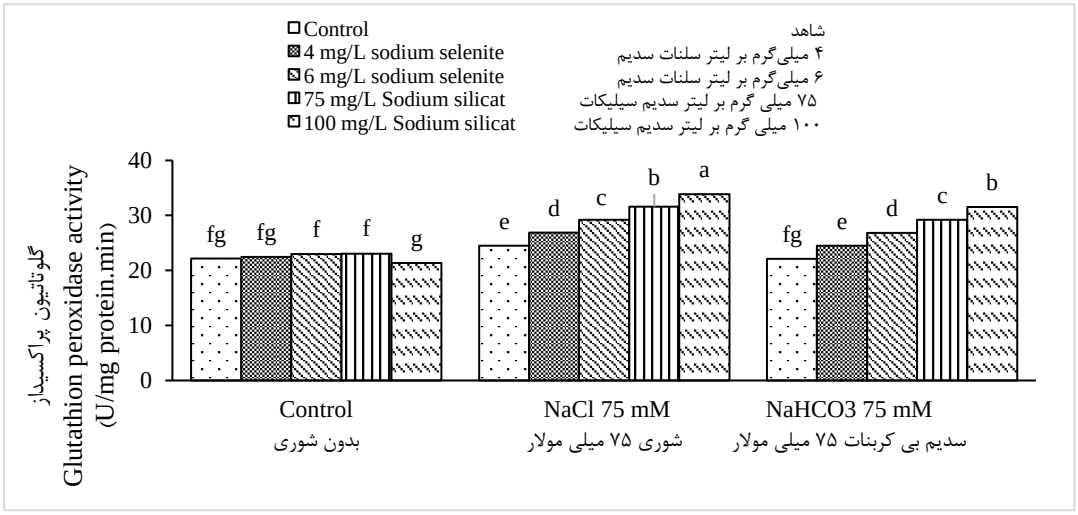

Fig. 1. Interaction effect of different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on glutathione peroxidase enzyme activity in cucumber leaf. Mean values followed by the same letters are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test).

شکل۱- اثر برهمگنش غلظت‌های مختلف سلنات سدیم، سیلیکات سدیم و تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز. میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

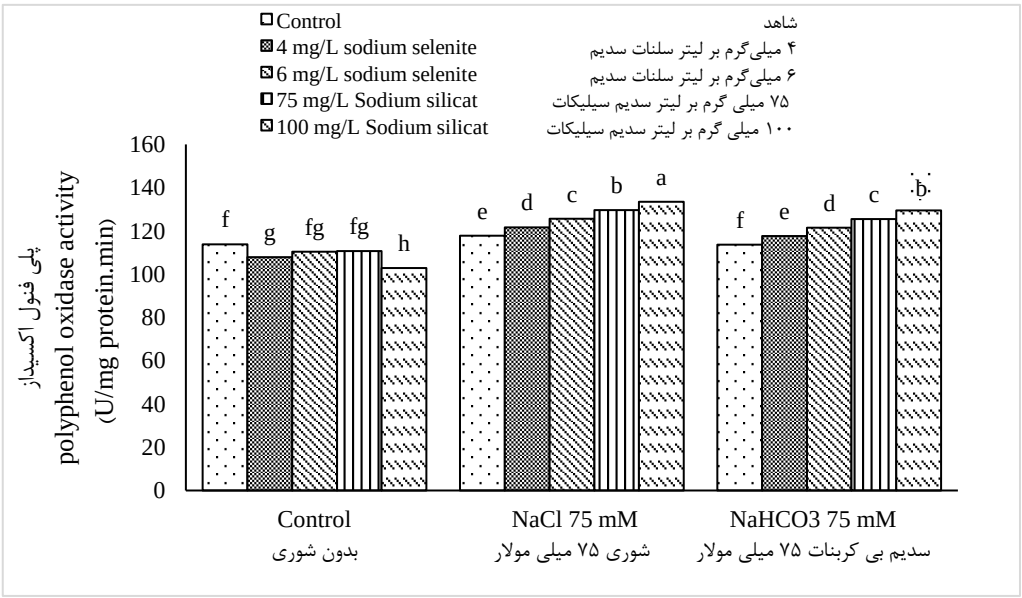

Fig. 2. Effect of combined different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on polyphenol oxidase enzyme activity in cucumber leaf. Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

شکل۲- اثر غلظت‌های مختلف سلنات سدیم، سیلیکات سدیم و تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز. میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

عناصر معدنی

نتیجه‌های به دست آمده در این مطالعه نشان داد که میزان عناصر معدنی در برگ خیار طی تنش‌های حاصل از کلرید سدیم وبی‌کربناتسدیم تغییر کرده است. مشخص شد که میزان عنصر سدیم در شرایط تنش شوری افزایش و با کاربرد عناصر سلنیوم

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

و سیلیسیم میزان سدیم کمتر شده است. میزان پتاسیم برگ‌ها نیز در طی تنش کلراید وبی‌کربناتسدیم کاهش یافت، اما کاربرد سلنیوم و سیلیسیوم موجب افزایش میزان این عنصر در این شرایط شد.

میزان پتاسیم برگ

نتیجه‌های به دست آمده از اندازه‌گیری مقدار پتاسیم برگ بوته‌های خیار در پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط بدون تنش میزان پتاسیم با مصرف غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم نسبت به شاهد افزایش یافت به طوری که تیمار شاهد کمترین میزان پتاسیم را داشت و بیشترین میزان پتاسیم مربوط به تیمارهای ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بود (شکل۳). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم کمترین میزان پتاسیم برگ در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد و با کاربرد سلنیوم و سیلیسیوم میزان آن افزایش یافت. در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میزان پتاسیم بیش‌تری مشاهده شد (شکل۳). کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم میزان پتاسیم برگ را ۷ درصد نسبت به تیمار کلرید سدیم تنها در شرایط تنش کلرید سدیم افزایش داد. در شرایط تنش قلیائیت کمترین میزان پتاسیم در تیمار شاهد به‌دست آمد و کاربرد سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم برگ خیار نسبت بهبی‌کربناتسدیم تنها شد. بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میزان پتاسیم برگ را ۲۲/۸۸ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (شکل۳).

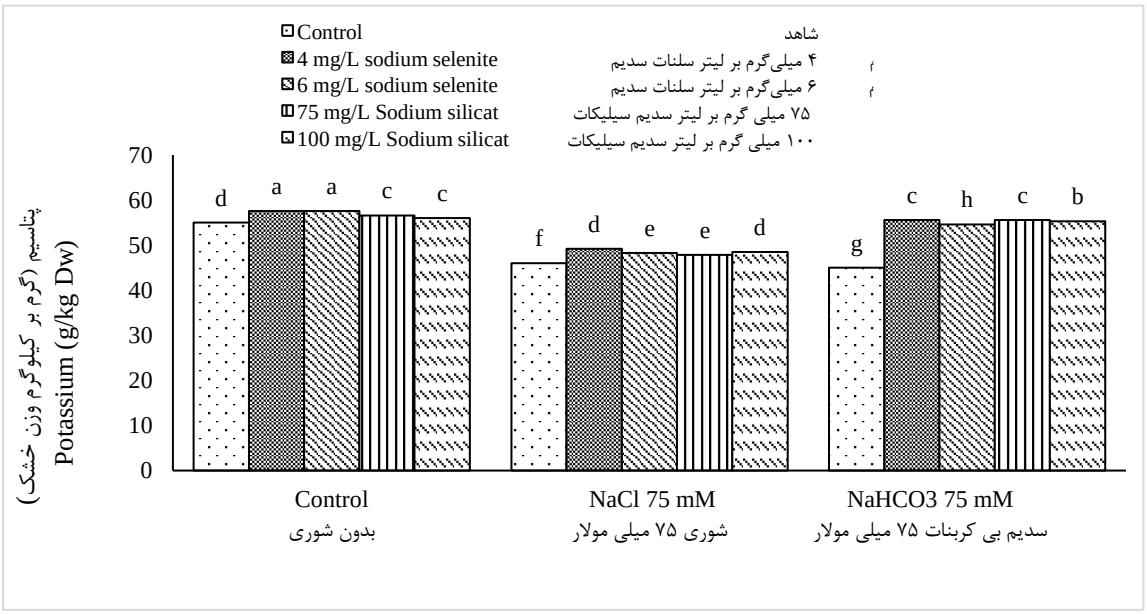

Fig. 3. Effect of combined different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on potassium content in cucumber leaf. Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

شکل۳- اثر غلظتهای مختلف سلنات سدیم، سیلیکات سدیم و تنش شوری بر میزان پتاسیم برگ. میانگین‌های هر ستون که دارای حرفهای مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

میزان سدیم برگ

نتیجه‌های به دست آمده از سنجش مقدار سدیم برگ بوته‌های خیار در این پژوهش نشان داد که در شرایط بدون تنش میزان سدیم با مصرف غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم افزایش یافت و تیمار شاهد کم‌ترین میزان سدیم را داشت. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میزان سدیم برگ را ۶۰/۶۵ درصد نسبت به تیمار شاهد در شرایط بدون تنش کاهش داد (شکل ۵). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم میزان سدیم برگ در تیمار کلرید سدیم تنها به طور معنی‌داری بیشتر بود. با کاربرد غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم میزان سدیم برگ در شرایط شوری کاهش یافت. در غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

سیلیسیوم میزان سدیم کمتری نسبت به کلرید سدیم تنها مشاهده شد و بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل۴). در شرایط تنش قلیائیت نیز بیش‌ترین میزان سدیم در تیمار بی کربنات سدیم تنها به‌دست آمد و سلنیوم و سیلیسیوم سبب کاهش میزان سدیم برگ شد. کمترین میزان سدیم در تنش قلیائیت در تیمار ۱۰۰ و ۷۵ میلی گرم در لیتر سیلیسیوم و بیش‌ترین میزان فعالیت سدیم در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌دست آمد. کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیسیوم میزان سدیم برگ را ۸/۹۰ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت کاهش داد (شکل۴).

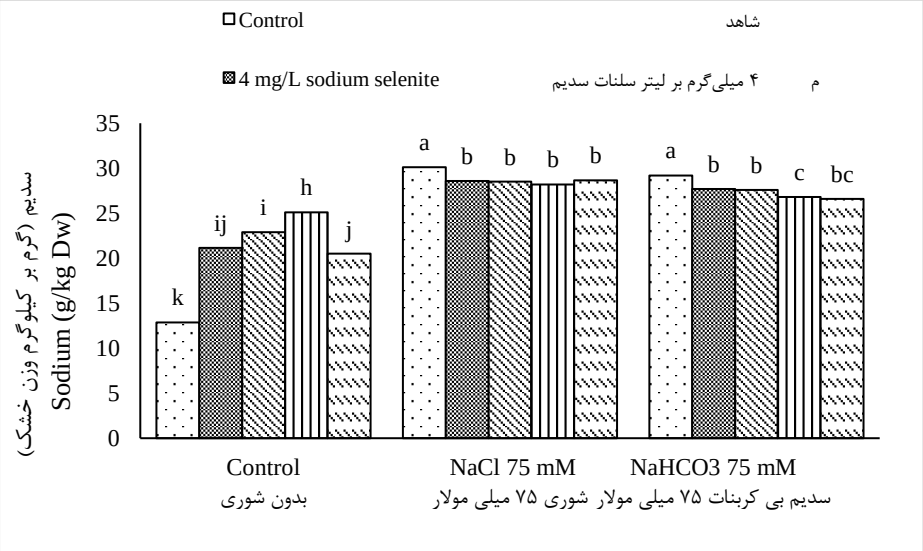

Fig. 4. Effect of combined different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on sodium content in cucumber leaf. Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف سلنات سدیم، سیلیکات سدیم و تنش شوری بر میزان سدیم برگ. میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

بحث

نتیجه‌ها نشان داد که شوری حاصل از ترکیبات کلرید سدیم وبی‌کربناتسدیم سبب کاهش پارامترهای سطح برگ، عملکرد و اجزای عملکرد که شامل طول ساقه، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، وزن میوه، طول و قطر میوه و تعداد میوه گردید. کاهش رشد رویشی ممکن است به دلیل اثر بازدارندگی بی‌کربنات بر فرایندهای سوخت و ساز ریشه، تنفس ریشه و جذب عنصرها، رشد و فعالیت ریشه باشد (۱۱). کاهش رشد برگ و یا سطح برگ، سریع ترین پاسخ گیاه به تنش شوری است که با افزایش غلظت شوری منجر به توقف گسترش برگ می‌گردد (۶). کاهش وزن تر اندام هوایی در تنش شوری می‌تواند به‌دلیل انباشت یون‌های مضر مانند کلر، منیزیوم، سدیم و سولفات باشد که یا خود آن‌ها مضرند و یا باعث اختلال در متابولیسم مواد غذایی دیگر می‌شوند. برای نمونه، رقابت آن‌ها با عناصر غذایی مهم سبب اختلال در جذب مواد غذایی می‌شود (۲۵).

اثرهای تنش قلیائیت شبیه تنش شوری است، اما با اثرهای اضافی پی‌اچ بالا همراه است. بیشتر اثرهای قلیائیت بر رشد گیاه به دلیل کاهش قابلیت حلالیت عنصرها به دلیل افزایش پی‌اچ در نتیجه حضور یون بی‌کربنات است. پی‌اچ بالا به دنبال غلظت بالای بی‌کربنات می‌تواند با خسارت به دیواره یاخته‌ای سبب ضعیف شدن باندهای هیدروژنی در یاخته و در نتیجه سبب توسعه نیافتن یاخته و کاهش رشد شود. تنش قلیائیت با کاهش رشد یاخته ریشه و جلوگیری از جذب مواد غذایی کافی سبب کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در لوبیا *Vigna aconitifolia* می‌گردد (۱۵). به‌طور کلی، کاهش رشد گیاهچه در معرض تنش قلیائیت نتیجه کاهش پتانسیل اسمزی محیط رشد، سمیت یونی و افزایش پی‌اچ می‌باشد. نتیجه‌های مقایسه میانگین عملکرد میوه در

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

بوته گیاه خیار در تنش شوری نشان داد، در اثر شوری مقدار عملکرد در بوته گیاه خیار کاهش یافت. روستا (۱۷)، گزارش کرد که در گیاهان شاهد کاهو که با ترکیب بیکربنات تیمار نشده بودند نسبت به گیاهان تیمار شده بابی‌کربنات غلظت مواد غذایی در اندام‌های هوایی بیش تر بود، اما تیمار بی‌کربنات و قلیائیت باعث تجمع مواد غذایی در ریشه‌ها شد و رشد اندام هوایی به شدت زیر تاثیر بی‌کربنات کاهش یافت. با کاربرد غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم در شوری کلرید سدیم و بی‌کربنات، کاهش سطح برگ و ویژگی‌های مورفولوژیک بهبود یافت. سلنیوم به دلیل دارا بودن ویژگی آنتی‌اکسیدانی، در کاهش اثرهای مضر تنش شوری نقش دارد و موجب رشد بهتر گیاهان می‌شود (۸). سیلیسیم با سازوکارهایی مانند تغییراتی در ساختار برگ‌ها، افزایش ضخامت برگ، سطح برگ و هدایت روزنه‌ای در گیاهان زیر تنش، اثر تنش‌های غیرزیستی را کاهش و استحکام گیاه را افزایش می‌دهد و حرکت آب و مواد غذایی را آسان می‌نماید. همچنین، سیلیسیوم سیستم دفاعی گیاه را بهبود بخشیده و با تشکیل کمپلکس با فلزهای سمی و رسوب دادن آن‌ها غیرمتحرک شدنشان را در بافت‌های گیاه یا خاک موجب می‌شود (۱۹). در پژوهش حاضر اثر کاربرد سیلیسیم و سلنیوم بر عملکرد معنی‌دار بود به طوری‌که کاربرد سیلیسیوم و سلنیوم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد در خیار گردید. بیان شده است که سیلیسیم با بهبود وضعیت مورفولوژیکی و تغییر ترکیب شیمیایی گیاه برنج در افزایش عملکرد آن تاثیر به سزایی داشته است (۸). با کاربرد عناصر مفید، ارتفاع بوته و قطر ساقه خیار و همچنین عملکرد افزایش یافت. در شرایط تنش، سیلیسیم و سلنیوم سبب بهبود وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد گردید. در مطالعه حاضر کاربرد سیلیسیم آثار منفی تنش شوری را با افزایش طول ساقه و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه خیار کاهش داد. این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش‌های Mahdieh و همکاران (۱۳) همخوانی دارد.

کاهش رشد گیاهان مختلف در تنش شوری به دلیل سمیت ناشی از یون‌های سدیم و کلر و دشواری جذب عناصر معدنی به ویژه پتاسیم بیان شده است. بی‌کربناتسدیم موجب بروز نارسایی‌های تغذیه‌ای در گیاه می‌شود و در نتیجه شرایط نامناسبی برای رشد و نمو گیاه ایجاد می‌کند. این شرایط نامساعد ممکن است به دلیل اثرهای منفی پی‌اچ بالا در اثر غلظت بی‌کربنات سدیم بر قابلیت جدب و انتقال عناصر غذایی در بخش‌های مختلف گیاه باشد یا مربوط به وجود یون سدیم در رقابت با جذب عناصر در گیاه باشد. پتاسیم یکی از عناصر پرمصرف در گیاه است که به عنوان یک عامل ضروری در ساخت پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و فتوسنتز است و در تنظیم پتاسیل اسمزی نقش دارد و با افزایش پی‌اچ و سدیم قابلیت دسترسی آن برای گیاهان کاهش می‌یابد (۲). در بررسی اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات سدیم بر عملکرد چهار واریته کلم گزارش کردند که در اثر افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم میزان فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی و منگنز گیاهان کاهش و میزان سدیم و کلسیم افزایش یافته است (۲). با کاربرد سلنیوم و سیلیسیم در مطالعه حاضر، میزان عناصر معدنی تغییر نشان دادند. به نظر می‌رسد که سیلیسیم نقش غیر مستقیم یا مستقیم در سوخت و ساز گیاهی بازی می‌کند، گرچه شیوه عمل آن هنوز مشخص نیست. گزارش‌های زیادی در مورد کاهش خسارت شوری ناشی از کلرید سدیم با تغذیه سیلیسیم ارایه شده است و به تقریب همگی به مسئله کاهش جذب سدیم در چنین شرایطی اشاره کرده‌اند (۲۲) که نتایج پژوهش حاضر با پژوهشگران پیشین همخوانی دارد. اگرچه اثر سیلیسیم به جلوگیری از عبور جریان آب از راه ریشه به سمت آوند چوبی نسبت داده شده است و این فرضیه که جذب سدیم با واسطه سیلیسیم کاهش می‌یابد، می‌تواند به دلیل محدودیت انتقال سدیم از راه رسوب سیلیس در دیواره ثانویه یاخته‌های برگ باشد (۲۲). نتیجه‌های پژوهش حاضر با یافته‌های دیگر پژوهشگران همخوانی نشان می‌دهد؛ به طوری که در بررسی‌های پیشین نشان داده شده است که افزودن سیلیسیم انتقال پتاسیم را افزایش داده و با فعال کردن پمپ H^+-ATPase نسبت یون پتاسیم به سدیم را بهبود می‌بخشد (۲۲). در بررسی گیاهان خیار تیمار شده با سیلیسیم در پژوهش حاضر مشخص شده است که میزان پتاسیم در تنش شوری افزایش یافت و سیلیسیم سبب بهبود اثر شوری شد.

مشابه سیلیسیم، سلنیوم نیز سبب افزایش محتوای پتاسیم و کاهش سدیم برگ شد. بیان شده است که کاربرد سلنیوم با افزایش عملکرد فتوسیستم II و کاهش میزان سدیم در شاخساره‌ها از راه اتصال سدیم به دیواره یاخته‌ای ریشه سبب کاهش خسارت تنش شوری جعفری شده است (۷) که نتایج پژوهش حاضر با پژوهشگران پیشین همخوانی دارد. سلنیوم سبب افزایش تنظیم ژن *NHX1* مسئول در کده‌بندی سدیم شده و همچنین جذب یون‌های سمی را کاهش می‌دهد (۸). یون سدیم مسئول بازدارندگی کانال یونی پتاسیم در سطح غشا می‌باشد در صورتی که سلنیوم می‌تواند بیان انتقال دهنده‌های سدیمی و پمپ هیدروژنی را زیر تاثیر قرار دهد. همچنین بیان شده است که غلظت مناسب سلنیوم می‌تواند در افزایش بیان H^+ ATPase

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

تونوپلاستی و آنتی‌پورت Na^+/H^+ در غشای ریشه نقش داشته باشد که انتقال یون سدیم را به قسمت‌های هوایی محدود و سمیت را کاهش دهد (۸).

در مطالعه حاضر نشان داده شده است فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله گلوتاتیون پراکسیداز و پلی فنول اکسیداز در طی اعمال تنش شوری حاصل از کلرید سدیم و بی‌کربنات سدیم افزایش یافت و با کاربرد عناصر سلنیوم و سیلیسیم فعالیت این آنزیم‌ها به جز آنزیم پلی فنول اکسیداز افزایش یافت. تنش‌های محیطی موجب بروز تنش اکسیداتیو شده و افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه را سبب می‌شوند. گیاهان با سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی خود مانند آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند آسکوربات، گلوتاتیون و آلفاتوکوفرول در مقابل تنش‌های اکسیداتیو، سبب پاکسازی این رادیکال‌های آزاد می‌گردند. بنابراین، افزایش و یا کاهش در فعالیت آنزیمی مشاهده می‌شود. سیلیسیوم فعالیت آنزیم پراکسیداز را افزایش داده است (۳) که نتیجه‌های پژوهش حاضر با آن همخوانی دارد. همچنین، گزارش شده است که سیلیسیم فعالیت آنزیم‌های گلوتاتیون پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را به منظور اجتناب از خسارت به دستگاه فتوسنتز از راه بهینه نگهداشتن میزان نیکوتین‌آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات (NADP) و حفظ یکپارچگی جریان انتقال الکترون فعال نمود تا از تولید رادیکال‌های آزاد جلوگیری شود (۱). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که نقش محافظتی سلنیوم در برابر تنش اکسیداتیو در گیاهان با افزایش فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز همراه است. در حضور سلنیوم، آنزیم گلوتاتیون پروکسیداز، پراکسید هیدروژن را سرکوب کرده و سپس آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و گلوتاتیون رداکتاز بقایای پراکسید هیدروژن را پاکسازی می‌کنند (۸). افزایش فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز و گلوتاتیون رداکتاز میزان پراکسید هیدروژن را در کلزا، برنج و گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری کاهش داد و سبب بهبود رشد آن‌ها شد که نتیجه‌های پژوهش حاضر با آن‌ها در یک راستاست (۸).

گزارش شده است که سلنیوم باعث کاهش معنی‌داری در فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در خیار در شرایط بدون تنش شد و الگوی ایزوآنزیمی پراکسیداز ثابت کرد که پراکسیداز در هر دو شرایط بدون تنش و با تنش شوری توسط سلنیوم تنظیم می‌شود (۲۱). نتیجه‌ها مشخص کرد که سلنیوم شش ایزو آنزیم پراکسیداز را در دانهال‌های خیار القا کرد. اثر حفاظتی سلنیوم علیه تنش شوری می‌تواند از راه فعال‌سازی القا شده فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) انجام شود که برای ساخت ترکیبات فنولی لازم است. انباشت این ترکیبات فنولی در دانهال‌های تیمار شده با سلنیوم منجر به بالارفتن فعالیت آنزیم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی و افزایش سطح تحمل گیاه به تنش شوری شد.

نتیجه گیری

براساس نتیجه‌های به‌دست آمده در پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد که مانند سایر گیاهان تنش شوری و قلیائیت بر شاخص‌های رشدی خیار و میزان جذب عناصر پرمصرف توسط آن تاثیر گذاشته و موجب کاهش عملکرد گردید. از طرفی با توجه به فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توان نتیجه گرفت که گیاه خیار از سازوکار تنظیم اسمزی به شیوه بهینه جهت اجتناب از تنش استفاده می‌نماید. کاربرد خارجی عناصر سلنیوم و سیلیسیم در تنش شوری و قلیائیت توانست به طور موثری خسارت‌های ناشی از تنش را کاهش دهد. همچنین، نتیجه‌ها نشان داد که با استفاده از عناصر سودمند سلنیوم و سیلیسیم می‌توان بر تنش‌های حاصل از کلرید سدیم و بی‌کربنات سدیم غلبه نمود و از کاهش زیاد عملکرد خیار جلوگیری کرد. بنابراین، به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم برای بهبود تحمل گیاه خیار در رویارویی با تنش‌های حاصل از کلرید سدیم و بی‌کربنات سدیم در کشت هیدروپونیک خیار گلخانه‌ای مفید است.

منابع References

1. Al-Huqail, A.A., A.A. Alqarawi, A. Hashem, J.A. Malik, and E. F. Abd_Allah. 2019. Silicon supplementation modulates antioxidant system and osmolyte accumulation to balance salt stress in *Acacia gerrardii* Benth. Saudi. J. Biol. Sci. 26: 1856-1864.
2. Bagheri, V., and H.R. Roosta. 2012. Evaluation of the effect of different concentrations of sodium bicarbonate (alkalinity stress) on some cabbage varieties in the hydroponic system. J. Environ. Stress. Crop Sci. 5: 67-80. (In Persian).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

3. Coskun, D., D.T. Britto, W.Q. Huynh. and H. J. Kronzucker. 2016. The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. Front. Plant Sci. 7: 1-7.
4. FAO, W.F.P., IFAD. 2019. The State of Food Insecurity in the World 2015. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition. Rome, FAO.
5. Flohé, L, and W.A. Günzler. 1984. Methods in Enzymology. In: Packer L (ed), Assays of glutathione peroxidase, Academic Press, New York, pp 114-121.
6. Geccoli, G., D. Bustos, L.I. Ortega, M.E. Senn, A.V. Vegetti, and E. Taleisnik. 2015. Plasticity in sunflower leaf and cell growth under high salinity. Plant Biol.17: 41-51.
7. Habibi, G. 2017. Selenium ameliorates salinity stress in *Petroselinum crispum* by modulation of photosynthesis and by reducing shoot Na accumulation. Russ. J. Plant Physio. 64:368-374.
8. Kamran, M., A. Parveen, S. Ahmar, Z. Malik, S. Hussain, M. S. Chattha, and J. T. Chen. 2020. An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. Inter. J. Mol. Sci.21:148.
9. Kar, M., and D. Mishra. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant Physiol.57: 315-319.
10. Khalifa G.S., M. Abdelrassoul, A.Hegazi , and M.H. Elsherif .2016. Mitigation of Saline Stress Adverse Effects in Lettuce Plant Using Selenium and Silicon. Middle East J. Agric. Rese.5:347-361.
11. Ksourii, H., and T. Loboda. 2007. Photosystem II of barley seedling under cadmium and lead stress. Plant Soil Environ. 53:511-516.
12. Liang, Y.C., S. Jin, and V. Romheld. 2005. Silicon uptake and transport is an active process in *Cucumis sativus*. Phytopathol. 167: 797-804.
13. Mahdieh, M., N.Habibollahi, M.Amirjani, M.Abnosi, and M. Ghorbanpour. 2015. Exogenous silicon nutrition ameliorates salt-induced stress by improving growth and efficiency of PSII in *Oryza sativa* L. cultivars. J. Soil Sci. Plant Nut. 15: 1050-1060.
14. Ozden M.U. Demirel, and A. Kahraman. 2009. Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H_2O_2. Sci. Hortic. 119: 163-168.
15. Patil, N.S., V.T. Apradh, and B.A. Karadge. 2012. Effects of alkali stress on seed germination and seedlings growth of *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Marechal. Pharm.J. 34: 77-80.
16. Peyvast. Gh. 2005.Vegetable. Daneshpazir Publications, 487 p. (In Persian).
17. Rasool, A., W.H. Shah, I.Tahir, H.F Alharby, K.R. Hakeem, and R. Rehman. 2020. Exogenous application of selenium (Se) mitigates NaCl stress in proso and foxtail millets by improving their growth, physiology and biochemical parameters. Acta Physiol. Plant. 42:1-13.
18. Roosta, H.R. 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentrations in lettuce. J. Plant Nut. 34: 717–731.
19. Savvas, D., and G. Ntatsi. 2015. Bio stimulant activity of silicon in horticulture. Sci. Hortic.196: 66-81.
20. Shi, D., and D. Wang. 2005. Effects of various salt-alkali mixed stresses on *Aneurolepidium chinense* (Trin.) Kitag. Plant and Soil.271: 15-26.
21. Walaa A.E., M.A. Shatlah, M.H. Atteia, and H.A.M. Sror. 2010. Selenium induces antioxidant defensive enzymes and promotes tolerance against salinity stress in cucumber seedlings (*Cucumis sativus*). Arab Univ. J. Agric. Sci.18: 65-76.
22. Yaghubi, K., Y. Vafaee, N. Ghaderi, and T. Javadi. 2019. Potassium silicate improves salinity resistant and affects fruit quality in two strawberry cultivars grown under salt stress. Communications in Soil Sci. Plant Anal. 50: 1439-1451.
23. Yang, C., D. Shi, and D. Wang. 2008. Comparative effects of salt stress and alkali stress on growth, osmotic adjustment and ionic balance of an alkali resistant halophyte *Suaeda glauca* (Bge.). Plant Growth Reg. 56: 179-190.
24. Yassen A., E. Abdallah, M.Gabalah, and S. Zaghloul. 2017. Role of Silicon Dioxide Nano Fertilizer in Mitigating Salt Stress on Growth, Yield and Chemical Composition of Cucumber (*Cucumis sativus* L.). Int. J. Agric. Res. 12: 130-135.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

25. Zafari F., M.E. Amiri, and A.Vatanpour Azghandi. 2015. Physiological response of pear (*Pyrus Communis* cv. Dargazi) to salinity stress under *In vitro* conditions. J. Hort. Sci. 28: 594-599.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 23 (1): 63-78 (2022)
Research article

Effects of Selenium and Silicon on Some Vegetative and Biochemical Attributes of Cucumber under Salinity and Alkalinity Stresses in Hydroponic Culture

S.A.A. Mousavi, H.R. Roosta, M. Esmaeilizadeh*, S. Eshghi[1]

Salinity is one of the most important environmental stresses that affect the production of horticultural crops. So, some beneficial minerals may neutralize the effects of salinity. In order to investigate the effect of application of selenium and silicon nutrients under salinity and alkalinity stress on growth and some morphological, biochemical and mineral attributes of greenhouse cucumber "Nagin" under hydroponic condition, a factorial experiment based on a completely randomized design was conducted with four replications. The treatments consisted of three levels of stress (non-stress, salinity stress of 75 mM sodium chloride (NaCl), alkalinity stress of 75 mM sodium bicarbonate ($NaHCO_3$) and beneficial elements in five levels (0, 4 and 6 mg L^{-1} of selenium and 75 and 100 mg L^{-1} of silicon). According to the results of this study, the lowest leaf area (215.04 cm^2) was observed in alkalinity treatments with no addition of selenium and silicon, whilst, it increased by application of beneficial elements (342.45 cm^2) compared to control. The highest yield was obtained in 4 and 6 mg L^{-1} of selenium. Application of 100 mg L^{-1} silicon increased polyphenol oxidase activity by 13.91% and glutathione peroxidase activity by 38.14% compared to only sodium carbonate treatment under alkaline stress conditions.

Keywords: Morphological traits, Stress tolerance, Modifying elements, Sodium selenate and sodium silicate.

1. Ph.D. Student of Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Vali Asr University, Rafsanjan, Professor of Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, 3Associated Professor of Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Vali Asr University and Professor of Department of Horticultural Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz. Iran, respectively.
*Corresponding Author, Email: (esmaeilizadeh@vru.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.11.9]