

## تأثیر سلیسیوم و سیلیسیوم بر برخی از فراسنجه‌های رویشی و زیست‌شیمیایی خیار

### زیر تنش شوری و قلیائیت در کشت هیدروپونیک<sup>۱</sup>

## 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<sup>۲</sup>

### 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 سلیسیوم و سیلیسیوم 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 سلیسیوم 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 سلیسیوم 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 سلیسیوم حاصل شد. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز را ۱۳/۹۱ درصد و فعالیت آنزیم گلوکاتایون 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<sup>۳</sup> 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 تنزیدن 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. هنگامی که 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: (esmaeilzadeh@vru.ac.ir)

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 ( $\text{NaHCO}_3$  و  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) تاثیرهای مخرب خیلی بیشتری روی گیاهان نسبت به نمک‌های خنثی ( $\text{NaCl}$  و  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 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 محصولات 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 ۹/۲ درصد 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 مواجهه 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 مواجهه 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 بیان شده 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

کلرید سدیم (NaCl) و تنش قلیائیت ۷۵ میلی مولار بی کربنات سدیم ( $\text{NaHCO}_3$ ) و عناصر سودمند به عنوان عامل دوم در پنج سطح شامل صفر، ۴ و ۶ میلی گرم در لیتر سلنیوم از منبع سلنات سدیم و همچنین، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیسیوم از منبع سیلیکات سدیم در چهار تکرار در بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ در یک گلخانه تولید صیفی جات در شهرستان زرگان 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 میلی متر و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۲۸ متر است. حداکثر، حداقل دما، رطوبت نسبی و نور گلخانه در طول انجام آزمایش به ترتیب ۲۸ درجه سلسیوس، ۱۸ درجه سلسیوس، ۸۰ درصد و ۱۶/۸ تاریکی/روشنایی بود.

### آماده سازی دانه‌ها و شیوه انجام آزمایش

برای تهیه نشاء خیار، بذره‌های 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 برگگی بودند، نشاء خیار در گلدان‌های پلاستیکی حاوی آمیخته کوکوپیت و پرلایت با نسبت حجمی ۷۰:۳۰ 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 محلول غذایی 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 محلول غذایی هوگلند، تیمارها که شامل سطوح شوری حاصل از کلرید سدیم با غلظت ۷۵ میلی مولار و قلیائیت حاصل از بی کربنات سدیم با غلظت ۷۵ میلی مولار و کاربرد همزمان سلنیوم در غلظت‌های ۰، ۴ و ۶ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم و سیلیسیم در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم 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 سانتی متری 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 سانتی متری 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 سانتی متری، 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.

## اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها

دو ماه پس از اعمال تیمارها، نمونه‌های برگ (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  $-80^{\circ}\text{C}$  درجه سلیسیوس تا زمان اندازه‌گیری ویژگی‌های مد نظر نگهداری شد.

### عصاره‌گیری جهت سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

برای استخراج عصاره آنزیمی،  $0.5$  گرم نمونه برگی با  $2$  میلی‌لیتر بافر استخراج فسفات پتاسیم به خوبی ورتکس شدند. پس از سانتریفیوژ به مدت  $15$  دقیقه با سرعت  $13000$  rpm در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  درجه سلیسیوس فاز رویی جدا گردید. از این عصاره برای سنجش آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنول‌اکسیداز و گلوکاتایون پراکسیداز استفاده شد (۱۴).

### سنجش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (Px-GSH)

سنجش فعالیت این آنزیم بر اساس روش Gunzler و Flohe (۵) و با استفاده از پراکسید هیدروژن به عنوان ماده زمینه انجام شد. جذب نمونه‌ها در طول موج  $412$  نانومتر خوانده شد و فعالیت آنزیم بر اساس میزان کاهش گلوکاتایون در گذشت زمان واکنش در مقایسه با نمونه بدون عصاره آنزیمی محاسبه گردید ( $\text{nmol GSH mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ ).

### اندازه‌گیری فعالیت ویژه آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز

برای سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز، محلول واکنش در حجم نهایی  $3$  میلی‌لیتر برای پلی‌فنول‌اکسیداز شامل  $2/8$  میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم  $25$  میلی‌مولار با  $\text{pH}=6/8$ ،  $100$  میکرولیتر پیروگالول  $0/3$  مولار،  $100$  میکرولیتر عصاره آنزیمی است. تغییر جذب محلول واکنش نسبت به شاهد در طول موج  $420$  نانومتر اندازه‌گیری شد و فعالیت ویژه آنزیم بر پایه میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان شد (۹).

### اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم برگ

ابتدا  $4$  برگ توسعه یافته از قسمت میانی بوته انتخاب و به‌طور کامل با آب مقطر شسته شده و در دمای  $80^{\circ}\text{C}$  درجه سلیسیوس در آن خشک شدند و پس از عصاره‌گیری با اسید کلریدریک  $2$  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  $9/2$  و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال  $5\%$  ( $P < 0.05$ ) 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 سلیسیوم و سیلیسیوم میانگین سطح برگ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت‌های  $4$  و  $6$  میلی‌گرم بر لیتر سلیسیوم بیشترین میانگین سطح برگ را داشتند (جدول ۱). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلیسیوم و سیلیسیوم سبب افزایش میانگین سطح برگ گردید. کمترین میانگین سطح برگ در تیمار کلرید سدیم تنها به‌دست آمد. در غلظت  $4$  و  $6$  میلی‌گرم در لیتر سلیسیوم میانگین سطح برگ بیشتری نسبت به غلظت‌های مختلف سیلیسیوم به‌دست آمد و در غلظت  $100$  میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم میانگین سطح برگ کمتر بود. بین غلظت‌های مختلف سیلیسیوم نسبت به کلرید سدیم و سلتات 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  $4$  و  $6$  میلی‌گرم در لیتر سلیسیوم به دست آمد (جدول ۱). کاربرد  $4$  میلی‌گرم در لیتر سلیسیوم سبب افزایش  $59/15$  درصدی سطح برگ در شرایط تنش قلیائیت نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها شد.

### 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 به دست آمد و در غلظت ۱۰۰ 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 تنها شد (جدول ۱). در شرایط تنش قلیائیت کمترین طول ساقه تا اولین میوه در تیمار کربنات سدیم تنها به دست 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 به دست 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 <sup>-1</sup>	میانگین سطح برگ Mean leaf area (cm <sup>2</sup> )	طول شاخساره تا اولین میوه Shoot length to the first fruit (cm)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)
شاهد Control	سلنات سدیم	0	457.10f†	8.63gh	72.78d
	Sodium	4	689.88a	12.55a	82.56a
	selenate	6	585.96c	11.43bc	80.38b
	سیلیکات سدیم	75	536.51d	10.87cd	74.32d
	Sodium silicate	100	489.77e	9.19fg	79.03c
کلراید سدیم 75 mM sodium chloride	سلنات سدیم	0	278.48j	7.51ij	55.06g
	Sodium	4	636.84b	11.99ab	73.76d
	selenate	6	488.13e	10.31de	67.21e
	سیلیکات سدیم	75	443.14g	9.68ef	57.55f
	Sodium silicate	100	317.40i	8.08hi	64.59e
بی‌کربنات سدیم 75 mM sodium bicarbonate	سلنات سدیم	0	215.04l	4.71n	45.91i
	Sodium	4	342.25h	6.95jk	50.91h
	selenate	6	237.71k	6.39kl	50.91h
	سیلیکات سدیم	75	234.19l	5.82lm	51.91h
	Sodium silicate	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

میلی گرم بر لیتر سلیسیوم بیشترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند (جدول ۱). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید. کمترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار کلرید سدیم تنها به دست آمد. در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم میزان وزن خشک اندام هوایی بیشتری مشاهده شد و در غلظت ۷۵ میلی گرم در لیتر سلیسیوم میزان وزن خشک اندام هوایی کمتر بود. بین غلظت مختلف سلیسیوم نسبت به کلرید سدیم و سلیسیوم تفاوت معنی داری مشاهده شد. کاربرد ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم 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 به دست آمد و سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلیسیوم و سلیسیوم تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۱).

### قطر ساقه

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

### وزن تر اندام هوایی و ریشه

در تنش شوری بی کربنات سدیم کمترین وزن اندام هوایی با ۱۴۳/۶۱ گرم نسبت به شوری کلرید سدیم به دست آمد و بیشترین وزن اندام هوایی در تیمار شاهد (۲۱۸/۰۵ گرم) مشاهده گردید (جدول ۲). در تنش شوری حاصل از بی کربنات سدیم کمترین وزن تر ریشه با ۱۴/۴۸۱ گرم نسبت به شوری کلرید سدیم به دست 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	قطر شاخساره (سانتی‌متر)	وزن تر شاخساره (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)
Salinity stress	Shoot diameter (cm)	Shoot fresh weight (g)	Root fresh weight (g)
شاهد	1.98a <sup>†</sup>	218.05a	21.83a
Control			
کلرید سدیم ۷۵ میلی‌مولار	1.55b	178.03b	18.28b
75 mM sodium chloride			
بی کربنات سدیم ۷۵ میلی‌مولار	1.42b	143.61c	14.48c
75 mM sodium bicarbonate			

<sup>†</sup>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).

<sup>†</sup>میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

### وزن خشک ریشه

اثر تیمارهای سلنات و سلیکات سدیم بر وزن خشک ریشه معنی دار بود. کمترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد به دست آمد و بیشترین میزان وزن خشک ریشه در تیمار ۶ میلی‌گرم در لیتر سدیم سلنات به دست آمد. بین غلظت‌های مختلف سلیسیوم و سلیسیوم تفاوت معنی دار مشاهده گردید (جدول ۳).

### ارتفاع گیاه

اثر تیمارهای سلیسیوم و سلیسیوم بر ارتفاع گیاه معنی دار بود. کمترین ارتفاع گیاه در شاهد به دست آمد و بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلیسیوم به دست آمد. بین غلظت‌های مختلف سلیسیوم و سلیسیوم تفاوت معنی داری مشاهده گردید (جدول ۳).

### تعداد میوه در بوته

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

### عملکرد میوه

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

جدول ۳- تاثیر غلظت‌های مختلف سلیسیات سدیم و سلیکات 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)
سلیسیات سدیم Sodium selenate	0	180.07d†	7.65d	28.00d	41.77d
	4	197.24a	8.37b	40.00a	50.29a
	6	195.70ab	8.97a	41.00a	51.16a
سلیکات سدیم Sodium silicate	75	189.63bc	8.49b	36.00b	46.89b
	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 سلیسیوم و سلیسیوم میانگین وزن میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلیسیوم بیشترین میانگین وزن میوه را داشتند (جدول ۴). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلیسیوم و سلیسیوم 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 سلیسیوم به‌دست آمد. همچنین، در غلظت‌های مختلف سلیسیوم میزان میانگین وزن میوه بیشتری نسبت به غلظت‌های سلیسیوم مشاهده شد و بین غلظت مختلف سلیسیوم از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلیسیوم 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 سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش میانگین وزن میوه در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلیسیوم و سلیسیوم نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میانگین وزن میوه در غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلیسیوم به‌دست آمد و در غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر سلیسیوم نسبت به سلیسیوم میانگین وزن میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی‌گرم در لیتر سلیسیوم 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 مربوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلیسیوم و سلیسیوم طول میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت‌های ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلیسیوم بیشترین طول میوه را داشتند؛ هر چند که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های سلیسیوم و سلیسیوم وجود نداشت (جدول ۴). در تنش

شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش طول میوه گردید. کمترین طول میوه در تیمار کلرید سدیم تنها به دست آمد. در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم و ۷۵ میلی گرم سلیسیوم میزان طول میوه بیشتری مشاهده شد و در غلظت‌های ۶ میلی گرم در لیتر سلیسیوم و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سلیسیوم میزان طول میوه کمتر بود. بین غلظت مختلف سلیسیوم نسبت به کلرید سدیم و سلیسیوم تفاوت معنی داری مشاهده شد. کاربرد ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم 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 به دست آمد. سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش طول میوه در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلیسیوم و سلیسیوم نیز تفاوت معنی داری مشاهده شد. بیشترین طول میوه در غلظت‌های ۴ و ۶ میلی گرم در لیتر سلیسیوم به دست آمد و در غلظت ۷۵ میلی گرم در لیتر سلیسیوم نسبت به سلیسیوم طول میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم طول میوه را ۳۵/۱۴ درصد نسبت به تیمار بی کربنات 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 سلیسیوم و سلیسیوم قطر میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر سلیسیوم بیشترین قطر میوه را داشت؛ هر چند که از نظر آماری تفاوت معنی داری بین غلظت‌های ۶ میلی گرم در لیتر سلیسیوم و ۷۵ میلی گرم در لیتر سلیسیوم وجود نداشت (جدول ۴). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش قطر میوه گردید. کمترین قطر میوه در تیمار کلرید سدیم تنها به دست آمد. در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم میزان قطر میوه بیشتری مشاهده شد و در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سلیسیوم میزان قطر میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم 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 به دست آمد و سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش قطر میوه در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلیسیوم و سلیسیوم نیز تفاوت معنی داری مشاهده شد. بیشترین قطر میوه در غلظت‌های ۴ و ۶ میلی گرم در لیتر سلیسیوم به دست آمد و در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سلیسیوم نسبت به سلیسیوم قطر میوه کمتر بود. کاربرد ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم قطر میوه را ۲۸/۵۷ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (جدول ۴).

#### فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز

در بررسی میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز نتیجه‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش کمترین میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز مر بوط به تیمار شاهد بود و با مصرف سلیسیوم و سلیسیوم میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در مقایسه با شاهد افزایش یافت؛ اگرچه تفاوت معنی داری بین آن‌ها وجود نداشت. در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مصرف سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز گردید. کمترین میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در تیمار کلرید سدیم تنها به دست آمد. در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سلیسیوم میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز کمتر بود. کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سلیسیوم فعالیت آنزیم گلوکاتایون 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 گلوکاتایون پراکسیداز در تیمار کربنات سدیم تنها به دست آمد و سلیسیوم و سلیسیوم سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در شرایط تنش قلیائیت شدند. بین غلظت‌های مختلف سلیسیوم و سلیسیوم نیز تفاوت معنی داری مشاهده شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سلیسیوم به دست آمد و در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر سلیسیوم نسبت به سلیسیوم میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز کمتر بود. کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سلیسیوم فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز را ۳۸/۱۴ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (شکل ۱).

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

Table 4. 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 (میلی گرم لیتر) mg L <sup>-1</sup>	وزن میوه Fruit weight (g)	طول میوه Fruit length (cm)	قطر میوه Fruit diameter (cm)
شاهد Control	سلنات سدیم	0	30.61hi†	17.44d	1.48e
	Sodium selenate	4	41.00a	20.41a	2.06a
	سیلیکات سدیم	6	39.60ab	18.26c	1.98b
	Sodium silicate	75	36.95cd	19.10b	1.91b
کلرید سدیم ۷۵ میلی مولار 75 mM Sodium chloride	Sodium silicate	100	38.30bc	18.20bc	1.84c
	سلنات سدیم	0	28.82ij	15.33e	1.41f
	Sodium selenate	4	35.59de	18.92b	1.76c
	سیلیکات سدیم	6	32.88fg	18.68b	1.62d
بی‌کربنات سدیم ۷۵ میلی مولار 75 mM Sodium Bicarbonate	Sodium silicate	75	34.24ef	18.71b	1.69d
	Sodium silicate	100	31.51gh	17.55d	1.56e
	سلنات سدیم	0	22.03lm	12.72f	1.05i
	Sodium selenate	4	27.45jk	17.19d	1.35g
	Sodium selenate	6	26.12mn	16.86d	1.26h
	سیلیکات سدیم	75	24.76n	14.96e	1.19i
	Sodium silicate	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 پلی فنول 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 پلی فنول 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 پلی فنول اکسیداز را ۱۳/۹۱ درصد نسبت به تیمار کربنات سدیم تنها در شرایط تنش قلیائیت افزایش داد (شکل ۲).

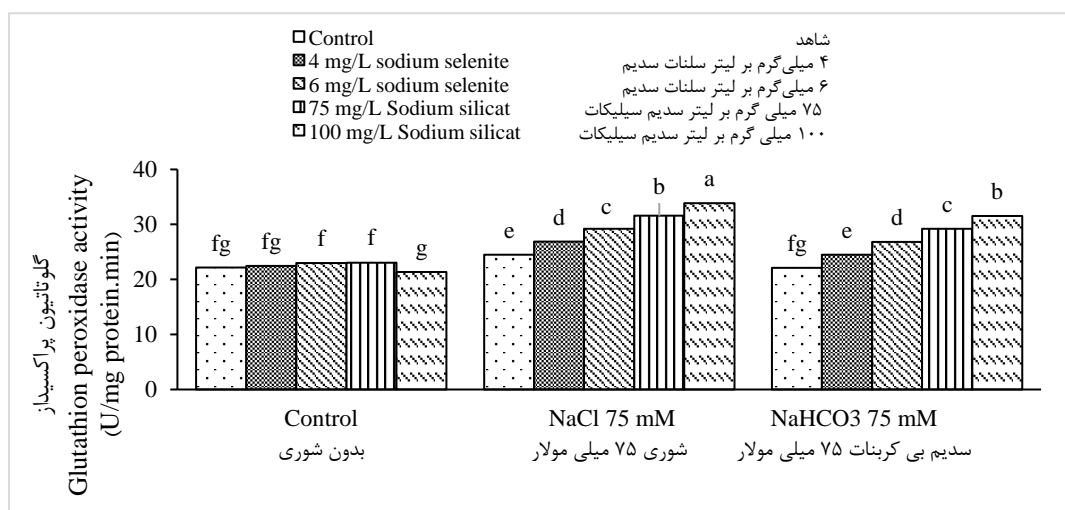


Fig. 1. Interaction effect of different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on glutathione peroxidase enzyme activity in cucumber leaf. Mean values followed by the same letters are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test).

شکل ۱- اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف سلنات سدیم، سیلیکات سدیم و تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم گلوکوتاتیون پراکسیداز. میانگین‌های هر ستون که دارای حرف‌های مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

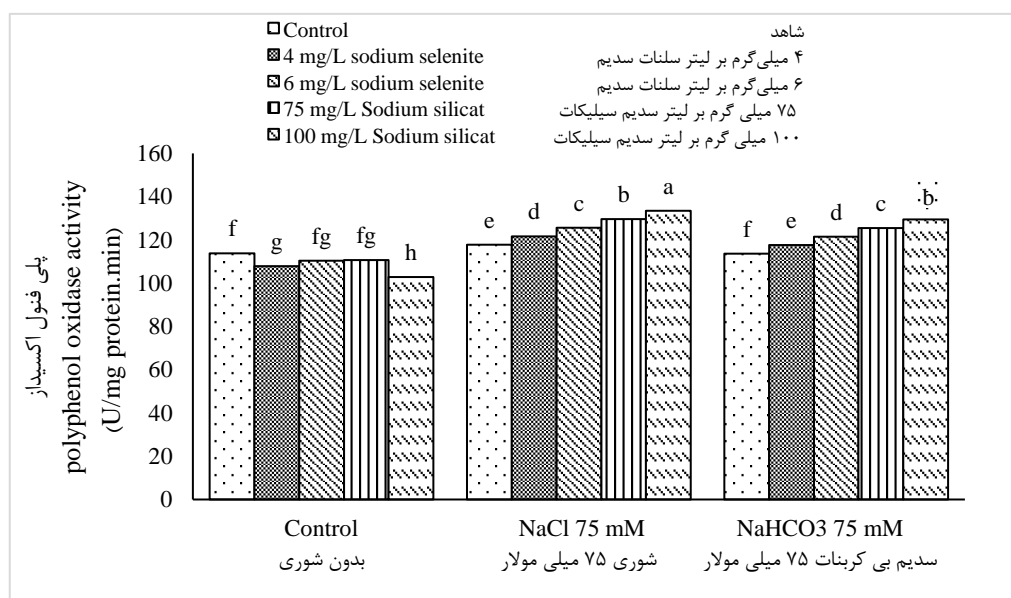


Fig. 2. Effect of combined different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on polyphenol oxidase enzyme activity in cucumber leaf. Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

شکل ۲- 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 و بی کربنات سدیم تغییر کرده است. مشخص شد که میزان عنصر سدیم در شرایط تنش شوری افزایش و با کاربرد عناصر سلیوم

و سیلیسیوم میزان سدیم کمتر شده است. میزان پتاسیم برگ‌ها نیز در طی تنش کلراید و بی‌کربنات سدیم 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 (شکل ۳). در تنش شوری حاصل از کلرید سدیم کمترین میزان پتاسیم برگ در تیمار کلرید سدیم تنها به دست 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 (شکل ۳). 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 به دست آمد و کاربرد سلنیوم و سیلیسیوم سبب افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم برگ خیار نسبت به بی‌کربنات سدیم 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 (شکل ۳).

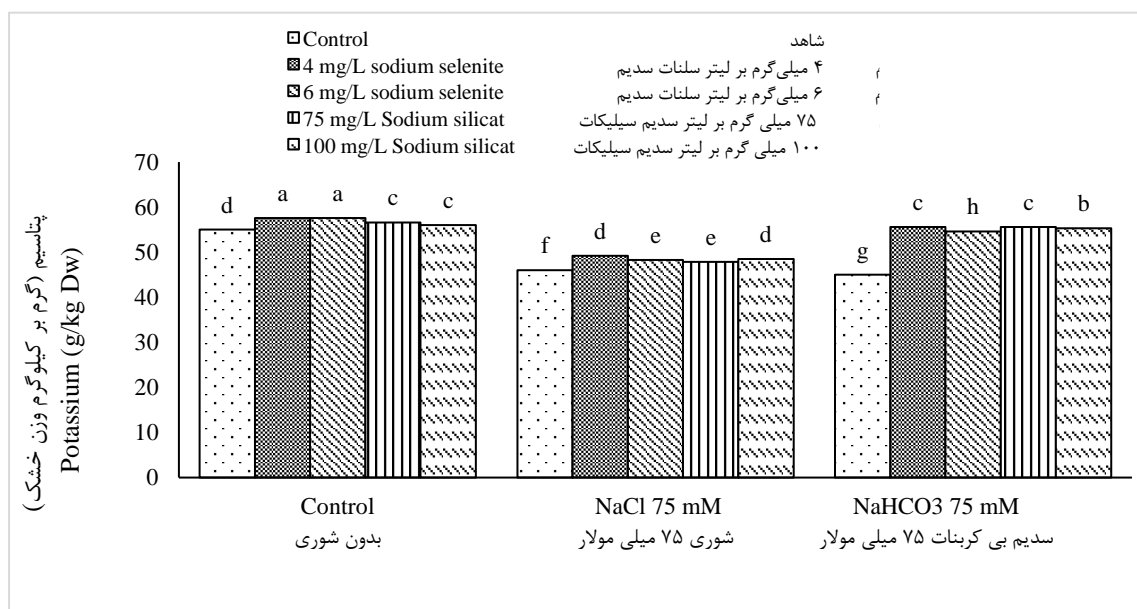


Fig. 3. Effect of combined different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on potassium content in cucumber leaf. Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

شکل ۳- 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

سیلیسیوم میزان سدیم کمتری نسبت به کلرید سدیم تنها مشاهده شد و بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴). 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 (شکل ۴).

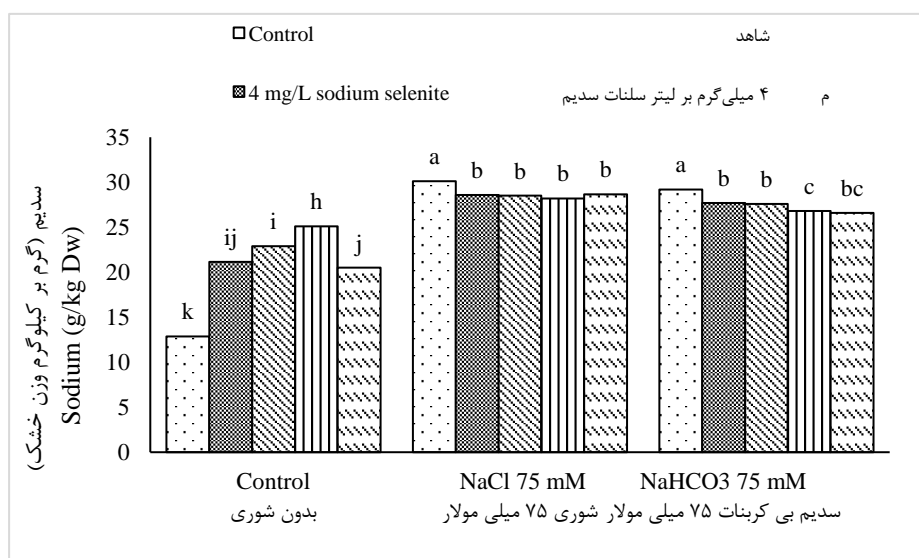


Fig. 4. Effect of combined different concentrations of sodium silicate, sodium selenate and salinity stress on sodium content in cucumber leaf. Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

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 و بی‌کربنات سدیم سبب کاهش پارامترهای سطح برگ، عملکرد 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، سریع‌ترین 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 به دلیل انباشت یون‌های مضر مانند کلر، منیزیم، 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 *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

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 بای کربنات غلظت مواد غذایی در اندام‌های هوایی بیش تر بود، اما تیمار بی کربنات و قلیائیت باعث تجمع مواد غذایی در ریشه‌ها شد و رشد اندام هوایی به شدت زیر تاثیر بی کربنات کاهش یافت. با کاربرد غلظت‌های مختلف سلنیوم و سیلیسیوم در شوری کلرید سدیم و بی کربنات، 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 طوری که 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 Mahdih 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. بی کربنات سدیم 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 بی کربنات سدیم بر قابلیت جذب 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 بی کربنات سدیم بر عملکرد چهار وارسته کلم گزارش کردند که در اثر افزایش غلظت بی کربنات 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 ارائه 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

تونوپلاستی و آنتی پورت  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  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 گلوکاتایون پراکسیداز و پلی فنول اکسیداز در طی اعمال تنش شوری حاصل از کلرید سدیم و بی‌کربنات سدیم افزایش یافت و با کاربرد عناصر سلیسیم 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 غیر آنزیمی مانند آسکوربات، گلوکاتایون 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 گلوکاتایون پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را به منظور اجتناب از خسارت به دستگاه فتوسنتز از راه بهینه نگهداشتن میزان نیکوتین آمید 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 سلیسیم در برابر تنش اکسیداتیو در گیاهان با افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز همراه است. در حضور سلیسیم، آنزیم گلوکاتایون پروکسیداز، پراکسید هیدروژن را سرکوب کرده و سپس آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و گلوکاتایون رداکتاز بقایای پراکسید هیدروژن را پاکسازی می‌کنند (۸). افزایش فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز و گلوکاتایون 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 سلیسیم 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 سلیسیم تنظیم می‌شود (۲۱). نتیجه‌ها مشخص کرد که سلیسیم شش ایزو آنزیم پراکسیداز را در دانه‌های خیار القا کرد. اثر حفاظتی سلیسیم علیه تنش شوری می‌تواند از راه فعال‌سازی القا شده فیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) انجام شود که برای ساخت ترکیبات فنولی لازم است. انباشت این ترکیبات فنولی در دانه‌های تیمار شده با سلیسیم 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 سلیسیم 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 سلیسیم 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 سلیسیم 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.

## 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).

## منابع

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. Elsharif. 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<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *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. Srer. 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. Zaghoul. 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.

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.

## 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. Esmaeilzadeh\*, S. Eshghi<sup>1</sup>

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<sub>3</sub>) and beneficial elements in five levels (0, 4 and 6 mg L<sup>-1</sup> of selenium and 75 and 100 mg L<sup>-1</sup> of silicon). According to the results of this study, the lowest leaf area (215.04 cm<sup>2</sup>) was observed in alkalinity treatments with no addition of selenium and silicon, whilst, it increased by application of beneficial elements (342.45 cm<sup>2</sup>) compared to control. The highest yield was obtained in 4 and 6 mg L<sup>-1</sup> of selenium. Application of 100 mg L<sup>-1</sup> 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: (esmaeilzadeh@vru.ac.ir).