تأثیر تغذیه سیلیکون بر کاهش اثرات زیانبار تنش نیکل در گیاه ریحان.*Osimum basilicum* L

مرضیه داوودی، بهروز اسماعیل پور*، حمیده فاطمی و حسن ملکی لجایر

گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰٦، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۱۱/۲٦)

چکیده:

به منظور بررسی اثر تغذیه سیلیکون بر گیاه ریحان در شرایط تنش نیکل، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش نیکل در غلظت‌های ۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ پی‌پی‌ام و محلول‌پاشی گیاهان با غلظت ۱ میلی‌مولار سیلیکون و آب (به عنوان شاهد) بود. در این آزمایش صفاتی نظیر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ساقه، تعداد برگ، تعداد ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، نشت غشا، کلروفیل، کاروتنوئیدها، محتوای نسبی آب، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و غلظت نیکل ریشه و بخش هوایی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد تنش نیکل بر روی تمامی صفات تأثیر معنی‌دار داشت. در غلظت ۱۵۰ پی‌پی‌ام نیکل تمام شاخص‌های رشد رویشی و بیوشیمیایی گیاه به صورت معنی‌داری کاهش یافت. محلول‌پاشی با سیلیکون سبب افزایش تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع گیاه، و سطح برگ شد.محلول‌پاشی با سیلیکون توانست اثرات منفی تنش فلز سنگین نیکل را با تأثیر بر کلروفیل کل، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، قند کل و آنزیم کاتالاز تخفیف دهد. نتایج آزمایش نمایانگر افزایش ۲۵ درصدی در فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر محلول‌پاشی گیاهان ریحان با بود و نتایج همچنین نشان داد که استفاده از محلول‌پاشی سیلیکون در تیمار ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ نیکل به ترتیب توانست میزان نیکل در اندام هوایی را ٤٦، ۳۱ و ۱۸ درصد نسبت به تیمارهای بدون سیلیکون، کاهش دهد.

کلمات کلیدی: تعدیل تنش، شاخص رشد، فلزات سنگین، مسمومیت.

مقدمه

امروزه آلاینده‌های محیطی یکی از بزرگ‌ترین معضلات در بخش زیست محیطی و پزشکی برای انسان‌ها به شمار می‌آیند. با توجه به اهمیت امنیت غذایی در جامعه و نیاز روز افزون جوامع به تولیدات کشاورزی و وجود این آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین که باعث کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی می‌شوند (Glick, 2010)، توجه به راهکارهای مدیریتی مناسب و مفید به منظور کاهش اثرات مخرب تنش ناشی از آلودگی فلزات سنگین و همچنین دستیابی به حداکثر عملکرد در بیشتر محصولات کشاورزی امری ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌ی " فلز سنگین" به عناصر فلزی موجود در پوسته زمین با وزن مخصوص بیشتر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب اطلاق می‌شود، که بعد از سال‌ها به علت فعالیت‌های بشری غلظت آن‌ها افزایش یافته و به عنوان یک تنش غیر زنده مطرح می‌شود. از میان ۵۳ عنصری که در این گروه دسته‌بندی شده اند، هفده عنصر در عملکرد ارگانیسم‌ها یا اکوسیستم‌ها دخیل هستند (Vessey, 2003)، بعضی از این فلزات به عنوان ریزمغذی شناخته می‌شوند (آهن، مولیبدن و منگنز). برخی از آنها به عنوان عناصر ناچیز (Trace element) (روی، نیکل،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: behsmaiel@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

مس، وانادیوم، کبالت، کروم و تنگستن) ایفای نقش می‌کنند و تعدادی از این عناصر مانند جیوه، نقره، کادمیم و سرب فاقد نقش تغذیه‌ای بوده و برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها سمی هستند (Briat and Lebrun, 1999).

نیکل با فرمول شیمیایی Ni و عدد اتمی ۵۸ است، که محققان ضروری بودن این عنصر را برای کامل نمودن چرخه حیات موجودات زنده و همچنین عدم امکان جایگزینی سایر عناصر به جای این عنصر به اثبات رسانده‌اند، نیکل به عنوان یک کوفاکتور برای فعالیت آنزیم اوره‌آز، نقش منحصر به فردی را در متابولیسم ترکیبات نیتروژن‌دار، هنگام شکستن پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه در فرآیندهای جوانه‌زنی دانه و تشکیل میوه ایفا می‌کند. در مطالعات اخیر نیز حضور نیکل در مکان‌های فعال آنزیم سوپراکسید دسموتاز در سیانو باکتری‌های آزادزی شناسایی شده است (بهمن‌زیاری و همکاران، ۱۳۹۱). محققین گزارش کردند که تحت شرایط کمبود نیکل، رشد گیاهان هنگامی‌که نیتروژن به شکل اوره برای گیاه فراهم می‌شود به شکل قابل توجهی کاهش یافت (Brown *et al.*, 1990).

با این وجود غلظت‌های بالاتر از حد استاندارد آن برای گیاه سمی می‌باشد. سمیت نیکل با بر هم زدن تعادل بین تولید و تخریب، منجر به انباشتگی رادیکال‌های آزاد اکسیژن و ایجاد خسارات اکسیداتیو نظیر اکسیداسیون لیپیدهای غشا و تخریب پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، رنگدانه‌ها، مولکول کلروفیل و DNA شده و با مختل کردن عملکرد غشا، مقدار آب بافت‌های سلولی را کاهش می‌دهد و همینطور کاهش جوانه‌زنی بذر، کاهش رشد گیاه، جلوگیری از توسعه سیستم ریشه، ایجاد زرد برگی (کلروز) و بافت مردگی برگ، تخریب مولکول کلروفیل و کاهش فتوسنتز و تنفس گیاه از دیگر علائم سمیت با این عنصر می‌باشند (بهمن‌زیاری و همکاران، ۱۳۹۱).

یکی از راه‌کارهای کاهش اثرات زیانبار غلظت‌های بالای فلزات سنگین از جمله نیکل، استفاده از روش‌های صحیح تغذیه معدنی گیاهان است که نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد دارند. در همین ارتباط نقش برخی عناصر نظیر سیلیکون مورد توجه برخی متخصصین تغذیه گیاهی قرار گرفته است (خوش‌گفتارمنش، ۱۳۸۶).

سیلیکون به عنوان دومین عنصر فراوان پوسته زمین محسوب می‌شود، اما به دلیل قرار نگرفتن در دسته عناصر ضروری توجه زیادی به نقش بیولوژی آن در گیاه نشده است. این عنصر در خاک به دلیل ترکیب با سایر عناصر به شکل سیلیکات و یا اکسید در آمده که نامحلول بوده و گیاه به آن دسترسی ندارند، اما معمولاً در محلول خاک به شکل مونوسیلیک‌اسید (H_4SO_4) در غلظت‌های ۰/۱ تا ۰/۶ میلی مولار وجود دارد و گیاهان این عنصر را به همین شکل جذب می‌کنند، پس از جذب توسط گیاه، این عنصر به شکل پلیمری از سیلیس بی‌شکل آب‌پوشی شده بر روی اپیدرم و بافت‌های مختلف تجمع می‌یابد (Epstein, 2009).

به طور کلی اثرات سودمند سیلیکون بر گیاه دو ویژگی مشخص دارد. یکی این که اثرات مفید این عنصر با توجه به گونه گیاهی تغییر می‌کند. اثرات مفید سیلیکون در گیاهانی که تجمع سطوح بالایی از آن را در شاخه‌های خود دارند به خوبی آشکار است. ویژگی دیگر این است که وقتی گیاهان در معرض تنش‌های زنده و غیرزنده قرار می‌گیرند، سیلیکون احتمالاً تنها عنصری است که قادر به افزایش مقاومت در برابر تنش‌های متعدد می‌باشد (Ma *et al.*, 2002).

Parveen و Ashraf (۲۰۱۰) نیز بیان داشتند که، کاربرد خارجی سیلیکون موجب تسریع رشد اکثر گونه‌های گیاهی تحت شرایط معمولی و یا تنش می‌شود. این اثرات به گونه‌ی گیاهی و غلظت سیلیکون بستگی دارد، اثرات مثبت سیلیکون در تنش‌های غیرزنده مانند باد، سرما (Barker *et al.*, 2006)، گرما، شوری و کمبود یا بیش‌بود مواد معدنی و آب (Ma *et al*., 2011) در چندین محصول از جمله برنج (Yeo *et al.*, 1999)، جو (Liang *et al.*, 2005)، گندم (Ahmad *et al.*, 1992)، گوجه‌فرنگی و خیار به اثبات رسیده است (Epstin, 2009). سیلیکون با تحریک سیستم آنتی‌اکسیدان گیاه و تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین و انتقال آن‌ها به اندام هایی نظیر واکوئل سلول‌های گیاهی باعث کاهش اثرات تنش و سمیت فلزات سنگین در گیاهان می‌شود (Liang *et al.*, 2005).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

Chen و همکاران (۲۰۰۰) دلایل اثرات سودمند مصرف سیلیکون در ایجاد مقاومت گیاهان برنج به کادمیوم را جلوگیری از جذب و انتقال کادمیوم، توقف انتقال کادمیم از طریق مسیر آپوپلاست و انتقال کادمیم به واکوئل بیان نموده‌اند. نتایج این مطالعات پیشنهاد داده که احتمالاً سیلیکون با فلزات سنگین تشکیل کمپلکس داده و آن را به شکل غیرسمی در آورده که گیاه قادر به جذب آن نیست (Liang *et al.*, 2005). با این حال، مکانیسم‌های دیگری نیز برای اثرات تخفیف دهنده سیلیکون بر فلزات سنگین پیشنهاد شده است که عبارتند از: آبپوشی (Codeposition) فلز سنگین با سیلیکون، فعالیت در سیتوپلاسم، اثر بر فعالیت آنزیم‌ها و سایر اثرات غیرمستقیم (Cocker *et al.*, 1998).

ریحان با نام علمی *Ocimum* basilicum L. یکی از سبزی های برگی فصل گرم از خانواده نعناعیان است که به دلیل داشتن ویتامین A و C دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی است. برگ ریحان کمتر از یک کالری انرژی دارد و حاوی مقدار قابل توجهی کلسیم، پتاسیم، پروتئین و فیبر است. این گیاه همانند سایر گیاهان خانواده نعناع، منبع ترکیبات حلقوی و اسانس است که دافع حشرات بوده و عملکرد ضد انگلی، باکتریایی و قارچی دارد. این گیاه آرامش‌بخش بوده و در درمان سرفه، سوء هاضمه، افسردگی و اضطراب نقش قابل توجهی دارد (ضیائی و همکاران، ۱۳۹۳).

با توجه به آلودگی اکثر مناطق سبزی‌کاری به فلزات سنگین و انتقال این فلزات به تولیدات گیاهی و اثرات سوء آنها بر سلامت انسان به کارگیری راه‌کارهای مناسب جهت کاهش اثرات مخرب این آلاینده‌ها ضروری به نظر می‌رسد. با تأکید بر نکات فوق این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محول‌پاشی سیلیکون بر گیاه ریحان رقم شهرری در خاک آلوده به نیکل طرح ریزی و انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی در پاییز و زمستان سال ۱۳۹۳ به اجرا درآمد. این آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد، که فاکتورهای آزمایشی شامل نیکل (کلرید نیکل) در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ پی‌پی‌ام به عنوان فاکتور اول و سیلیکون (متاسیلیکات سدیم) در دو غلظت صفر (شاهد) و ۱ میلی‌مولار به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. به منظور انتخاب خاک مناسب از چندین مزرعه‌ی سبزی اطراف شهرستان اردبیل نمونه‌برداری و آزمایشات لازم جهت اندازه‌گیری بافت خاک، میزان ماده آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی و میزان آهک موجود در نمونه های خاک انجام گردید و با توجه به نتایج بهترین خاک گزینش شد، که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ ذکر شده است:

پس از گزینش خاک مورد نظر مراحل آلوده‌سازی با نمک کلرید نیکل با توجه به تیمارهای آزمایشی بر روی خاک به شیوه‌ی مصنوعی اعمال و خاک به مدت ٤ ماه در تناوب خشک و تر قرار گرفت تا آلوده‌سازی به طور یکنواخت در خاک انجام شود.

بذور ریحان رقم شهرری از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه و پس از رسیدن به مرحله ٦-٤ برگ حقیقی در گلدان‌هایی با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ٤۰ سانتی‌متر و با گنجایش ۱۰ کیلویی حاوی خاک‌های آلوده به غلظت‌های مختلف نمک کلرید نیکل، کشت و تحت شرایط کنترل شده در گلخانه با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ٦۰ تا ۷۰ درصد و میانگین شدت نور ٤۳٤ لوکس قرار داده شدند. پانزده روز پس از انتقال نشاءو مستقر شدن گیاه در شرایط جدید بخش هوایی گیاهان با سیلیکون یک مولار از منبع متاسیلیکات سدیم به طور کامل محلول‌پاشی شدند. به منظور اعمال شرایط یکسان گیاهان شاهد نیز با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. در طول آزمایش عملیات داشت شامل سله شکنی، وجین علف‌های هرز و سایر عملیات بصورت مرسوم انجام شد.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه: گیاهان تا مرحله‌ی گلدهی (حدود ۳ ماه) نگهداری و سپس داده‌برداری از خصوصیات مورفولوژی (تعداد شاخه جانبی، طول شاخه جانبی، ارتفاع بوته، تعداد گل‌آذین، وزن تر و خشک ساقه و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت خاک	ماده آلی(٪)	آهک (٪)	اسیدیته	هدایت الکتریکی($ms.cm^{-1}$)	غلظت نیکل (پی‌پی‌ام)
٪۵۲	٪۳۸	٪۱۰	لومی	۱۰/۹۲	۷/۵	۷/۰۸	۲/۷۸	٤۲/۵

برگ، وزن خشک ریشه)، میزان سبزینگی با دستگاه ۵۰۲-SPAD مینولتای ژاپن، سطح برگ با دستگاه سطح‌سنج مدل ADC، کلروفیل فلورسانس با دستگاه کلروفیل فلورومتر مدل OS-30p، محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ با استفاده از روش Arnon (۱۹٤۹)، شاخص ثبات غشا به روش Redman و همکاران (۱۹۸٦)، شاخص محتوی نسبی آب (RWC) از روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰)، میزان پرولین از برگ‌ها با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، استخراج قندهای کل از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲)، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز با استفاده از روش Kar و Mishra (۱۹۷٦) و در انتها میزان عنصر نیکل از اندام رویشی به روش عصاره گیری با اسید انجام و با دستگاه جذب اتمی قرائت شد.

تجزیه آماری: داده‌های حاصل از این آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

شاخص‌های ریختی گیاه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تغذیه با سیلیکون و تنش فلز سنگین نیکل در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد به طور معنی‌داری شاخص‌های ریختی گیاه شامل: تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع گیاه، وزن خشک برگ، و ساقه را تحت تأثیر قرار دادند، در حالی‌که اثر متقابل آن‌ها جز برای وزن خشک برگ و ساقه بر شاخص های مذکور تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

سطوح بالای تنش نیکل با غلظت ۱۵۰ پی‌پی‌ام به شدت تمامی صفات مورفولوژیک را تحت تأثیر قرار داده به طوریکه به ترتیب سبب کاهش۳٤، ۱۰، ۳٤، ۱٦، ٤۰ و ۳۸ درصدی در صفات تعداد شاخه جانبی، ارتفاع گیاه، سطح برگ و وزن خشک ریشه شد و در تمامی صفات مذکور اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارها نشان داد (جدول ۳). بالاترین میانگین در صفات مورفولوژیک، به ترتیب برای صفات تعداد شاخه جانبی، ارتفاع گیاه، سطح برگ وزن تر برگ و وزن خشک ریشه در تیمار شاهد بدست آمد، اما بالاترین تعداد برگ در بوته در تیمار ۷۵ پی پی ام نیکل حاصل شد (جدول ۳).

محلول‌پاشی با سیلیکون در تمامی صفات مورد مطالعه، رشد چشم‌گیری داشت و سبب افزایش ۲۷، ۹، ۹ و ۳۰ درصدی به ترتیب در صفات تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع گیاه، سطح برگ شد (جدول ٤).

شاخص سبزینگی، محتوی نسبی آب و ثبات غشا: شاخص ثبات غشا تحت تأثیر هر دو فاکتور قرار گرفت اما محلول‌پاشی سلیکون در حالی‌که بر شاخص سبزینگی مؤثر بود نتوانست بر محتوای نسبی آب مؤثر واقع شود. شایان ذکر است که غلظت های نیکل بر دو فاکتور اخیر دقیقاً متضاد با تیمار سیلیکون عمل کرد. نکته قابل توجه عدم تفاوت معنی‌دار اثرات متقابل دو فاکتور بر هیچ یک از این شاخص‌ها بود. غلظت‌های متفاوت نیکل نشت مواد محلول و محتوای نسبی آب را به شدت تحت تأثیر قرار داد به طوری که غلظت ۱۵۰ پی‌پی‌ام نیکل توانست ٤٤٪ نشت سلول‌ها را نسبت به شاهد افزایش اما سبب کاهش ۳۳٪ محتوای نسبی آب در برگ‌های ریحان شد محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار سیلیکون بر این شاخص‌ها مؤثر واقع شد و سبب افزایش ۸۲ درصدی در شاخص سبزینگی و کاهش ۱۲ درصدی در نشت مواد محلول از سلول شد (جدول ٤).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات سیلیکون و نیکل بر کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها معنی‌دار بود. اثرات متقابل آن‌ها نیز به جز در کلروفیل a معنی‌دار شد (جدول ۵). نیکل به شدت شاخص کاروتنوئیدها، کلروفیل کل و b را کاهش داد و میزان این کاهش در تیمار نیکل ۱۵۰ پی‌پی‌ام نسبت به تیمار شاهد ۵۰ درصد بود، اما محلول‌پاشی سیلیکون، سبب تخفیف اثرات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سیلیکون و نیکل بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه ریحان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		تعداد برگ	تعداد شاخه جانبی	ارتفاع گیاه	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	محتوای نسبی آب	شاخص سبزینگی	ثبات غشا
تنش نیکل	۳	۳۵۹/۸۶*	۵/۳۴*	۵۱/۴۱*	۶۵۶۷۹**	۰/۶۶**	۰/۶**	۰/۳۹**	۱۶۶/۴۴**	۵/۱ns	۱۵۴/۶**
سیلیکون	۱	۱۹۸۰**	۱۲/۷۶**	۶۳/۲۱*	۹۳۵۰۰**	۱/۱۲**	۱/۶۷**	۰/۱۴ns	۶۸/۰۹ns	۱۰۸/۵۸**	۹۳/۷۱**
نیکل × سیلیکون	۳	۵۲/۴۷ns	۰/۵۳ns	۰/۱۹ns	۱۸۱۳/۳۳ns	۰/۰۲*	۰/۰۲*	۰/۰۱ns	۱/۶۴ns	۳/۵۲ns	۴/۵۱ns
اشتباه آزمایش	۱۶	۷۱/۶	۱/۱۷	۱۰/۸۱	۳۹۸۰/۷۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۳	۱۶/۳۷	۴/۸۱	۸/۸۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۱۴	۶/۵۶	۹/۲۹	۱۳/۵۳	۶/۸۷	۴/۶۵	۱۴/۸۲	۹/۵۱	۴/۵	۱۰/۱۷

***، ** و ns به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است**

جدول۳- مقایسه میانگین اثرات تنش نیکل بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریحان

	تیمار	تعداد شاخه جانبی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	وزن خشک ریشه(گرم)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
غلظت نیکل بر حسب ppm	شاهد	۳۸/۸۷a	۱۷/۶۶a	۵۶۷/۷۸a	۱/۵۳a	۴۷/۸۴a
	۷۵	۳۶/۵۷ab	۱۶/۹۱ab	۵۳۳/۲۸a	۱/۳۴ab	۴۵/۳ab
	۱۰۰	۳۳/۶۶b	۱۵/۶۶b	۴۲۴/۴۴b	۱/۱۲bc	۴۱/۲۷b
	۱۵۰	۳۲/۳۵b	۱۵/۸۳b	۳۳۸/۶۱c	۰/۹۴c	۳۵/۷۷c

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

ادامه جدول ۳-

غلظت نیکل	تیمار	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تازه	فعالیت آنزیم کاتالاز (میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)	فعالیت آنزیم پراکسیداز	غلظت نیکل ریشه (پی‌پی‌ام)
بر حسب ppm	شاهد	۰/۱c	۰/۰۴d	۱۵/۳c	۰/۰۱۸d
	۷۵	۰/۱۳c	۰/۰۷c	۱۹/۶bc	۱/۵۸c
	۱۰۰	۱/۴۷b	۰/۱b	۲۳/۶ab	۳/۸۷b
	۱۵۰	۲/۱۲a	۰/۱۳a	۲۷/۳a	۶/۸۲a

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

نیکل در کاهش این رنگیزه‌ها به ۳۳ درصد گردید. در شاخص کلروفیل کل هم نتایج تقریباً مشابهی به دست آمد و سیلیکون توانست تأثیرات بهبود دهنده‌ی بیشتری را بگذارد به طوری که کاهش ۵۳ درصدی کلروفیل کل و ۶۹ درصدی در کلروفیل b در تیمار ۱۵۰ پی‌پی‌ام نیکل نسبت به شاهد با محلول‌پاشی سیلیکون به ترتیب ۲۰ درصد در کلروفیل کل و ۲۴ درصد در کلروفیل b تقلیل یافت (جدول ۶).

محتوای قند کل و پرولین: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر هر دو فاکتور نیکل و سیلیکون بر این شاخص‌ها در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نیز اثر متقابل آن‌ها در کربوهیدرات کل معنی‌دار بود، اما در شاخص پرولین اثر متقابل آنها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۵). به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر سیلیکون و نیکل بر شاخص‌های بیوشیمیایی ریحان

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	کربوهیدرات کل
تنش نیکل	۳	۲۵/۵٦**	۱۱/۲۷**	۷۰/۷۲**	۸/٤۳**	۰/۲**
سیلیکون	۱	۱٤۳/۰۹**	۲۳/۵۵**	۲۸۲/۷۵**	۳/۰۳**	۰/۲۵*
نیکل × سیلیکون	۳	۲/۲٦^{ns}	۲/۰۸**	۸/۳۱*	۰/۳۹*	۰/۱*
اشتباه آزمایش	۱٦	۱/٤	۰/۲۹	۲/۲٦	۰/۰۹	۰/۰۳
ضریب تغییرات(٪)		۹/۳٦	۱۰/۰٤	۸/۳۳	۵/۷٤	۲۷/۷۸

***، ** و ns به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است.**

ادامه جدول ٤-

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	فعالیت آنزیم پراکسیداز	فعالیت آنزیم کاتالاز	غلظت نیکل بخش هوایی	غلظت نیکل ریشه
تنش نیکل	۳	٦/۰۹**	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰۱**	۳۰/۲۷**	۵۲/۵۸**
سیلیکون	۱	۰/۱۸*	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۱۱*	۲/۹۸**	۱/۳۹ ^{ns}
نیکل × سیلیکون	۳	۰/۰۵^{ns}	۰/۸۷^{ns}	۰/۰۰٦ ^{ns}	۰/٤۲۷**	۰/۹۹^{ns}
اشتباه آزمایش	۱٦	۰/۰۳	۱۷/۷٦	۰/۰۰۰۱	۰/۰٦۵	۰/٤۸
ضریب تغییرات(٪)		۱۸/۰۷	۱۹/۷۰	۱٤/۷۸	۱۱/۱۳	۲۲/۷۵

***، ** و ns به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است.**

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات سیلیکون بر شاخص‌های مورفو فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریحان

تیمار	تعداد برگ	تعداد شاخه جانبی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	شاخص سبزینگی
شاهد	٦٦/۸۳^{b}	۱۵/۷۹^{b}	۳۳/۷٤^{b}	٤۰۳/٦۱^{b}	٤٦/۵۷^{b}
۱ میلی‌مولار سیلیکون	۸۵^{a}	۱۷/۲۵^{a}	۳٦/۹۹^{a}	۵۲۸/٤٤^{a}	۸۵^{a}

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

ادامه جدول ۵-

تیمار	ثبات غشا (نشت مواد محلول) (٪)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تازه)	فعالیت آنزیم کاتالاز(میلی گرم پروتئین در دقیقه)
شاهد	۳۱/۲۱a	۱۰/۲۳b	۰/۸۷b	۰/۰۸ ^{b}
۱ میلی‌مولار سیلیکون	۲۷/۲٦b	۱۵/۱۱a	۱/۰٤a	۰/۱ ^{a}

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

طوری که بیشترین میزان کربوهیدرات در غلظت ۱۵۰پی‌پی‌ام نیکل و غلظت ۱ میلی‌مولار سیلیکون حاصل شد، که حدود ۱۱۵ درصد نسبت به تیمار شاهد بدون سیلیکون و ۸۱ درصد نسبت به تیمار شاهد با سیلیکون افزایش نشان داد و کمترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل نیکل و سیلیکون بر شاخص‌های موروفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

غلظت نیکل (ppm)	سیلیکون	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	کربوهیدرات کل	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	غلظت نیکل بخش هوایی
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)				(گرم)		(پی‌پی‌ام)
صفر	بدون محلول‌پاشی	٦/٣٨^{bc}	١٩/٦٦^{b}	٦/٣^{b}	٠/٥٣^{bc}	١/٣٤^{c}	١/٧٤^{cd}	٠^{g}
	با محلول‌پاشی	٧/٤٨^{a}	٢٤/١٥^{a}	٦/٩٢^{a}	٠/٦١^{bc}	١/٨٩^{a}	٢/٤١^{a}	٠^{g}
٧٥	بدون محلول‌پاشی	٥/٤^{c}	١٦/٧٩^{c}	٥/٨١^{bc}	٠/٤٧^{bc}	١/٢١^{cd}	١/٧٢^{d}	١/٢٩^{e}
	با محلول‌پاشی	٦/٦٣^{ab}	٢٢/٦٩^{a}	٦/١١^{b}	٠/٣٩^{c}	١/٦٤^{b}	٢/١٣^{b}	٠/٦٩^{f}
١٠٠	بدون محلول‌پاشی	٣/٨٣^{d}	١٢/٨٨^{d}	٤/٩٣^{de}	٠/٥٢^{bc}	١/٠٣^{e}	١/٤٥^{e}	٣/٨١^{c}
	با محلول‌پاشی	٥/٧٦^{bc}	١٩/٩٢^{b}	٥/٤^{cd}	٠/٨^{b}	١/٢٧^{c}	١/٨٨^{c}	٢/٦٢^{d}
١٥٠	بدون محلول‌پاشی	١/٩٧^{e}	٩/١٧^{e}	٣/١٣^{f}	٠/٦١^{bc}	٠/٦^{f}	١/٠٥^{f}	٥/٥٢^{a}
	با محلول‌پاشی	٥/٦٤^{bc}	١٩/٢١^{bc}	٤/٥٩^{e}	١/١٤^{a}	١/١١^{ed}	١/٦٥^{d}	٤/٤٨^{b}

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری در سطح احتمال ٥ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

میزان کربوهیدرات کل (٠/٣٩ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در غلظت ٧٥ پی‌پی‌ام نیکل و ١ میلی‌مولار سیلیکون به دست آمد (جدول ٦).

بیشترین میزان پرولین نیز (٢/١٢ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در غلظت ١٥٠ پی‌پی‌ام نیکل به دست آمد که با تیمار شاهد و سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین آن (٠/١ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در تیمار شاهد حاصل شد (جدول ٣).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر تغذیه با سیلیکون بر میزان پرولین نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان با سیلیکون توانست میزان پرولین (١/٠٤ میکروگرم بر گرم وزن تازه) را با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دهد (جدول ٤).

فعالیت آنزیم های پراکسیداز و کاتالاز: نتایج این پژوهش نشان داد که تنش نیکل در سطح احتمال ٥ درصد فعالیت آنزیم پراکسیداز را تحت تأثیر قرار داد ولی اثر تغذیه با سیلیکون و اثر متقابل فاکتورها، تأثیر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم نداشتند (جدول ٥). فعالیت این آنزیم با افزیش غلظت نیکل افزایش قابل توجهی نشان داد، به طوریکه بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (٢٧/٣ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در غلظت ١٥٠ پی‌پی‌ام نیکل بوده و کمترین آن (١٥/٣ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ٣).

اثر تنش نیکل و محلول‌پاشی سیلیکون بر فعالیت آنزیم کاتالاز به ترتیب در سطح احتمال ١ و ٥ درصد معنی‌دار بود ولی اثرمتقابل آن‌ها برای این شاخص معنی‌دار نبود(جدول ٣) و بیشترین فعالیت آنزیم (٠/١٣ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در غلظت ١٥٠ پی‌پی‌ام نیکل حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد. کمترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار بدون نیکل (شاهد) (٠/٠٣ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مشاهده گردید. بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین محلول پاشی سیلیکون باغث افزایش ٢٥ درصدی در فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ٤).

غلظت نیکل در بخش هوایی و ریشه گیاه: نتایج حاصل ار تجزیه واریانس اثر تنش نیکل و تغذیه با سیلیکون بر غلظت نیکل در بخش هوایی نشان داد که اثر هر دو فاکتور و همچنین اثر متقابل آنها در سطح احتمال ١ درصد معنی‌دار بود (جدول ٥). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل فاکتورها نشان داد که بیشترین مقدار نیکل در بخش هوایی (٥/٥٢) در غلظت ١٥٠ پی‌پی‌ام نیکل و بدون محلول‌پاشی سیلیکون مشاهده گردید که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد. کمترین میزان آن نیز در تیمار بدون تنش و تغذیه شده با سیلیکون حاصل شد. محلول‌پاشی سیلیکون در تیمار ٧٥، ١٠٠ و ١٥٠ نیکل به ترتیب توانست ٤٦، ٣١ و ١٨ درصد نسبت به تیمارهای بدون سیلیکون، میزان نیکل در اندام هوایی را کاهش دهد (جدول ٦).

تجزیه واریانس فاکتورهای آزمایش بیانگر آن بود که تنها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

اثر تنش نیکل، بر میزان نیکل موجود در ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و اثر تغذیه سیلیکون و نیز اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر غلظت نیکل ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر تنش نیکل بر میزان تجمع نیکل در ریشه نشان داد که بیشترین و کمترین میزان نیکل در ریشه به ترتیب در غلظت ۱۵۰ پی‌پی‌ام نیکل و تیمار شاهد حاصل گردید که افزایش ٦۰۰ درصدی در این شاخص مشاهده شد (جدول٤).

بحث

در مطالعه حاضر، بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص های رشد رویشی و مقایسه آن با نمونه‌های شاهد نشان داد که تیمار ۷۵ پی‌پی‌ام نیکل باعث افزایش بسیاری از شاخص‌های رشدی گردید، اما نتوانست اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شاهد ایجاد کند. این نتیجه را می‌توان به نقش تغذیه‌ای عنصر نیکل در گیاهان نسبت داد. نیکل به عنوان یک ماده غذایی ضروری برای تک لپه‌ای‌ها و دولپه‌ای‌ها معرفی شده است. نقش این عنصر در ساختار آنزیم اوره‌آز غیرقابل انکار است. تغذیه نیکل فعالیت آنزیم اوره‌آز را بهبود می‌بخشد، بنابراین واکنش هیدرولیز اوره به آمونیوم و دی‌اکسیدکربن را افزایش می‌دهد (Bai *et al.*, 2006). در تحقیق حسینی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داده شد که کاربرد نیکل در محلول غذایی کشت کاهو، به ویژه در شرایطی که اوره منبع تأمین کننده نیتروژن باشد، می‌تواند عملکرد گیاه را بالا ببرد. Atta-Aly (۱۹۹۹) مشاهده کردند که اضافه کردن ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک نه تنها رشد و عملکرد گیاه جعفری را بهبود می‌بخشد، بلکه باعث کاهش تجمع نیترات در گیاه می‌شود.

در تحقیق حاضر، سطوح تنش نیکل باعث کاهش در مقدار شاخص‌های رشد گیاه گردید که در بالاترین سطح تنش یعنی غلظت ۱۵۰ پی‌پی‌ام نیکل این کاهش رشد در گیاه ریحان معنی‌دار بود. نتایج حاصل از سایر پژوهش‌ها در رابطه با کاهش زیست توده در گیاه ریحان در پژوهش حاضر هم‌سویی دارد. کاهش در صفات مورفولوژیک در اثر کاربرد نیکل در خاک یا محلول غذایی در بامیه (خرمی و جامعی، ۱۳۹٤)، گیاه *Empertum nigrum*(Monni *et al.*, 2000)، برنج (Ruchi and Dubey, 2009)، ذرت شیرین (Bhardwaj *et al.*, 2009,) نیز مشاهده شده است. همینطور در رابطه با اثر تنش نیکل بر شاخص‌های رشد و زیست توده گیاه می‌توان استنتاج نمود که با وجود این‌که فلز سنگین نیکل یک عنصر کم‌مصرف ضروری در گیاهان است ولی در غلظت‌های بالا می‌تواند ایجاد سمیت کرده و رشد گیاهان را دچار اختلال کند. تنش نیکل باعث ایجاد اختلال در سیستم متابولیکی گیاهان شده و به سرعت از تقسیم سلولی ممانعت می‌کند (Yusuf *et al.*, 2011). اثرات سمی نیکل در گیاهان شامل کاهش رشد ریشه و شاخساره و کاهش سطح برگ می‌باشد (Shaw *et al.*, 2004). تنش فلزات سنگین از جمله عوامل محدود کننده‌ی رشد ریشه است و کاهش رشد ریشه فعالیت‌های رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عدم توسعه و گسترش مناسب سیستم ریشه‌ای باعث کاهش سطوح جذب کننده‌ی مواد غذایی، تغییر در ساختار غشای سلولی و کاهش جذب و محتوای آب می‌شود که این امر موجب کاهش رشد در سایر قسمت‌های گیاه از جمله کاهش سطح برگ می‌شود (Sharma and Dubey, 2005). به علاوه در غلظت‌های بالا، فلزات سنگین با مهار ساختRNA های ریبوزومی در سلول‌های مریستمی سبب کاهش رشد می گردند (Serida *et al.*, 2008). کاهش زیست‌توده تحت تأثیر عناصر سنگین نشان دهنده کاهش و اختلال در سنتز پروتئین‌ها و همچنین کاهش فعالیت دستگاه فتوسنتزی می‌باشد (Manivasagaperumal *et al.*, 2011).

در این آزمایش، تنش نیکل به طور معنی‌داری میزان محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد. فلزات سنگین با ممانعت از حرکت آب از ریشه به بخش‌های بالاتر گیاهان، باعث دهیدراته شدن شدید برگ و سایر قسمت‌ها می‌شود (Chen *et al.*, 2004). علاوه بر این فلزات سنگین عملکرد روزنه، حرکت آب از آپوپلاست و سیمپلاست و جذب آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Barcelo and Poschenrieder, 2004). بسیاری از محققین بیان کردند که سمیت نیکل باعث کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

محتوای نسبی آب می‌شود (Pandey and Gautam, 2009).

در مطالعه حاضر ، با افزایش سطح تنش نیکل، مقدار نشت الکترولیت‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت و از این نظر بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. از جمله پیامدهای منفی ورود فلز سنگین به گیاه، تخریب غشای سیتوپلاسمی است که با اندازه‌گیری نرخ نشت الکترولیت‌ها می‌توان برآوردی از مقدار آسیب غشاء به دست آورد. فلزات سنگین با غیرفعال کردن آنزیم‌های غشایی (Adam *et al.*, 2006)، تخریب آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تخریب چربی‌های غشای سلولی، سبب افزایش آسیب غشایی درگیاه می‌شود. چنین آسیبی به خاطر مکانیسم‌های متنوع شامل اکسیداسیون و مهار پروتئین‌های غشایی اصلی مثل H^+-ATPase یا تغییر در ترکیب و سیالیت لیپیدهای غشا می‌باشد (Hall, 2002).

در مطالعه حاضر، گیاهان تحت تنش ۱۵۰ پی‌پی‌ام کاهش معنی‌داری در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان دادند. یافته های حاصل از پژوهش حاضر با نتایج سایر مطالعات مطابقت دارد. بررسی اثر نیکل بر گیاه جعفری (خطیبی و همکاران، ۲۰۰۸)، کادمیوم بر گیاه کلزا (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶) و سرب بر گیاه کنگر فرنگی (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲) کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل‌ها در این گیاهان را نشان داد. تجمع نیکل در گیاهان ماش، مقدار کلروفیل را در این گیاهان کاهش داد (Ahmad *et al.*, 2010). تنش نیکل در ماش سیاه، منجر به کاهش معنی‌دار رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید (Dubey and Pandey, 2011).

فلزات سنگین با اتصال به گروه‌های تیولی پروتئین‌های مسیر سنتز کلروفیل توانایی تخریب و غیرفعال کردن آن‌ها را دارند (Helmy, 2010). فتوسنتز معمولاً توسط غلظت‌های بالای فلزات سنگین مهار می‌شود، اما اثر انفرادی فلز سنگین برای گونه‌ها و حتی ارقام می‌تواند اختصاصی باشد. نیکل فتوسنتز را مهار و در بیوسنتز و تجزیه کلروفیل و بسیاری از فرآیندهای فتوسنتزی دیگر نیز مؤثر می‌باشد. فلزات سنگین به وسیله مهار آنزیم‌های آلفا- آمینو لوالونیک اسید دهیدروژناز و پروتوکلروفیلد ردوکتاز سبب مهار بیوسنتز کلروفیل می‌شوند. این فلزات سنتز گاما- آمینولوالونیک اسید و تشکیل کمپلکس آنزیم پروتوکلروفیلد ردوکتاز با سوبسترا را مهار می‌کنند. برهمکنش متقابل فلزات سنگین با گروه سولفیدریل آنزیم‌ها مهم‌ترین مکانیسم این مهارها عنوان شده است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶).

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات کل در گیاه، بیانگر افزایش معنی‌دار این شاخص تحت تأثیر نیکل مازاد در گیاه ریحان است. غلظت بالای فلزات سنگین قادر به اختلال در متابولیسم قندها در گیاهان می‌باشند. در واقع، میزان قندهای کل در گیاهان، نشان دهنده اثر سمی فلزات سنگین بر روی متابولیسم کربن می‌باشد. افزایش غلظت سرب و کادمیوم در گیاهان گوجه فرنگی منجر به مهار متابولیسم کربوهیدرات شد (Hattab *et al.*, 2009). از عوامل افزایش قندهای محلول می‌توان افزایش آنزیم‌های تجزیه کننده‌ی قندهای غیرمحلول مانند انورتاز و سوکروز سنتتاز و همچنین کاهش مصرف این قندها را مدنظر داشت (Verma and Dubey, 2001). با کاهش انتقال آب به برگ‌ها و به دنبال آن تجمع کادمیوم در سلول‌ها، میزان قندهای محلول در گیاه افزایش یافت. این ویژگی یک روش سازگاری گیاه برای حفظ شرایط اسمزی است. علاوه بر این افزایش قندهای محلول به گیاه کمک می‌کند تا بتواند ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه در شرایط تنش در حد مطلوب نگه دارد (Verma and Dubey, 2001).

در پژوهش حاضر، کاربرد سیلیکون موجب بهبود بسیاری از شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی در گیاه ریحان گردید که نتایج به دست آمده با گزارشات حاصل از سایر محققین هم-سویی دارد. سیلیکون باعث افزایش تحمل به سمیت منگنز در گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.)گردید، که این نتیجه ناشی از اتصال قوی منگنز به دیواره سلولی و کاهش در مقدار منگنز سیمپلاستی می‌باشد (Mishra *et al.*, 2006). سیلیکون از طریق تشکیل کمپلکس با آلومینیوم در محیط و یا در ریشه باعث مهار نفوذ این فلز به گیاه گردید (Liu *et al.*, 2004).

سیلیکون با حفاظت گیاه در برابر آسیب‌های اکسیداتیو، منجر به بهبود اثرات سمی ناشی از تنش فلز سنگین در گیاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

می‌گردد. سیلیکون باعث کاهش تنش بور در اسفناج، جو و گوجه فرنگی شد (Zhang *et al.*, 2008). سیلیکون با تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تنش فلزات را کاهش داد (Neuman and Zur Nieden, 2001). به طوری‌که تحت تأثیر سمیت کادمیوم منجر به افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز شد (Shi *et al.*, 2010). آثار مفید سیلیکون به دلیل رسوب آن در دیواره‌های سلولی ریشه‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها می‌باشد (Ma and Yamaji, 2006). سیلیکون بعد از جذب توسط ریشه، به بخش هوایی گیاه انتقال می‌یابد و روی دیواره سلول‌ها به صورت پلیمر هیدراته، سیلیکای بی‌شکل، لایه دوتایی سیلیکا- کوتیکول و همچنین سیلیکا- سلولز در سطح برگ و ساقه رسوب می‌کند و از شدت تعرق می‌کاهد (Ma and Yamaji, 2006). به علاوه، حضور سیلیکون در آندودرم ریشه ممکن است جذب آپوپلاستی آب و برخی یون‌ها را کاهش دهد (Kidd *et al.*, 2001). کاربرد سیلیکون منجر به افزایش کمپلکس لیگنین- کربوهیدرات در دیواره سلولی سلول‌های اپیدرمی برنج می‌شود که جایگاه‌های جذب فراوانی برای فلزات سنگین (Da Cunha and Nascimento, 2009) ایجاد می‌کند. پس سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و لیگنین موجود در دیواره سلولی در کاهش تنش ناشی از سمیت فلز سنگین دخیل است.

همچنین با توجه به نتایج Verma و Dubey (۲۰۰۱) می توان حدس زد که سیلیکون ذخیره کربوهیدراتی گیاهان تحت تأثیر تنش را برای فرآیندهای متابولیکی و حفظ متابولیسم پایه در حد مطلوب نگه داشته است. سیلیسیم با افزایش کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش آلومینیوم گیاهان را از تخریب اکسیداتیو محافظت نموده و باعث بقاء ساختار غشاء پروتئین‌ها خواهد شد.

در مطالعه حاضر، کاربرد سیلیکون در گیاهان ریحان تحت تیمار فلز سنگین نیکل، باعث تجمع کمتر این فلز در ریشه و بخش هوایی در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. نقش حفاظتی سیلیکون در مواجهه با فلزات سنگین در ممانعت از انتقال فلز سنگین به گیاه، ممکن است به علت نقش آن در افزایش ضخامت نوار کاسپاری در اندودرم‌ها و دیواره سلولی آوند چوبی باشد که به دلیل رسوب لیگنین و سیلیکون در دیواره سلولی این ناحیه از پوست باشد (Shi *et al.*, 2005). در مطالعه‌ای روی گیاه برنج تحت تیمار سیلیکون و فلز سنگین کادمیوم، نشان داده شده که گیاهان تحت تیمار سیلیکون، فلز سنگین کمتری در خود تجمع دادند. تجمع سیلیکون در ریشه، باعث کاهش نفوذ فلز سنگین به آن می‌شوند، بنابراین انتقال فلزات سنگین در گیاهان تحت تیمار سیلیکون در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافت (Liu *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای روی پنبه تحت تنش سرب افزودن سیلیکون باعث کاهش معنی‌دار سرب در گیاه گردید (Barada *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش، کاربرد سیلیکون در گیاهان ریحان تحت تیمار فلز سنگین نیکل، باعث افزایش رشد گیاه و تجمع کمتر این فلز در ریشه و بخش هوایی در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. سیلیکون بر متابولیسم قندها و پخش مواد فتوسنتزی در گیاهان در حال رشد اثر قابل توجهی گذاشته و تقریباً باعث افزایش آن می‌گردد. احتمالاً این امر به علت کاهش انتقال آب به برگ‌ها و در نتیجه اختلال در سرعت تعرق برگ و افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی چند مسیر متابولیک از جمله مسیر بیوسنتز قندها باشد. این پدیده احتمالاً مکانیسم سازش گیاه برای حفظ پتانسیل اسمزی مناسب در شرایط سمیت فلز سنگین باشد.

منابع

بهمن زیاری، ه.، خوش‌گفتار منش، ا. ح.، استوار، آ.، شیروانی، م.، حقیقی، م.(۱۳۹۱) تأثیر سطوح مختلف نیکل در محلول غذایی حاوی نیترات آمونیوم بر پراکسیداسیون لیپید و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدان برگ خیار، علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۳: ۹۱-۱۰۲.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

حسینی، ف.، خوش‌گفتارمنش، ا. ح.، افیونی، م. (۱۳۹۱) تأثیر تغذیه نیکل و منبع نیتروژن بر رشد و عملکرد کاهو درمحیط آبکشت،علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۳: ۶۱-۵۳.

خرمی، س.، جامعی، ر. (۱۳۹٤) تأثیر غلظت‌های مختلف مس و نیکل بر روی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژی در گیاه بامیه (*Hibiscus esculentus*L.)، فرآیند و کارکرد گیاهی٤: ٤٤-۳۳.

خوش‌گفتارمنش، ا. ح.(۱۳۸٦) مبانی تغذیه گیاهی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

ضیائی، م.، شریفی، م.، نقدی‌بادی، ح.، تحصیلی، ژ.، قربانی نهوجی، م. (۱۳۹۳) مروری بر گیاه دارویی ریحان (*Ocimumbasilicum*L.) با تأکید بر عمده‌ترین ترکیبات ثانویه و ویژگی‌های زراعی و دارویی آن، فصل‌نامه گیاهان دارویی ۱۳: ٤۰-۲٦.

کریمی، ن.، خان‌احمدی، م.، مرادی، ب. (۱۳۹۲) اثر غلظت‌های مختلف سرب بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه کنگرفرنگی، مجله پژوهش‌های تولید گیاهی ٦۲:۵-٤۹.

Abdul- Jaleel, C., Manivannan, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R. and Panneerselvam, R. (2007) *Pseudomonas fluoresense* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* L. under water deficit stress. Colloids and Surface 60: 7- 11.

Adam, T., Nilesh, C., Sharma, S., Sahi, S. and Sajwan, K. (2006) Effects of lead and chelators on growth, photosynthetic activity and Pb uptake in Sesbania durmmondii grown in soil, Environmental Pollution 144: 11- 18.

Ahmad, M. S., Ashraf, M. and Hussain, M. (2010) Phytotoxic effects of nickel on yield and concentration of macro and micro nutrients in sunflower (*Helianthus annus*) achenes. Journal of Hazardious Materiall 10: 234- 240.

Ahmad, R., Zaheer, S. and Ismail, S. (1992) Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Science 85: 43–50.

Arnon, D. (1949) Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1- 15.

Atta-Aly, M.A. (1999) Effect of nickel adition on the yield and quality of parsley leaves. Scientia Horticulturae 82: 9- 24.

Bai, C., Reilly, C. and Wood, B. (2006) Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. Plant Physiology140: 433- 443.

Barada L. P., Cutter L., Montoya J. P., Webb E. A., Capone D. G., Sañudo-Wilhelmy S. A. (2013). The distribution of thiamin and pyridoxine in the western tropical North Atlantic Amazon river plume. Front Microbiol. 4:25

Barcelo, J. and Poschenrieder, C. H. (2004) Structural and ultrastrauctural changes in heavy metal exposed plants. In: Heavy Metal Stress in Plants: From Biomolecules to Ecosystem. (Ed. Prasad, M. N. V.) Springr, Berlin, Germany.

Barker, A. and Pilbeam, D. (2006) Handbook of plant nutrition. First edition. CRC press, United states.

Bates, I., Waldern, R. and Tear, I. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 93: 205- 207.

Bhardwaj, R., Arora, N., Sharma, P. and Arora, H. K. (2007) Effects of homobrassinolid on seedling growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities under nickel stress in seedlings of *Zea mays*. Asian Journal of Plant Science 6: 765- 772.

Briat, J. F., Lebrun, M. (1999) Plant responses to metal toxicity. Science Series 322: 43–54.

Bron, I., Riberio, V. and Azzolin, M. (2004) Chlorophyll fluorescence as tools to evaluate the ripening of Golden papaya fruit. Postharvest Biotechnology33: 163- 173.

Brown, P. H., Welch, R. M. and Madison, J. T. (1990) Effect of nickel deficiency on soluble anion, amino acid, and nitrogen levels in barley. Plant and Soil 125: 19-27.

Chen, C., Chen, T.H., Lo, K.F. and Chiu, C.Y. (2004) Effect of proline on copper transport in rice seedlings under excess copper stress. Plant Science166: 103- 111.

Chen, H. M., Zheng, C. R., Tu, C. and Slen, Z. G. (2000) Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. Chemosphere 41: 229-234.

Cocker, K. M., Evans, D. E. and Hodson, M. J. (1998) The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: solution chemistry or an *in planta* mechanism. Plant Physiology104: 608-614.

Da Cunha, K. and Nascimento, C. (2009) Silicon effects on metal tolerance and structural changes in maize (*Zea mays*L.) grown on cadmium and zinc enriched soil. Water, Air and Soil Pollution 197: 323- 330.

Dubey, D. and Pandey, A. (2011) Effect of nickel (Ni) on chlopophyll, lipid peroxidation and antioxidant enzymes activities in black gram (*Vignamungo* L.) leaves. Journal of Plant Nutrition 2: 395- 401.

Epstein, E. **(**1999) Silicon. Plant Physiology 50: 641-64.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

Epstein, E. (2009) Silicon: its manifold roles in plants. Annuals of Applied Biology 155: 155- 160.
Glick, BR. (2010) Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. Biotechnology Advances 28: 367–374.
Hall J. L. (2002) Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. Journal of Experimental Botany 366: 1-11.
Hattab, S., Chouba, L., Ben, M., Mehouachi, T. and Boussetta, H. (2009) Cadmium and copper induced DNA damage in *Pisum sativum* roots and leaves as determined by the comet assay. Plant Biosystems10: 1080- 1087.
Hattab, S., Chouba, L., Ben, M., Mehouachi, T. and Boussetta, H. (2009) Cadmium and copper induced DNA damage in *Pisum sativum* roots and leaves as determined by the comet assay. Plant Biosystems10: 1080- 1087.
Helmy, L. (2010) The influence of nickel sulphate on some physiological aspects of two cultivars of *Raphanus Sativus* L. Archives Biology Science Belgrade 62: 683- 691.
Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315- 319.
Khatibi, M., Rashed, M., Ganjeali, A. and Lahooti, M. (2008) The effects of different nickel concentration on some morpho-physiological characteristics of parsley. Field Crops Research 2: 295- 286.
Kidd, P., Ligany, B., Gunse, S. and Barcelo, J. (2001) The role of root exudates in aluminum resistance and silicon induced amelioration of aluminum toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). Journal of Experimental Botany 52: 1339- 1252.
Liang, Y.C., Wong, J.W.C. and Long, W. (2005) Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. Chemosphere 58: 475-483.
Liu, C., Li, F., Luo, C., Liu, X., Wang, S., Liu, T. and Li, X. (2009) Foliar application of two silica sols reduced cadmium accumulation in rice grains. Journal of Hazardous Materials161:1466–1472.
Liu, D., Jiang, W., Guo, L., Hao, Y., Lu, C. and Zhao, F. (1994) Effects of nickel sulphate on root growth and nucleoli in root tip cells of *Allium cepa.* Israel Journal of Plant Sciences 42: 143- 148.
Ma, J.F., Tamai, K., Ichii, M. and Wu, K. (2002) A rice mutant defective in active Si uptake. Plant Physiology130: 2111-2117.
Ma, J.F. and Yamaji, N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends plant science 11: 392- 397.
Manivasagaperumal, R., Vijayarengan, P., Balamurgan, S. and Thiyagarajan, G. (2011) Effect of coupper on growth, dry matter yield and nutrient content of *Vigna Radiata*.Journal of Phytology 3: 53- 62.
Maxwell, K. and Johnson, G. (2000) Chlorophyll fluorescence a practical guide. Journal of Experimental Botany 345: 659- 668.
Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R. D., Govindarajan, R. and Kuriakose, S. V. (2006) Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. Plant Physiology and Biochemistry 44: 25-37.
Monni, S., Salemaa, M. and Milar, N. (2000) The tolerance of *empetrum nigrum* L. to copper and nickel. Environmental Pollution 109: 221- 229.
Neuman, D. and Zur Nieden, U. (2001) Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. Phytochemistry56: 685- 692.
Pandey, S.N. and Gautam, S. (2009) Effect of nickel stress on growth and physiological responses of *Trigonella foenum* L. plants grown in Gomati upland alluvial soil of Lucknow. Indian Botanical Society 88: 1-3.
Parveen, N. and Ashraf, M. (2010) Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea Mays* L.) cultivars grown hydroponically. Pakistan Journal of Botany 42: 1675–1684.
Redman, R., Haraldson, J. and Gusta, L. (1986) Leakage of UV- absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody spicies. Physiologia Plantarum 67: 87- 91.
Ritchie, S. and Nguyen, H. (1990) Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotype differing in drought resistance. Crop Science 30: 105- 111.
Ruchi, M. and Dubey, R. (2009) Nickel- induced oxidative stress and the role of antioxidant defence in rice seedling. Plant Growth Regulation 59: 37- 49.
Serida, K., Mohammad, B., Eurn, J. and Kee, Y. (2008) Copper toxicity in *Withania somnifera*: growth and antioxidant enzymes responses of invitro growth plants. Environmental and Experimental Botany 64: 279- 285.
Sharma, P. and Dubey, R. (2005) Lead toxicity in plants. Plant Physiology17: 35- 52.
Shaw, B. P. Sahu, S. K. and Mishra, R. K. (2004) Heavy metal induced oxidative damage in terrestrial plants. In: Heavy Metal Stress in Plants: From Biomolecules of Ecosystems. (Ed Prasad, M. N. V) Narosa Publishing House. New Dehli, India.
Shi, G., Cai, Q., Liu, C. and Wu, L. (2010) Silicon alleviates cadmium toxicity in peanut plants in relation to cadmium distribution and stimulation of antioxidative enzymes. Plant Growth Regulators 61: 45- 52.
Shi, X., Zhang, C., Wang, H. and Zhang, F. (2005) Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. Plant and Soil 272: 53-60.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

Soltani, F., Ghorbani, M. and Manouchehri- kalantari, K. (2006) Effect of cadmium on photosynthetic pigments, sugars and malondealdehyde content in *Brassica napus.* Journal of Biology 2: 136- 145.

Verma, S. and Dubey, R. (2001) Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of hair metabolism in rice. Biologia Plantarum 1: 117- 123.

Vessey, J. K. (2003) Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255: 571-586.

Yeo, A. R., Flowers, S. A., Rao, G., Welfare, K., Senanayake, N. and Flowers, T. J. (1999) Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. Plant Cell and Environment 22: 59–565.

Yusuf, M., Fariduddin, Q., Hayat, S. and Ahmad, A. (2011) Nickel: An overview of uptake, essentiality and toxicity in plants. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 86: 1- 17.

Zhang, H., Tang, M. and Zheng, C. (2010) Effect of inoculation with AM fungi on lead uptake, translocation and stress alleviation of *Zea may* seedlings planting in soil with increasing lead concentrations. Europen Journal of Soil Biology 46: 306- 311.

Zhu, Z. G., Wei, G. Q., Li, J., Qian, Q. Q. and Yu, J. Q. (2004) Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Science167: 527- 533.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.7.2] [Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]