نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۲۶۳-۲۸۱
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2019.16626.2519

بررسی تأثیر گوگرد و سیلیسیوم بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سیر توده مازند

***وحید اکبرپور[۱]، کامران قاسمی[۱] و مهدی محمدی ازنی[۲]**

[۱]استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
[۲]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰٤/۱٦

چکیده

سابقه و هدف: سیر یکی از گیاهانی است که علاوه بر ارزش غذایی، اثرات دارویی مطلوبی نیز دارد. این گیاه علاوه بر وجود اسانس و مواد مؤثره ارزشمند، دارای عناصری مانند گوگرد و سیلیسیوم می‌باشد. این عناصر علاوه بر ایجاد خواص دارویی مطلوب، سبب مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌گردند. بنابراین استفاده از این عناصر می‌تواند اثرات مفیدی در عملکرد و خواص دارویی این گیاه داشته باشد. در پژوهش حاضر، اثر گوگرد و سیلیسیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد، پارامترهای فتوسنتزی، عناصر غذایی و برخی از پارامترهای زیست- شیمیایی گیاه سیر مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور گوگرد (در سه سطح صفر (S_0)، ۱۵ (S_{15}) و ۳۰ (S_{30}) لیتر در هکتار) و سیلیسیوم (در سه سطح صفر (Si_0)، ۲ (Si_2) و ٤ (Si_4) لیتر در هکتار) با سه تکرار اجرا شد. تیمارها به‌صورت کود آبیاری و در سه نوبت به فاصله هر هفت روز اعمال گردید. در انتهای آزمایش، صفاتی مانند عملکرد، متوسط وزن سیر، میانگین وزن سیرچه، طول و قطر سیر و سیرچه، میانگین تعداد سیرچه، پارامترهای فتوسنتزی (شامل درصد رطوبت نسبی برگ، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای، رسانایی روزنه نسبت به بخار آب، نرخ جذب دی‌اکسیدکربن، تابش فعال فتوسنتزی بالای برگ، تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ و تابش فعال فتوسنتزی محیط)، خصوصیات زیست- شیمیایی (شامل میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، فلاونوئید کل و اسید کافئیک) مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از تیمارهای کودی (گوگرد و سیلیسیوم) نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) در همه صفات مورد بررسی، افزایش نشان دادند. در بررسی شاخص‌های مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد، کاربرد تیمار $S_{15}Si_0$ دارای برتری می‌باشد و یا تفاوت معنی‌داری را با تیمارهایی که از غلظت بالاتر گوگرد و سیلیسیوم برخوردار بودند، نشان نداد. بالاترین میزان تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ، تابش فعال فتوسنتزی محیط و تابش فعال فتوسنتزی بالای برگ در تیمار $S_{15}Si_4$ به‌دست آمد. نرخ جذب دی‌اکسید کربن در تیمار $S_{15}Si_0$ دارای بیش‌ترین مقدار بود که با تیمار $S_{30}Si_2$ از نظر آماری در یک سطح قرار داشت. بالاترین میزان سرعت تعرق با کاربرد تیمار $S_{30}Si_2$ حاصل شد. همچنین استفاده از تیمار $S_{30}Si_4$ سبب افزایش میزان

* مسئول مکاتبه: v_akbarpour60@yahoo.com

رسانایی نسبت به بخار آب و نیز رطوبت نسبی گیاه گردید. در مورد عناصر غذایی نیز می‌توان بیان کرد که بالاترین میزان نیتروژن از تیمار $S_{30}Si_2$، بیش‌ترین میزان فسفر، پتاسیم و کلسیم با کاربرد تیمار S_0Si_4 و بیش‌ترین تجمع گوگرد و سیلیسیوم در گیاه با استفاده از تیمار S_0Si_2 به‌دست آمد. هم‌چنین کاربرد تیمار $S_{15}Si_4$ سبب تولید بیش‌ترین مقدار منیزیم گردید که با تیمارهای S_0Si_4، $S_{15}Si_0$ و $S_{30}Si_2$ در یک سطح آماری قرار داشت. بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار $S_{15}Si_2$ بود. همچنین بیش‌ترین میزان فنل کل نیز در اثر کاربرد تیمار S_0Si_2 به‌دست آمد. حداکثر فلاونوئید کل نیز در تیمار $S_{30}Si_2$ مشاهده شد. بالاترین مقدار اسید کافئیک در تیمار S_0Si_0، $S_{15}Si_0$ و $S_{30}Si_0$ به‌ترتیب با عدد ۲۰/۹، ۲۰/۲ و ۲۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار S_0Si_4 و $S_{30}Si_2$ نداشت.

نتیجه‌گیری: کاربرد تیمار گوگردی به‌میزان متوسط و بدون اعمال سیلیسیوم ($S_{15}Si_0$) در بیش‌تر شاخص‌های مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد موفقیت‌آمیز بوده است. تیمار مذکور همچنین از نظر نرخ جذب دی‌اکسیدکربن، فلاونوئید کل و اسید کافئیک نیز وضعیت مطلوبی داشته است. بنابراین در مجموع می‌توان توصیه نمود که تغذیه گوگردی متعادل، به تنهایی می‌تواند تا اندازه زیادی پاسخگوی رشد کمی و کیفی محصول سیر بوده و حداقل در شرایط بدون تنش، نیاز چندانی به تغذیه سیلیسیومی سیر وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، سیر، سیلیسیوم، فلاونوئید، اسید کافئیک، گوگرد

مقدمه

سیر یک سبزی دارویی بسیار با اهمیت محسوب می‌شود. از مهم‌ترین ترکیبات موجود در سیر می‌توان به آلئین، آلیسین، پلی‌سولفیدها، آجوئن، مرکاپتان‌ها، تیوگلیکوزیدها، تیوسولفینات‌ها و آدنوزین اشاره کرد که همگی نسبت به آلئین (پیش‌ماده آلیسین) اهمیت کم‌تری داشته و مقادیر آن‌ها بسیار ناچیز است. از مهم‌ترین آثار درمانی این گیاه، پایین آوردن فشار خون، کاهش‌دهنده کلسترول و قند خون و ضدعفونی‌کنندگی است (٤). سیلیسیوم دومین عنصر فراوان در خاک بعد از اکسیژن است (۳۵). میزان سیلیسیوم در گیاه بین ۱ تا ۱۰ درصد (۱۷) و میزان آن در خاک، ۱ تا ٤٥ درصد از وزن خشک خاک را تشکیل می‌دهد (۳۹). اثرات مفید این عنصر به‌دلیل افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌باشد (٤٦). سیلیسوم بعد از جذب به‌دلیل رسوب در پهنک برگ، سبب افزایش استحکام برگ و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح شده که از این طریق توانایی گیاه را برای استفاده از نور بالا می‌برد و در نتیجه باعث افزایش عملکرد می‌گردد (٦). طی پژوهشی که روی خیار انجام شد، مشخص گردید که این عنصر می‌تواند باعث افزایش تولید و کیفیت محصول، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی، افزایش تولید برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش حساسیت به بعضی از بیماری‌های قارچی شود (۲٤). کاربرد سیلیسیوم در گیاه گوجه‌فرنگی نیز سبب افزایش کلروفیل و توسعه سیستم آنتی‌اکسیدانی تحت تنش خشکی شده است (٤۰). گونس و همکاران (۲۰۰۸) طی پژوهشی جهت بررسی تأثیر سیلیکون روی میزان فعالیت غیراکسنده‌های آنزیمی و غیرآنزیمی در اسفناج تحت تنش خشکی بیان کردند که میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در تمامی ارقام افزایش یافته است. آن‌ها همچنین دریافتند سیلیسیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) تحت تنش خشکی شده است (١٤). همچنین این عنصر باعث افزایش رشد گیاه، با تحریک رشد

سبب افزایش فعالیت آنزیم ضد اکسنده و کاهش میزان ROS در سلول گیاهی می‌شود (۱۱). همچنین سیلیسوم می‌تواند در جذب برخی از عناصر دیگر تأثیرگذار باشد. طی آزمایشی دیگر، کاربرد سیلیسیوم در شرایط تنش خشکی، سبب افزایش جذب پتاسیم و کلسیم در ذرت شده است (۲۳). کید و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که سیلیسیوم باعث افزایش ترشح بیش‌تر ترکیبات فنولیک (کتکول[1] و فنول‌های نوع فلاونوئید: کتچین[2] و کوئرستین[3]) می‌گردد (۲۵). لیانگ و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند سیلیسیوم بر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و پراکسیداسیون لیپیدها در ریشه گیاه جو، تحت تنش شوری دارای اثرات مفیدی می‌باشد. آن‌ها نشان دادند که در حضور سیلیسیوم نسبت به عدم وجود آن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ریشه‌های گیاه جو تحت تنش شوری به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود (۲۸). به‌طورکلی، همه گیاهان تک‌لپه‌ای انباشتگر سیلیسیم هستند و همه مطالعات انجام شده تاکنون تأیید می‌کنند که این گیاهان دارای ژن‌هایی برای کد کردن ناقلین سیلیسیم می‌باشند (۲۷). پژوهش‌های کمی در خصوص تأثیر سیلیسیوم بر گیاهان خانواده آلیاسه مانند سیر و پیاز خوراکی وجود دارد. وانگ و همکاران (۲۰۱٦) تأثیر عنصر سیلیسیوم بر افزایش مقاومت به کادمیوم در سیر خوراکی را گزارش کردند. آن‌ها بهبود سازوکارهای سمیت‌زدایی گیاه و کاهش دسترسی کادمیوم خاک را در افزایش تحمل به کادمیوم مؤثر دانستند (٤٤). در بررسی تیمارهای مختلف زئولیت، سلنیوم و سیلیسیوم مشخص شد که سیلیسیوم می‌تواند در بسیاری از شاخص‌های فیزیولوژیکی پیاز خوراکی مانند کلروفیل، فتوسنتز، درصد ماده خشک و غیره تأثیر مثبت داشته باشد (۵).

گوگرد یکی از عناصر غذایی پرمصرف و ضروری برای تمام موجودات زنده است. مقدار آن در پوسته زمین حدود ۰/۰٦ درصد بوده و از نظر فراوانی در لیتوسفر در ردیف ششم و از لحاظ مقدار مورد نیاز گیاه پس از چهار عنصر اصلی (N، P، K و Ca) در مرتبه پنجم قرار دارد. از جمله اثرات زیست- شیمیایی گوگرد در گیاهان را می‌توان مشارکت در ساخت اسیدهای آمینه گوگرددار، تشکیل کلروفیل a، فعال کردن آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، ساخته شدن بیوتین، تیامین، گلوتامین، کوآنزیم و تشکیل روغن‌های گلیکوزیدی، تشکیل گروه‌های دی‌سولفیدی و سولفیدریل دانست. شرط بهره‌گیری از این توان بالقوه گوگرد، حضور باکتری‌های اکسیدکننده این ماده در خاک است. اکسایش گوگرد به‌طور عمده به روش بیولوژیک انجام می‌گیرد که با تولید اسید سولفوریک همراه بوده و موجب کاهش pH خاک، آزادسازی عناصر غذایی برای گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌گردد (۳). استفاده از گوگرد به‌منظور کاهش pH خاک‌های آهکی یکی از کاربردهای مهم این عنصر می‌باشد که موجب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی شده و در نتیجه می‌تواند در سلامت و قدرت گیاه تأثیرگذار باشد. همچنین کاربرد این عنصر و ریزجانداران اکسیدکننده آن به‌عنوان یک راه‌حل زیستی فاقد پیامدهای مخرب زیست‌محیطی است که به‌عنوان راهکاریی جهت بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی و قلیایی در سال‌های اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته و نتایج خوبی را به همراه داشته است. توصیه شده است که به‌علت کاهش زیست‌توده میکروبی بر اثر استفاده زیاد گوگرد، از این عنصر بیش از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده نگردد (۳٤). در پژوهشی اعلام شد که تیمار کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه تیوباسیلوس تأثیر

1- Catechol
2- Catechin
3- Quercetin

قابل‌توجهی در افزایش عملکرد و کیفیت دو رقم پیاز سفید قم و قرمز رِی در شرایط مزرعه داشت (۲۹). همچنین در پژوهشی گزارش شد که گوگرد موجب افزایش ماده خشک پیاز می‌شود (۱). در مقالات علمی میزان پیرووات به‌عنوان شاخصی جهت ارزیابی تندی سیر و پیاز محسوب می‌گردد. در این راستا پژوهش‌های انجام‌شده توسط راندال و همکاران (۱۹۹۳) و لنکستر و همکاران (۲۰۰۱) نشان داده است که افزایش مصرف گوگرد باعث افزایش میزان اسید پیرووِیک خواهد شد (۲٦ و ۳۳). ایشتیاق و همکاران (۲۰۰۲) نیز با کاربرد ۱٦۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بیش‌ترین میزان اسید پیرووِیک را به‌دست آوردند (۲۰). فاروکی و همکاران (۲۰۰۹) افزایش عملکرد سیر خوراکی را با تغذیه ٦۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار گزارش نمودند. هم‌چنین این پژوهشگران تأثیر تیمار ترکیبی گوگرد به همراه نیتروژن را بر خصوصیات مختلف سیر خوراکی از جمله عملکرد، بسیار مفید اعلام نمودند (۱۲). گوگرد جزئی از ساختمان اسید آمینه متیونین و سیستئین می‌باشد، بنابراین می‌تواند در ساخت پروتئین نقش ایفا کند. هم‌چنین این عنصر می‌تواند در تشکیل ویتامین، گلیکوزید، و فعال کردن آنزیم‌ها شرکت کند (۱۸).

از آن‌جایی‌که گوگرد نقش مهمی در تولید ترکیبات ارگانوسولفور، طعم، بو و کیفیت خانواده آلیاسه به‌ویژه سیر دارد، همچنین به‌دلیل نقش سیلیسیوم به‌عنوان یک عنصر مفید برای بسیاری از گیاهان تک‌لپه شامل افزایش رشد و عملکرد، افزایش فتوسنتز، افزایش کارایی جذب آهن و فسفر، ممانعت از وِرس، ایجاد مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده، افزایش کارایی مصرف آب و تقویت سامانه آنتی‌اکسیدانی مفید می‌باشد، بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر تغذیه گوگرد و سیلیسیوم بر عملکرد و کیفیت سیر خوراکی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر گوگرد و سیلیسیوم بر گیاه سیر، کشت سیر توده مازند که دارای سیرچه با اندازه متوسط، رنگ پوست صورتی و رنگ حبه سفید می‌باشد، با مساعد شدن هوا، در ۲۷ مهرماه ۱۳۹٦ در منطقه ازنی شهرستان کیاسر به ارتفاع ۱۰۳۵ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی ۵۳ درجه ۲٤ دقیقه و به‌صورت دیم و دستی انجام شد (شکل ۱). خصوصیات فیزیکی- شیمیایی، میزان عناصر پرمصرف و کم‌مصرف خاک مزرعه در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. کرت‌های این آزمایش به مساحت ٤ مترمربع و فاصله بوته‌ها ۲۰×۳۰ سانتی‌متر و با ٦٦ بوته در هر کرت می‌باشد. برداشت محصول ۲۱۱ روز بعد از کشت و هم‌زمان با خشک شدن بیش‌تر اندام هوایی انجام شد.

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار اجرا شد. عامل اول، گوگرد در سه سطح (صفر (S_0)، ۱۵ (S_{15}) و ۳۰ (S_{30})) لیتر در هکتار از منبع گوگرد مایع کیمیاپارس و عامل دوم، سیلیسیوم در سه سطح (صفر (Si_0)، ۲ (Si_2) و ٤ (Si_4)) لیتر در هکتار از منبع (سیلیکون پاور (سیلیس ۱۵ درصد) به‌صورت کودآبیاری دستی در سه نوبت و به فاصله هفت روز اعمال گردید.

شکل ۱- سیر توده مازند.

Fig. 1. Mazand accession Garlic.

روش تجزیه فیزیکی- شیمیایی و عناصر غذایی خاک مزرعه

اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک: یک گرم خاک با ۱/۱ گرم کاتالیست مخلوط نموده، سپس ۲ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد. به همراه نمونه خاک یک نمونه شاهد تهیه و به‌مدت ٤٠ دقیقه نمونه‌ها در دمای ۳۷۰ درجه حرارت داده و بعد از سرد شدن ۳ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲۵ میلی‌لیتر از اسید بوریک و ۲۰ میلی‌لیتر سود ده نرمال اضافه گردید. بعد از ۷ دقیقه محتویات با اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال تیتر شد. درصد ازت کل براساس مصرف اسید سولفوریک در نمونه خاک و شاهد محاسبه شد (۲۰).

اندازه‌گیری فسفر خاک: ابتدا به ۵ گرم از نمونه خاک ۱۰۰میلی‌لیتر محلول بی‌کربنات سدیم اضافه و به‌مدت ۳۰ دقیقه بر روی شیکر قرار گرفت. ۱۰ میلی‌لیتر از محلول جدا شده و به آن ۲۵ میلی‌لیتر اسید اضافه شد و به‌مدت ۱۵ دقیقه بر روی شیکر قرار داده شد. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت انجام و محاسبه صورت پذیرفت (۲۰).

اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم خاک: ۵ گرم خاک خشک را توزین و به آن ۱۰۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم نرمال اضافه شد. پس از نیم ساعت شیکر کردن عصاره، مقدار پتاسیم را به‌وسیله دستگاه فلیم‌فتومتر مورد سنجش قرار گرفت (۲۰).

روش اندازه‌گیری منیزیم قابل‌جذب: ۵ گرم خاک را توزین و به آن محلول استات آمونیوم یک نرمال با pH=۷ اضافه نموده و به‌مدت ۵ دقیقه با ۱۸۰ دور در دقیقه شیکر شد و سپس مقدار منیزیم را با دستگاه جذب اتمی در طول موج ۲۸۵/۲ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۰).

اندازه‌گیری روی، آهن، منگنز و مس: اندازه‌گیری عناصر ریزمغذی قابل‌جذب خاک (روی، آهن، منگنز و مس) به روش DTPA از طریق روش *Page* انجام شد. ابتدا ۱۰ گرم از خاک را توزین نموده و ۲۰ میلی‌لیتر از محلول (DTPA) به آن اضافه کرده و به‌مدت ۲ ساعت بر روی شیکر با ۱٤٥ دور در دقیقه قرار داد شد. پس از عبور از کاغذ صافی واتمن ٤۲، مقدار روی، آهن، منگنز و مس با دستگاه جذب اتمی قرائت انجام گرفت (۲۰).

اندازه‌گیری pH و شوری خاک: ۳۰۰ گرم از نمونه خاک را داخل کاسه گِل اشباع ریخته تا رسیدن به حالت اشباع با آب مقطر مخلوط می‌شود، به‌طوری‌که گِل به‌صورت سطح صاف و صیقلی درآید. بعد از ۲٤ ساعت مقدار pH خاک با دستگاه pH متر و مقدار شوری عصاره با دستگاه شوری‌سنج اندازه‌گیری شد (۲۰).

اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری: پس از توزین ۵۰ گرم خاک، مقدار ۵۰ میلی‌لیتر گالگون و ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده و به‌مدت ٦ ساعت شیکر می‌شود و در داخل سیلندر با ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به حجم رسانده می‌شود. سپس دستگاه هیدرومتر را داخل سیلندر قرار داده و قرائت اول را بعد از ٤٠ ثانیه یادداشت و ٦ ساعت بعد دوباره هیدرومتر را داخل سیلندر گذاشته و قرائت دوم نیز یادداشت شد (۲۰).

اندازه‌گیری مواد خنثی‌شونده (TNV): به ۲ گرم از خاک، ۲۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک نرمال اضافه نموده و تا نقطه جوش حرارت داده می‌شود. بعد از خنک شدن حدود ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و با ۵ قطره معرف فنل‌فتالئین، نمونه با سود نرمال تا رسیدن به رنگ صورتی تیتر شد (۲۰).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه.

Table 1. Physico-chemical characteristics of farm soil.

درصد شن (درصد) Sand (%)	درصد لای (درصد) Silt (%)	درصد رس (درصد) Clay (%)	بافت خاک Soil texture	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی EC (dSm^{-1})	مواد خنثی‌شونده (درصد) TNV%
20	46	34	سیلتی رسی لوم Silty clay loam	2.203	3.80	7.78	1.09	7

اندازه‌گیری‌شده در آزمایشگاه آب، خاک و گیاه بابل

جدول ۲- عناصر غذایی موجود در خاک مزرعه.

Table 2. Nutritional elements in farm soil.

نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل‌جذب Phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل‌جذب Potassium (ppm)	منیزیم قابل‌جذب Magnesium (ppm)	آهن Iron (ppm)	منگنز Manganese (ppm)	روی Zinc (ppm)	مس Copper (ppm)
0.22	17	730	196	5.4	10.62	0.76	0.89

اندازه‌گیری‌شده در آزمایشگاه آب، خاک و گیاه بابل

صفات مربوط به عملکرد و اجزای آن شامل عملکرد (تن در هکتار)، متوسط وزن سیر (گرم)، میانگین وزن سیرچه (گرم)، طول و قطر سیر (سانتی‌متر) و میانگین تعداد سیرچه، در انتهای آزمایش مورد محاسبه قرار گرفت. پارامترهای فتوسنتزی شامل درصد رطوبت نسبی برگ (rh)، سرعت تعرق (E)، هدایت روزنه‌ای، رسانایی روزنه نسبت به بخار آب (GH2O)، نرخ جذب دی‌اکسیدکربن (فتوسنتزمتر) (A)، تابش فعال فتوسنتزی بالای برگ (PARtop)، تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ (PARbot) و تابش فعال فتوسنتزی محیط (PARamb) توسط دستگاه Portable Gas Exchange & Fluoresence ۱۹۰ System (GFS- 3000, Walz, German) روز بعد از کشت بین ساعت ۱۰:٤٥–۱۲:۳۰ اندازه‌گیری شدند.

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل از رادیکال پایدار دی‌فنیل‌پیکریل هیدرازیل یا DPPH استفاده شد. به مقدار و غلظت مشخصی از عصاره متانولی، DPPH اضافه شد، سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه در محیط تاریک قرار داده و در نهایت جذب ترکیب

فوق در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد (۹). اندازه‌گیری فنل کل به روش فولین سیوکالتیو انجام شد. ابتدا ۲۰ میکرولیتر از عصاره متانولی برداشته، ۱۰۰ میکرولیتر فولین سیوکالتیو و ۱/۱٦ میلی‌لیتر آب مقطـر به عصاره اضافه سپس ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم یک مولار به آن اضافه شد. ترکیب فوق به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام بخار ٤۰ درجه سانتی‌گراد تحت تاریکی قرار گرفت. در نهایت نمونه‌ها در طول موج ۷٦۵ نانومتر قرائت شدند (۳۸). سنجش فلاونوئید کل به روش آلومینیوم کلراید انجام شد. به این صورت که ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی تهیه شده (بعد از خشک شدن سیر در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد طی ۷۲ ساعت، یک گرم پودر سیر را در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد ساییده و به‌مدت ۲٤ ساعت بر روی شیکر در تاریکی قرار داده می‌شود) با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیـوم کلرید ۱۰ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و نیم ساعت در تاریکی قرار داده شد. سپس جذب آن در طول موج ٤۱۵ نانومتر قرائت گردید (۸).

برای اندازه‌گیری اسید کافئیک ابتدا عصاره متانولی تهیه شده (سیرچه‌های خشک شده را آسیاب کرده سپس ۰/٤ گرم از پودر الک شده، به ۱۰ میلی‌لیتر متانول اضافه شد). سپس نمونه‌ها را پس از ورتکس کوتاهی، به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک (Ultrasonic Cleaner) با بسامد ٤۰ کیلوهرتز قرار داده و پس از آن به‌مدت دو ساعت شیک شدند. بعد از آن نمونه‌ها در دور rpm ۱۰۰۰۰ به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (مدل Sigma 3-30K) و فاز رویی آن‌ها جدا شد. در نهایت تعیین مقدار اسید کافئیک بر اساس روش هو و کیتس (۲۰۰۰) و با استفاده از دستگاه HPLC مدل (KANUER) انجام شد (۱۹).

جهت اندازه‌گیری عناصر غذایی ابتدا سیرچه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک شده و آسیاب گردیدند. نمونه‌های آسیاب‌شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت سوزانده و به خاکستر تبدیل شدند. خاکستر حاصل در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک دو نرمال حل شده و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس عصاره حاصل از کاغذ صافی عبور داده و برای اندازه‌گیری عناصر فسفر و منیزیم، مورد استفاده قرار گرفت (٤۱). میزان نیتروژن سیرچه با استفاده از روش میکروکجلدال صورت گرفت. به‌طور خلاصه هضم نمونه‌های سیر به روش هضم با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه در لوله‌های مخصوص هضم و اندازه‌گیری نیتروژن به روش تیتراسیون بعد از تقطیر انجام گرفت. در نهایت اسید بوریک حاوی آمونیاک را با اسید سولفوریک ۰/۰۰۵ مولار تا تغییر رنگ محلول از سبز به‌صورتی تیتر شد. غلظت فسفر به روش آمونیوم مولیبدات وانادات در طول موج ٤۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری گردید (٤۵). برای اندازه‌گیری عناصر پتاسیم، کلسیم و گوگرد ابتدا ۰/۲ گرم از بافت گیاهی را وزن کرده و سپس ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ٦۷ درصد غلیظ به آن اضافه شد. ترکیب به‌دست آمده یک ساعت در دمای اتاق نگه داشته سپس به‌مدت سه ساعت روی صفحه داغ با دمای ۹۰ درجه قرار داده شد، بعد از سرد شدن با آب دینوزه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. از عصاره حاصل با استفاده از روش نشر شعله‌ای با دستگاه Flame photometer کلسیم و پتاسیم اندازه‌گیری شد. گوگرد نیز از طریق قرائت در طول موج ٤۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (VIS-7220G. China) و رسم منحنی استاندارد به‌دست آمد (۳۱).

بعد از جمع‌آوری داده‌های حاصل از آزمایش، تمامی داده‌ها در نرم‌افزار اکسل وارد شدند. سپس تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزا عملکرد: براساس جدول ۳، اثر متقابل سیلیسیوم و گوگرد بر تمام صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد معنی‌دار شده است. بیش‌ترین میزان عملکرد مربوط به تیمارهای $S_{15}Si_2$، $S_{15}Si_4$، $S_{30}Si_2$ و $S_{30}Si_4$ بوده است. این در حالی است که تیمارهای مذکور دارای تفاوت معنی‌دار با تیمار $S_{15}Si_0$ نیستند. از نظر متوسط وزن سیر، تیمار $S_{15}Si_0$ و $S_{15}Si_2$ سبب برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها شد، هر چند اختلاف آن با تیمار S_0Si_4 معنی‌دار نبوده است و کم‌ترین متوسط وزن سیر در تیمار شاهد مشاهده شد. در صفت طول، عرض و وزن سیر و سیرچه تیمار S_0Si_0 به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها در کم‌ترین میزان بوده است. تیمار S_0Si_2 سبب تولید بالاترین میانگین تعداد سیرچه در گیاه شده است، اگرچه اختلاف آن با تیمار $S_{15}Si_0$ و $S_{30}Si_4$ معنی‌دار نبوده است. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که تیمار $S_{15}Si_0$ در بیش‌تر شاخص‌های مربوط به عملکرد مانند عملکرد، متوسط وزن سیر، میانگین تعداد سیرچه، طول و قطر سیر و طول سیرچه دارای برتری می‌باشد و یا دارای تفاوت معنی‌داری با تیمارهایی که از غلظت بالاتر گوگرد و سیلیسیوم برخوردار بودند، نمی‌باشد (جدول ٤). افزایش عملکرد سیر می‌تواند به‌دلیل نقشی باشد که گوگرد در افزایش میزان فتوسنتز دارد. با توجه به شکل ۲ همبستگی مثبت و معنی‌داری بین متوسط وزن سیر و فتوسنتز (A) وجود دارد. هاکسفورد و دکوک (۲۰۰٦) طی پژوهشی بیان کردند گوگرد از طریق تأثیر بر آنزیم روبیسکو می‌تواند به‌طور مستقیم روی عملکرد تأثیرگذار باشد (۱۵). همچنین گوگرد می‌تواند موجب بهبود در شرایط جذب فسفر شود، در نتیجه به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش عملکرد می‌گردد، به‌طوری‌که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین متوسط وزن سیر و میزان فسفر وجود دارد (شکل ۳). چندل و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که ارتباط معنی‌داری بین فسفر، گوگرد و عملکرد وجود دارد به‌طوری‌که استفاده هم‌زمان این دو عنصر در پرورش سیر مفیدتر از استفاده هر یک از عناصر فوق به تنهایی است که بیانگر نتایج حاصل از این پژوهش است (۷). برخی از پژوهشگران بیان نمودند که گوگرد می‌تواند از طریق کاهش pH خاک و انحلال عناصر غذایی تثبیت شده در خاک‌های قلیایی و در نهایت افزایش جذب این عناصر توسط گیاه مربوط شوند (۳٦). طی پژوهشی جهت بررسی اثر مقادیر مختلف سولفات آمونیوم روی گیاه سیاه‌دانه مشخص شد که کود گوگردی می‌تواند سبب افزایش رشد گیاه، افزایش عملکرد و ارزش غذایی شود (۱۰). فاطمی و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند سیلیسیوم با افزایش خصوصیات رشد و نمو گیاه، شاخص‌های عملکرد را افزایش می‌دهد (۱۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات گوگرد و سیلیسیوم بر اجزای عملکرد سیر.

Table 3. Variance analysis of sulfur and silicon effects on yield components of garlic.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	میانگین وزن سیرچه Weight of clove	قطر سیرچه Width of clove	طول سیرچه Length of clove	میانگین تعداد سیرچه Number of clove	قطر سیر Width of garlic	طول سیر Length of garlic	متوسط وزن سیر Weight of garlic	عملکرد Yield
بلوک Block	2	0.32^{ns}	0.03^{ns}	0.03^{ns}	0.14^{ns}	0.004^{ns}	0.21*	43.8*	7.86^{ns}
گوگرد (A) Sulfur	2	21.9**	0.75**	0.96**	0.25^{ns}	0.73**	0.57**	1011.7**	3.93^{ns}
سیلیسیوم (B) Silicon	2	7.10**	1.01**	0.78**	0.14^{ns}	0.29*	1.24**	276.2**	5.09^{ns}
گوگرد × سیلیسیوم (A × B) Sulfur × Silicon	4	9.21**	0.30**	1.19**	8.59**	1.79**	1.108**	842.7**	8.94*
خطا Error	16	0.126	0.03	0.0344	0.73	0.062	0.054	9.89	2.76
ضریب تغییرات (درصد) CV%	-	3.4	6.62	5.23	5.99	4.87	3.35	3.4	6.51

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

*, ** and ^{ns} respectively significant at 5%, 1% and no significant.

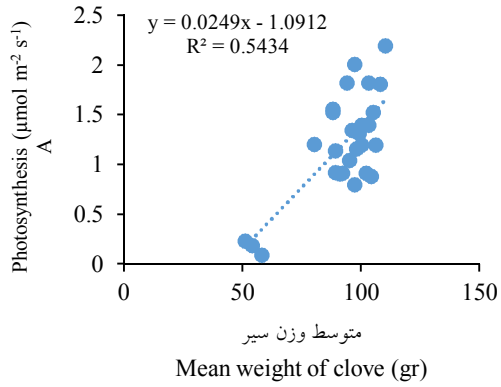
جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات گوگرد و سیلیسیوم بر اجزای عملکرد سیر.

Table 4. Mean comparison of sulfur and silicon effects on yield components of garlic.

تیمار Treatment	متوسط میانگین وزن سیرچه Weight of clove (gr)	قطر سیرچه Width of clove (cm)	طول سیرچه Length of clove (cm)	میانگین تعداد سیرچه Number of clove	قطر سیر Width of garlic (cm)	طول سیر Length of garlic (cm)	متوسط وزن سیر Weight of garlic (gr)	عملکرد Yield (ton/h)
S_0Si_0	4.96^{d}	1.63^{c}	2.066^{e}	13^{c}	3.63^{d}	5.53^{c}	54.3^{f}	24.16^{cd}
S_0Si_2	8.33^{c}	2.76^{b}	5.53^{cd}	16.33^{a}	5.1^{bc}	7.26^{ab}	86^{e}	25.41^{bc}
S_0Si_4	10.66^{a}	2.7^{b}	4.03^{a}	13^{c}	5.66^{a}	7.3^{a}	102^{ab}	25.41^{bc}
$S_{15}Si_0$	10.33^{ab}	2.63^{b}	3.93^{ab}	15^{ab}	5.66^{a}	6.9^{ab}	107^{a}	26.6^{ab}
$S_{15}Si_2$	11^{a}	2.86^{b}	3.83^{abc}	13.33^{c}	5.1^{bc}	7.06^{ab}	104^{a}	27.5^{a}
$S_{15}Si_4$	10^{b}	3.33^{a}	3.83^{abc}	14.33^{bc}	4.83^{c}	7.33^{a}	93.3^{cd}	28.1^{a}
$S_{30}Si_0$	11^{a}	2.6^{b}	3.66^{bcd}	14.33^{bc}	5.46^{ab}	7.33^{a}	98^{bc}	23.08^{d}
$S_{30}Si_2$	11^{a}	2.6^{b}	3.46^{d}	13.33^{c}	5.2^{abc}	6.83^{b}	91^{ed}	28.1^{a}
$S_{30}Si_4$	10.66^{a}	2.8^{b}	3.53^{dc}	15.66^{ab}	5.33^{ab}	7.33^{a}	96.6^{bed}	27.5^{a}

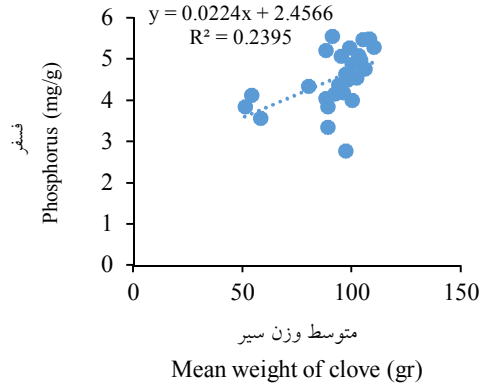
در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by similar letters are not significantly different.



شکل ۲- همبستگی مثبت بین فتوسنتز و متوسط وزن سیر.

Fig. 2. Positive correlation between photosynthesis and Garlic avarage weight.



شکل ۳- همبستگی مثبت بین فسفر و متوسط وزن سیر.

Fig. 3. Positive correlation between phosphorus and Garlic avarage weight.

پارامترهای فتوسنتزی: بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر متقابل گوگرد و سیلیسیوم بر صفاتی مانند تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ، تابش فعال فتوسنتزی محیط، تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ، نرخ جذب دی‌اکسیدکربن و رسانایی روزنه نسبت به بخار آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی بر صفاتی مانند سرعت تعرق و رطوبت نسبی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرات گوگرد و سیلیسیوم بر پارامترهای فتوسنتزی سیر.

Table 5. Variance analysis of sulfur and silicon effects on photosynthesis parameters of garlic.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ PARbot (µmol $m^{-2} s^{-1}$)	تابش فعال فتوسنتزی محیط PARamp (µmol $m^{-2} s^{-1}$)	تابش فعال فتوسنتزی بالای برگ PARtop (µmol $m^{-2} s^{-1}$)**	نرخ جذب دی‌اکسیدکربن A (µmol $m^{-2} s^{-1}$)	سرعت تعرق E (mmol $m^{-2} s^{-1}$)	رسانایی روزنه نسبت به بخار آب GH_2O (mmol $m^{-2} s^{-1}$)	رطوبت نسبی RH (%)
بلوک Block	2	24.17*	4663.6*	568.2^{ns}	0.038^{ns}	4310**	0.086^{ns}	5.0435*
گوگرد (A) Sulfur	2	213.2**	67213.2**	6341.1**	0.823**	3.1344**	10019.9**	3.6246^{ns}
سیلیسیوم (B) Silicon	2	18.86^{ns}	7391.9**	22959.4**	0.075^{ns}	1.9022**	12731.7**	26.869**
گوگرد × سیلیسیوم (A × B) Sulfur × Silicon	4	86.66**	10629.2**	13840.3**	1.161**	0.4391*	6222.9**	4.528*
خطا Error	16	5.362	1122.6	821	0.032	0.127	454.6	1.107
ضریب تغییرات (درصد) CV%	-	10.19	9.39	11.2	14.9	9.2	7.7	1.92

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

*, ** and ^{ns} respectively significant at 5%, 1% and no significant.

تیمارهای $S_{15}S_2$، S_0S_4، S_0S_2 و $S_{30}S_2$ بالاترین میزان درصد رطوبت نسبی برگ (RH) را داشتند، به‌طوری‌که با تیمار $S_{30}Si_4$ اختلاف معنی‌داری نداشته است. بیش‌ترین میزان رسانایی روزنه نسبت به بخار آب (GH_2O) در تیمار S_0Si_4 و $S_{30}Si_2$ مشاهده شده است (جدول ٦). تیمارهای S_0Si_4، $S_{30}Si_2$ و $S_{30}Si_4$ به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بالاترین میزان سرعت تعرق را داشتند و تیمار S_0Si_0 به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها کم‌ترین میزان نرخ جذب دی‌اکسیدکربن (A) را دارا بود (جدول ٦). بالاترین میزان تابش فعال فتوسنتزی بالای برگ (PARtop) مربوط به تیمار $S_{15}Si_4$ بوده است که تفاوت معنی‌داری را با تیمار $S_{30}Si_0$ نشان نداد. هم‌چنین بیش‌ترین میزان تابش فعال فتوسنتزی محیط (PARamp) در تیمارهای $S_{15}Si_4$ و $S_{30}Si_2$ مشاهده شده است که با تیمار $S_{30}Si_0$ دارای تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ٦). کم‌ترین میزان تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ (PARbot) با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها در تیمار S_0Si_0 مشاهده شده است (جدول ٦). در تمام تیمارهایی که سیلیسیوم استفاده شد به غیر از تیمار $S_{15}Si_4$، میزان رطوبت نسبی برگ افزایش یافت، که این امر می‌تواند به‌دلیل رسوب سیلیسیوم در دیواره سلولی و ترکیب شدن با ماکرومولکول‌های آلی (سلولز، پکتین، گلیکوپروتئین و لیگنین) و تشکیل ترکیبات کلوئیدی با سطح جذب بالا باشد که در نتیجه با اثرگذاری روی رطوبت لوله آوند چوبی و میزان انتقال آب، سبب افزایش کارایی مصرف آب شود (٤٥). همچنین تیمار S_0Si_4 علاوه بر بالاترین میزان رطوبت نسبی (Rh) دارای سرعت تعرق (E)، هدایت روزنه‌ای و رسانایی روزنه نسبت به بخار آب (GH_2O) بالا می‌باشد که می‌تواند به‌دلیل تأثیر سیلیسیوم به‌عنوان یک ماده ضدتنش خشکی موجب دسترسی بیش‌تر به آب و افزایش رطوبت نسبی و بنابراین موجب باز ماندن روزنه‌ها و افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق گردد. اثر ضدتنش خشکی سیلیسیوم توسط لیانگ و همکاران (۲۰۱۵) بیان شده است (٢٦). سیلیسیوم می‌تواند باعث افزایش هدایت روزنه‌ای و کارایی فتوسیستم دو در گیاه گردد (۲). طی پژوهشی گزارش شده است که سیلیسیوم می‌تواند هدایت روزنه‌ای و تعرق گیاه سویا را بهبود بخشد (۳۹).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات گوگرد و سیلیسیوم بر صفات فتوسنتزی سیر.

Table 6. Mean comparison of sulfur and silicon effects on photosynthesis parameters of garlic.

رطوبت نسبی RH (%)	رسانایی روزنه نسبت به بخار آب GH_2O ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	سرعت تعرق E ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	نرخ جذب دی‌اکسیدکربن A ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تابش فعال فتوسنتزی بالای برگ PARtop ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)**	تابش فعال فتوسنتزی محیط PARamp ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ PARbot ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تیمار Treatment
52.62^{c}	219.85^{ed}	3.38^{b}	0.17^{f}	176.67^{d}	233^{f}	12.33^{e}	S_0Si_0
56.82^{a}	311.88^{b}	3.58^{b}	1.09^{ed}	240.23^{c}	293.83^{ed}	21.36^{cd}	S_0Si_2
56.87^{a}	352.37^{a}	4.78^{a}	1.36^{cd}	281.73^{bc}	263.77^{ef}	17.7^{d}	S_0Si_4
52.82^{c}	236.37^{cde}	3.16^{b}	1.94^{a}	134.13^{d}	300^{ed}	27.8^{ab}	$S_{15}Si_0$
56.64^{a}	259.56^{cd}	3.31^{b}	1.00^{e}	250.87^{c}	355.27^{cd}	17.66^{d}	$S_{15}Si_2$
53.04^{c}	213.75^{e}	3.31^{b}	0.87^{e}	$3.59.3^{a}$	454.63^{a}	29.46^{a}	$S_{15}Si_4$
53.40^{bc}	249.38^{cde}	3.84^{b}	1.18^{ed}	319.83^{ab}	439.73^{ab}	27.9^{ab}	$S_{30}Si_0$
55.66^{a}	358.29^{a}	4.46^{a}	1.70^{ab}	245.33^{c}	482.7^{a}	24.85^{bc}	$S_{30}Si_2$
55.19^{ab}	274.31^{c}	5.01^{a}	1.52^{cd}	287.43^{bc}	385.13^{bc}	25.4^{abc}	$S_{30}Si_4$

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by similar letters are not significantly different.

عناصر غذایی: بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۷)، اثر متقابل سیلیسوم و گوگرد بر غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و منیزیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر ساده سیلیسیوم بر غلظت نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثرات گوگرد و سیلیسیوم بر عناصر غذایی سیر.

Table 7. Variance analysis of sulfur and silicon effects on nutrient elements of garlic.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	کلسیم Calcium	گوگرد Sulfur	سیلیسیوم Silicon	منیزیم Magnesium
بلوک Block	2	156.6**	0.37^{ns}	0.3505^{ns}	0.22^{ns}	0.0031^{ns}	128.4^{ns}	6.0926**
گوگرد (A) Sulfur	2	44.15^{ns}	0.652^{ns}	0.539^{ns}	0.015^{ns}	0.0794^{ns}	33.93^{ns}	0.7641^{ns}
سیلیسیوم (B) Silicon	2	77.79*	0.2824^{ns}	0.259^{ns}	0.045^{ns}	0.175^{ns}	23.64^{ns}	0.3599^{ns}
گوگرد × سیلیسیوم (A × B) Sulfur × Silicon	4	25.991^{ns}	1.288*	0.672*	0.0152^{ns}	0.2065^{ns}	161.08^{ns}	1.7931*
خطا Error	16	17.86	0.329	0.1949	0.098	0.0596*	30.7	0.5442
ضریب تغییرات (درصد) CV%	-	13.11	12.65	3.68	9.43	0.21	11.18	35

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

*, ** and ^{ns} respectively significant at 5%, 1% and no significant.

میزان منیزیم در تیمار $S_{15}Si_4$ در بالاترین میزان بوده است هر چند با تیمار S_0Si_4، $S_{15}Si_0$ و $S_{30}Si_2$ دارای تفاوت معنی‌داری نبود. میزان پتاسیم در تیمار S_0Si_4 بالاترین میزان بوده است این در حالی می‌باشد که با تیمار $S_{15}Si_2$، $S_{15}Si_4$ و $S_{30}Si_4$ دارای اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۸). افزایش جذب پتاسیم توسط کاربرد سیلیسیوم در منابع مختلف گزارش شده است که می‌تواند به‌دلیل افزایش فعالیت پمپ H^+-ATPase غشای پلاسمایی ریشه توسط سیلیسیوم (۳٤) و یا به‌دلیل کاهش میزان جذب و انتقال سدیم سبب افزایش جذب و انتقال پتاسیم در گیاه شود. نتایج حاصل با یافته‌های به‌دست آمده بر روی خیار (۵۰)، گندم (٤٤) و لوبیا (۵۱) همسو می‌باشد. هم‌چنین کایا و همکاران (۲۰۰٦) بیان کردند که کاربرد سیلیسیوم در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش جذب پتاسیم در ذرت شده است (۲۳). بیش‌ترین میزان فسفر در تیمار $S_{15}Si_0$ بوده که با تیمار S_0Si_4، $S_{15}Si_2$، $S_{30}Si_0$ و $S_{30}Si_2$ دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشد (جدول ۸). اکسیداسیون گوگرد باعث تولید اسیدهای آلی در خاک می‌شود که این اسیدها باعث حل شدن فسفر و سایر مواد معدنی می‌گردند. چندل و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که ارتباط مستقیمی بین گوگرد، فسفر و عملکرد سوخ وجود دارد به‌طوری‌که استفاده از گوگرد و فسفر موجب افزایش عملکرد سوخ‌های سیر می‌شود (۷). طی آزمایش‌های مختلف روی نخود (۲۱) سورگوم

(۲۲) بیان شده است که استفاده از کودهای گوگردی سبب بهبود جذب فسفر می‌گردد. نتایج گزارش شده با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان گوگرد در تیمار S_0Si_2 به‌دست آمده است که با تیمار $S_{15}Si_2$ و $S_{30}Si_0$ دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشد. با توجه به این‌که تیمارهای تغذیه گوگرد حتی در غلظت‌های بالا نتوانستند موجب افزایش میزان این عنصر در بخش خوراکی سیر شوند، این امر را می‌توان به‌دلیل سامانه توزیع و بازتوزیع گوگرد در گیاه سیر دانست. بخش زیادی از گوگرد استفاده شده از اپیدرم و کورتکس ریشه از طریق سیم‌پلاستی منتقل می‌شود و مهم‌ترین بخش، جذب ریشه آندودرم می‌باشد که از طریق آن سولفات وارد آوند چوب شده و از طریق جریان تعرق به‌سمت بخش‌های هوایی می‌رود. بخش زیادی از احیای سولفات به‌خصوص در گیاهان علفی در قسمت هوایی انجام می‌گردد. گوگرد که در اوایل نمو برگ در ساختمان پروتئین وارد می‌شود دارای تحرک کمی است و معمولاً در زمان پیری برگ بازتحرک دارد (۱۵). بنابراین دلیل کم بودن این عنصر در سوخ به معنای عدم جذب گوگرد نبوده بلکه می‌تواند به‌دلیل انتقال آن به بخش‌های هوایی گیاه باشد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات گوگرد و سیلیسیوم بر عناصر غذایی سیر.

Table 8. Mean comparison of sulfur and silicon effects on nutrient elements of garlic.

تیمار Treatment	نیتروژن Nitrogen (mg/g)	فسفر Phosphorus (mg/g)	پتاسیم Potassium (mg/g)	کلسیم Calcium (mg/g)	گوگرد Sulfur (mg/g)	سیلیسیوم Silicon (mg/g)	منیزیم Magnesium (mg/g)
S_0Si_0	31^{b}	3.8^{c}	12.06^{b}	3.2^{a}	112.78^{b}	46.4^{b}	1.9^{b}
S_0Si_2	32^{b}	3.8^{c}	11.82^{b}	3^{a}	113.48^{a}	68.8^{a}	1.5^{b}
S_0Si_4	29^{b}	4.9^{ab}	12.9^{a}	3^{a}	112.82^{b}	44.6^{b}	2.3^{ab}
$S_{15}Si_0$	30^{b}	5.2^{a}	11.7^{b}	3^{a}	112.7^{b}	50.6^{b}	2^{ab}
$S_{15}Si_2$	32^{b}	4.7^{abc}	12.1^{ab}	3^{a}	113.07^{ab}	53.5^{b}	1.7^{b}
$S_{15}Si_4$	29^{b}	4.1^{bc}	11.4^{b}	3^{a}	112.8^{b}	45.8^{b}	3.3^{a}
$S_{30}Si_0$	29^{b}	5.1^{ab}	11.8^{b}	3^{a}	113^{ab}	45.2^{b}	1.9^{b}
$S_{30}Si_2$	41^{a}	4.6^{abc}	11.7^{b}	3^{a}	112^{b}	47.1^{b}	2.4^{ab}
$S_{30}Si_4$	32^{b}	4.1^{bc}	12.2^{ab}	3^{a}	113^{b}	51.5^{b}	1.15^{b}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by similar letters are not significantly different.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و فلاونوئید کل: بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل سیلیسیوم و گوگرد بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فلاونوئید کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد و بر میزان فنل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹).

جدول ۹- تجزیه واریانس اثرات گوگرد و سیلیسیوم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، فلاونوئید کل و اسید کافئیک سیر.

Table 9. Variance analysis of sulfur and silicon effects on antioxidant activity, total phenol, total flavonoid and caffeic acid contents of garlic.

اسید کافئیک Caffeic acid	فلاونوئید کل Total flavonoid	فنل کل Total phenol	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variations
79.86*	2687.99^{ns}	0.2355^{ns}	22.563^{ns}	2	بلوک Block
21.13^{ns}	1786.49^{ns}	4.507**	57.061^{ns}	2	گوگرد (A) Sulfur
440.0071**	6715.11**	2.0228**	443.09**	2	سیلیسیوم (B) Silicon
89.26*	4049.51*	1.4523**	290.618*	4	گوگرد × سیلیسیوم (A × B) Sulfur × Silicon
19.4	994.8	0.2072	64.77	16	خطا Error
35.5	7.38	7.38	16	-	ضریب تغییرات (درصد) CV%

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

*, ** and ^{ns} respectively significant at 5%, 1% and no significant.

تیمار $S_{15}Si_2$ با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد سبب افزایش میزان آنتی‌اکسیدان کل شده است. هر چند با تیمارهای S_0Si_2، S_0Si_4، $S_{30}Si_0$ و $S_{30}Si_2$ دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد (جدول ۱۰). میزان فنل کل در تیمار S_0Si_2 نسبت به سایر تیمارها در بالاترین میزان بوده است (جدول ۱۰). کم‌ترین میزان فلاونوئید کل را تیمارهای $S_{30}Si_4$ و $S_{15}Si_4$ نشان دادند که با تیمارهای S_0Si_0 و $S_{15}Si_0$ دارای اختلاف معنی‌داری نبودند (جدول ۱۰). به‌طورکلی تمام تیمارهایی که سیلیسیوم به مقدار دو لیتر در هکتار از منبع سیلیکون پاور استفاده شد میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به‌طور نسبی افزایش دادند. همچنین تیمار سیلیسیوم به مقدار دو لیتر در هکتار از منبع سیلیکون پاور بیش‌ترین میزان فنل کل را نیز داشته است. کید و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که سیلیسیوم باعث افزایش ترشح بیش‌تر ترکیبات فنولیک (کتکول[1] و فنول‌های نوع فلاونوئید: کتچین[2] و کوئرستین[3]) می‌شود، در نتیجه مقاومت گیاهان افزایش می‌یابد (۲۵). هم‌چنین سیلیسیوم سبب فعال شدن آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنول‌اکسیداز می‌گردد. طی پژوهشی دیگر لیانگ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که سیلیسیوم دارای اثرات مثبت بر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و پراکسیداسیون لیپیدها در ریشه گیاه جو، تحت تنش شوری، در دو رقم متفاوت از نظر تحمل به شوری شده است. آن‌ها بیان کردند که در حضور سیلیسیوم نسبت به عدم وجود آن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ریشه‌های گیاه جو تحت تنش شوری به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود (۳۰). محمدی ازنی و همکاران (۲۰۱۹)، تیمار ۱ و ۲ میلی‌مولار سیلیسوم روی ساقه گیاه خرفه را بررسی نموده و گزارش کردند که غلظت ۱ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری میزان فعایت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده است (۳۲).

1- Catechol

2- Catechin

3- Quercetin

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات گوگرد و سیلیسیوم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و فلاونوئید کل سیر.

Table 10. Mean comparison of sulfur and silicon effects on antioxidant activity, total phenol and total flavonoid of garlic.

تیمار Treatment	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity (% of DPPH radicals inhibited)	فنل کل Total phenol (mg gallic acid equivalent/gr extract)	فلاونوئید کل Total flavonoid (mg quercetin equivalent/gr extract)
S_0Si_0	47.86^{bcd}	5.99^{bc}	79.04^{ab}
S_0Si_2	49.65^{abcd}	7.92^{a}	139.86^{a}
S_0Si_4	51.41^{abc}	6.09^{bc}	135.26^{a}
$S_{15}Si_0$	44.28^{cd}	4.6^{d}	81.22^{ab}
$S_{15}Si_2$	64.86^{a}	4.49^{c}	137.65^{a}
$S_{15}Si_4$	35.29^{d}	5.9^{bc}	53.5^{b}
$S_{30}Si_0$	62.01^{ab}	6.59^{b}	140.29^{a}
$S_{30}Si_2$	55.52^{abc}	6.62^{b}	131.65^{a}
$S_{30}Si_4$	41.63^{cd}	6.1^{bc}	59.8^{b}

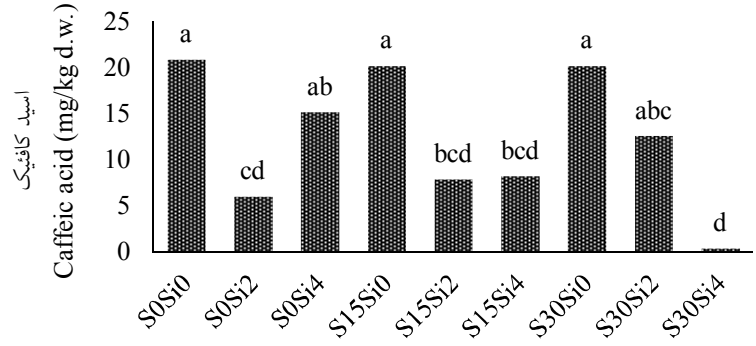
در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by similar letters are not significantly different.

اسید کافئیک: اثر متقابل گوگرد و سیلیسیوم بر میزان اسید کافئیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شده (جدول ۹) به‌طوری‌که حداکثر مقدار اسید کافئیک در تیمارS_0Si_0، $S_{15}Si_0$ و $S_{30}Si_0$ به‌ترتیب با عدد ۲۰/۹ ، ۲۰/۲ و ۲۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار S_0Si_4 و $S_{30}Si_2$ نداشت (شکل ٤). کم‌ترین میزان اسید کافئیک با عدد ۰/۳٦ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک در تیمار $S_{30}Si_4$ دیده شد که اختلاف معنی‌داری با سه تیمار $S_{30}Si_4$، $S_{15}Si_2$ و $S_{15}Si_4$ نداشت (شکل ٤). کروماتوگرام عصاره سیر خوراکی که در آن پیک مشخص شده با حرف a به اسید کافئیک اشاره دارد، در شکل ۵ ارائه شده است.

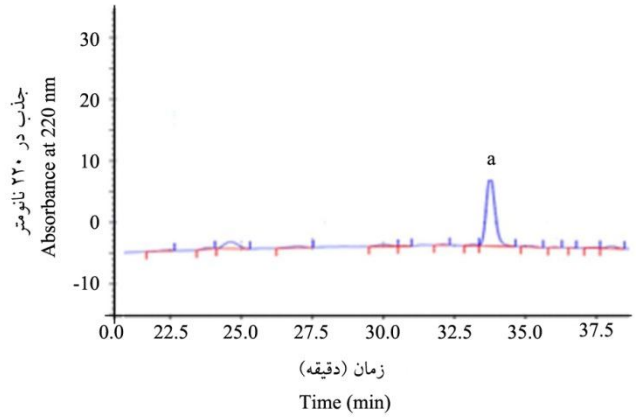
اسید کافئیک به‌عنوان یک متابولیت ثانویه از گروه پلی‌فنل‌ها، در تعدیل تنش‌های مختلف در گیاه نقش دارد. بنابراین قرار گرفتن گیاه در محیط تنش می‌تواند منجر به افزایش پلی‌فنل‌هایی مانند اسید کافئیک گردد. افزایش مقاومت به تنش شوری توسط اسید کافئیک در سویا گزارش شده است (۲۷). وان و همکاران (۲۰۱۵) نیز اعلام کردند که تیمار خارجی اسید کافئیک موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش سطح گونه‌های فعال اکسیژنی در خیارهای تحت تنش سرمازدگی شده است (٤٧).

از سویی دیگر، عنصر سیلیسیم و گوگرد نیز هر کدام در مقاومت به تنش‌های مختلف در گیاهان نقش مهمی دارند (١٦ و ۳۰). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کاهش تنش ناشی از عنصر سیلیسیم و گوگرد (در تیمار $S_{30}Si_4$)، نیاز گیاه به تولید اسید کافئیک را کاهش داده است.



شکل ٤- مقایسه میانگین تیمار سیلیسیوم و گوگرد بر میزان اسید کافئیک سیر.

Fig. 4. Mean comparison of sulfur and silicon effects on caffeic acid of garlic.



شکل ٥- کروماتوگرام عصاره سیر خوراکی (پیک مشخص شده با حرف a مربوط به اسید کافئیک می‌باشد).

Fig. 5. Chromatogram of edible garlic extract (The peak specified by "a" is caffeic acid).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که تیمار گوگرد به‌میزان متوسط و بدون اعمال سیلیسیوم ($S_{15}Si_0$) در بیش‌تر شاخص‌های مربوط به عملکرد مانند عملکرد (۲٦/٦ تن در هکتار)، متوسط وزن سیر (۱۰۷ گرم)، میانگین تعداد سیرچه (۱٥ حبه)، طول (٦/۹ سانتی‌متر) و قطر سیر (٥/٦٦ سانتی‌متر) و طول سیرچه (۳/۹۳ سانتی‌متر) دارای برتری می‌باشد و یا حداقل دارای تفاوت معنی‌داری با تیمارهایی که از غلظت بالاتر گوگرد و سیلیسیوم برخوردار بودند، نمی‌باشد. بنابراین از نظر اقتصادی می‌توان بیان نمود که این تیمار بهترین تیمار از نظر عملکرد و اجزای عملکرد بوده است. تیمار مذکور هم‌چنین از نظر نرخ جذب دی‌اکسیدکربن (۱/۹٤ میکرومول بر متر در ثانیه)، فلاونوئید کل (۸۱/۲۲ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک سیر) و اسید کافئیک (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز وضعیت مطلوبی داشته و برتر از بسیاری از تیمارهای دیگر بوده است. بنابراین در مجموع می‌توان توصیه نمود که تغذیه گوگردی متعادل به تنهایی می‌تواند تا اندازه زیادی پاسخگوی رشد کمی و کیفی محصول سیر بوده و حداقل در شرایط طبیعی و بدون تنش، نیاز چندانی به تغذیه سیلیسیومی سیر وجود ندارد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب طرح پژوهشی به شماره کد ۰۱-۱۳۹۷-۰۲ انجام شده است. بنابراین نگارندگان بر خود لازم می‌دانند بدین‌وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از آن معاونت محترم به‌عمل آورند.

منابع

1. Abbey, L., Joyce, D.C., Aked, J. and Smith, B. 2002. Genotype, sulfur nutrition and soil type effects on growth and dry–matter production of spring onion. J. Hort. Sci. Biotech. 77: 3. 340-345.
2. Amador, R.L., Dieguez, E.T. and Garibay, A.N. 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. J. Agro. Crop Sci. 193: 413-421.
3. Ansoori, A., Gholami, A., Abbasdokht, H., Gholipour, M., Baradaran, M. and Fallah, A.R. 2014. Evaluation of mycorrhizal symbiosis, Thiobacillus thiooxidans and sulfur application effects on growth characteristics and yield of Corn (*Zea mays* L.). Soil Man. Su. Pro. 4: 1. 109-126. (In Persian)
4. Block, E. 1985. The chemistry of garlic and onions. Sci. Amer. 252: 14-119.
5. Bybordi, A., Saadat, A. and Zargaripour, P. 2018. The effect of zeolite, selenium and silicon on qualitative and quantitative traits of onion grown under salinity conditions. Arc. Agro. Soil Sci. 64: 4. 520-530.
6. Cameron, K.D., Teece, M.A., Bevilacqua, E. and Smart, L.B. 2002. Diversity of cuticular wax among Salix species and Populus species hybrids. J. Phytochem. 60: 715-72.
7. Chandel, B.S., Thakur, P.K., Ali, J. and Singh, H. 2012. Soil sulfur status and response of garlic to sulfur in relation to phosphorus. Ann. Pl. Soil Res. 14: 2. 156-158.
8. Chang, C., Yang, M., Wen, H. and Chern, J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. J. Food Drug Anal. 10: 178-182.
9. Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.F., Nabavi, S.M. and Eslami, B. 2010. Antihemolytic and antioxidant activities of *Allium paradoxum*. Cen. Euro. J. Biol. 5: 338-345.
10. El-Sayed, K.A., Ross, S.A., El-Sohly, M.A., Khalafalla, M.M., Abdel-Halim, O.B. and Ikegami, F. 2000. Effects of different levels of fertilizers on the amino acid, fatty acid and essential oil composition of *Nigella sativa* seeds. Saudi Pharm. J. 8: 4. 175-182.
11. Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Nat. Acad. Sci. 91: 1. 11-17.
12. Farooqui, M.A., Naruka, I.S., Rathore, S.S., Singh, P.P. and Shaktawat, R.P.S. 2009. Effect of nitrogen and sulfur levels on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.). As J. Food Ag-Ind. 2: 18-23.
13. Fatemi, F., Tabatabaei, S.J. and Fallahi, A. 2009. The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. J. Hort. Sci. 23: 1. 88-95.
14. Gunes, A., Pilbeam, D.J., Inal, A. and Coban, S. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. Com. Soil Sci. Plant Anal. 39: 1885-1903.
15. Hawkesford, M.J. and De-Kok, L.J. 2006. Managing sulfur metabolism in plants. Plant Cell Environ. 29: 382-395.
16. Hossain, M.A., Wani, S.H., Bhattacharjee, S., Burritt, D.J. and Tran, L.P. 2016. Drought Stress Tolerance in Plants, 1: 227-249.
17. Hodson, M.J., White, P.J., Mead, A. and Broadley, M.R. 2005. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. Ann. Bot. 96: 1027-1046.

18. Hrivna, L., Richter, R., Losak, T. and Hlusek, J. 2002. Effect of increasing doses of nitrogen and sulfur on chemical composition of plants, yields and seed quality in winter rape. Plant Soil Environ. 48: 1. 1-6.
19. Hu, C. and Kitts, D.D. 2000. Studies on antioxidant activity of Echinacea root extract. J. Agri. Food Chem. 48: 5. 1466-1472.
20. International soil reference and information center (ISRIC), 1986. procedure for soil Analysis, Washinggen Agriculture university. *https://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf.*
21. Ishtiaq, S., Ali, R. and Shah, S.I.H. 2002. Effect of different levels of sulfur on yield and pungency of onion. J. Agri. 18: 2. 183-187.
22. Kachhanae, K.G., Gawand, S.D. and Kohire, O.D. 1997. Up take of nutrients by chickpea. J. Ind. Soc. Soil Sci. 45: 590-591.
23. Kaplan, M. and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing west in calcareous soil in Turkey. J. Plant Nut. 21: 8. 1655-1665.
24. Kaya, C., Tuna, L. and Higgs, D. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. J. Plant Nut. 29: 1469-1480.
25. Khoshgoftarmanesh, A. 2007. Basics of Plant Nutrition. Isfahan Univ. Tech. Press. 432p. (In Persian)
26. Kidd, P.S., Llugany, M., Poschenrieder, C., Gunse, B. and Barcelo, J. 2001. The role of root exudates in aluminium resistance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). J. Exp. Bot. 359: 1339-1352.
27. Klein, A., Keyster, M. and Ludidi, N. 2013. Caffeic acid decreases salinity induced root nodule superoxide radical accumulation and limits salinity-induced biomass reduction in soybean. Acta Physiol Plant. 35: 3059-3066.
28. Lancaster, J., Farrant, J., Shaw, J., Bycroft, B. and Brash, D. 2001. Does sulfur supply to the bulb affect storage of onions. 2nd International Symposium on Edible Alliaceae. Acta Hort. 555p.
29. Liang, Y., Nikolic, M., Belanger, R., Gong, H. and Song, A. 2015. Silicon in Agriculture. Springer Press. 235p.
30. Liang, Y.C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W.H. and Ding, R.X. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). J. Plant Physiol. 160: 1157-1164.
31. Mardani Zanyani, A., Zarbakhsh, A. and Khodadadi, M. 2010. Effect of sulfur on the yield, quality and storability of two onion (*Allium cepa* L.) cultivars. Seed and Plant Pro. 26: 2. 153-168. (In Persian)
32. Mohammadi Azni, M., Moradi, H., Ghasemi, K. and Biparva, P. 2019. Study of potassium silicate spraying on phytochemical traits of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) in greenhouse environment. The 5th National Hydroponics Congress and Greenhouse Products. Shiraz. Iran. (In Persian)
33. Moopam. 1999. Manual of Oceangraphic Observation and Pollution Analysis Methods. Third Edition. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (Ropme). 451p.
34. Pei, Z.F., Ming, D.F., Liu, D., Wan, G.L., Geng, X.X., Gong, H.J. and Zhou, W.J. 2009. Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. J. Plant Gro. Reg. 29: 1. 106-115.
35. Randle, W.M., Bussard, M.L. and Warnock, D.F. 1993. Ontogeny and sulfur fertility affect leaf sulfur in short-day onions. J. Am. So. Hort. Sci. 118: 6. 762-765.
36. Rezaei, Sh., Khavazi, K., Nezami, M.T. and Saadat, S. 2013. Effect of sulfur, phosphorus and plant role on microbial biomass and soil phosphatase activity. Iranian J. Soil Res. 27: 2. 217-226. (In Persian)
37. Richmond, K.E. and Sussman, M. 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Cur. Op. Plant boil. 6: 268-272.

38. Rosa, M.C., Muchovej, J.J. and Alvarez, V.H. 1989. Temporal relations of phosphorus fractions in an oxisoil amended with rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidatons*. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1096-1100.
39. Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E. and Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. J. Plant Physiol. 167: 1248-1252.
40. Slinkard, K. and Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis:automation and comparison with manual methods. American J. Environ. 28: 49-55.
41. Sommer, M., Kaczorek, D., Kuzyakov, Y. and Breuer, J. 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes - A review. J. Plant Nut. Soil Sci. 169: 310-329.
42. Tale Ahmad, S. and Haddad, R. 2008. Effect of silicon on drought tolerance in Wheat. Agric. Res. J. 3: 8. 159-170. (In Persian)
43. Tavaloli, H. and Semnani, A. 2002. Methods for the Analysis of Soils, Plants, Waters and Fertilizers. Shahid Chamran Univ. Press. 219p.
44. Tuna, A.L., Kaya, G., Higgs, D., Bernardo, M.D., Aydemir, S. and Girgin, A.R. 2008. Silicon Improves salinity tolerance in wheat plants. Environ. Exp. Bot. 62: 10-16.
45. Wang, Y. and Nil, N. 2000. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. J. Hor. Sci. Bio. 75: 623-627.
46. Wang, Y., Hu, Y., Duan, Y., Feng, R. and Gong, H. 2016. Silicon reduces long-term cadmium toxicities in potted garlic plants. Acta Physio. Plant. 38: 211-219.
47. Wan, Y., Zhang, Y., Zhang, L., Zhou, Z., Li, X., Shi, Q., Wang, X. and Bai, J. 2015. Caffeic acid protects cucumber against chilling stress by regulating antioxidant enzyme activity and proline and soluble sugar contents. Acta Physiol. Plant. 37: 1706.
48. Westerman, R.E.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA, Mandison Wisconzin, USA.
49. Yousefi, M., Enteshari, Sh. and Saadatmand, M. 2012. Investigation the effect of silica treatment on some morphological, analytical and physiological characteristics of *Echium amoenum* Fisch & C.A. mey. J. Sci. Tech. Green. Cult. 5: 18. 83-93. (In Persian)
50. Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Sci. 167: 527-33.
51. Zuccarini, P. 2008. Effects of silicon on photosynthesis water relations and uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. Bio. Plant. 52: 1. 157-160.