

تأثیر میکرو و نانوذرات سیلیسیم بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی در کشت هیدروپونیک

رحمان یوسفی^{۱*} و محمود اثنی‌عشری^۲

۱. دانشجوی سابق دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران و استادیار پژوهشی پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
۲. استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۲۵)

چکیده

در این پژوهش اثر غلظت‌های مختلف میکرو و نانوذرات دی‌اکسید سیلیسیم (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر) و دو روش کاربرد محلول‌پاشی برگ و محلول‌دهی ریشه‌ای بر برخی ویژگی‌های رشدی و عملکردی توت‌فرنگی رقم کاماروزا بررسی شد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه بوعلی‌سینا همدان اجرا گردید. ویژگی‌های رشدی شامل تعداد برگ، سطح برگ، طول دم‌برگ، قطر دم‌برگ، ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، میزان سیلیسیم اندام هوایی و ویژگی‌های عملکردی شامل وزن تر میوه، حجم میوه، تعداد میوه و عملکرد اندازه‌گیری شدند. بیشترین تعداد برگ، سطح برگ، ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیسیم به ترتیب با مقادیر ۲۴/۳۳ برگ، ۲۱۰/۰۹ سانتی‌متر مربع، ۳۱/۶۶ سانتی‌متر، ۴۹/۷۰ سانتی‌متر، ۷۰/۳۳ و ۱۳/۰۴ گرم، ۳۹/۲۲ و ۴/۴۳ گرم مشاهده شد که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند. بیشترین میزان عملکرد (۲۳۳/۲۳) گرم میوه در بوته در بین تمامی تیمارها، در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیسیم مشاهده شد که با تمامی تیمارهای محلول‌پاشی میکروسیلیسیم و شاهد (عدم کاربرد سیلیسیم) تفاوت معنی‌دار داشت.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، محلول‌پاشی برگ، محلول‌دهی ریشه‌ای، نانوذرات، وزن میوه.

The effect of micro- and nanoparticles of silicon on growth and yield of strawberry in hydroponic culture

Rahman Yousefi^{1*} and Mahmood Esna-Ashari²

1. Former Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran and Research Assistant professor, Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

2. Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

(Received: May 03, 2019 - Accepted: Aug. 16, 2019)

ABSTRACT

In this research, the effect of different concentrations of micro- and nanoparticles of silicon dioxide (20, 40, 60 and 80 milligrams per liter) and two methods of foliar and root application on some growth and yield characteristics of strawberry (cv. Camarosa) were investigated. This research was carried out as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications at Bu-Ali Sina University in Hamedan. Growth characteristics including leaf number, leaf area, petiole length and diameter, plant height, root length, fresh and dry weight of aerial parts, fresh and dry weight of root, amount of silicon in aerial parts and yield components including fresh weight of fruit, fruit volume, fruit number and yield were measured. The highest number of leaves, leaf area, plant height, root length, fresh and dry weight of canopy, fresh and dry weight of root were observed in root application of 60 mg L⁻¹ of nano-silicon with 24.33 leaf, 210.09 cm², 31.66 cm, 49.70 cm, 70.33 and 13.04 g, 39.22 and 4.43 g amounts, respectively, which showed significant differences with control treatment. Among all treatments, the highest yield (233.23 g fruit per plant) was observed in root application treatment of 60 mg L⁻¹ nano-silicon, which was significantly different with all the treatments of foliar application of micro-silicon and control (no application of silicon).

Keywords: Foliar application, fruit weight, leaf area, nanoparticles, root application.

* Corresponding author E-mail: r.yousefi66@areeo.ac.ir

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria ananassa* Duch. متعلق به تیره Rosaceae و یکی از بی‌نظیرترین ریزمیوه‌های مناطق معتدله است که در دهه‌های اخیر در زمره تولیدات مهم اقتصادی و تجاری قرار گرفته (Jalili marandi, 2009) و به‌طور وسیعی به اشکال تازه‌خوری و فرآوری‌شده مانند مرباها، آبمیوه‌ها و ژله‌ها به مصرف می‌رسد (Giampirri et al., 2012; Gerdakaneh et al., 2009; Debnat et al., 2007). کل سطح، میزان تولید و عملکرد آبی توت‌فرنگی در کل کشور در سال ۱۳۹۶ به ترتیب معادل ۵۷۱۸/۳ هکتار، ۶۴۰۹۷/۳ تن و ۱۲۰۱۱ کیلوگرم در هکتار و کل سطح، میزان تولید و عملکرد توت‌فرنگی گلخانه‌ای در کل کشور در سال ۱۳۹۶ به ترتیب معادل ۴۸۹/۱ هکتار، ۲۱۴۶۱/۶ تن و ۴۳۴۸۱ کیلوگرم در هکتار بوده است (Ahmadi et al., 2018). یکی از عوامل مؤثر در رشد و عملکرد توت‌فرنگی، تغذیه بهینه آن با عناصر غذایی مختلف طی مراحل رشد و نمو می‌باشد. یکی از این عناصر غذایی مفید که بر رشد و نمو گیاهان تأثیر دارد و بنا بر تحقیقات انجام‌شده باعث بهبود رشد و عملکرد در بسیاری از گیاهان تک‌لپه و دولپه شده است عنصر سیلیسیم می‌باشد (Ma et al., 2001). سیلیسیم دومین عنصر فراوان پوسته زمین (۳۱٪) بعد از اکسیژن (۴۹٪) می‌باشد (Cherif & Belanger, 1992). سیلیسیم نقش‌های مهمی را در رشد و نمو گیاهان بازی می‌کند (Epstien & Bloom, 2005) و مطالعات متعدد نشان داده است که این عنصر در افزایش کارایی مصرف آب نیز بسیار مؤثر است و اثرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (Liang, 1999; Ma & Takahashi, 2002; Ma, 2004). با وجود فراوانی سیلیسیم در پوسته زمین اکثر ترکیبات آن قابل جذب برای گیاه نیست و در تولیدات گلخانه‌ای با محیط‌های کشت بدون خاک و یا آبکشت و محلول‌های غذایی متداول نیز سیلیسیم اضافه نمی‌شود و بدین ترتیب کاربرد سیلیسیم در این گونه کشت‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Talgar et al., 2011). تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که سیلیسیم اثرات مفیدی بر روی متابولیسم توت‌فرنگی

دارد. کاربرد سیلیسیم به صورت محلول‌پاشی روی شاخ و برگ توت‌فرنگی، محتوای کلروفیل، رشد گیاه و میزان اسیدهای آلی را افزایش داده است (Wang & Galletta, 1998). گزارش گردید که که وزن خشک اندام‌های هوایی، تعداد کل میوه و عملکرد کل میوه بازاری‌پسند (بر اساس وزن) توت‌فرنگی رقم هوکوویس (Hokowase) با کاربرد سیلیسیم افزایش یافت (Myake & Takahashi, 1986). در مطالعه Matichenkov et al. (2008) گزارش دادند که عملکرد خیار با کاربرد سیلیسیم به میزان ۴۶٪ افزایش یافت و کاربرد سیلیسیم باعث تحریک تشکیل میوه و تسریع بلوغ میوه شد. گزارش گردید که سیلیسیم به‌طور معنی‌داری تعداد دانه، وزن تر و خشک دانه، غلظت نیتروژن، فسفر و کلسیم را در لوبیای چشم بلبلی افزایش داد و نشان داده شد که سیلیسیم در غلظت‌های پایین برای رشد دانه مفید خواهد بود (Mali & Arey, 2008). سیلیکات‌ها مدت ۲۰ سال است که در انگورکاری استرالیا به کار می‌روند و نتایج قابل توجهی در عملکرد، کیفیت میوه و سلامت خاک داشته‌اند (Lynch, 2008). فناوری نانو با دارا بودن توانایی کار کردن با کوچک‌ترین ذرات ممکن، سبب افزایش امیدها جهت غلبه نمودن بر معضلات پیش روی بخش کشاورزی در زمینه امنیت غذایی و افزایش تولید محصولات کشاورزی گردیده است (Chinnamuthu et al., 2009). یکی از مهمترین کاربردهای فناوری نانو در زمین‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی استفاده از نانوذرات و نانوکودها برای تغذیه گیاهان و بهبود کمیت و کیفیت غذایی محصولات کشاورزی می‌باشد. عناصر در حد نانو دارای سطح ویژه زیادی هستند و همین سطح ویژه کارکردهای آنان را افزایش می‌دهد. در سال‌های اخیر، اثرات اکسیدسیلیسیم در مقیاس نانو بر گیاهان مورد توجه قرار گرفته است که البته پژوهش‌های محدودی در این رابطه وجود دارد. کاربرد نانو اکسید سیلیسیم به صورت پودر مخلوط با بستر گلدان‌ها در ذرت باعث افزایش درصد جوانه‌زنی (۲ تا ۱۱ درصد)، ضریب بهره‌وری آب (بیشتر از ۵۳ درصد) و میزان کلروفیل (۱۳ تا ۱۷ درصد) و تمامی پارامترهای کمی گیاه

محلول غذایی هوگلند کامل به ازای هر گلدان ۷۵۰ میلی‌لیتر در هفته برای تغذیه گیاهان استفاده شد که این میزان محلول غذایی به صورت ۳ بار در هفته توزیع گردید. تغذیه معمول گیاهان تا پایان دوره آزمایش (۵ ماه) ادامه داشت. در طی دوره رشد دمای حداکثر گلخانه ۲۵-۲۴ درجه سانتی‌گراد و دمای حداقل ۱۶-۱۴ درجه سانتی‌گراد بود و گیاهان تحت شرایط دوره نوری طبیعی روزانه قرار داشتند. قطر ذرات میکروسیلیسیم (Micro-SiO_2) و نانوسیلیسیم (Nano-SiO_2) به ترتیب معادل ۱۰-۰/۵ میکرومتر و ۲۰-۱۰ نانومتر بود که هر دو از شرکت Sigma-Aldrich تهیه گردیدند. به منظور پراکنده شدن ذرات و تهیه سوسپانسیون همگن و یکنواخت از میکرو و نانوذرات سیلیسیم، سوسپانسیون اولیه این ترکیبات قبل از استفاده به مدت ۳۰ دقیقه داخل دستگاه هموژنایزر اولتراسونیک (باندلین، یو وی ۳۱۰۰) قرار داده شد تا سوسپانسیون یکنواختی از آن‌ها به دست آمد که بلافاصله برای اعمال تیمارها استفاده شد. در پایان دوره آزمایش (۵ ماه)، صفات رشدی شامل تعداد برگ، سطح برگ با استفاده از روش کاغذ گراف میلی-متری (Pandey & Singh, 2009)، طول و قطر دمبرگ، ارتفاع گیاه (اندام هوایی) و طول ریشه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری، وزن تر اندام هوایی و ریشه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت دو رقم اعشار، وزن خشک اندام هوایی و ریشه با خشک کردن نمونه‌ها در آون تهویه‌دار با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت و ثبت وزن خشک آنان و نیز میزان سیلیسیم اندام هوایی به روش هضم نمونه گیاهی توسط اتوکلاو و کالری‌متری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (واریان، کری ۱۰۰) در طول موج ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Moyer et al., 2008). اندازه‌گیری شد. در طول دوره میوه‌دهی و پایان آن (۲ ماه پایانی دوره آزمایش) وزن تر میوه، حجم میوه، تعداد میوه و عملکرد اندازه‌گیری شدند. وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم و حجم میوه‌های برداشت شده به روش جابجایی مایع اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که حجم معینی آب در ظرف ریخته و ترازو صفر شد. سپس میوه‌ها به‌گونه‌ای

نسبت به شاهد و تیمار اکسیدسیلیسیم درشت‌دانه گردید (Yuvakkumar et al., 2011). گزارش گردید که نانواکسیدسیلیسیم می‌تواند اثرات منفی و مخرب شوری بر درصد جوانه‌زنی و طول و وزن ریشه گیاه گوجه‌فرنگی را بهبود بخشد (Haghighi et al., 2012). هدف از این بررسی، ارزیابی تأثیر عنصر سیلیسیم به فرم نانویی (نانومقیاس) و معمول آن (میکرومقیاس) در غلظت‌های متفاوت و با دو روش کاربرد محلول‌پاشی برگ‌ی و محلول‌دهی ریشه‌ای بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی توت‌فرنگی رقم کاماروزا بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۳ به صورت یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در هر تکرار برای هر تیمار ۴ گیاه در گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا گردید. بدین منظور ذرات دی‌اکسید سیلیسیم در دو مقیاس میکرو و نانو در غلظت‌های صفر (به عنوان شاهد)، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و به دو روش محلول‌پاشی برگ‌ی و محلول‌دهی ریشه‌ای در دو مرحله مجزا روی گیاهان توت‌فرنگی رقم کاماروزا اعمال شد (یعنی هر کدام از روش‌های محلول‌پاشی برگ‌ی و محلول‌دهی ریشه‌ای به‌طور مجزا در طول دو مرحله اعمال شدند). نشاهای گلدانی توت‌فرنگی رقم کاماروزا از شرکت آشیان سبز عماد در شهرستان هشتگرد استان البرز تهیه و در محیط کشت کوکوپیت و پرلیت (نسبت حجمی ۱:۱) کشت شدند. دو هفته پس از استقرار نشاها و در مرحله ۵-۴ برگ‌ی اعمال تیمارها شروع گردید. اعمال هر کدام از تیمارهای محلول‌پاشی برگ‌ی و محلول‌دهی ریشه‌ای در دو مرحله مجزا صورت گرفت؛ مرحله اول در زمان ۵-۴ برگ‌ی و مرحله دوم دو هفته پس از پایان اعمال تیمار مرحله اول بود. هر یک از مراحل اعمال تیمار نیز یک هفته به طول انجامید، بدین صورت که در طی یک هفته سه مرتبه تیمارها با فاصله یک روز در میان به شکل محلول‌پاشی برگ‌ی و یا محلول‌دهی ریشه‌ای اعمال شدند. تیمارهای شاهد به صورت محلول‌پاشی برگ‌ی با آب مقطر و محلول‌دهی ریشه‌ای فاقد سیلیسیم اعمال شدند. از

میلی لیتر با نانوسیلیسیم و روش محلول‌دهی ریشه‌ای اثر متقابل بهتری نشان داد. نتایج این مطالعه نشان داد که تعداد برگ در تیمار نانوسیلیسیم نسبت به میکروسیلیسیم و شاهد افزایش یافت و بین تیمارها تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. بیشترین تعداد برگ (۲۴/۳۳ برگ) در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای نانوسیلیسیم مشاهده شده که با دیگر تیمارها و شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بود. افزایش تعداد برگ گیاه در نتیجه کاربرد سیلیسیم در گیاه توت‌فرنگی (Fatemy *et al.*, 2009) گزارش شده است که نتایج این تحقیق با نتایج آنان مطابقت دارد.

سطح برگ

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد در سطح احتمال ۵٪ بر سطح برگ معنی‌دار گردید. کاربرد عنصر سیلیسیم باعث شد که میزان سطح برگ از ۱۲۵/۱۱ و ۱۳۳/۶۴ سانتی‌مترمربع در تیمارهای شاهد به ۲۱۰/۰۹ سانتی‌مترمربع در تیمار محلول‌دهی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم و نیز به ۲۰۴/۳۵ سانتی‌مترمربع در تیمار محلول‌پاشی ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم افزایش پیدا کند. بین مقادیر ذکر شده که بیشترین مقادیر افزایش سطح برگ بودند با شاهد و اکثر دیگر تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲).

اثر متقابل نانوسیلیسیم با غلظت‌های ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و روش محلول‌پاشی برگ‌گی و محلول‌دهی ریشه‌ای نشان داد که به لحاظ سطح برگ بین کاربرد نانوسیلیسیم به روش محلول‌پاشی برگ‌گی و یا محلول‌دهی ریشه‌ای و نیز غلظت ۶۰ و یا ۸۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌دار وجود ندارد، هر چند که در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به روش محلول‌دهی ریشه‌ای بیشترین مقدار مشاهده شد. اثر متقابل نانوسیلیسیم در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر در هر دو روش محلول‌پاشی برگ‌گی و محلول‌دهی ریشه‌ای دارای نتایج بهتر و با تفاوت معنی‌دار نسبت به اثر متقابل میکروسیلیسیم بوده است.

در آب قرار گرفتند که با دیواره‌ی ظرف تماس نداشته باشند. وزن خوانده شده در حقیقت وزن مایع هم حجم میوه است که با در نظر گرفتن چگالی آب، همان حجم میوه است (Hashemi Dehkourdi, 2013). تعداد میوه در طول دوره میوه‌دهی ثبت گردید و محاسبه‌ی عملکرد با استفاده از اطلاعات ثبت‌شده در طی دوره میوه‌دهی بر اساس گرم میوه در بوته انجام شد. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از برنامه آماری SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند و میانگین‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشدی

تعداد برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر تعداد برگ در سطح احتمال آماری ۱٪ معنی‌دار گردید. بیشترین تعداد برگ به میزان ۲۴/۳۳ برگ در ترکیب تیماری محلول‌دهی ریشه‌ای نانوسیلیسیم در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که با دیگر تیمارها و شاهد تفاوت معنی‌دار داشت و کمترین تعداد برگ در تیمارهای شاهد محلول‌دهی و محلول‌پاشی به ترتیب با مقادیر ۱۳/۸۳ و ۱۳/۹۱ برگ ملاحظه گردید (جدول ۲). در اثر متقابل غلظت‌های ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر با نانوسیلیسیم بیشترین تعداد برگ مشاهده شد که در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم، بین روش محلول‌پاشی برگ‌گی و محلول‌دهی ریشه‌ای تفاوت معنی‌دار بود و محلول‌دهی ریشه‌ای بهتر عمل کرد، اما در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم بین روش محلول‌پاشی برگ‌گی و محلول‌دهی ریشه‌ای تفاوت معنی‌دار نبود. مقادیر تعداد برگ در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم نسبت به غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم هم در روش محلول‌پاشی برگ‌گی و هم محلول‌دهی ریشه‌ای بیشتر و با اختلاف معنی‌دار بوده است. در مجموع به لحاظ تعداد برگ غلظت ۶۰

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر تعداد برگ، سطح برگ، طول و قطر دمبرگ و ارتفاع بوته گیاهان توت‌فرنگی

Table 1. Results of variance analysis effect of silicon, concentration and application on leaf number, leaf area, petiole length and diameter and plant height of strawberry plants

Source of variation	d.f.	Mean of Square				
		Leaf number	Leaf area	Petiole length	Petiole diameter	Plant height
Silicon form	1	202.33**	4973.9**	29.636**	0.51253*	185.75*
Concentration	3	44.026**	2229.08**	6.5464**	0.15367 ^{ns}	58.007**
Silicon form×concentration	3	4.7076*	1043.4*	2.8907**	0.0234 ^{ns}	8.7586 ^{ns}
Application method	1	10.593**	45.447 ^{ns}	0.0014 ^{ns}	0.0147 ^{ns}	43.462**
Silicon form×Application method	1	0.89380 ^{ns}	209.55 ^{ns}	3.9006*	0.00007 ^{ns}	0.00011 ^{ns}
Concentration×Application method	3	2.0368 ^{ns}	70.615 ^{ns}	1.9702*	0.0320 ^{ns}	1.6931 ^{ns}
Si form×Concentration×Applic meth.	3	6.0910**	579.04*	1.9432*	0.0099 ^{ns}	10.475*
Error	32	1.4591	177.50	0.6651	0.0984	3.2914
C.V (%)	-	6.60	7.48	7.90	11.90	7.04

ns, * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Non-significantly difference and Significantly difference at 5 and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر تعداد برگ، سطح برگ و طول دمبرگ توت‌فرنگی

Table 2. Mean comparison interaction effect of silicon, concentration and application method on leaf number, leaf area and petiole length of strawberry

Silicon (Micro and Nano)	Concentration (mg L ⁻¹)	Leaf number		Leaf area (cm ²)		Petiole length (cm)	
		Foliar application	Root application	Foliar application	Root application	Foliar application	Root application
		Control	0	13.91 ⁱ	13.83 ⁱ	125.11 ⁱ	133.64 ^{hi}
Micro-silicon	20	14.00 ⁱ	15.33 ^{ghi}	149.64 ^{gh}	139.35 ^{ghi}	9.51 ^{efg}	7.77 ^{gh}
	40	16.00 ^{f-i}	15.08 ^{hi}	164.75 ^{def}	188.25 ^{a-d}	9.81 ^{c-f}	10.01 ^{c-f}
	60	17.33 ^{e-h}	17.58 ^{efg}	162.77 ^{ef}	160.33 ^{efg}	10.26 ^{c-f}	8.75 ^{gh}
	80	16.25 ^{f-i}	18.25 ^{def}	181.59 ^{b-e}	195.31 ^{abc}	9.98 ^{c-f}	10.45 ^{b-e}
Nano-silicon	20	17.08 ^{c-h}	16.75 ^{gh}	173.81 ^{c-f}	176.95 ^{cde}	10.21 ^{c-f}	10.93 ^{bcd}
	40	19.33 ^{cde}	20.66 ^{bc}	183.85 ^{b-e}	171.64 ^{c-f}	10.53 ^{b-e}	9.50 ^{def}
	60	20.41 ^{bcd}	24.33 ^a	194.90 ^{abc}	210.09 ^a	11.23 ^{bc}	11.89 ^b
	80	22.08 ^b	22.01 ^b	204.35 ^{ab}	189.29 ^{a-d}	11.25 ^{bc}	13.23 ^a

میانگین‌های با حروف مشابه برای هر صفت در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in related to each trait are not significantly different at the 0.05 level.

گیاهان را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود. بهبود فتوسنتز در گیاه منجر به افزایش تعداد برگ و افزایش سطح برگ می‌شود (Adatia & Besford, 1986). از سوی دیگر سیلیسیم در دیواره سلول‌ها رسوب کرده و با ماکروملکول‌های آلی شامل سلولز، پکتین، گلیکوپروتئین‌ها و لیگنین ترکیب شده و ترکیبات کلوئیدی بی‌شکل را با سطح جذب بالا تشکیل می‌دهد. مقدار یک گرم از ذره‌های سیلیسیم با قطر ۷ نانومتر دارای سطح جذبی معادل ۴۰۰ مترمربع است. به واسطه این ویژگی نانوذره‌های سیلیسیم بر خصوصیت مرطوب بودن لوله‌های آوند چوبی و میزان انتقال آب اثرگذار بوده و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهند (Wang & Naser, 1994). در نتیجه سیلیسیم با افزایش کارایی مصرف آب باعث افزایش

به لحاظ سطح برگ نیز نانوسیلیسیم نسبت به میکروسیلیسیم و شاهد اثرات بهتری داشت، به طوری که بیشترین مقدار سطح برگ (۲۱۰/۰۹ سانتی‌مترمربع) در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم مشاهده گردید و با شاهد (عدم کاربرد سیلیسیم) اختلاف معنی‌دار داشت. افزایش سطح برگ در نتیجه کاربرد سیلیسیم در گیاهانی همچون کاهوپچ (Peyvast *et al.*, 2008)، گندم (Gong *et al.*, 2003) و ذرت (Suriyaprabha *et al.*, 2012) گزارش شده است که نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات ذکر شده مطابقت دارد. کاربرد سیلیسیم منجر به تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز در برگ می‌شود. این آنزیم سوخت و ساز دی‌اکسید کربن را تنظیم کرده و در نتیجه کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن توسط

متقابل دوگانه و سه‌گانه فاکتورهای اعمال شده بر صفت قطر دمبرگ معنی‌دار نگردید.

فشار تورژانس و افزایش سطح برگ می‌شود (Kaya *et al.*, 2006).

ارتفاع گیاه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد در سطح احتمال ۵٪ بر میزان ارتفاع گیاه معنی‌دار گردید. بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار محلول‌دهی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به مقدار ۳۱/۶۶ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع در تیمار شاهد محلول‌پاشی به مقدار ۱۹/۶۲ سانتی‌متر ملاحظه گردید که تفاوت بین بیشترین و کمترین مقدار مشاهده‌شده به لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد سیلیسیم اثر افزایشی بر طول دمبرگ و ارتفاع گیاه توت‌فرنگی داشت. درمورد ذرت نیز گزارش شد که کاربرد سیلیسیم باعث افزایش ارتفاع بوته شد و نانوسیلیسیم نسبت به فرم معمول (بالک) آن دارای اثرات بهتر و با تفاوت معنی‌دار بوده است (Suriyaprabha *et al.*, 2012). که نتایج این تحقیق با آن مطابقت دارد. کاربرد سیلیسیم سبب افزایش هورمون GA1 و ترکیب پیش‌ساز آن یعنی GA20 می‌شود که این امر سبب افزایش طولی سلول‌ها و تقسیم سلولی و در نهایت افزایش طول دمبرگ و ارتفاع ساقه گیاهان می‌شوند (Hwang *et al.*, 2008). از طرف دیگر به نظر می‌رسد که سیلیسیم از طریق کاهش باندهای عرضی فنولیک اسیدی پلی‌ساکاریدهای زمینه‌ای باعث افزایش انعطاف‌پذیری دیواره و اندازه سلول می‌شود که این امر خود منجر به افزایش ارتفاع گیاه و طول دمبرگ می‌شود (Hossain *et al.*, 2007).

طول و قطر دمبرگ

با عنایت به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) معلوم گردید که اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر طول دمبرگ در سطح احتمال ۵٪ مؤثر بود. بیشترین طول دمبرگ در بیشترین غلظت نانو یعنی در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به میزان ۱۳/۲۳ سانتی‌متر به‌دست آمد که با تمامی دیگر تیمارها و شاهد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۲). در مورد میکروسیلیسیم نیز اثر متقابل غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و روش محلول‌دهی ریشه‌ای در بین تیمارهای میکرو سیلیسیم بیشترین مقدار را داشت. این امر نشان می‌دهد که به لحاظ طول دمبرگ غلظت ۸۰ میلی‌گرم و روش محلول‌دهی ریشه‌ای دارای اثرات متقابل بهتری با هر دوی میکرو و نانوسیلیسیم نسبت به دیگر غلظت‌ها و روش محلول‌پاشی برگی هستند. مقدار طول دمبرگ در اثر متقابل غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر به‌روش محلول‌دهی ریشه‌ای با نانوسیلیسیم با تفاوت معنی‌داری بیشتر از محلول‌دهی ریشه‌ای ۸۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم بود. کمترین طول دمبرگ در تیمارهای شاهد محلول‌پاشی و محلول‌دهی به‌ترتیب با مقادیر ۷/۴۰ و ۷/۶۶ سانتی‌متر ملاحظه گردید که تفاوت این دو با هم غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، به غیر از اثر جداگانه سیلیسیم، هیچ یک از دیگر اثرات جداگانه و نیز اثرات

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر ارتفاع گیاه، طول ریشه و وزن تر اندام هوایی توت‌فرنگی
Table 3. Mean comparison interaction effect of silicon, concentration and application method on plant height, root length and canopy fresh weight of strawberry

Silicon (Micro and Nano)	Concentration (mg L ⁻¹)	Plant height (cm)		Root length (cm)		Canopy fresh weight (g)	
		Foliar application	Root application	Foliar application	Root application	Foliar application	Root application
Control	0	19.62 ^a	20.37 ^{hi}	36.80 ^g	40.00 ^{fg}	31.83 ^h	37.34 ^{gn}
	20	22.75 ^{ghi}	22.16 ^{ghi}	39.46 ^{efg}	42.70 ^{b-e}	40.57 ^{e-h}	42.63 ^{e-h}
	40	22.41 ^{ghi}	23.83 ^g	41.93 ^{b-i}	40.96 ^{d-g}	42.77 ^{e-h}	39.22 ^{gh}
	60	22.81 ^{ghi}	24.41 ^{efg}	43.23 ^{b-e}	41.30 ^{c-g}	47.64 ^{c-g}	42.06 ^{e-h}
Micro-silicon	80	24.35 ^{efg}	28.54 ^{bcd}	42.16 ^{b-e}	43.83 ^{b-e}	50.06 ^{b-g}	61.02 ^{ab}
	20	24.50 ^{efg}	26.33 ^{dei}	44.73 ^{bcd}	41.26 ^{c-g}	40.84 ^{e-h}	51.85 ^{b-i}
	40	23.50 ^{efg}	27.08 ^{de}	41.20 ^{c-g}	46.40 ^{ab}	45.70 ^{d-g}	50.76 ^{b-g}
	60	28.08 ^{bcd}	31.66 ^a	46.06 ^{abc}	49.70 ^a	59.55 ^{abc}	70.33 ^a
Nano-silicon	80	31.00 ^{ab}	29.60 ^{abc}	42.90 ^{b-e}	37.26 ^g	58.25 ^{a-d}	54.01 ^{b-e}

میانگین‌های با حروف مشابه برای هر صفت در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in related to each trait are not significantly different at the 0.05 level.

یافت و در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به بیشترین مقدار رسید که در این خصوص نانوسیلیسیم نسبت به میکروسیلیسیم با اختلاف معنی‌دار اثر بهتری نشان داد. افزایش طول ریشه در نتیجه کاربرد سیلیسیم در گیاه خیار نتایج این تحقیق با نتایج آنان مطابقت دارد. همچنین گزارش شده است که کاربرد سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه ذرت گردید و کاربرد نانوسیلیسیم نسبت به فرم بالک آن دارای تأثیر بهتر و با اختلاف معنی‌دار بود (Suriyaprabha *et al.*, 2012) که نتایج این تحقیق با آن نتایج در یک راستا می‌باشد.

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد در سطح احتمال ۵٪ بر میزان وزن تر اندام هوایی معنی‌دار گردید. درخصوص این ویژگی بین تیمارهای به کار رفته اختلاف معنی‌دار وجود داشت به گونه‌ای که بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار محلول‌دهی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به مقدار ۷۰/۳۳ گرم و کمترین مقدار در تیمار شاهد محلول‌پاشی به میزان ۳۱/۸۳ گرم ملاحظه گردید که دارای تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۵٪ بودند (جدول ۳). با عنایت به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) اثر متقابل سه‌گانه سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد در سطح احتمال ۱٪ بر میزان وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود.

با افزایش غلظت کاربرد میکروسیلیسیم از ۴۰ به ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و نیز افزایش غلظت نانوسیلیسیم از ۴۰ به ۶۰ میلی‌گرم در لیتر در هر دو روش محلول‌پاشی برگ‌گی و محلول‌دهی ریشه‌ای، ارتفاع بوته نیز افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که بیشترین مقادیر ارتفاع بوته در غلظت‌های ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول ۳). در غلظت‌های ۶۰ میلی‌گرم در لیتر میکرو و نانوسیلیسیم، روش کاربرد محلول‌دهی ریشه‌ای باعث افزایش بیشتر ارتفاع گیاه نسبت به محلول‌پاشی برگ‌گی شد.

طول ریشه

طول ریشه تحت تأثیر فاکتورهای مورد بررسی قرار گرفت، به‌طوری‌که اثر متقابل سه‌گانه سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد در سطح احتمال ۱٪ بر طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). اثر متقابل فاکتورهای مورد بررسی نشان داد که در تیمار اثر متقابل محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر با نانوسیلیسیم بیشترین طول ریشه به میزان ۴۹/۷۰ سانتی‌متر و پس از آن در تیمارهای اثر متقابل محلول‌دهی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به ترتیب با مقادیر ۴۶/۴۰ و ۴۶/۰۶ سانتی‌متر به‌دست آمد که تفاوت بین این سه مقدار با یکدیگر معنی‌دار نبود ولی نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند. کمترین طول ریشه در تیمار شاهد محلول‌پاشی به میزان ۳۶/۸۰ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۳). با کاربرد سیلیسیم طول ریشه افزایش

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه گیاهان توت‌فرنگی

Table 4. Results of variance analysis effect of silicon, concentration and application on root length, canopy fresh and dry weight and root fresh and dry weight of strawberry plants

Source of variation	d.f.	Mean of Square				
		Root length	Canopy fresh weight	Canopy dry weight	Root fresh weight	Root dry weight
Silicon form	1	36.400**	800.21**	18.572**	378.99**	0.6397**
Concentration	3	29.451**	493.01**	10.635**	366.89**	2.3405**
Silicon form×concentration	3	37.116**	212.09**	2.4412**	77.750**	0.3109*
Application method	1	0.5633 ^{ns}	131.72 ^{ns}	4.4362**	17.247*	0.8393**
Silicon form×Application method	1	0.9633 ^{ns}	65.613 ^{ns}	0.1258 ^{ns}	0.0121 ^{ns}	0.3662*
Concentration×Application method	3	8.9622 ^{ns}	17.425 ^{ns}	1.9038*	0.8411 ^{ns}	0.0746 ^{ns}
Si form×Concentration× Application method	3	41.477**	141.38*	2.3474**	8.5971*	0.2947*
Error	32	7.0145	46.893	0.5668	3.1175	0.0987
C.V (%)	-	6.18	13.74	7.12	6.80	9.60

ns, * and **: Non-significantly difference and Significantly difference at 5 and 1% of probability levels, respectively.

محلول‌دهی ریشه‌ای ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم (۳/۹۵ گرم)، با تمامی دیگر تیمارها و شاهد معنی‌دار بود. در این تحقیق با کاربرد سیلیسیم وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه تحت تأثیر قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم و بیشترین وزن تر و خشک ریشه نیز در همین تیمار مشاهده شد که اختلاف تمامی آن‌ها با تیمارهای شاهد و نیز اکثر دیگر تیمارها معنی‌دار بود. افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه توت‌فرنگی در نتیجه کاربرد سیلیسیم در دیگر تحقیقات نیز گزارش گردید (Miyake & Takahashi, 1986; Fatemy *et al.*, 2009) که نتایج این تحقیق با نتایج آنان مطابقت دارد. افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه در نتیجه کاربرد سیلیسیم نیز همان‌گونه که در بالا اشاره شد به افزایش میزان فتوسنتز و کارایی مصرف آب در نتیجه کاربرد سیلیسیم برمی‌گردد (Fatemy *et al.*, 2009). سیلیسیم با بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور باعث بهبود فتوسنتز در گیاه و در نتیجه افزایش شاخص‌های رشد و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه می‌شود (Samuels *et al.*, 1993). همچنین سیلیسیم در سنتز کربوهیدرات‌ها و فسفریلاسیون نوری نیز دخالت دارد (Joliano, 1993). با کاربرد سیلیسیم تعداد سلول‌های سیلیکاتی افزایش یافته و باعث می‌شود تا سطح اپیدرمی به نحو مؤثری موجب عبور بهتر نور به سمت سلول‌های مزوفیلی شود که این امر منجر به بهبود فتوسنتز و بهبود رشد گیاه می‌گردد (Kat & Owa, 1990). در نتیجه بهبود فتوسنتز در گیاه میزان کربوهیدرات تولیدی در گیاه افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش بهبود رشد و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی خواهد شد. کاربرد سیلیسیم از طریق بهبود رشد ریشه باعث افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه و در نتیجه افزایش رشد و نمو می‌شود (Khoshgoftarmanesh, 2010). در این تحقیق با کاربرد سیلیسیم رشد ریشه بهبود یافت و سطح جذب مورد نیاز برای جذب آب و عناصر غذایی افزایش پیدا کرد که این امر باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی شد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با اعمال تیمارهای سیلیسیم وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد و بین تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک اندام هوایی به مقدار ۱۳/۰۴ گرم در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم و کمترین آن در تیمار شاهد محلول‌پاشی به مقدار ۶/۸۳ گرم مشاهده گردید که تفاوت بین آنان معنی‌دار بود (جدول ۵). در بین تیمارهای میکرو نیز بیشترین مقدار وزن خشک اندام‌های هوایی مربوط به محلول‌دهی غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم به مقدار ۱۱/۹۳ گرم بود که با بیشترین مقدار به‌دست‌آمده اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۵).

وزن تر و خشک ریشه

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر میزان وزن تر ریشه در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. همان‌گونه که در جدول ۵ مشخص است، بین تیمارها به لحاظ وزن تر ریشه تفاوت معنی‌دار وجود داشت و تیمارهای محلول‌دهی ریشه‌ای و محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به ترتیب با مقادیر ۳۹/۲۲ و ۳۶/۹۲ گرم دارای بیشترین مقدار در بین تمامی تیمارها بودند. مقایسه اثر متقابل تیمارها نشان داد که در هر دو روش محلول‌پاشی برگی و محلول‌دهی ریشه‌ای با افزایش غلظت از ۶۰ به ۸۰ میلی‌گرم در لیتر میکرو و نانوسیلیسیم وزن تر ریشه کاهش پیدا کرد و در این باره غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر با روش کاربرد محلول‌دهی ریشه‌ای نتایج بهتری را نشان داد (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که در خصوص وزن خشک ریشه، اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد در سطح ۵٪ بر وزن خشک ریشه معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بین تیمارهای به کار رفته اختلاف معنی‌دار وجود داشت و با کاربرد سیلیسیم به فرم‌های میکرو و نانو وزن خشک ریشه نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک ریشه (۴/۴۳ گرم) زمانی مشاهده گردید که نانوسیلیسیم در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر به صورت محلول‌دهی ریشه‌ای به کار رفت و اختلاف آن به غیر از با تیمار

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر وزن خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه توت‌فرنگی
Table 5. Mean comparison interaction effect of silicon, concentration and application method on canopy dry weight, root fresh weight and root dry weight of strawberry

Silicon (Micro and Nano)	Concentration (mg L ⁻¹)	Canopy dry weight (g)		Root fresh weight (g)		Root dry weight (g)	
		Foliar application	Root application	Foliar application	Root application	Foliar application	Root application
Control	0	6.83 ^g	7.97 ^{lg}	18.23 ^g	18.99 ^{lg}	2.52 ^l	2.85 ^{det}
Micro-silicon	20	7.99 ^{lg}	9.75 ^{det}	19.30 ^{lg}	19.62 ^{lg}	2.81 ^{det}	2.79 ^{det}
	40	9.70 ^{det}	9.13 ^{et}	19.39 ^{lg}	19.03 ^{lg}	2.99 ^{det}	2.87 ^{det}
	60	10.75 ^{b-e}	9.94 ^{de}	29.30 ^{bc}	29.97 ^b	3.65 ^{bc}	3.72 ^{bc}
	80	10.29 ^{cde}	11.93 ^{abc}	22.14 ^{et}	26.45 ^{cd}	2.98 ^{det}	3.40 ^{bcd}
Nano-silicon	20	9.26 ^{et}	10.99 ^{b-e}	21.93 ^{et}	22.91 ^e	2.63 ^{et}	2.87 ^{det}
	40	10.22 ^{cde}	11.16 ^{bcd}	29.30 ^{bc}	31.41 ^b	3.20 ^{cde}	3.95 ^{ab}
	60	12.30 ^{ab}	13.04 ^a	36.92 ^a	39.22 ^a	3.59 ^{bc}	4.43 ^a
	80	11.51 ^{a-d}	10.94 ^{b-e}	24.60 ^{de}	23.88 ^{de}	3.24 ^{cde}	3.16 ^{cde}

میانگین‌های با حروف مشابه برای هر صفت در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in related to each trait are not significantly different at the 0.05 level.

Takahashi, 1986; Fatemy *et al.*, 2009; Dehghani Poodeh *et al.*, 2012b) که نتایج این تحقیق با نتایج آنان مطابقت دارد. نظریه Blackman (1969) بیان می‌کند که سیلیسیم از ریشه به اندام‌های هوایی انتقال می‌یابد و از دست دادن آب از طریق تعرق در برگ‌ها تشکیل سیلیس بی‌شکل هیدراته را به‌خصوص در سلول‌های اپیدرم برگ افزایش می‌دهد. مقایسه روش کاربردها نیز حاکی از آن بود که محلول‌دهی ریشه‌ای بهتر از محلول‌پاشی برگ‌ی عمل نمود. جذب سیلیسیم در توت‌فرنگی شبیه سویا می‌باشد و گیاه توت‌فرنگی سیلیسیم را آزادانه از ریشه به اندام‌های هوایی انتقال می‌دهد (Miyake & Takahashi, 1986). دلیل مؤثرتر واقع شدن روش محلول‌دهی ریشه‌ای نسبت به روش محلول‌پاشی برگ‌ی در این تحقیق نیز به سهولت جذب و انتقال سیلیسیم از ریشه به اندام‌های هوایی برمی‌گردد. کاربرد نانوذرات سیلیسیم نسبت به میکروذرات آن مؤثرتر واقع شد که احتمالاً به علت داشتن سطح مخصوص زیادتر نسبت به میکرو و نیز نفوذ راحت‌تر و سریع‌تر به درون غشای پلاسمایی به خاطر اندازه کوچک‌تر آنان نسبت به میکروذرات است (Anonymous, 2009).

وزن تر میوه

در خصوص وزن تر میوه بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) اثر متقابل فاکتورهای مورد بررسی در سطح ۵٪ معنی‌دار گردیدند. بیشترین وزن میوه به ترتیب در تیمارهای محلول‌دهی ۶۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم با مقادیر ۱۴/۲۹ و ۱۴/۰۵ گرم مشاهده گردید که با کمترین میزان

میزان سیلیسیم اندام هوایی و ویژگی‌های عملکردی

سیلیسیم اندام هوایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد در سطح احتمال ۱٪ بر غلظت سیلیسیم اندام هوایی معنی‌دار گردید. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) بین تیمارهای به کار رفته در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت، بدین ترتیب که بیشترین غلظت سیلیسیم اندام هوایی در تیمار محلول‌دهی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم (به میزان ۰/۵۰٪) و کمترین مقادیر سیلیسیم اندام هوایی در تیمارهای شاهد محلول‌پاشی و محلول‌دهی به ترتیب با مقادیر ۰/۰۷٪ و ۰/۰۸٪ به دست آمد. بین تمامی تیمارهای به کار رفته میکروسیلیسیم و نانوسیلیسیم در سطح ۵٪ با تیمارهای شاهد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در مجموع به لحاظ غلظت سیلیسیم اندام هوایی، هم در مورد میکروسیلیسیم و هم نانوسیلیسیم، کاربرد غلظت ۶۰ میلی‌گرم به روش محلول‌دهی ریشه‌ای بیشترین مقادیر را نشان داد. مقایسه دو روش محلول‌پاشی برگ‌ی و محلول‌دهی ریشه‌ای در غلظت‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم نشان می‌دهد که در این تیمارها غلظت سیلیسیم اندام هوایی در روش محلول‌دهی ریشه‌ای نسبت به روش محلول‌پاشی برگ‌ی به مقدار بیشتر و دارای اختلاف معنی‌دار بوده است (جدول ۷).

کاربرد سیلیسیم باعث افزایش غلظت سیلیسیم در اندام هوایی توت‌فرنگی گردید. افزایش غلظت سیلیسیم در اندام هوایی توت‌فرنگی در نتیجه کاربرد سیلیسیم در تحقیقات دیگر نیز مشاهده و گزارش شد (Miyake &

حجم میوه

با عنایت به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد روی حجم میوه در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید. بیشترین حجم میوه در تیمار محلول‌دهی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به مقدار ۱۵/۸۱ سانتی‌متر مکعب مشاهده گردید که با تیمارهای شاهد محلول‌پاشی و محلول‌دهی و کمترین مقدار مشاهده‌شده در تیمار محلول‌دهی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم به مقدار ۱۱/۹۷ سانتی‌متر مکعب تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۷). در خصوص حجم میوه نیز در تمامی تیمارها بین روش محلول‌پاشی برگ‌ی و محلول‌دهی ریشه‌ای تفاوت معنی‌دار نبود، اما مقدار میانگین حجم میوه در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر به‌روش محلول‌دهی ریشه‌ای به‌طور غیرمعنی‌داری بیشتر از محلول‌پاشی برگ‌ی بوده است که خود حمایت‌کننده از کاربرد غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر به‌روش محلول‌دهی ریشه‌ای می‌باشد.

به‌دست‌آمده در تیمارهای شاهد محلول‌پاشی و محلول‌دهی به ترتیب با مقادیر ۱۰/۹۴ و ۱۱/۰۳ گرم تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۷). بین میانگین‌های تیمارهای شاهد با دیگر تیمارهای میکرو و نانوسیلیسیم اختلاف معنی‌دار وجود نداشته است (جدول ۷). اثر متقابل فاکتورها نشانگر این است که هم در شاهد و هم در کاربرد هر دو نوع میکروسیلیسیم و نانوسیلیسیم در تمامی غلظت‌ها بین روش محلول‌پاشی برگ‌ی و روش محلول‌دهی ریشه‌ای اختلاف معنی‌دار وجود نداشته است. در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیز با وجود اینکه در کاربرد میکرو و نانوسیلیسیم، بین روش محلول‌دهی ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگ‌ی تفاوت معنی‌دار نبود، ولی میانگین وزن میوه به‌طور غیرمعنی‌داری در روش محلول‌دهی ریشه‌ای بیشتر از محلول‌پاشی برگ‌ی بوده است که این بیشتر بودن میانگین وزن میوه می‌تواند در حمایت از غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر به‌روش محلول‌دهی ریشه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر میزان سیلیسیم اندام هوایی، وزن تر و حجم میوه، تعداد میوه و عملکرد گیاهان توت‌فرنگی

Table 6. Results of variance analysis effect of silicon, concentration and application on Canopy silicon and fruit fresh weight and volume, fruit number and yield of Strawberry plants

Source of variation	d.f.	Mean of Square				
		Canopy silicon	Fruit fresh weight	Fruit volume	Fruit number	Yield
Silicon form	1	0.0560*	7.3476	11.950	6.5638	5361.7**
Concentration	3	0.0455**	2.4707 ^{ns}	2.1645 ^{ns}	10.424**	3972.06**
Silicon form×concentration	3	0.0019*	1.2986 ^{ns}	1.4597 ^{ns}	0.3258 ^{ns}	371.92 ^{ns}
Application method	1	0.0123**	2.4684 ^{ns}	2.3541 ^{ns}	5.0895*	2566.9*
Silicon form×Application method	1	0.0111**	0.2324 ^{ns}	0.5786 ^{ns}	6.1275*	753.001 ^{ns}
Concentration×Application method	3	0.0015 ^{ns}	1.5794 ^{ns}	2.4559 ^{ns}	0.5128 ^{ns}	599.40 ^{ns}
Si form×Concentration× Application method	3	0.0033**	4.7370*	6.0976*	3.3349*	2367.66*
Error	32	0.00071	1.6574	2.0187	1.1698	632.72
C.V (%)	-	7.71	10.18	10.44	7.63	13.96

^{ns}, *, **: Non-significantly difference and Significantly difference at 5 and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر سیلیسیم اندام هوایی، وزن تر و حجم میوه توت‌فرنگی

Table 7. Mean comparison interaction effect of silicon, concentration and application method on canopy silicon, fruit fresh weight and fruit volume of strawberry

Silicon (Micro and Nano)	Concentration (mg L ⁻¹)	Canopy silicon (%)		Fruit fresh weight (g)		Fruit volume (cm ³)	
		Foliar application	Root application	Foliar application	Root application	Foliar application	Root application
		Control	0	0.07 ^l	0.08 ^l	10.94 ^b	11.03 ^b
	20	0.21 ^l	0.26 ^b	12.68 ^{ab}	11.22 ^b	12.17 ^c	13.66 ^{ab}
Micro-silicon	40	0.33 ^{fg}	0.29 ^{gh}	12.90 ^{ab}	11.06 ^b	13.86 ^{abc}	11.97 ^c
	60	0.34 ^{efg}	0.38 ^{cde}	11.39 ^b	13.43 ^{ab}	12.28 ^{bc}	14.22 ^{abc}
	80	0.34 ^{efg}	0.29 ^{gh}	12.28 ^{ab}	12.98 ^{ab}	12.78 ^{bc}	13.89 ^{abc}
Nano-silicon	20	0.27 ^h	0.30 ^{gh}	12.35 ^{ab}	11.91 ^{ab}	13.67 ^{abc}	12.93 ^{abc}
	40	0.35 ^{def}	0.44 ^b	12.43 ^{ab}	14.05 ^a	13.45 ^{abc}	15.13 ^{ab}
	60	0.42 ^{bc}	0.50 ^a	13.41 ^{ab}	14.29 ^a	14.27 ^{abc}	15.81 ^a
	80	0.33 ^{fg}	0.39 ^{dc}	13.29 ^{ab}	12.49 ^{ab}	14.58 ^{abc}	12.99 ^{abc}

میانگین‌های با حروف مشابه برای هر صفت در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. Means with the same letters in related to each trait are not significantly different at the 0.05 level.

تعداد میوه

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد در سطح ۵٪ بر تعداد میوه مؤثر بود. نتایج مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۸) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها وجود داشته به طوری که بیشترین تعداد میوه در تیمارهای محلول‌دهی ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم مشاهده گردید که تفاوت بین آن‌ها معنی‌دار نبود ولی نسبت به اکثر دیگر تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌دار نشان دادند. کمترین تعداد میوه در تیمارهای شاهد محلول‌پاشی و محلول‌دهی به ترتیب با مقادیر ۱۲/۱۶ و ۱۲/۲۸ عدد مشاهده گردید (جدول ۸). مقایسه دو روش محلول‌پاشی برگ‌گی و محلول‌دهی ریشه‌ای در غلظت‌های ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم نشان می‌دهد که در این تیمارها تعداد میوه در روش محلول‌دهی ریشه‌ای نسبت به روش محلول‌پاشی برگ‌گی به مقدار بیشتر و دارای تفاوت معنی‌دار بوده است (جدول ۸).

کمترین عملکرد میوه به ترتیب در تیمارهای شاهد محلول‌پاشی و محلول‌دهی با مقادیر ۱۳۳/۱۵ و ۱۳۵/۵۵ گرم در بوته مشاهده گردید که با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول ۸). در خصوص میزان عملکرد بین تیمار محلول‌دهی غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم (۲۰۲/۲۲ گرم میوه در بوته) و تیمار محلول‌دهی غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم (۲۳۳/۲۳ گرم میوه در بوته) به لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نبود، اما میزان عملکرد به طور غیر معنی‌داری در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم بیشتر از محلول‌دهی ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم بود.

نتایجی که از تأثیر سیلیسیم بر ویژگی‌های کمی میوه توت‌فرنگی در این مطالعه به دست آمد نشان داد که کاربرد سیلیسیم باعث تغییرات معنی‌داری در اکثر ویژگی‌های کمی میوه همچون وزن تر میوه، حجم میوه، تعداد میوه و عملکرد گردید. افزایش وزن میوه، تعداد میوه و عملکرد توت‌فرنگی در نتیجه کاربرد سیلیسیم در گزارش‌های دیگر (Miyake & Takahashi, 1986; Fatemy et al., 2009; Dehghani poodeh et al., 2012a) آورده شده است که نتایج این تحقیق در خصوص این صفات با نتایج آنان مطابقت دارد. کاربرد سیلیسیم با اثر بر خصوصیات رشد و نمو گیاه و افزایش حاصلخیزی خاک و تولید ماده خشک (Fatemy et al., 2009; Agari et al., 1993) و همچنین بهبود فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها و افزایش توانایی گیاه باعث افزایش ویژگی‌های کمی و عملکرد می‌شود (Dehghani poodeh et al., 2012b; Samuels et al., 1993).

عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد روی میزان عملکرد در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) بیانگر آن بود که بین میانگین‌های تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود داشت، به طوری که بیشترین میزان عملکرد در تیمار محلول‌دهی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به مقدار ۲۳۳/۲۳ گرم در بوته مشاهده گردید که نسبت تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار داشت.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر تعداد میوه و عملکرد توت‌فرنگی

Table 8. Mean comparison interaction effect of silicon, concentration and application method on fruit number and yield of strawberry plant

Silicon (Micro and Nano)	Concentration (mg L ⁻¹)	Fruit number		Yield (g fruit/plant)	
		Foliar application	Root application	Foliar application	Root application
Control	0	12.16 ^e	12.28 ^e	133.15 ^f	135.55 ^{ef}
	20	12.19 ^e	13.36 ^{de}	136.98 ^{ef}	167.94 ^{c-f}
	40	14.43 ^{bcd}	13.69 ^{de}	186.75 ^{bcd}	152.14 ^{def}
	60	14.82 ^{a-d}	15.05 ^{abc}	170.22 ^{c-f}	202.22 ^{abc}
Micro-silicon	80	13.90 ^{cde}	12.98 ^{de}	170.89 ^{c-f}	169.36 ^{c-f}
	20	13.41 ^{cde}	13.04 ^{de}	166.50 ^{c-f}	155.31 ^{c-f}
	40	13.82 ^{cde}	16.45 ^a	172.83 ^{c-f}	231.05 ^{ab}
	60	14.46 ^{bcd}	16.33 ^a	195.55 ^{a-d}	233.23 ^a
Nano-silicon	80	13.75 ^{cde}	15.07 ^{abc}	182.83 ^{cde}	188.30 ^{bcd}

میانگین‌های با حروف مشابه برای هر صفت در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in related to each trait are not significantly different at the 0.05 level.

به غیر از قطر دمبرگ بر تمامی ویژگی‌های رشدی گیاه توت‌فرنگی اثر معنی‌دار داشتند و کاربرد سیلیسیم به خصوص در مقیاس نانو توانست ویژگی‌های رشدی این گیاه را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشد. کاربرد سیلیسیم به‌ویژه در مقیاس نانو باعث افزایش معنی‌دار تعداد میوه، وزن میوه، حجم میوه و عملکرد در مقایسه با شاهد گردید. به‌طور کلی جهت تولید گلخانه‌ای توت‌فرنگی در کشت هیدروپونیک، غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به صورت محلول‌دهی ریشه‌ای قابل توصیه می‌باشد.

کاربرد سیلیسیم باعث تحریک تشکیل میوه و تسریع بلوغ میوه می‌شود (Matichenkov & Bocharnikova, 2008). در خصوص ویژگی‌های کمی و عملکرد میوه در این تحقیق نانوسیلیسیم مؤثرتر از میکروسیلیسیم بود که احتمالاً به خاطر داشتن سطح مخصوص زیاد و جذب آسان‌تر آن است که در نتیجه مؤثرتر از کودهای شیمیایی مرسوم عمل کردند (Anonymous, 2009).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که تیمارهای اعمال شده

REFERENCES

1. Adatia, M. H. & Besford, R. T. (1986). The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*, 58, 343-351.
2. Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kubota, F. & Kaufman, P. B. (1993). Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice plant (*Oryza stiva*). *Crop Production and Improvement Technology*, 34, 225-234.
3. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Hoseinpour, R. & Abdshah, H. (2018). *Iran Agriculture Statistics of 2017, Third volume: Horticultural products*. Ministry of Agriculture-Jahad, First Publication, 241. (in Farsi).
4. Anonymous. (2009). Nanotechnology in agriculture. *Journal of Agriculture and Technology*. 114, 54-65.
5. Blackman, E. (1969). Observation on the development of the silica cells of the leaf sheath of wheat (*Triticum aestivum*). *Canadian Journal of Botany*, 47, 827- 838.
6. Cherif, M. & Belanger, R. R. (1992). Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on Long English Cucumber. *Journal of Plant Diseases*, 76(10), 1008-1011.
7. Chinnamuthu, C. & Boopathi, P. (2009). Nanotechnology and agroecosystem. *Madras Agriculture Journal*, 96, 17-31.
8. Debnath, S. C. & Teixeira da Silva, J. A. (2007). Strawberry culture *in vitro*: applications in genetic transformation and biotechnology. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 1(1), 1-12.
9. Dehghani poodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B. & Gheysari, M. (2012 a). Effect of potassium silicate and nano-silis on yield and quality of strawberry fruit. In: *Proceedings of 7th National Horticultural Science congress of Iran*, 5-8 september, Isfahan university of technology, Isfahan, Iran, pp. 1874-1847. (in Farsi)
10. Dehghani poodeh, S. (2012 b). *Effect of potassium silicate and nanosilica on growth and development of strawberry under water deficit conditions*. M.Sc. Thesis. Department of Horticultural Science, Isfahan University of Technology, Iran, 84. (in Farsi)
11. Epstein, E. & Bloom, A. (2004). *Mineral nutrition of plants: principle and perspectives*. (2nd ed.). Sinauer Associates Publish, 380.
12. Fatemy, L. S., Tabatabaei, S. J. & Fallahi, E. (2009). The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. *Journal of Horticultural Sciences*, 23(1), 88-95. (in Farsi) .
13. Gerdakaneh, M., Mozafarin, A. A., Khalighi, A. & Sioseh-mardah, A. (2009). The effects of carbohydrate source and concentration on somatic embryogenesis of strawberry (*Fragaria X ananasa* Duch.). *American-Eurasian Journal of Agriculture Environmental Science*, 6(1), 76-80.
14. Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B. & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28, 9-19.
15. Gong, H. J., Chen, K. M., Chen, G. C., Wang, S. M. & Zhang C. L. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal of Plant Nutrition*, 26, 1055-1063.
16. Haghighi, M., Afifipour, Z. & Mozafarian, M. (2012). The effect of N-Si on tomato seed germination under salinity levels. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 6(16), 87-90.
17. Hashemi Dehkourdi, E. 2013. *Effect of nanoparticles of anatase (TiO₂) on the some of characteristics quantity and quality of fruit of strawberry in hydroponic condition*. M.Sc. Thesis. Department of Horticultural Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, 117. (in Farsi)

18. Hossain, M. T., Soga, K., Wakabayashi, K., Kamisaka, S., Fujii, S., Yamamoto, R. & Takayuki, H. (2007). Modification of chemical properties of cell walls by silicon and its role in regulation of the cell wall extensibility in oat leaves. *Journal of Plant Physiology*, 164, 385-393.
19. Hwang, S. J., Hamayun, M., Kim, H. Y., Na, C.I., Kim, K.U., Shin, D.H., Kim, S.Y. & Lee, I. J. (2008). Effect of nitrogen and silicon nutrition on bioactive gibberellin and growth of rice under field conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 10, 281-286.
20. Jalili Marandi, R. (2009). *Growing of temperate zone fruits*. Jahad Daneshgahi Publishing, Unit of West Azerbaijan, Iran, 363. (in Farsi)
21. Joliano, B. O. (1993). *Rice in human nutrition*. FAO, Food and Nutrition Series. No. 26, Rome.
22. Kat, N. & Owa, N. (1990). Dissolution mechanism of silicate slag fertilizers in paddy soils. 14th *International Congress of Soil Science*, Kyoto, Japan, 4, 609-610.
23. Kaya, C., Tuna, L. & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water stress condition. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1469- 1480.
24. Khoshgoftarmanesh, A. H. (2010). *Advanced concepts in plant nutrition*. Isfahan University of Technology, Publication Center, 383. (in Farsi)
25. Liang, Y. C. (1999). Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barely under salt stress. *Plant Physiology*, 29, 217-224.
26. Lynch, M. (2008). Silicates in contemporary Australian farming: A 20-year review. In: *Proceedings of Silicon in Agriculture Conference*, University of Kwazulu-Natal, KwaZulu-Natal, South Africa. 68.
27. Ma, J. F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stresses. *Soil Science*, 50, 11-18.
28. Ma, J. F. & Takahashi, E. (2002). *Soil, Fertilizer, and plant silicon research in japan*. Elsevier Science, The Netherlands, 281.
29. Ma, J. F., Goto, S., Tami, K. & Ichii, M. (2001). Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. *Plant Physiology*, 127, 1773- 1780.
30. Mali, M. & Arey, N. C. (2008). Silicon effects on nodule growth, dry matter production, and mineral nutrition of cowpea (*vigna unguiculata*). *Jornal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171, 835-840.
31. Matichenkov, V. V. & Bocharnikova, E. A. (2008). New generation of silicon fertilizers. In: *Proceedings of Silicon in Agriculture Conference*, University of Kwazulu-Natal, KwaZulu-Natal, South Africa. 71.
32. Miyake, Y. & Takahashi, E. (1986). Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. *Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition*, 32(2), 321-326.
33. Mohaghegh, P., Shirvani, M. & Ghasemi, S. (2010). Silicon application effects on yield and growth of two cucumber genotypes in hydroponics system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 1(1), 35-40. (in Farsi)
34. Moyer, C., Peres, N. A., Datnoff, L. E., Simonne, E. H. & Deng, Z. (2008). Evaluation of silicon for Managing Powdery Mildew on Gerbera Daisy. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 2131-2144.
35. Pandey S. K. & Singh, H. (2011). A simple, cost-effective method for leaf area estimation. *Journal of Botany*, 1-6.
36. Peyvast, G. H., Zaree, M. R. & Samizadeh lahiji, H. (2008). Interaction of silicon and on salinity stress on lettuce growth under NFT system condition. *Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology)*, 22(1), 79-88. (in Farsi)
37. Samuels, A. L., Glass, A. D. M., Ehert, D. L. & Menzies, J. G. (1993). The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. *Annals of Botany*, 72, 433-440.
38. Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Prabu, P., Rajendran, V. & Kannan, N. (2012). Growth and physiological responses of maize (*Zea mays* L.) to porous silica nanoparticles in soil. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(1294), 1-14.
39. Talgar, S., Gu, J. X., Xu, C. S., Yang, Z., Zhao, Q., Liu, Y. X. & Liu, Y. C. (2011). Phytotoxic and genotoxic effects of ZnO nanoparticles on garlic (*Allium sativum* L.): A morphological study. *Nanotoxicology*, 1, 1-8.
40. Wang J. & Naser, N. (1994). Improved performance of carbon paste ampermetric biosensors through the incorporation of fumed silica. *Electroanalysis*, 6, 571-575.
41. Wang, S. Y. & Galletta, G. J. (1998). Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition*, 21(1), 157-167.
42. Yuvakkumar, R., Elango, V., Rajendran, V., Kannan, N. S. & Prabu, P. (2011). Influence of nanosilica powder on the growth of maize crop (*Zea mays* L.). *International Journal of Green Nanotechnology*, 3, 180-190.