دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
**نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی**
**جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵**
**http://jopp.gau.ac.ir**

# تأثیر میکرو و نانوذرات دی‌اکسیدسیلیسیم ($SiO_2$) روی برخی ویژگی‌های کیفی و عناصر غذایی میوه توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch.)

**رحمان یوسفی[1] و *محمود اثنی‌عشری[2]**
[1]دانش‌آموخته دکتری تخصصی گروه علوم باغبانی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران،
[2]استاد گروه علوم باغبانی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۱۶

## چکیده

**سابقه و هدف:** سیلیسیم یکی از عناصر غذایی مفید برای اکثر گیاهان محسوب می‌شود. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که سیلیسیم باعث افزایش تولید و کیفیت محصول شده و نقش مهمی در مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی دارد. توت‌فرنگی منبع خوبی از ترکیبات فعال زیستی است و به لحاظ اقتصادی و تجاری در جهان میوه‌ای مهم و ارزشمند به حساب می‌آید. تغذیه گیاهان توت‌فرنگی با عناصر غذایی مختلف همچون سیلیسیم برای اهداف کشاورزی می‌تواند بر ویژگی‌های کیفی و عناصر غذایی میوه آن تأثیرگذار باشد. با پیشرفت علم و تولید نانوذرات، کاربرد آنان در صنایع مختلف و از جمله کشاورزی مطرح شده است. هدف این مطالعه، بررسی اثر میکرو و نانوذرات دی‌اکسیدسیلیسیم در غلظت‌های مختلف و با دو روش کاربرد محلول‌پاشی برگی و تغذیه ریشه‌ای طی مراحل رشد گیاه توت‌فرنگی روی برخی از ویژگی‌های کیفی و عناصر غذایی میوه بود.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در هر تکرار ۴ گیاه در گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا اجرا گردید. بدین منظور میکرو و نانوذرات دی‌اکسیدسیلیسیم در غلظت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و به دو روش محلول‌پاشی برگی و تغذیه ریشه‌ای در دو مرحله مجزا روی گیاهان اعمال شد. پس از باردهی، میوه‌های رسیده برداشت و برخی عناصر

---

*مسئول مکاتبه: m.esnaashari@basu.ac.ir

غذایی و ویژگی‌های کیفی میوه شامل میزان فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، نیترات، کربوهیدرات‌های محلول کل، ویتامین ث، مواد جامد محلول و اسیدیته آب میوه اندازه‌گیری و سپس تجزیه و تحلیل آماری شدند.

**یافته‌ها:** با کاربرد سیلیسیم میزان پتاسیم، منیزیم، آهن، ویتامین ث، کربوهیدرات‌های محلول کل، مواد جامد محلول و اسیدیته آب میوه افزایش و فسفر کاهش یافت، اما نیترات بدون تغییر ماند. در بین تمامی تیمارهای به‌کار رفته، تغذیه ریشه‌ای نانوسیلیسیم با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به دیگر تیمارها و شاهد اثرات بهتری نشان داد و در مجموع کاربرد نانوسیلیسیم نسبت به میکروسیلیسیم نتایج بهتری داشت.

**نتیجه‌گیری:** کاربرد سیلیسیم تأثیرات بارزی برعناصر غذایی و کیفیت میوه توت‌فرنگی داشت. تاثیر سیلیسیم بر عناصر غذایی و کیفیت میوه بستگی به فرم سیلسیم، غلظت و روش کاربرد آن داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کاربرد دی‌اکسیدسیلیسیم ($SiO_2$) طی مرحله رشد گیاه به‌خصوص در مقیاس نانو باعث افزایش اکثر عناصر غذایی و بهبود کیفی میوه توت‌فرنگی گردید. به‌طور کلی جهت تولید گلخانه‌ای توت‌فرنگی و کشت آن در محیط کشت بدون خاک، با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم با روش کاربرد تغذیه ریشه‌ای را پیشنهاد نمود.

***واژه‌های کلیدی:*** تغذیه ریشه‌ای، محلول‌پاشی برگی، میکروسیلیسیم، نانوسیلیسیم

## مقدمه

یکی از عوامل مؤثر بر کیفیت و عناصر غذایی میوه توت‌فرنگی به‌عنوان یک میوه مهم و با ارزش غذایی و سلامتی بالا، استفاده از عناصر تغذیه‌ای مختلف طی مرحله رشد و نمو آن می‌باشد (۱۹ و ۲۶). یکی از این عناصر غذایی تأثیرگذار سیلیسیم (Silicon) است که دومین عنصر فراوان پوسته زمین (۳۱ درصد) بعد از اکسیژن (۴۹ درصد) می‌باشد (۳). با وجود فراوانی سیلیسیم در پوسته زمین اکثر ترکیبات آن قابل جذب برای گیاه نیست. در تولیدات گلخانه‌ای با محیط‌های کشت مختلف یا آبکشت و محلول‌های غذایی متداول، نیز سیلیسیم موجود نمی‌باشد و بدین‌ترتیب کاربرد سیلیسیم در این‌گونه کشت‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (۳۰). از منابع سیلیسیمی که در کارهای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان به منابع سیلیکاتی همچون سیلیکات‌سدیم و پتاسیم و منابع اکسیدی همچون اکسیدسیلیسیم ($SiO_2$) و نیز دیگر منابع مانند اسیدسیلیسیک اشاره کرد.

فاطمی و همکاران (۲۰۰۹) اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی رقم سلوا را در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های عملکرد و محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط تنش شوری کاهش و با کاربرد سیلیسیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۶). میاکی و همکاران (۱۹۸۶) اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد میوه توت‌فرنگی رقم Hokowase را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیلیسیم نقش مهمی در گلدهی گیاه توت‌فرنگی ایفا کرده و وزن خشک گیاه، مقدار تولید و عملکرد کلی میوه نیز در گیاهان دریافت‌کننده سیلیسیم، نسبت به شاهد بالاتر بوده است و در مجموع سیلیسیم به‌طور قابل توجهی روی رشد و عملکرد میوه توت‌فرنگی اثر گذاشت (۲۱). یائوجینگ و همکاران (۲۰۰۹) اثر سیلیسیم را بر شاخص‌های فتوسنتزی و عملکرد میوه توت‌فرنگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاربرد سیلیسیم، نرخ خالص فتوسنتز برگ، هدایت روزنه‌ای و $CO_2$ بین سلولی را افزایش و میزان تعرق را کاهش و کارآیی مصرف آب را در توت‌فرنگی بالا برده و مقدار میوه، میانگین وزن میوه و عملکرد نیز افزایش پیدا کرد (۳۳). وانگ و همکاران (۱۹۹۶) اثر محلول‌پاشی برگی سیلیسیم از منبع سلیکات‌پتاسیم و سدیم را روی تغییرات متابولیکی توت‌فرنگی مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج آن‌ها، در گیاهان تیمارشده با منابع سیلیسیمی رشد گیاهان و میزان کلروفیل افزایش یافت. سطوح اسیدسیتریک و اسیدمالیک افزایش و میزان فروکتوز، گلوکز، ساکارز و میواینوزیتول کاهش یافت (۳۲). تأثیرات مثبت این عنصر بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات دیگر نیز گزارش شد. از جمله محقق و همکاران (۲۰۱۰) گزارش

دادند که کاربرد سیلیسیم در محلول غذایی گیاه خیار باعث جذب بیشتر نور، افزایش فتوسنتز، حداکثر کارآیی فتوسیستم II (Fv/Fm)، کاهش بیماری‌ها و بهبود رشد و عملکرد می‌شود (۲۲). جیان‌فنگ و همکاران (۱۹۸۹) نشان دادند که کاربرد سیلیسیم طی رشد زایشی و در مرحله گلدهی گیاه برنج بیشترین تأثیر را در افزایش وزن هزاردانه، عملکرد و تعداد سنبله داشت (۱۳). مالی و همکاران (۲۰۰۸) اثرات سیلیسیم در غلظت‌های مختلف را روی رشد دانه، تولید ماده خشک و تغذیه معدنی لوبیای چشم بلبلی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیلیسیم در مقادیر کم به طور معنی‌داری تعداد دانه، وزن تر و خشک دانه، عملکرد نسبی ریشه و ساقه، غلظت‌های نیتروژن، فسفر و کلسیم را افزایش داد (۱۸). تأمین مواد غذایی و محصولات کشاورزی سالم و مغذی برای ادامه زندگی همواره یکی از چالش‌های جوامع بشری بوده است. استفاده از فناوری‌های نوین با هدف افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی می‌تواند راهبرد مناسبی برای مقابله با این چالش‌ها به شمار آید. در این بین فناوری نانو به‌عنوان یک فناوری بین‌رشته‌ای توانایی خود را در رفع کمبودها در بسیاری از عرصه‌های علمی و صنعتی به‌ویژه در علوم کشاورزی و صنایع غذایی به اثبات رسانده است (۱۴). یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو، استفاده از نانوذرات و نانوکودها برای تغذیه گیاهان و بهبود کمیت و کیفیت غذایی محصولات کشاورزی می‌باشد. حقیقی و همکاران (۲۰۱۳) اثر سیلیسیم و نانوسیلیسیم را بر تحمل به شوری گوجه‌فرنگی در مرحله رشد اولیه مورد بررسی قرار دادند. با کاربرد سیلیسیم وزن تر و خشک گیاه، حجم ریشه و غلظت کلروفیل افزایش پیدا کرد و همچنین سیلیسیم اثرات منفی تنش شوری بر شاخص‌های رشد گیاه را کاهش داد. سیلیسیم و نانوسیلیسیم نرخ فتوسنتزی، هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب را تحت تنش شوری بهبود بخشیدند (۱۰). سوریاپرابها و همکاران (۲۰۱۲) پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی ذرت به کاربرد نانوذرات سیلیسیم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که پاسخ‌های رشدی با افزایش غلظت نانوسیلیسیم بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت. نانوسیلیسیم در مقایسه با سیلیسیم تأثیرات مثبت‌تری بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی ذرت بر جای گذاشت (۲۹). با توجه به گزارشات پژوهشگران مختلف در زمینه تأثیرات مثبت سیلیسیم در گیاهان متفاوت و نیز توت‌فرنگی، هدف این مطالعه بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف میکرو و نانوذرات سیلیسیم با دو روش کاربرد محلول‌پاشی برگی و محلول‌دهی ریشه‌ای در مرحله رشد گیاه توت‌فرنگی، روی برخی ویژگی‌های کیفی و عناصر غذایی میوه به‌عنوان محصول نهایی برای مصرف‌کننده بوده است.

## مواد و روش‌ها

**مواد گیاهی و آماده‌سازی تیمارها:** نشاهای گلدانی توت‌فرنگی رقم کامارُوزا (Camarosa) از شرکت آشیان سبز عماد در شهر هشتگرد استان البرز تهیه و پس از انتقال به گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی‌سینا در کیسه‌های کشت پلاستیکی (با ابعاد ۴۰ سانتی‌متر ارتفاع و ۲۵ سانتی‌متر قطر دهانه) محتوی مخلوطی از کوکوپیت و پرلایت به نسبت ۱:۱ کشت شدند. گیاهان توت‌فرنگی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و تحت شرایط نور طبیعی با نسبت طول روز به شب ۱۴ به ۱۰ ساعت پرورش یافتند. از محلول غذایی هوگلند کامل به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر در هر گلدان و ۳ بار در هفته برای آبیاری و تغذیه بوته‌ها تا پایان آزمایش استفاده شد. قطر ذرات میکروسیلیسیم ($\text{Micro-SiO}_2$) و نانوسیلیسیم ($\text{Nano-SiO}_2$) به ترتیب معادل ۱۰–۰/۵ میکرومتر و ۲۰–۱۰ نانومتر بود که هر دو از شرکت Sigma-Aldrich تهیه گردیدند. به‌منظور پراکنده شدن ذرات و تهیه سوسپانسیون همگن و یکنواخت از میکرو و نانوسیلیسیم، سوسپانسیون اولیه این ترکیبات قبل از استفاده به‌مدت ۳۰ دقیقه داخل دستگاه هموژنایزر اولتراسونیک (باندلین، یووی ۳۱۰۰) قرار داده شد تا سوسپانسیون یکنواختی از آن‌ها به دست آمد که بلافاصله برای اعمال تیمارها استفاده شدند.

**طرح آزمایشی، اعمال تیمارها و نمونه‌برداری:** این مطالعه به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل دارای ۳ عامل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در هر تکرار با ۴ گیاه اجرا گردید. عامل اول نوع دی‌اکسیدسیلیسیم در ۲ مقیاس میکرو و نانو به شرحی که قبلاً گفته شد، عامل دوم غلظت دی‌اکسیدسیلیسیم در ۴ سطح شامل ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و عامل سوم روش کاربرد در ۲ سطح شامل محلول‌پاشی برگی و تغذیه ریشه‌ای بود. دو تیمار شاهد (محلول‌پاشی برگی آب مقطر و تغذیه ریشه‌ای فاقد سیلیسیم) نیز برای مقایسه با سایر تیمارها در نظر گرفته شدند. در مجموع ۱۸ ترکیب تیماری با احتساب شاهد به کار رفت که هر ترکیب تیماری در سه تکرار و در هر تکرار ۴ گلدان (برای هر تیمار ۱۲ گیاه) بود. با این احتساب تعداد کل گیاهان ۲۱۶ عدد گیاه بود که هر کدام در یک گلدان مستقر شد. اعمال تیمارها در دو مرحله صورت گرفت. مرحله اول در زمان ۵-۴ برگی و مرحله دوم دو هفته پس از پایان اعمال تیمار مرحله اول بود. هر کدام از مراحل اعمال تیمار یک هفته طول می‌کشید، بدین‌ترتیب که در طول یک هفته سه مرتبه تیمارها با فاصله یک روز در میان به صورت محلول‌پاشی برگی و یا تغذیه ریشه‌ای تکرار شدند. در مجموع برای هر تیمار در دو مرحله ۶ مرتبه اعمال تیمار به‌صورت محلول‌پاشی برگی و یا تغذیه ریشه‌ای صورت گرفت. بعد از رشد و نمو

و باردهی گیاهان، میوه‌های حاصله در مرحله رسیدگی کامل از هر تیمار برداشت و برای سنجش صفات بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند.

**سنجش فسفر، پتاسیم، منیزیم و آهن:** به‌منظور اندازه‌گیری میزان عناصر فوق ابتدا هضم تر نمونه‌های میوه و عصاره‌گیری از آن‌ها با استفاده از اسیدنیتریک غلیظ و پراکسیدهیدروژن صورت گرفت (۱). سپس میزان فسفر در نمونه‌های گیاهی به روش تشکیل کمپلکس فسفوواناداومولیبدات در طول موج ۴۳۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (واریان، کری ۱۰۰)، پتاسیم به روش نشر شعله‌ای با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (۴۰۵ جی) و منیزیم و آهن با استفاده از دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی (واریان، اسپکترا ۲۲۰) اندازه‌گیری شدند.

**سنجش نیترات:** نیترات موجود در میوه به روش کالریمتری با استفاده از اسیدسالیسیلیک اندازه‌گیری شد (۲). نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب شدند. سپس از هر نمونه مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ میلی‌گرم توزین و مقدار ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه و به‌مدت ۱ ساعت در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه و پس از آن به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. مقدار ۰/۲ میلی‌لیتر از محلول رویی به لوله‌های آزمایشی منتقل گردید و با ۰/۸ میلی‌لیتر محلول اسیدسالیسیلیک ۵ درصد (w/v) در اسیدسولفوریک غلیظ مخلوط و بعد از نگهداری به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق، ۱۹ میلی‌لیتر هیدروکسیدسدیم ۲ نرمال به هرکدام از نمونه‌ها اضافه و سپس میزان جذب در طول موج ۴۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (واریان، کری ۱۰۰) قرائت گردید. آنگاه مقدار نیترات با کمک منحنی استاندارد گزارش گردید.

**سنجش کربوهیدرات‌های محلول کل:** بدین‌منظور، عصاره الکلی ۰/۵ گرم از میوه تازه با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد و ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد استخراج شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره الکلی با ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون مخلوط و به‌مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از خارج نمودن و خنک کردن نمونه‌ها، میزان جذب نور با اسپکتروفتومتر (واریان، مدل کری ۱۰۰) در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت گردید. از غلظت‌های مختلف گلوکز نیز به‌عنوان محلول‌های استاندارد استفاده شد (۲۳).

**سنجش ویتامین ث:** برای اندازه‌گیری ویتامین ث از روش تیتراسیون آب میوه با دی‌کلروفنل‌ایندول‌فنل (DCIP) استفاده شد (۱۲).

**سنجش درصد مواد جامد محلول (TSS%):** از دستگاه رفراکتومتر دستی (آتاگو، ان۱) استفاده شد.

**سنجش اسیدیته قابل تیتراسیون (TA):** بدین‌منظور، از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۱ استفاده شد و بر اساس مقدار سود مصرفی، اسیدیته میوه گزارش گردید (۱۲).

**تجزیه و تحلیل آماری:** داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل آماری شدند. و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

## نتایج و بحث

**فسفر:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها برای این عنصر در جدول ۱ نشان داده شد. با مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۲) مشخص گردید که محلول‌پاشی غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم باعث افزایش جزئی و غیرمعنی‌دار فسفر نسبت به شاهد شد. بیشترین مقدار فسفر در تیمار محلول‌پاشی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم و کمترین مقدار در تیمارهای محلول‌پاشی ۸۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم و تغذیه ریشه‌ای ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم مشاهده گردید که این اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار به لحاظ آماری معنی‌دار بود. اعمال سیلیسیم در غلظت‌های بالا (۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر میکرو و نانو) باعث کاهش فسفر میوه نسبت به غلظت‌های پایین‌تر و تیمار شاهد گردید. در مجموع به لحاظ فسفر میوه اعمال غلظت‌های بالای سیلیسیم توصیه نمی‌شود. میاکی و تاکاهاشی (۱۹۸۶) گزارش دادند که اعمال سیلیسیم باعث کاهش جذب فسفر در طوقه و برگ توت‌فرنگی نسبت به شاهد شد (۲۱). مقادیر کافی فسفر توسط میوه از شیره خام جذب می‌گردد (۱۱) و به احتمال زیاد کاهش میزان فسفر میوه در این آزمایش با اعمال سیلیسیم به‌دلیل کاهش جذب فسفر توسط گیاه از محیط کشت و به دنبال آن کاهش میزان فسفر در شیره خام می‌باشد.

**پتاسیم:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) حاکی از آن بود که اثرات جداگانه و متقابل تمامی عوامل مورد بررسی در سطح ۱ درصد بر میزان پتاسیم میوه معنی‌دار گردید. بیشترین میزان پتاسیم میوه در تیمار تغذیه ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به‌دست آمد که اختلاف آن با تمامی دیگر تیمارها و شاهد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). پتاسیم یکی از عناصر غذایی اصلی در گیاه و فراوان‌ترین کاتیون موجود در سیتوپلاسم می‌باشد. در مجموع به لحاظ پتاسیم میوه نانوسیلیسیم نسبت به میکروسیلیسیم نتایج بهتر و با اثر معنی‌داری داشته است. نتایج این آزمایش مطابق با نتایج پیوست و همکاران (۲۰۰۸) می‌باشد که در نتایج آن‌ها کاربرد سیلیسیم همسو با افزایش محتوای پتاسیم در کاهو بود (۲۵). جذب و انتقال پتاسیم یک انتقال فعال است که در ارتباط با پمپ ATP-driven $H^+$

در غشای پلاسمایی می‌باشد. نتایج تحقیقات نشان داده است که ارتباط نزدیکی بین سیالیت غشا و فعالیت $H^+$-ATPas غشای سلولی وجود دارد و سیلیسیم باعث افزایش سیالیت غشا شده در نتیجه فعالیت $H^+$-ATPase افزایش می‌یابد که این اثر به احتمال زیاد به‌صورت غیرمستقیم یا ثانویه است (۱۶). لیانگ (۱۹۹۹) بیان کرد که به احتمال زیاد افزایش فعالیت پمپ $H^+$-ATPase در اثر کاربرد سیلیسیم باعث افزایش جذب پتاسیم می‌شود (۱۷). با افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه، میزان بیشتری از این عنصر می‌تواند در اختیار میوه قرار بگیرد و به آن وارد شود.

**جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت و روش کاربرد و نوع سیلیسیم بر برخی از عناصر غذایی در میوه توت‌فرنگی.**

Table 1. Analysis of variance of the effect of concentration and application method and silicon type on some nutrient elements in strawberry fruit.

| منابع تغییرات<br>S.O.V | درجه آزادی<br>df | میانگین مربعات (Mean Squares)<br>فسفر<br>P | <br>پتاسیم<br>K | <br>منیزیم<br>Mg | <br>آهن<br>Fe | <br>نیترات<br>Nitrate |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سیلیسیم<br>Silicon | 1 | 0.653$^{**}$ | 4.800$^{**}$ | 0.459$^{**}$ | 242.775$^{*}$ | 0.03058$^{ns}$ |
| غلظت<br>Concentration | 3 | 1.717$^{**}$ | 42.416$^{**}$ | 0.126$^{**}$ | 887.950$^{**}$ | 0.00704$^{ns}$ |
| سیلیسیم×غلظت<br>Silicon×Concentration | 3 | 0.255$^{*}$ | 60.445$^{**}$ | 0.034$^{**}$ | 1286.869$^{**}$ | 0.03196$^{*}$ |
| روش کاربرد<br>Application method | 1 | 0.003$^{ns}$ | 6.912$^{**}$ | 0.0002$^{ns}$ | 64.893$^{ns}$ | 0.00213$^{ns}$ |
| سیلیسیم×روش کاربرد<br>Silicon×Application method | 1 | 0.270$^{ns}$ | 7.702$^{**}$ | 0.0097$^{ns}$ | 0.0025$^{ns}$ | 0.00008$^{ns}$ |
| غلظت×روش کاربرد<br>Concentration×Application method | 3 | 0.018$^{ns}$ | 18.690$^{**}$ | 0.0062$^{ns}$ | 49.774$^{ns}$ | 0.00066$^{ns}$ |
| سیلیسیم×غلظت×روش کاربرد<br>Silicon×Concentration×Application method | 3 | 0.196$^{*}$ | 7.986$^{**}$ | 45.0198$^{*}$ | 198.296$^{*}$ | 0.00086$^{ns}$ |
| خطا<br>Error | 32 | 0.071 | 0.592 | 0.0055 | 61.201 | 0.01020 |
| ضریب تغییرات (درصد)<br>CV% | - | 11.47 | 5.43 | 5.60 | 12.28 | 7.68 |

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

**, * and ns are significant at the 1% and 5% level and non-significant respectively.

**منیزیم:** در خصوص مقدار منیزیم میوه، نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثرات نوع سیلیسیم، غلظت و اثر متقابل سه‌گانه عوامل مورد بررسی معنی‌دار شد. سیلیسیم به‌خصوص در غلظت‌هایی در محدوده ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به سایر تیمارها تأثیر بهتری روی منیزیم میوه

داشت، به گونه‌ای که بیشترین مقدار منیزیم میوه در تیمار تغذیه ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد و اکثریت دیگر تیمارها داشته است (جدول ۲). در هر دوی میکرو و نانوسیلیسیم با افزایش غلظت از ۶۰ به ۸۰ میلی‌گرم در لیتر میزان منیزیم میوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و این نشانگر این است که سیلیسیم تا یک غلظت معینی باعث افزایش میزان منیزیم میوه خواهد شد. در این راستا پیوست و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کاربرد سیلیسیم، افزایش منیزیم در کاهو را به دنبال داشت که نتایج این آزمایش با یافته‌های آن‌ها مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد مقدار جذب منیزیم به عوامل ژنی مربوط باشد (۲۵). سان و همکاران (۲۸) نشان دادند که تغذیه بهینه سیلیسیم سبب افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌شود که در نهایت سطح کل جذب‌کننده عناصر افزایش می‌یابد که شاید یکی از دلایل افزایش جذب منیزیم در نتیجه کاربرد سیلیسیم نیز به این مسئله برگردد.

**جدول ۲- اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر میزان (میلی‌گرم در گرم وزن خشک میوه) فسفر، پتاسیم و منیزیم.**

Table 2. Interaction effect of silicon, concentration and application method on amount (mg gr$^{-1}$ DW) of phosphorus, potassium and magnesium.

| تیمار Treatment | mg L$^{-1}$ | فسفر P | | پتاسیم K | | منیزیم Mg | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | محلول‌پاشی برگی Foliar Spray | تغذیه ریشه‌ای (oot Feed | محلول‌پاشی برگی Foliar Spray | تغذیه ریشه‌ای (oot Feed | محلول‌پاشی برگی Foliar Spray | تغذیه ریشه‌ای Root Feed |
| شاهد | 0 | 2.80ad | 2.86abc | 10.58ijk | 11.93he | 1.295dg | 1.288dg |
| Control | 20 | 2.93ab | 2.73ad | 14.29ef | 12.77g | 1.272dg | 1.301def |
| | 40 | 3.00a | 2.80ad | 16.31cd | 14.29ef | 1.159gh | 1.218eh |
| میکروسیلیسیم | 60 | 2.40cf | 2.00efg | 12.60g | 17.32bc | 1.335de | 1.289dg |
| Micro-Si | 80 | 1.73g | 2.00efg | 12.26gh | 10.91hij | 1.117h | 1.169fgh |
| | 20 | 2.33def | 2.66ad | 12.94fg | 10.41jk | 1.413cd | 1.304def |
| نانوسیلیسیم | 40 | 2.13efg | 2.46be | 9.40k | 12.43g | 1.532bc | 1.376d |
| Nano-Si | 60 | 2.13efg | 2.33def | 16.99bc | 20.36a | 1.559ab | 1.673a |
| | 80 | 1.93fg | 1.73g | 15.47de | 17.83b | 1.275dg | 1.293dg |

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

*Means with the same letters in each column are not significantly different at the %5 level.

**آهن:** در این پژوهش آهن میوه با اعمال تیمار سیلیسیم روندی افزایشی نشان داد، به‌گونه‌ای که مقدار آهن در تیمار تغذیه ریشه‌ای ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم بیشترین مقدار بود که اختلاف آن با شاهد و اکثر دیگر تیمارها معنی‌دار بوده است (شکل ۱). کمترین میزان آهن میوه در تیمار تغذیه

ریشه‌ای ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم مشاهده گردید (شکل ۱). گوتاردی و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعه اثر سیلیکون بر ذرت کشت‌شده در محیط هیدروپونیک، افزایش آهن در نتیجه کاربرد سیلیسیم را گزارش کردند و با بررسی بیان ژن، به‌این نتیجه رسیدند که جذب بالای آهن در گیاهان تیمارشده با سیلیسیم مربوط به افزایش فعالیت و فراوانی رونوشت ژن FRO (Fe(III)-chelate reductase) در ریشه می‌باشد (۹). در این راستا پاولویک و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که افزودن سیلیسیم به محلول غذایی خیار باعث افزایش جذب آهن توسط تنظیم سطوح بیان ژن و افزایش میزان تحرک آهن گردید (۲۴) که شاید افزایش میزان جذب آهن در میوه توت‌فرنگی نیز تحت تأثیر بیان ژن‌های خاصی باشد که در این امر دخیل هستند.

**نیترات:** در خصوص میزان نیترات میوه، مشاهده شد. هرچند که اعمال ترکیب‌های تیماری و کاربرد سیلیسیم در حد کمی باعث افزایش نیترات میوه شد، ولی در مجموع به لحاظ آماری بین تیمارها تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۱). بالا بودن غلظت نیترات در محصولات کشاورزی می‌تواند منجر به ایجاد مسمومیت‌های شدید، تولید بیماری کم‌خونی در کودکان و نیز تولید نیتروزآمین که یک ماده سرطان‌زاست در بزرگسالان شود (۵). در خصوص میزان نیترات میوه بین تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. در همین راستا پیوست و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کاربرد سیلیسیم بر روی محتوای نیترات کاهو تأثیر معنی‌داری نداشت (۲۵) که نتایج این آزمایش با یافته‌های آن‌ها مطابقت دارد.

**کربوهیدرات محلول کل:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) حاکی از آن بود که اثرات نوع سیلیسیم و غلظت و اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر میزان کربوهیدرات در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید. کربوهیدرات میوه که شامل قندهای مختلفی همچون گلوکز و فروکتوز می‌باشد و ارزش غذایی بالا دارد تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت و تقریباً یک روند افزایشی نسبت به شاهد تا غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر داشت و پس از آن در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر در مورد میکرو و نانوسیلیسیم نسبت به غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر کمتر شد (شکل ۲). در این مورد نانوسیلیسیم به‌خصوص در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد و میکروسیلیسیم بهتر عمل کرد. در خصوص میزان کربوهیدرات، نتایج این آزمایش با نتایج لی و همکاران (۲۰۰۲) که بیان داشتند اعمال سیلسیم باعث افزایش میزان کربوهیدرات میوه در گوجه‌فرنگی شد مطابقت دارد (۱۵). افزایش کربوهیدرات‌ها به افزایش رشد گیاه در حضور سیلیسیم برمی‌گردد که در این‌خصوص سیلیسیم باعث بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌گردد که نتیجه آن تولید

کربوهیدرات بیشتر در گیاه و در نتیجه افزایش منابع کربوهیدراتی در دسترس میوه برای رشد و نمو می‌شود (۲۲). افزایش مقدار پتاسیم که به دنبال اعمال سیلیسیم مشاهده گردید نیز در این امر دخیل است. وقتی غلظت پتاسیم بیشتر شود منجر به بهبود فتوسنتز گیاه و در نتیجه افزایش میزان کربوهیدارت‌ها می‌شود. بین مقدار پتاسیم بافت‌ها و میزان کربوهیدرات آن‌ها رابطه مستقیم وجود دارد (۱۱). در این آزمایش نیز با اعمال تیمار سیلیسیم افزایش در میزان غلظت پتاسیم و نیز میزان کربوهیدرات‌ها مشاهده گردید. عامل دیگر افزایش کربوهیدرات‌ها با اعمال سیلیسیم در این آزمایش می‌تواند به افزایش جذب منیزیم توسط گیاه در نتیجه اعمال سیلیسیم برگردد، چون تجزیه نشاسته و تشکیل قند (ساکارز) و بارگیری آوند آبکش نیاز به انرژی و فعالیت ATPase دارد که همه این‌ها بستگی به وجود منیزیم داشته که توزیع مواد فتوسنتزی در میوه به میزان آن بستگی دارد (۷).

**ویتامین ث:** اثرات جداگانه و متقابل فاکتورها به غیر از اثر متقابل سیلیسیم و روش کاربرد بر میزان ویتامین ث میوه معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین مقدار ویتامین ث در تیمارهای تغذیه ریشه‌ای نانوسیلیسیم در غلظت‌های ۶۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که اختلاف بین این دو تیمار غیرمعنی‌دار ولی نسبت به تمامی دیگر تیمارها و شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۴). ویتامین ث یک شاخص تجاری برای تعریف ارزش غذایی میوه‌ها و سبزیجات است. عقیده بر این است که ویتامین ث به عنوان یک حد واسط در بیوسنتز و متابولیسم برخی مواد که در سیستم ایمنی بدن دخالت دارند شرکت می‌کند (۸). در مجموع نانوسیلیسیم نسبت به میکروسیلیسیم و روش تغذیه ریشه‌ای نسبت به روش محلول‌پاشی برگی اثرات بهتری داشتند. غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به دیگر غلظت‌ها دارای مقدار بیشتر ویتامین ث بوده است. استاماتاکیس و همکاران (۲۰۰۳) افزایش معنی‌دار ویتامین ث را در میوه گوجه‌فرنگی و همچنین فاطمی و همکاران (۲۰۰۹) افزایش ویتامین ث را در میوه توت‌فرنگی در نتیجه کاربرد سیلیسیم گزارش کردند که نتایج این آزمایش با نتایج آن‌ها مطابقت دارد (۲۷ و ۶). علت افزایش ویتامین ث احتمالاً به‌دلیل افزایش کربوهیدرات‌ها در نتیجه کاربرد سیلیسیم می‌باشد که باعث بیشتر شدن ذخایر کربوهیدراتی و در نتیجه تشکیل بیشتر ویتامین ث می‌شود.

**جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت و روش کاربرد و نوع سیلیسیم بر تغییرات کربوهیدرات و ویژگی‌های کیفی آب میوه توت‌فرنگی.**

Table 3. Analysis of variance of the effect of concentration application method and silicon type on carbohydrate changes and quality characteristics of strawberry juice.

| منابع تغییرات (S.O.V) | درجه آزادی df | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | کربوهیدرات Carbohydrate | ویتامین ث Vitamin C | مواد جامد محلول TSS | اسیدیته قابل تیتراسیون TA |
| سیلیسیم Silicon | 1 | 19981.984$^{**}$ | 197.437$^{**}$ | 4.813$^{**}$ | 0.0123$^{*}$ |
| غلظت Concentration | 3 | 5150.519$^{**}$ | 22.861$^{*}$ | 7.549$^{**}$ | 0.0255$^{**}$ |
| سیلیسیم×غلظت Silicon×Concentration | 3 | 587.192$^{*}$ | 42.524$^{**}$ | 1.885$^{**}$ | 0.0148$^{**}$ |
| روش کاربرد Application method | 1 | 448.086$^{ns}$ | 41.347$^{*}$ | 0.0833$^{ns}$ | 0.0009$^{ns}$ |
| سیلیسیم×روش کاربرد Silicon×Application method | 1 | 308.557$^{ns}$ | 2.779$^{ns}$ | 0.367$^{ns}$ | 0.0004$^{ns}$ |
| غلظت×روش کاربرد Concentration×Application method | 3 | 38.232$^{ns}$ | 49.817$^{**}$ | 0.348$^{ns}$ | 0.0057$^{ns}$ |
| سیلیسیم×غلظت×روش کاربرد Silicon×Concentration×Application method | 3 | 1425.668$^{**}$ | 58.708$^{**}$ | 1.560$^{**}$ | 0.0064$^{*}$ |
| خطا Error | 32 | 160.278 | 7.467 | 0.232 | 0.0021 |

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

**, * and ns are significant at the 1% and 5% level and non-significant respectively.

**جدول ٤- اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر ویتامین ث، TSS و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی.**

Table 4. Interaction effect of silicon, concentration and application method on Vitamin C, TSS and TA of strawberry fruit.

| تیمار Treatment | mg $L^{-1}$ | ویتامین ث (Vitamin C) (mg $100gr^{-1}$ FW) | | TSS (%) | | TA (gr citric acid $100cc^{-1}$ juice) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | محلول‌پاشی برگی Foliar Spray | تغذیه ریشه‌ای Root Feed | محلول‌پاشی برگی Foliar Spray | تغذیه ریشه‌ای Root Feed | محلول‌پاشی برگی Foliar Spray | تغذیه ریشه‌ای Root Feed |
| شاهد Control | 0 | $26.40^{bc}$ | $28.05^{bc}$ | $5.76^{fg}$ | $5.23^{g}$ | $0.536^{cde}$ | $0.595^{bcd}$ |
| میکروسیلیسیم Micro-Si | 20 | $24.20^{cd}$ | $26.95^{bc}$ | $5.26^{g}$ | $6.73^{de}$ | $0.536^{cde}$ | $0.583^{bcde}$ |
| | 40 | $20.53^{d}$ | $23.46^{cd}$ | $6.80^{cde}$ | $6.23^{fe}$ | $0.665^{ab}$ | $0.683^{abc}$ |
| | 60 | $26.76^{bc}$ | $23.83^{cd}$ | $7.53^{abcd}$ | $7.70^{ab}$ | $0.571^{cde}$ | $0.595^{bcd}$ |
| | 80 | $20.90^{d}$ | $27.50^{bc}$ | $6.30^{fe}$ | $5.60^{fg}$ | $0.665^{ab}$ | $0.700^{a}$ |
| نانوسیلیسیم Nano-Si | 20 | $30.80^{bc}$ | $20.90^{d}$ | $7.70^{ab}$ | $7.06^{bcde}$ | $0.525^{de}$ | $0.571^{cde}$ |
| | 40 | $27.50^{bc}$ | $33.36^{a}$ | $7.60^{abc}$ | $7.86^{ab}$ | $0.501^{e}$ | $0.536^{cde}$ |
| | 60 | $28.60^{bc}$ | $33.73^{a}$ | $8.20^{a}$ | $7.40^{abcd}$ | $0.688^{a}$ | $0.571^{cde}$ |
| | 80 | $23.65^{cd}$ | $28.05^{bc}$ | $5.63^{fg}$ | $5.76^{fg}$ | $0.618a^{bc}$ | $0.665^{ab}$ |

*میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

*Means with the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level.

**مواد جامد محلول:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها برای میزان مواد جامد محلول در جدول ۳ ارائه گردید. اثرات جداگانه و اثر متقابل سه‌گانه عوامل بر میزان مواد جامد محلول معنی‌دار شد. مواد جامد محلول تا غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر در هر دوی میکرو و نانوسیلیسیم روند افزایشی داشت ولی در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر شروع به کاهش کرد (جدول ۴). به‌طور کلی درمورد این صفت غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم بهترین نتیجه را داشت. بین روش کاربرد محلول‌پاشی برگی و تغذیه ریشه‌ای تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. فاطمی و همکاران (۲۰۰۹) افزایش مواد جامد محلول را در نتیجه کاربرد سیلیسیم در میوه توت‌فرنگی مشاهده کردند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (۶). استاماتاکیس و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیان کردند که افزودن سیلیسیم به محلول غذایی گیاه باعث افزایش معنی‌دار مواد جامد محلول در میوه گوجه‌فرنگی شد (۲۷). نتایج این آزمایش و مطالعات ذکرشده در خصوص میزان مواد جامد محلول میوه در یک راستا هستند.

**اسیدیته قابل تیتراسیون:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر سیلیسیم و اثر متقابل سه‌گانه عوامل مورد بررسی بر میزان اسیدیته آب میوه معنی‌دار بوده است. اسیدیته در تیمار تغذیه ریشه‌ای ۸۰ میلی‌گرم در لیتر میکروسیلیسیم و به دنبال آن تیمار محلول‌پاشی برگی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم بیشترین مقدار را داشته است که اختلاف آنان با یکدیگر غیرمعنی‌دار ولی نسبت به شاهد و اکثر دیگر تیمارها بیشتر و معنی‌دار بود (جدول ۴). مطالعات مختلفی افزایش اسیدیته در نتیجه اعمال سیلیسیم را گزارش کردند. به‌عنوان مثال وانگ و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که کاربرد سیلیکات‌پتاسیم و سدیم سبب افزایش اسیدسیتریک و اسیدمالیک در توت‌فرنگی شد (۳۱). در گزارش فاطمی و همکاران (۲۰۰۹) نیز کاربرد سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار اسیدیته آب میوه توت‌فرنگی شد (۶) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. افزایش اسیدهای آلی در این‌خصوص را می‌توان به افزایش جذب پتاسیم در نتیجه کاربرد سیلیسیم دانست. پتاسیم در تثبیت موازنه یون‌های غیرمتحرک در سیتوپلاسم و یون‌های متحرک در واکوئل و تغییر در آوند چوب و آبکش نقش عمده‌ای دارد (۲۰). تجمع اسیدهای آلی در سلول غالباً نتیجه انتقال یون پتاسیم بدون همراهی آنیون‌ها به درون سیتوپلاسیم سلول است. برای ایجاد تعادل در یون پتاسیم نیاز به سنتز اسیدهای آلی در سلول می‌باشد، از این‌رو چنانچه میزان جذب پتاسیم زیاد شود، برای حفظ تعادل، سنتز اسیدها در گیاه ضرورت دارد (۷). در مجموع نانوسیلیسیم نسبت به میکروسیلیسیم در اکثر صفات مورد بررسی بهتر عمل کرده است. هر گیاهی جهت تولید میوه بیشتر و با کیفیت و ارزش غذایی بالا نیازمند جذب بهینه و کافی آب و عناصر غذایی توسط ریشه‌ها می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که این نانوذرات با داشتن اندازه کوچک‌تر و تأثیرگذاری و نفوذپذیری بیشتر، با افزایش توانایی گیاه در جذب آب، قدرت سیستم ریشه را در جذب آب و مواد غذایی بالا می‌برد، کما این‌که این پدیده در مورد نانوذراتی دیگر همچون تیتانیوم بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی گزارش گردید (۱۲).

## نتیجه‌گیری کلی

سیلیسیم دارای اثرات مشهودی بر ویژگی‌های مرتبط با عناصر غذایی و کیفیت میوه توت‌فرنگی می‌باشد. اعمال سیلیسیم و تأثیر آن بر کیفیت و ارزش غذایی میوه توت‌فرنگی، به فرم سیلسیم، غلظت و روش کاربرد آن بستگی دارد. در مجموع درخصوص تولید گلخانه‌ای توت‌فرنگی و کشت آن در

محیط کشت بدون خاک، با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم را با روش تغذیه ریشه‌ای پیشنهاد نمود.

## منابع

1.Abdel-Shafy, H., Hegemann, W., and Teiner, A. 1994. Accumulation of metals by vascular plants. Environ. Manage. Health. 5: 21-24.

2.Cataldo, D.A., Maroon, M., Schrader, L.E., and Youngs, V.L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Commun. Soil. Sci. Plant. Anal. 6: 71-80.

3.Corrales, I., Poschenrieder, C., and Barcello, J. 1997. Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. Plant. Soil. 199: 203- 209.

4.Eshghi, S., Hashemi, M., Mohammadi, A., Badie, F., Mohammad hosseini, Z., Ahmadi, S.K., and Ghanati, K. 2013. Effect of nano-emulsion coating containing chitosan on storability and qualitative characteristics of strawberries after picking. Iran. J. Nut Sci Food Technol. 8: 9-19. (In Persian)

5.Fallah, M., Peyvast, Gh.A., Olfati, J.A., and Sammak, B. 2014. Effects of chemical and organic fertilizers on yield and nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.). J. Plant Prod. Res. 21(1): 49-68. (In Persian)

6.Fatemi, L.S., Tabatabaei, S.J., and Fallahi, E. 2009. The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. J. Hort Sci. 23(1): 88-95. (In Persian)

7.Gholami, M., and Kimiayitalab, M. 2006. Physiology of temperate zone fruit trees. Bu-Ali Sina Univ. Press. 486p. (Translated in Persian)

8.Ghasemnezhad, A., Ghasemi, Y., Hemati, Kh., Ebrahimzadeh, M.A., and Ghasemi, K. 2012. Effect of type of rootstock and fruit tissue on some chemical properties of page mandarin and thampson novel orange. J. Plant. Prod. 19(3): 43-54. (In Persian)

9.Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Romheld, V., Mimmoe, T., Scampicchio, M., Costa, L.D., and Cesco, S. 2014. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* L.) plants. Plant Physiol. Biochem. 56: 14-23.

10.Haghighi, M., and Pessarakli, M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Sci. Hort. 161: 111–117.

11.Hansen, P. 1980. In: Atkinson, D., Jackson, J.E., Sharples, R.O., and Waller, W.M. Mineral nutrition of fruit trees. London. Butterworths. Pp: 201-212.

12.Hashemi-dehkourdi, E. 2013. Effect of nanoparticles of anatase ($TiO_2$) on the some of characteristics quantity and quality of fruit of strawberry in hydroponic

condition. M.Sc. Thesis in Horticultural Sciences, Shahid Chamran Univ. Ahwaz. 117p. (In Persian)

13.Jianfeng, M., Kazuo, N., and Eiichi, T. 1989. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. Soil Sci. Plant Nut. 35(3): 347-356.

14.Khayam-nakoyi, S.M., Sharif-nasab, H., Ahmadi-somee, K., Davoudi, D., Sahebi, A., Gholampour, Kh., and Moazen-khoshelham, Kh. 2011. Agronano in Islamic Republic of Iran: past, now, future. Mahsima Press. 10-17. (In Persian)

15.Lee, W., Kim, Y.C., Kim, K.Y., Yun, H.K., and Seo, T.C. 2002. Influence of silicate application on the sucrose synthetic enzyme activity of tomato in perlite media culture. Acta Hort. 633: 259-262.

16.Leidi, E.O., Silberbush, M., and Lips, S.H. 1991. Wheat growth as affected by nitrogen type, pH and salinity. II. photosynthesis and transpiration. J. Plant Nut. 14: 247– 256.

17.Liang, Y.C. 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant. Soil. 29: 217–224.

18.Mali, M., and Arey, N.C. 2008. Silicon effects on nodule growth, dry matter production and mineral nutrition of cowpea (*vigna unguiculata*). J. Plant Nut. Soil Sci. 171: 835-840.

19.Mashayekhi, K., and Atashi, S. 2012. Effect of foliar application of boron and sucrose on biochemical parameters of “Camarosa” strawberry. J. Plant Prod. 19(4): 157-172. (In Persian)

20.Marschner, H. 1986. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press, New York. 889p.

21.Miyake, Y., and Takahashi, E. 1986. Effect of Silicon on the Growth and Fruit production of strawberry plants in a solution culture. Soil Sci. Plant Nut. 32: 321-326.

22.Mohaghegh, P., Shirvani, M., and Ghasemi, S. 2010. Effect of silicon application on growth and yield of two cultivars of cucumber in hydroponic system. Technol Sci. Greenhouse Prod. 1(1): 35-39. (In Persian)

23.Paquin, R., and Lechasseur, P. 1979. Observation sur une method de dosage de la praline liber danles extraits de plants. Canad. J. Bot. 57: 1851-1854.

24.Pavlovic, J., Samardzic, J., Maksimovic, V., Timotijevic, J., Stevic, N., Laursen, K.H., Hansen, T.H., Husted, S., Schjoerring, J.K., Liang, Y., and Nikolic, M. 2013. Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. New Phytol. 198(4): 1096–1107.

25.Peyvast, Gh., Zaree, M.R., and Samizadeh, H. 2008. Effect of silicon on nutrition element and nitrate amount in lettuce. Iran. J. Hort Sci. 39(1): 1-8. (In Persian)

26.Ranjbar, R., Eshghi, S., and Rostami, S. 2011. Effect of nickel sulphate and urea foliar application on reproductive growth and qualitative and quantitative traits of strawberry fruit Pajaro cultivar. Technol Sci. Greenhouse Prod. 2(7): 41-48. (In Persian)

27.Stamatakis, A., Papadantonakis, A., Lydakis-Simantiris, N., Kefalas, P., Savvas, D., and Epirus, T.E.I. 2003. Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. Acta Hort. 141-147.

28.Sun, C.W., Liang, Y.C., and Romheld, V. 2005. Effects of foliar- and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildow in *cucumis sativus*. J. Plant Pathol. 54: 678-685.

29.Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Prabu, P., Rajendran, V., and Kannan, N. 2012. Growth and physiological responses of maize (*Zea mays* L.) to porous silica nanoparticles in soil. J. Nanopart Res. 14: 1294.

30.Talgar, S., Gu, J.X., Xu, C.S., Yang, Z., Zhao, Q., Liu, Y.X., and Liu, Y.C. 2011. Phytotoxic and genotoxic effects of ZnO nanoparticles on garlic (*Allium sativum* L.): A morphological study. Nanotox. 1: 1-8.

31.Wang, S.Y., and Galletta, G.J. 1998. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. J. Plant Nut. 21(1): 157-167.

32.Wang, S.Y., and Galletta, G.J. 1996. Effect of silicon on strawberry Plants. Hort Sci. 31(4): 675-675.

33.Yao-jing, W., Ming-da, L., and Dong, L. 2009. Effects of silicon enrichment on photosynthetic characteristics and yield of Strawberry. China Acad J. Elec Pub Hou. 12: 92-93.