

## نقش سیلیسیم روی برخی خصوصیات گلدهی و میوه‌دهی توت‌فرنگی در دوره دوم زایشی در شرایط گلخانه

رحمان یوسفی<sup>۱\*</sup> و محمود اثنی‌عشری<sup>۲</sup>

۱- دانش‌آموخته دکتری دانشگاه بوعلی سینا همدان و عضو هیئت علمی پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۲- عضو هیئت علمی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

\* رایانامه نویسنده‌ی مسئول: [r.yousefi66@areeo.ac.ir](mailto:r.yousefi66@areeo.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۸

تاریخ دریافت: ۹۸/۱/۲۳

### چکیده

توت‌فرنگی یکی از مهم‌ترین محصولات گلخانه‌ای با ارزش غذایی و تجاری بالا در سرتاسر جهان است. کوددهی با عنصر سیلیسیم نقش بسیار مهمی در افزایش گلدهی، عملکرد و تحمل گیاهان به شرایط نامساعد محیطی دارد و اثرات آن در گیاهان مختلف به اثبات رسیده است. این پژوهش به منظور بررسی اثر منابع مختلف سیلیسیم بر عملکرد و برخی خصوصیات کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی در دوره دوم زایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. میکرو و نانوذرات سیلیسیم در غلظت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر با دو روش محلول-پاشی برگ و محلول‌دهی ریشه‌ای در دو مرحله مجزا روی گیاهان اعمال شد. نتایج نشان داد که کاربرد سیلیسیم باعث بهبود درصد تشکیل میوه، عملکرد و کیفیت میوه نسبت به گیاهانی که این عنصر را دریافت نکردند شده است. مشاهده شد که محلول‌دهی ریشه‌ای سیلیسیم در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین اثر را در بهبود تغذیه توت-فرنگی بر جای گذاشت و بر این اساس استفاده از کودهای سیلیسیمی در کشت توت‌فرنگی در شرایط کشت گلخانه-ای قابل توصیه است.

**واژه‌های کلیدی:** محلول‌دهی ریشه‌ای، محلول‌پاشی برگ، میکروذرات، نانوذرات

## مقدمه

## نقش سیلیسیم در رشد و نمو، عملکرد و کیفیت

## گیاهان

سیلیسیم یکی از عناصر غذایی مفید است که بر رشد و نمو گیاه تأثیر دارد و در بسیاری از تحقیقات انجام شده باعث بهبود رشد و نمو در تعدادی از گیاهان شده است (ما<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). گزارش شده است که تغذیه بهینه سیلیسیم سبب افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌شود که در نهایت افزایش جذب عناصر غذایی را به دنبال دارد (سان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که سیلیسیم اثرات مفیدی بر روی متابولیسم توت-فرنگی دارد. کاربرد سیلیسیم به صورت محلول‌پاشی روی شاخ و برگ توت‌فرنگی رشد گیاه را افزایش داده است (وانگ و گالتا<sup>۷</sup>، ۱۹۹۸). میاک و تاکاهاشی<sup>۸</sup> (۱۹۸۶) گزارش دادند که وزن خشک گیاه، تعداد کل میوه و عملکرد میوه توت‌فرنگی با کاربرد سیلیسیم افزایش یافت و بدین ترتیب اثر مفید آن بر روی رشد گیاه و تولید میوه نشان داده شده است. استفاده از سیلیسیم می‌تواند باعث افزایش تولید و کیفیت محصول، کاهش تبخیر و تعرق، افزایش مقاومت به تنش‌هایی مانند خشکی و سمیت فلزات سنگین و کاهش حساسیت به بعضی بیماری‌های قارچی در گیاهی همانند خیار شود (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۶). سادات خسروفرد و همکاران (۱۳۹۶) گزارش دادند که استفاده از سیلیسیم باعث کاهش اثرات تنش شوری در گیاهان توت‌فرنگی شد. یوسفی و اثنی‌عشری (۱۳۹۶) گزارش دادند که کاربرد سیلیسیم باعث

توت‌فرنگی در دهه‌های اخیر در زمره تولیدات مهم تجاری و اقتصادی قرار گرفته است (جلیلی‌مردی، ۱۳۸۶). یکی از عوامل مؤثر در رشد و عملکرد توت-فرنگی تغذیه بهینه آن با عناصر مختلف طی مراحل رشد و نمو آن است. سیلیسیم به عنوان دومین عنصر فراوان پوسته زمین (۳۱٪) بعد از اکسیژن (۴۹٪) است (اسپوسیتو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). مطالعات متعدد نشان داده است که این عنصر آثار مثبتی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (ما و تاکاهاشی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲؛ ما<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). 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 (تالگارو همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱). در تغذیه گیاهان توت‌فرنگی در گلخانه، سیلیسیم در محلول غذایی و تغذیه گیاه به کار گرفته نمی‌شود. لذا با توجه به اثرات مثبتی که این عنصر در رشد و عملکرد گیاهان بر جای می‌گذارد، هدف این پژوهش بررسی اثر عنصر سیلیسیم در دو اندازه میکرو و نانوذرات و به دو روش کاربرد محلول‌پاشی برگ‌گی و محلول‌دهی ریشه‌ای بر خصوصیات زایشی و گلدهی، عملکرد و خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی در دوره دوم زایشی بود.

<sup>5</sup> Ma et al.<sup>6</sup> Sun et al.<sup>7</sup> Wang and Galletta<sup>8</sup> Miyake and Takahashi<sup>1</sup> Sposito<sup>2</sup> Ma and Takahashi<sup>3</sup> Ma et al.<sup>4</sup> Talgar et al.

سیلیکاتی همچون سیلیکات سدیم و پتاسیم و منابع اکسیدی همچون اکسیدسیلیسیم و نیز دیگر منابع مانند اسیدسیلیسیک اشاره کرد. سایر ترکیبات تجاری که به عنوان منبع سیلیسیم استفاده می‌شوند عبارتند از: سیلیکات کلسیم آبدار، ژل سیلیسیم و ترموفسفات (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۹).

### نحوه اثر گذاری سیلیسیم بر رشد و نمو و عملکرد محصول

استفاده از سیلیسیم با اثر بر خصوصیات رشد و نمو گیاه و افزایش حاصل خیزی خاک و تولید ماده خشک (فاطمی و همکاران، ۱۳۸۸) و همچنین بهبود سوخت و ساز گیاه و تولید کربوهیدرات‌ها (مواد قندی) و افزایش بنیه گیاه باعث افزایش ویژگی‌های کمی و عملکرد می‌شود (دهقانی‌پوده و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین کاربرد سیلیسیم باعث تحریک تشکیل میوه و تسریع بلوغ میوه می‌شود (ماتیچنکو و بوچارنیکو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). بهبود صفات رشدی و افزایش جذب عناصر غذایی در اندام‌های هوایی و به دنبال آن افزایش میزان کلروفیل و تولید کربوهیدرات‌ها در گیاه توت-فرنگی در نتیجه کاربرد سیلیسیم از علل اصلی افزایش رشد و توسعه وزنی و حجمی میوه و در نهایت عملکرد کل آن می‌باشد.

### روش اجرای تحقیق

در این پژوهش غلظت‌های مختلف منابع سیلیسیم (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر) به دو صورت محلول پاشی برگ‌ی و محلول‌دهی ریشه‌ای روی گیاهان

افزایش غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و سیلیسیم اندام هوایی در گیاهان توت‌فرنگی می‌شود. افزایش تعداد میوه، وزن میوه و عملکرد توت‌فرنگی در نتیجه کاربرد سیلیسیم در مطالعات مختلف گزارش شده است (فاطمی و همکاران، ۱۳۸۸؛ دهقانی‌پوده و همکاران، ۱۳۹۰؛ میاک و تاکاهاشی، ۱۹۸۶). همچنین تغییرات تعداد گل و درصد تشکیل میوه توت‌فرنگی در نتیجه کاربرد سیلیسیم نیز در نتایج فاطمی و همکاران (۱۳۸۸) و دهقانی‌پوده و همکاران (۱۳۹۰) در توت‌فرنگی گزارش شده است.

### کودهای سیلیسیم‌دار

مصرف کودهای سیلیسیم‌دار سبب بهبود وضعیت آب در خاک، بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه شده و از این طریق حاصل خیزی خاک را افزایش می‌دهد (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۹). اگرچه سیلیسیم عنصری است که مقدار آن در خاک بسیار زیاد است، اما برای اینکه ترکیبی به عنوان کود استفاده شود باید حاوی غلظت به نسبت بالایی از این عنصر بوده و به اندازه کافی سیلیسیم محلول در اختیار گیاه قرار دهد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. علاوه بر این کود مورد استفاده باید از ویژگی‌های فیزیکی مناسبی برخوردار باشد و همچنین عاری از ترکیبات آلاینده باشد (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۹). نوع منبع سیلیسمی و روش کاربرد آن در تجمع سیلیسیم در بافت گونه‌های مختلف گیاهی به طرز بالایی اثر دارد (دشموخ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). از منابع سیلیسمی که در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان به منابع

<sup>2</sup> Matichenkov and Bocharnikova

<sup>1</sup> Deshmukh et al.

### نتایج کاربردی

نتایج این پژوهش در خصوص تأثیر سیلیسیم بر ویژگی‌های گل و میوه توت‌فرنگی رقم کاماروزا در دوره دوم زایشی نشان داد که کاربرد سیلیسیم باعث تغییرات بارزی در اکثر ویژگی‌های گل و میوه شد (جدول ۱ و ۲). کاربرد سیلیسیم بر وزن میوه اثر گذاشت، به گونه‌ای که وزن میوه از ۱۵/۸۴ و ۱۶/۴۹ گرم در گیاهانی که سیلیسیم به آن‌ها داده نشد به ۲۰/۴۱ و ۲۰/۳۶ گرم در گیاهانی که با مقادیر ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم، محلول‌دهی ریشه‌ای شدند افزایش یافت (جدول ۱). مشاهدات نشان داد که استفاده از سیلیسیم باعث بزرگتر شدن حجم میوه توت‌فرنگی شد (جدول ۱). در بین تمام استفاده‌ها از منابع سیلیسیم، بهترین غلظتی که باعث افزایش وزن و حجم میوه شد استفاده از ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به صورت محلول‌دهی ریشه‌ای در خاک بود. کاربرد سیلیسیم طول میوه را نیز افزایش داد، به نحوی که طول میوه از ۴/۰۴ و ۴/۰۸ سانتی‌متر در گیاهانی که سیلیسیم دریافت نکردند به ۵/۲۷ و ۵/۲۳ سانتی‌متر در گیاهانی که ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم را به صورت محلول‌دهی ریشه‌ای در خاک دریافت کردند، افزایش یافت (جدول ۱). به لحاظ قطر میوه، نسبت طول به قطر میوه و تعداد گل بین گیاهانی که سیلیسیم به آنان داده شد و گیاهانی که سیلیسیم داده نشد، تفاوتی مشاهده نگردید، هر چند که تعداد گل مقدار کمی افزایش پیدا کرد. تعداد میوه در گیاهانی که سیلیسیم دریافت کردند نسبت به آن‌هایی که دریافت نکردند افزایش یافت به طوری که تعداد میوه از ۱۴/۷۱ و ۱۴/۴۱ در گیاهانی که سیلیسیم به آنان داده نشد به ۱۸/۴۸ در گیاهانی که

توت‌فرنگی رقم کاماروزا که در کیسه‌های کشت پلاستیکی (با ابعاد ۴۰ سانتی‌متر ارتفاع و ۲۵ سانتی‌متر قطر دهانه) محتوی مخلوطی از کوکوپیت و پرلایت به نسبت حجمی ۱:۱ در گلخانه کاشته شده بودند (شکل ۱)، اعمال شد. در زمان گلدهی و میوه‌دهی (شکل ۲) برخی خصوصیات گلدهی و میوه شامل وزن میوه، حجم میوه، طول میوه، قطر میوه، نسبت طول به قطر میوه، تعداد گل، درصد تشکیل میوه و عملکرد و نیز برخی ویژگی‌های کیفی میوه شامل مواد جامد محلول میوه، ویتامین ث و کیفیت خوراکی میوه بر اساس ذائقه مصرف کننده اندازه‌گیری شدند تا اثر سیلیسیم روی آنان مشخص شود.



شکل ۱- نمایی از گیاهان توت‌فرنگی مستقر در محیط کشت کوکوپیت و پرلایت در گلخانه



شکل ۲- نمایی از مرحله میوه‌دهی گیاهان توت‌فرنگی

تغذیه بوته‌های توت‌فرنگی داشت و تعداد میوه و عملکرد را افزایش داد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم نسبت به بقیه غلظت‌ها اثرات بهتری نشان داد و می‌توان آن را به عنوان یک گزینه مطلوب برای تولید گلخانه‌ای توت‌فرنگی در نظر داشت.

### توصیه ترویجی

- استفاده از کودهای سیلیسیم‌دار در تولید گلخانه‌ای میوه توت‌فرنگی به منظور افزایش تولید و بهبود کیفیت میوه قابل توصیه است.

- کاربرد کود سیلیسیم با ذرات ریزتر (کودهای نانوسیلیسیم) به خاطر جذب بهتر و اثرگذاری بیشتر مناسبتر بوده و غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر آن توصیه می‌شود.

- کاربرد کود سیلیسیم به صورت خاکی به خاطر دسترسی راحت‌تر و سریع‌تر ریشه گیاه به کود و جذب و انتقال آن به کل گیاه مطلوب‌تر است.

نانوسیلیسیم به صورت محلول‌دهی ریشه‌ای به آنان داده شد، افزایش یافت (جدول ۲). همچنین با استفاده از سیلیسیم، درصد تشکیل میوه از ۸۶/۹۳ و ۸۶/۰۱ درصد در گیاهانی که سیلیسیم دریافت نکردند به ۹۷/۰۶ درصد در گیاهانی که ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیسیم به آنان داده شد، رسید (جدول ۲). کاربرد سیلیسیم همچنین باعث افزایش عملکرد میوه گردید. از آنجایی‌که عملکرد محصول وابسته به تعداد میوه و وزن آن می‌باشد، با افزایش تعداد و وزن میوه در نتیجه با استفاده از سیلیسیم، قاعدتاً عملکرد آن نیز افزایش پیدا کرد. کیفیت میوه نیز تحت تأثیر سیلیسیم قرار گرفت و مشخص شد که برخی صفات کیفی همچون میزان مواد جامد محلول و ویتامین ث میوه با کاربرد سیلیسیم افزایش یافتند (جدول ۳). آزمایش کیفیت خوراکی میوه از دیدگاه مصرف‌کننده نیز نشان داد که میوه‌هایی که از گیاهان دریافت‌کننده سیلیسیم به دست آمدند در مقایسه با میوه گیاهانی که سیلیسیم دریافت نکردند دارای مزه و عطر و طعم بهتری از دیدگاه مصرف‌کننده بودند (جدول ۳). در مجموع، کاربرد کود نانوذرات سیلیسیم به صورت محلول‌دهی ریشه‌ای در خاک، اثرات مثبت و خوبی بر

جدول ۱- اثر سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر وزن، حجم و طول میوه توت‌فرنگی در دوره دوم میوه‌دهی

تیما	غلظت (mg/l)	وزن میوه (گرم)		حجم میوه (سانتی‌متر مکعب)		طول میوه (سانتی‌متر)	
		محلول پاشی	محلول دهی	محلول پاشی	محلول دهی	محلول پاشی	محلول دهی
شاهد	۰	۱۵/۸۴	۱۶/۴۹	۱۶/۴۲	۱۷/۱۱	۴/۰۴	۴/۰۸
	۲۰	۱۶/۸۵	۱۵/۰۳	۱۷/۷۷	۱۵/۹۴	۴/۱۶	۳/۹۶
	۴۰	۱۷/۱۲	۱۵/۸۸	۱۸/۰۶	۱۶/۸۳	۴/۴۸	۴/۰۸
میکروسیلیسیم	۶۰	۱۸/۳۷	۱۹/۵۴	۱۹/۴۲	۲۱/۲۲	۴/۷۵	۵/۱۲
	۸۰	۱۷/۳۹	۱۸/۵۴	۱۹/۱۱	۱۹/۷۳	۴/۵۴	۵/۰۱
	۲۰	۱۶/۰۷	۱۷/۸۷	۱۶/۸۸	۱۸/۹۳	۴/۱۳	۴/۵۱
	۴۰	۱۸/۶۶	۲۰/۴۱	۱۹/۶۷	۲۲/۴۵	۴/۷۸	۵/۲۷
نانوسیلیسیم	۶۰	۱۸/۱۴	۲۰/۳۶	۱۹/۱۶	۲۲/۳۹	۴/۶۳	۵/۲۳
	۸۰	۱۸/۸۵	۱۷/۳۱	۱۹/۸۵	۱۸/۲۶	۵/۰۵	۴/۸۶

جدول ۲- اثر سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر تعداد میوه، درصد تشکیل میوه و عملکرد توت‌فرنگی در دوره

## دوم میوه‌دهی

تیما	غلظت (mg/l)	تعداد میوه		درصد تشکیل میوه		عملکرد (گرم میوه در بوته)	
		محلول پاشی	محلول دهی	محلول پاشی	محلول دهی	محلول پاشی	محلول دهی
شاهد	۰	۱۴/۷۱	۱۴/۴۱	۸۶/۹۳	۸۶/۰۱	۲۳۳/۱۷	۲۳۸/۲۴
	۲۰	۱۵/۱۲	۱۵/۶۴	۹۰/۸۲	۸۹/۵۳	۲۵۴/۱۱	۲۳۴/۸۷
	۴۰	۱۶/۵۷	۱۵/۴۲	۹۱/۱۴	۸۷/۴۰	۲۸۳/۹۲	۲۴۶/۱۰
میکروسیلیسیم	۶۰	۱۶/۸۶	۱۶/۵۶	۹۲/۸۷	۹۱/۲۸	۳۱۰/۳۷	۳۲۴/۷۸
	۸۰	۱۴/۸۴	۱۶/۰۴	۸۶/۸۱	۹۰/۳۷	۲۵۸/۲۱	۲۹۷/۷۴
	۲۰	۱۵/۲۸	۱۵/۸۶	۸۷/۷۷	۹۳/۴۳	۲۴۵/۵۷	۲۸۳/۶۸
	۴۰	۱۶/۰۶	۱۷/۵۲	۹۱/۰۹	۹۶/۱۲	۳۰۱/۰۶	۳۵۶/۵۲
نانوسیلیسیم	۶۰	۱۷/۰۹	۱۸/۴۸	۹۴/۹۹	۹۷/۰۶	۳۱۱/۱۰	۳۷۵/۷۹
	۸۰	۱۶/۶۳	۱۵/۷۹	۹۳/۳۰	۸۷/۵۹	۳۱۳/۵۱	۲۷۳/۱۴

جدول ۳- اثر سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی در دوره دوم میوه‌دهی

کیفیت خوراکی میوه	میزان ویتامین ث (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه)		مواد جامد محلول (درصد)		غلظت (mg/l)		تیمار
	محلول پاشی	محلول دهی	محلول پاشی	محلول دهی	محلول پاشی	محلول دهی	
	۱۳/۱۱	۱۲/۴۲	۲۶/۰۳	۲۴/۲۰	۶/۴۶	۶/۸۶	شاهد
	۱۲/۹۴	۱۴/۴۴	۲۶/۴۰	۲۵/۳۰	۶/۹۳	۶/۹۳	۲۰
	۱۳/۱۷	۱۵/۰۶	۲۵/۶۶	۲۷/۱۳	۷/۳۰	۷/۵۰	۴۰
	۱۶/۵۵	۱۵/۳۵	۲۵/۶۶	۲۷/۵۰	۸/۴۳	۷/۵۰	۶۰ میکروسیلیسیم
	۱۵/۷۳	۱۵/۱۱	۲۷/۵۰	۲۴/۵۶	۷/۹۶	۷/۶۳	۸۰
	۱۵/۲۶	۱۳/۸۸	۲۳/۴۶	۲۶/۷۶	۶/۷۳	۸/۰۶	۲۰
	۱۸/۴۵	۱۵/۶۷	۳۱/۹۰	۲۸/۹۶	۸/۴۶	۷/۴۶	۴۰
	۱۸/۰۶	۱۶/۱۶	۳۴/۸۳	۳۲/۶۳	۸/۰۳	۸/۲۳	۶۰ نانوسیلیسیم
	۱۵/۵۹	۱۵/۱۹	۲۶/۰۳	۲۷/۵۰	۷/۳۰	۷/۵۶	۸۰

## منابع

- جلیلی‌مرندی، ر. ۱۳۸۶. میوه‌های ریز. چاپ دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه. ۲۹۷ ص.
- خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶. مبانی تغذیه گیاهی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۵۴۰ ص.
- خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۹. مباحث پیشرفته در تغذیه گیاه. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۳۶۹ ص.
- دهقانی‌پوده، ص. ۱۳۹۱. اثر سیلیکات‌پتاسیم و نانوسیلیکون روی رشد و نمو توت‌فرنگی تحت شرایط تنش آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه باغبانی. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۸۴ ص.
- دهقانی‌پوده، ص.، قبادی، س.، بانی‌نسب، ب. و قیصری، م. ۱۳۹۰. تأثیر پتاسیم سیلیکات و نانوسیلیس بر عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی. هفتمین کنگره علوم باغبانی ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۸۴۴-۱۸۴۷.

سادات خسروفرد، ز.، عشقی، س.، راستگو، س. و هدایت، م. ۱۳۹۶. اثر کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگ‌ی سیلیسیم بر رشد توت‌فرنگی و جذب عنصرهای غذایی در تنش شوری در کشت بدون خاک. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۱۸ (۲): ۱۹۵-۲۰۸.

فاطمی، ل س.، طباطبایی، س ج. و فلاحی، ا. ۱۳۸۸. اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۳ (۱): ۸۸-۹۵.

یوسفی، ر. و اثنی‌عشری، م. ۱۳۹۶. تأثیر میکرو و نانوذرات سیلیسیم بر غلظت عناصر پرمصرف، کم‌مصرف و میزان سیلیسیم گیاه توت‌فرنگی در شرایط کشت بدون خاک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۸ (۱): ۷۰-۵۷.

**Deshmukh R.K., Ma J.F. and Bélanger, R.R. 2017.** Editorial: Role of Silicon in Plants. *Frontiers in Plant Science*. 8:1858. doi: 10.3389/fpls.2017.01858

**Ma, C. C., Li, Q. F., Gao, Y. B. and Xin, T. R. 2004.** Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50: 623-632.

**Ma, J. F. and Takahashi, E. 2002.** Soil Fertilizer and plant silicon research in japan. Elsevier. The Netherlands, 281pp.

**Ma, J. F., Goto, S., Tami, K. and Ichii, M. 2001.** Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. *Plant Physiology*, 127: 1773- 1780.

**Matichenkov, V. V. and Bocharnikova, E. A. 2008.** New generation of silicon fertilizers. pp. 71. In Malcolm Keeping (ed.) *Silicon in Agriculture Conference South Africa*, 4th International Conference Abstracts. University of Kwazulu-Natal, Wild Coast Sun, Port Edward, KwaZulu-Natal, South Africa.

**Miyake, Y. and 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.

**Sposito, G. 2008.** *The Chemistry of Soils*. Oxford university press. New York. 277 pp.

**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 mildew in *cucumis sativus*. *Journal of Plant Pathology*, 54: 678-685.

**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. *Nanotoxicology*, 1: 1-8.

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