

واکنش‌های رشد و فتوسنتزی داوودی به محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلسیم

هادی حاجی پور و زهره جبارزاده*

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۳۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴)

چکیده:

سیلیکون یک عنصر شیمیایی است که اثرات مثبت زیادی بر ویژگی‌های کمی و کیفی بسیاری از گونه‌های گیاهی از جمله گیاهان زینتی دارد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون بر ویژگی‌های رشدی و فتوسنتزی داوودی بود. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور نوع سیلیکات به دو صورت (سیلیکات سدیم و کلسیم) و غلظت سیلیکات در ۵ سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) در محیط کشت کوکوپیت - پرلیت (1:1 V/V) با ۳ تکرار و ۲ مشاهده انجام شد. شاخص‌هایی نظیر سطح برگ، تعداد برگ، دمای برگ، وزن تر و خشک برگ، شاخص کلروفیل، کلروفیل a و b، فتوستیز خالص، تعرق و هدایت روزنه‌ای اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد سیلیکات سدیم و کلسیم باعث کاهش دمای برگ و افزایش سایر شاخص‌های اندازه‌گیری شده نسبت به شاهد شدند. اثر سیلیکون در این شاخص‌ها ممکن است به دلیل اثر آن بر سیستم متابولیسم و فتوسنتزی گیاه نظیر اثر بر غلظت آنزیم رویسکو، افزایش انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به طرف مخزن، افزایش کارایی فتوسنتزی، تغییر توزیع مواد فتوسنتزی، کاهش مواد اکسیداتیو، افزایش ذخیره کربوهیدراتی و تغییر سطوح داخلی هورمون‌ها باشد.

کلمات کلیدی: داوودی، کوکوپیت: پرلیت، کلروفیل، فتوستیز، سطح برگ

مقدمه:

(Epstein, 1999). جذب Si در گیاهان به شکل اسید سیلیس محلول Si(OH)_4 است که در خاک در محدوده ۰/۱ تا ۰/۶ میلی مولار یافت می‌شود (Epstein, 1994). عامل دیگر حلالیت سیلیکون در خاک، pH محیط کشت است (Janislampi, 2012). سیلیکون به ویژه در کشت‌های گلخانه‌ای فاقد خاک که حاوی Si نیستند، مهم است. در گیاهان غلظت سیلیکون ۰/۱ تا ۱۰ درصد وزن خشک گیاه است. سیلیکون در بیشتر گیاهان در مقادیر کم یا زیاد جذب می‌شود (Epstein and Bloom, 2005). به طور کلی تک‌په‌ای‌ها سیلیکون بیشتری (۱۵-۱۰٪) در مقایسه با دو‌په‌ای‌ها (۵/۰ درصد یا کمتر) دارند (Hodson et al., 2005). به دلیل

داودی با نام علمی (*Dendranthema × grandiflorum*) به عنوان یکی از گیاهان مهم زینتی از تیره Asteraceae می‌باشد. موفقیت در کشت این گیاه به علت تنوع زیاد ارقام با رنگ‌ها و شکل‌های مختلف گل آذین می‌باشد (Barbosa, 2003). داوودی جزء مهم‌ترین گل‌های بریدنی دنیا است. این گیاه جزء یکی از پر فروش‌ترین گل‌های بریدنی، گیاهان گلخانه‌ای و گیاهان فضای سبز در سراسر جهان است (Song et al., 2011). سیلیکون یک عنصر شیمیایی است که کاربرد آن به طور گسترده در کشاورزی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. خاک به طور متوسط شامل ۳۱ درصد سیلیکون به شکل سیلیکا (SiO_2) است

*نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: z.jabbarzadeh@urmia.ac.ir

خواص فیزیولوژیکی مفید سیلیکون در محصولات باغی، مصرف آن روز به روز در حال افزایش است (Frantz *et al.*, 2008). سیلیکون به عنوان یک عنصر مفید اثرات مثبت مختلفی شامل کاهش اثر تنش‌های زیستی و غیر زیستی، کاهش تبخیر و تعرق و افزایش فاکتور هایی نظیر کارایی فتوسنتزی، قطر ساقه، سطح برگ و قطر گل دارد (Fauteux *et al.*, 2005). سیلیکون باعث افزایش ۵۲ درصدی سطح برگ های اطلسی ایرانی در مقایسه با شاهد شد (بیات و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهشی تیمار داوودی با سیلیکون باعث افزایش وزن تر و خشک برگ ها نسبت به گیاهانی که سیلیکون دریافت نکرده بودند، شد (Carvalho- Zanao *et al.*, 2012). کاربرد Si باعث افزایش شاخص کلروفیل داوودی (Sivanesan *et al.*, 2013) و تحریک تولید کلروفیل و حفاظت از سیستم‌های فتوسنتزی می شود (Avila *et al.*, 2010). سیلیکون یک عنصر مهم در زنجیره فتوسنتزی می باشد (Korndorfer and Lepsch, 2001). تیمار سیلیکون باعث افزایش هدایت روزنه‌ای، ماکزیمم کارایی فتوسیستم ۲ و فتوسنتز اطلسی ایرانی شد (بیات و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به موارد فوق، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر سیلیکات‌های سدیم و کلسیم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فتوسنتزی داوودی در محیط کشت کوکوپیت-پرلیت انجام شد.

مواد و روش‌ها:

این پژوهش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور نوع سیلیکات به دو صورت (سیلیکات سدیم و کلسیم) و غلظت سیلیکات در ۵ سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) در محیط کشت کوکوپیت - پرلیت (1:1 V/V) در ۳ تکرار و ۲ مشاهده انجام شد. قلمه‌های ریشه دار شده داوودی به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۵ سانتی متر و ارتفاع ۱۲ سانتی متر منتقل شدند. گیاهان در گلخانه تحت شرایط دمایی حدود ۱۷/۱۴ سانتی گراد (شب/روز) و با شدت نور ۴۰۰۰ - ۳۰۰۰ لوکس و رطوبت نسبی ۷۰-۶۵ درصد قرار گرفتند. محلول پاشی سیلیکات سدیم و کلسیم به صورت

هفتگی به مدت ۱۰ هفته انجام شد. همچنین طی این مدت محلول غذایی استاندارد یک چهارم غلظت هوگلدن به صورت هفتگی به محیط کشت حاوی پرلیت - کوکوپیت اضافه شد. به منظور بررسی ویژگی های رویشی گیاهان مورد آزمایش، صفاتی نظیر سطح برگ توسط دستگاه اندازه گیری سطح برگ (Leaf Area Meter. Am200)، دمای برگ (از هر گلدان به صورت تصادفی ۴ برگ از بالا و پایین بوته انتخاب و توسط دماسنج مادون قرمز (مدل ۸۸۸۹ ساخت تایوان) به صورت عمودی در فاصله ۱۰ سانتی متری قرائت شد)، وزن تر و خشک برگ ها به کمک ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم)، شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل سنج مدل CCM-200، فتوسنتز، دی اکسید کربن تبدیلی و هدایت روزنه ای توسط فتوسنتزسنج مدل (Walz, HCM- 1000) ساخت آلمان اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری رنگیزه کلروفیل از روش Lichtenthaler and Wellburn (۱۹۸۵) استفاده شد. بدین منظور، ۰/۱ گرم از وزن تر برگ (برگ‌های توسعه یافته انتهایی) به همراه پنج میلی لیتر استون ۱۰۰ درصد در هاون چینی ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰۰ دور، سانتریفیوژ شد. سپس جذب فاز بالایی هر یک از نمونه های سانتریفیوژ شده توسط اسپکتروفتومتر در طول موج های ۶۶۲ نانومتر و ۶۴۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه کلروفیل a و کلروفیل b از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$$\text{Chl a} = 11.75 A_{662} - 2.350 A_{645}$$

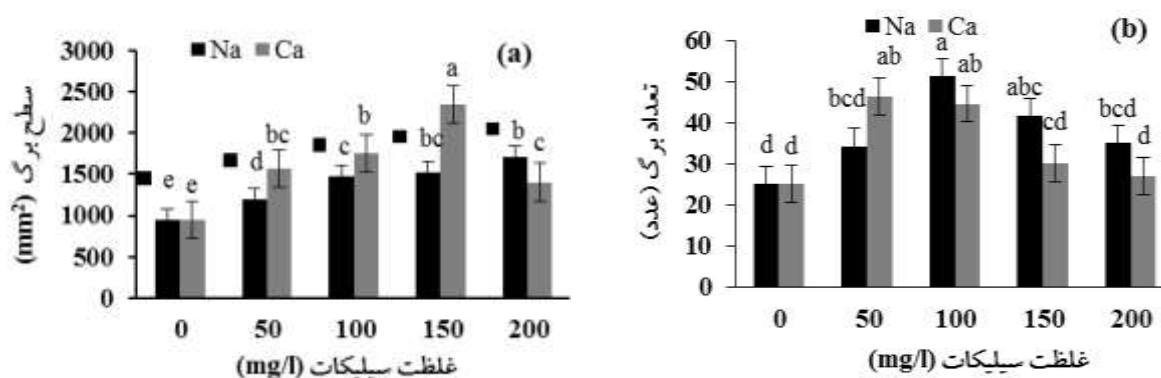
$$\text{Chl b} = 18.61 A_{645} - 3.960 A_{662}$$

در این رابطه Chl a و Chl b به ترتیب غلظت کلروفیل a و کلروفیل b می باشد (A میزان جذب خوانده شده در هر طول موج توسط اسپکتروفتومتر می باشد).

تجزیه و تحلیل آماری داده های آزمایش به کمک نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ انجام شد.

نتایج و بحث:

سطح برگ: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱a) نشان می‌دهد که بیشترین سطح برگ (۲۳۵۱/۳۳ میلی‌متر مربع) در محیط



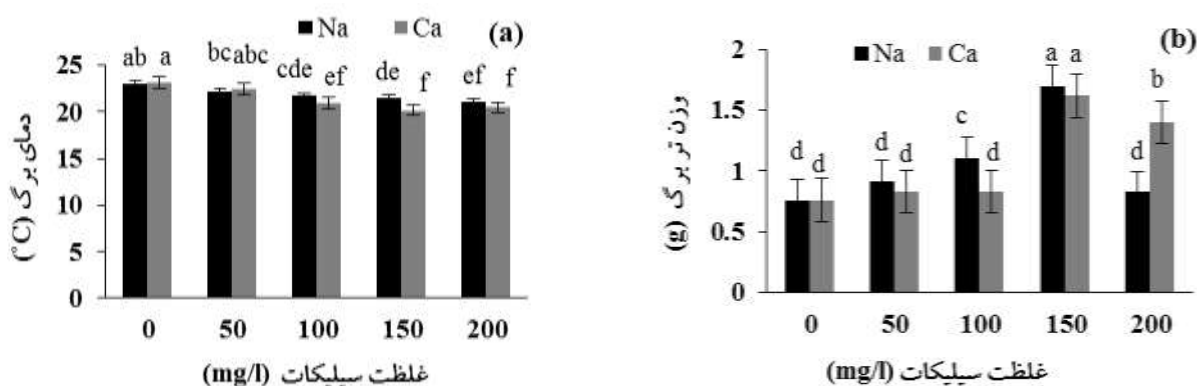
شکل ۱- اثرات متقابل نوع و غلظت سیلیکات بر سطح برگ (a) و تعداد برگ (b) داوودی در محیط کشت کوکوپیت- پرلیت حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در آزمون دانکن در سطح ۱٪ است.

شاهد در سطح ۵ درصد معنی دار شدند. گیاهان برای اینکه قادر به تولید گل باشند، باید به مرحله‌ای از رشد رویشی برسند. گیاهانی که با سیلیکون تیمار شده‌اند، توانایی گل‌دهی زود هنگام با گل‌های بزرگ‌تر و عمر گل زیاد تر را دارند (Kamenidou *et al.*, 2008). بنابراین باید برای ایجاد این ویژگی‌ها، ذخیره کربوهیدرات لازم و کارایی فتوسنتزی بیشتری داشته باشند که گیاه می‌تواند این کار را با افزایش برگ‌های خود انجام دهد. نرخ فتوسنتز هم با حضور سیلیکون افزایش می‌یابد که منجر به افزایش تعداد و سطح برگ می‌شود (بیات و همکاران، ۱۳۹۱; Amador *et al.*, 2007). گزارش‌های Bharwana و همکاران (۲۰۱۳) و نیز Mali و Aery (۲۰۰۹) مبنی بر افزایش تعداد برگ توسط تیمار سیلیکون با نتایج گرفته شده در این پژوهش مطابقت داشت.

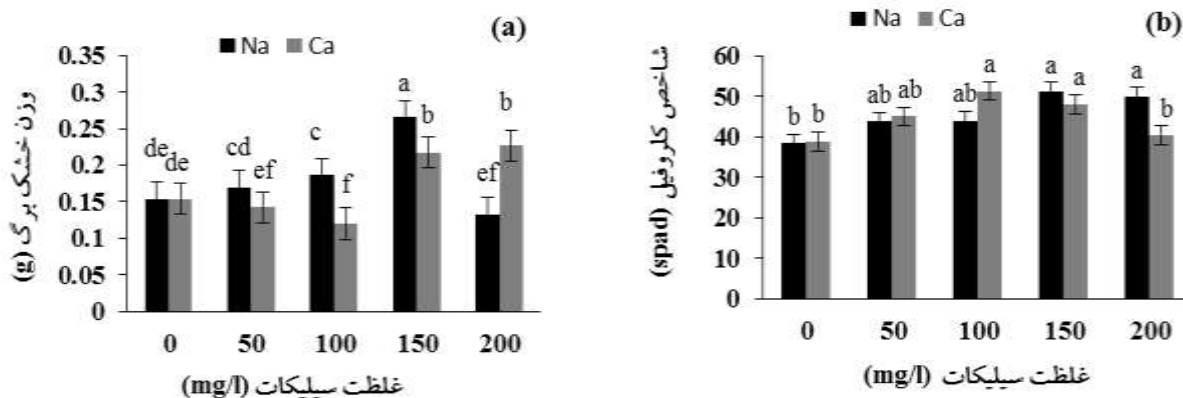
دمای برگ: افزایش غلظت سیلیکات باعث کاهش دمای برگ‌های داوودی شد. در محیط کشت کوکوپیت- پرلیت (شکل ۲a) کمترین میزان دمای برگ (۲۰/۱۶ سانتیگراد) در غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات کلسیم مشاهده شد. بررسی‌ها نشان داد که رسوب سیلیکون در پهنک برگ باعث کاهش دمای برگ شده و یک سیستم خنک کننده در گیاه القاء می‌کند (Wang *et al.*, 2005). همچنین شواهدی وجود دارد که سیلیکون ممکن است در تنظیم اسمزی گیاهان نقش داشته باشد. این امکان وجود دارد که سیلیکون به عنوان آنتن عمل کرده و طول موج‌های کوتاه را جذب کرده و طول موج‌های

کشت کوکوپیت- پرلیت در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات کلسیم بدست آمد. در هر دو تیمار سیلیکات کلسیم و سدیم با افزایش غلظت سیلیکون تا ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سطح برگ افزایش یافت، ولی در ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکون، مقداری کاهش در سطح برگ نسبت به تیمارهای سیلیکون مشاهده شد که این کاهش در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات کلسیم معنی دار بود. سیلیکون در متابولیسم دیواره سلولی و در گسترش و بزرگ شدن سلولی نقش دارد (Romero- Aranda *et al.*, 2006)، همچنین با افزایش کشیدگی سلول‌های برگ و افزایش انتقال آب به سلول‌های برگ، زمینه را برای گسترش سطح برگ فراهم می‌کند. این عنصر با افزایش کارایی مصرف آب و بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ باعث افزایش فشار تورژسانس و افزایش اندازه برگ می‌شود (فاطمی و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج این بررسی در افزایش سطح برگ با یافته‌های Reezi و همکاران (۲۰۰۹) در رز، Weerahewa (۲۰۱۳) در ارکید و بیات و همکاران (۱۳۹۱) در اطلسی ایرانی مطابقت داشت.

تعداد برگ: مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات متقابل نوع و غلظت سیلیکات (شکل ۱b) نشان می‌دهد که بیشترین تعداد برگ‌ها در محیط کشت کوکوپیت- پرلیت در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات سدیم مشاهده شد. با افزایش غلظت سیلیکات سدیم تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، تعداد برگ‌ها کاهش می‌یابد، ولی این تعداد نسبت به سطوح ۵۰ میلی گرم در لیتر و



شکل ۲- اثرات متقابل نوع و غلظت سیلیکات بر دمای برگ (a) و وزن تر برگ (b) در محیط کشت کوکویت- پرلیت حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در آزمون دانکن در سطح ۱٪ است.



شکل ۳- اثرات متقابل نوع و غلظت سیلیکات بر وزن خشک برگ (a) و شاخص کلروفیل (b) داوودی در محیط کشت کوکویت- پرلیت حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در آزمون دانکن در سطح ۱٪ است.

در لیتر مقدار جزئی کاهش وزن تر برگ دیده شد. در محیط کشت کوکویت- پرلیت بین تیمارهای سیلیکات کلسیم و سدیم، بیشترین میزان وزن خشک برگ گل‌های داوودی مورد بررسی در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات سدیم با (۲۶۶/۰ گرم) بود که افزایش حدود ۴۰ درصدی نسبت به شاهد (۱۵۰/۰ گرم) مشاهده شد. برتری سیلیکات سدیم نسبت به سیلیکات کلسیم در افزایش میزان وزن تر و خشک برگ را می‌توان به حلالیت بیشتر سیلیکات سدیم نسبت به سیلیکات کلسیم در بافت‌های گیاهی نسبت داد (شکل ۳a). سیلیکون با افزایش میزان کارایی فتوسنتز، افزایش دی اکسید کربن قابل تبادل، افزایش کلروفیل و میزان کربوهیدرات، باعث افزایش تولیدات و ذخایر برگ می‌شود (Vasanthi et al., 2012) که

بلند را منتشر کند که از این طریق به خنک شدن برگ کمک کند (Janislampi, 2012). با این حال این امکان وجود دارد که رسوب سیلیکون در کرک‌های برگ، لایه مرزی اتمسفر - برگ را افزایش دهد و بنابراین یک گرادیان انتقال انرژی بزرگتر ایجاد شود و در نتیجه دمای برگ کم شود (Janislampi, 2012).

وزن تر و خشک برگ: نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به کاربرد سیلیکات‌های کلسیم و سدیم (شکل ۲b) نشان می‌دهد که در محیط کشت کوکویت- پرلیت تا غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر در هر دو نوع سیلیکات، روند افزایشی وزن تر برگ به صورت مثبت بود (هر چند که در تیمار سیلیکات کلسیم بین غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت) و در تیمار ۲۰۰ میلی گرم

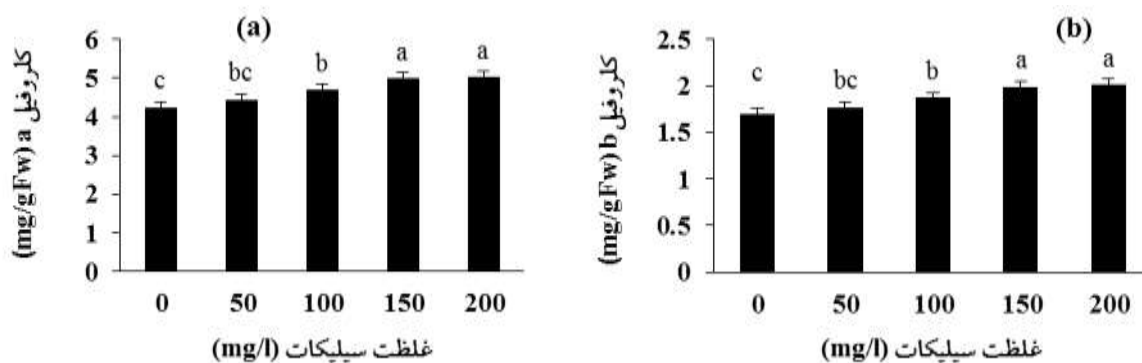
کلروفیل a و b: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط اثرات اصلی غلظت سیلیکات در سطح ۱ درصد بر میزان کلروفیل a و b معنی دار شد و بقیه اثرات اصلی و متقابل بر میزان کلروفیل a و b معنی دار نشدند. غلظت های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات، باعث افزایش معنی دار کلروفیل a شدند، البته بین غلظت های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات در افزایش میزان کلروفیل a تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۴a). بیشترین میزان کلروفیل b (۲/۱ میلی گرم در گرم وزن تر) نیز در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده شد (شکل ۴b). قبلاً نیز گزارش شده بود که سیلیکون باعث افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می شود (Adatia and Besford, 1986). در اثر فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو، میزان کلروفیل a در غشای تیلاکوئید کاهش می‌یابد. سیلیکون با افزایش آنزیم های آنتی اکسیدانی باعث کاهش اکسیداسیون در غشای تیلاکوئید شده و در نتیجه باعث افزایش کلروفیل a و b می‌شود (Gandul-Rojas et al., 2004). سیلیکون با افزایش جذب N که یک عنصر ضروری در تشکیل مولکول های کلروفیل است، باعث افزایش میزان کلروفیل a, b و کلروفیل کل برگ می‌شود (Watanabe et al., 2002). آلفا آمینولولینات (Aminolevulinate) پیش ماده تولید کلروفیل است (Siqueira et al., 1999). احتمالاً سیلیکون با افزایش این ماده باعث افزایش میزان کلروفیل در بافت‌های گیاهی می‌شود. نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات Locarno و همکاران (۲۰۱۱) در رز که نشان داد میزان کلروفیل در اثر تیمار سیلیکون افزایش می‌یابد، مطابقت دارد.

فتوستتز خالص: نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به کاربرد سیلیکات نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان فتوستتز خالص گیاهان داوودی بررسی شده به ترتیب در تیمارهای ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات کلسیم و شاهد سیلیکات سدیم بود (شکل ۵a).

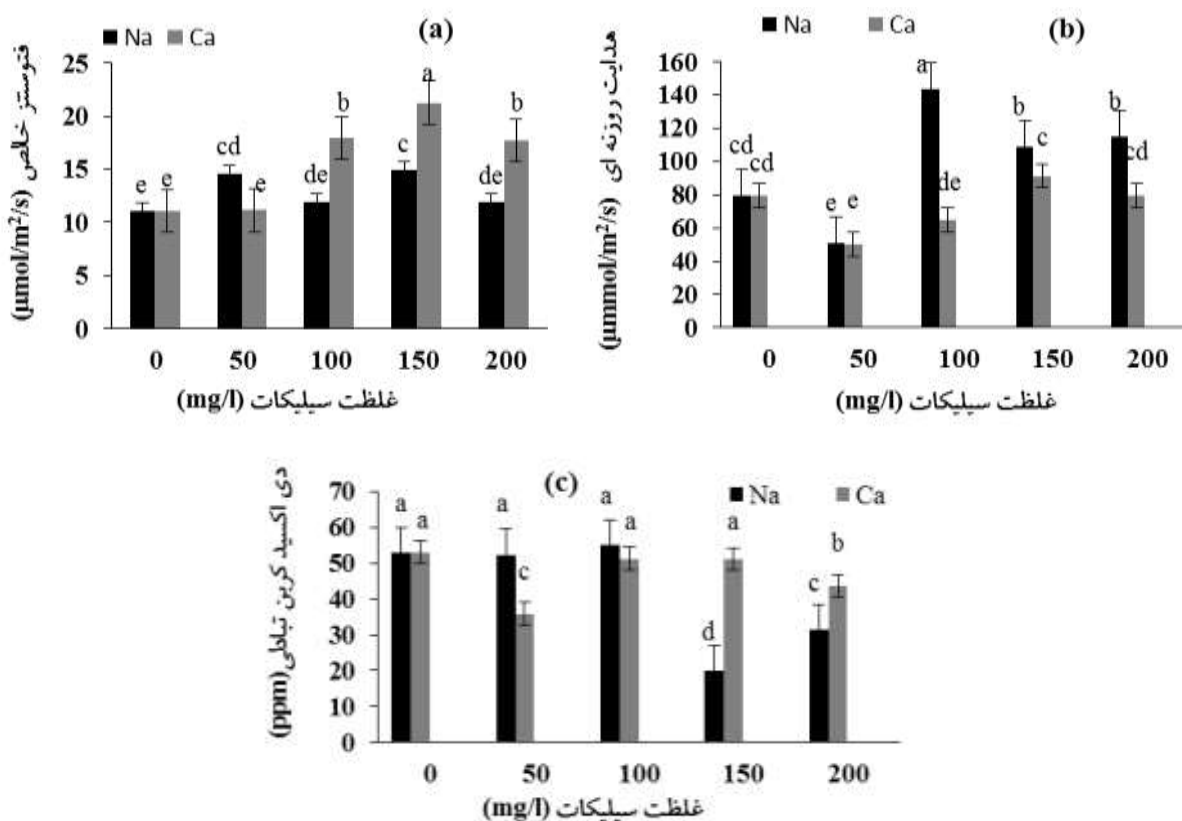
هدایت روزنه ای: در این پژوهش بیشترین و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای به ترتیب در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات سدیم و ۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات کلسیم مشاهده

احتمالاً از این طریق باعث افزایش وزن تر و خشک برگ‌ها می‌شود. علاوه بر این، سیلیکون با رسوب در بافت‌های اپیدرمی برگ (Ma and Takahashi, 2002) باعث افزایش ضخامت برگ و به دنبال آن افزایش وزن تر و خشک برگ می‌شود. سیلیکون با افزایش سطح برگ تأثیر مستقیمی در افزایش وزن تر و خشک برگ دارد. سیلیکون با اثر بر جذب نیتروژن (سیلیکون باعث افزایش NH_3 و افزایش تشکیل گره و تثبیت N_2 در گیاهان تثبیت کننده نیتروژن می‌شود (Dakora, 2005) و آسمیلاسیون کربن، وزن تر و خشک برگ را افزایش می‌دهد (Anser et al., 2012). در این پژوهش افزایش وزن تر برگ داوودی در اثر کاربرد سیلیکات با نتایج Linjuan و همکاران (۱۹۹۹) در بنت گراس خزننده (*Creepingben bentgrass*) و زویشیا (*Zoysia grass*) و با نتایج Carvalho-Zanao و همکاران (۲۰۱۲) در داوودی تطابق دارد.

شاخص کلروفیل (SPAD): مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات متقابل نوع و غلظت سیلیکات (شکل ۳b) نشان می‌دهد که کاربرد سیلیکون باعث افزایش شاخص کلروفیل می‌شود، به طوری که بیشترین شاخص کلروفیل در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات کلسیم (SPAD ۵۱/۱۳) مشاهده شد. از آنجا که سیلیکون باعث افزایش تأمین مواد مغذی از جمله منیزیم و تعادل عناصر پرمقدار و کم مقدار می‌شود (Abdalla, 2010) و با توجه به اینکه منیزیم در ساختار کلروفیل نقش اساسی دارد، می‌توان افزایش کلروفیل را در برگ‌های گیاهان تحت تیمار سیلیکون انتظار داشت. سیلیکون سطح نیتروژن برگ را افزایش داده (Savvas et al., 2002)، در نتیجه باعث افزایش کلروفیل می‌شود. سیلیکون با افزایش کارایی فتوسیستم ۲ باعث افزایش شاخص کلروفیل می‌شود (Watanabe et al., 2002). نتایج پژوهش حاضر، نتایج پژوهش Savvas و همکاران (۲۰۰۹) که گزارش کردند کاربرد ۱ میلی مولار سیلیکون باعث افزایش شاخص کلروفیل در آهار می‌شود را تأیید می‌کند. مشابه این نتایج، در پژوهش دیگری Sivanesan و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاربرد Si باعث افزایش شاخص کلروفیل در داوودی شده است.



شکل ۴- اثر غلظت سیلیکات بر میزان کلروفیل a (a) و کلروفیل b (b) داودی در محیط کشت کوکویت- پرلیت. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در آزمون دانکن در سطح ۱٪ است.



شکل ۵- اثرات متقابل نوع و غلظت سیلیکات بر فتوستز خالص (a)، بر هدایت روزنه ای (b) و بر دی اکسید کربن تبدالی (c) در محیط کشت کوکویت- پرلیت. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در آزمون دانکن در سطح ۱٪ است.

تعرق: نمودار مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵c) حاکی از آن است که غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات کلسیم و ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات سدیم نسبت به شاهد معنی دار نبودند. فقط غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات سدیم نسبت به شاهد بالاتر بود. سطوح تیمار سیلیکات

شد (شکل ۵b). در همه تیمارها، برتری تیمار سیلیکات سدیم نسبت به سیلیکات کلسیم در افزایش میزان هدایت روزنه‌ای مشهود بود که این می‌تواند به دلیل جایگزینی پتاسیم با سدیم در غشاء سلولی (Marschner, 2000) و احتمالاً جذب بیشتر سیلیکات سدیم از طریق پمپ‌های غشایی باشد.

تعرق و کاهش از دست دادن آب گیاه می‌شود (Perira et al., 2005).

نتیجه‌گیری کلی:

نتایج این بررسی نشان داد که تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات، بیشترین اثر را در بهبود شاخص‌های مورد بررسی داشت. همچنین برای اکثر شاخص‌های اندازه‌گیری شده، سیلیکات سدیم نسبت به سیلیکات کلسیم برتری داشت و این می‌تواند به دلیل حلالیت بیشتر سیلیکات سدیم نسبت به سیلیکات کلسیم و در نتیجه جایگزینی پتاسیم با سدیم در غشاء سلولی و احتمالاً جذب بیشتر سیلیکات سدیم از طریق پمپ‌های غشایی باشد. در نتیجه می‌توان با محلول‌پاشی سیلیکون روی داوودی، فاکتورهای فیزیولوژیکی و موفولوژیکی را بهبود بخشید. سیلیکون یک عنصر ضروری است که برای رشد گیاه نقش مهمی بازی می‌کند. بهبود فاکتورهای کمی و کیفی یا مربوط به اثر مستقیم سیلیکون است یا به طور غیر مستقیم ناشی از اثرات محافظتی سیلیکون در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی است. به نظر می‌رسد که Si اثر مستقیم و غیر مستقیمی در سوخت و ساز سلولی دارد. تاثیر مثبت سیلیکون بر شاخص‌های فتوسنتزی گیاه به دلیل رسوب آن در لایه اپیدرم سلول‌های برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌باشد که از این طریق توانایی گیاه برای استفاده موثر از نور را بالا می‌برد که این عامل خود باعث تحریک روزه‌ها شده و دهانه آنها بازتر می‌شود و به دنبال آن باعث افزایش هدایت روزه‌ای می‌شود.

سدیم نسبت به هم تفاوت زیادی نداشتند. کمترین میزان دی اکسید کربن تبدالی (۲۰ پی پی ام) در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات سدیم مشاهده شد.

سیلیکون یک عنصر مهم در زنجیره فتوسنتزی می‌باشد (Korndorfer and Lepsch, 2001). تغذیه گیاهان با ترکیبات قابل حل سیلیسیم، عامل افزایش غلظت آنزیم ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز در بافت برگ‌ها می‌باشد. این آنزیم متابولیسیم CO_2 در گیاه را تنظیم می‌کند و غلظت بیشتر آن در برگ باعث افزایش کارایی مولکول‌های CO_2 در بافت‌های گیاهی می‌شود (Snyder et al., 2006). طبق گزارش Amador و همکاران (۲۰۰۷)، سیلیکون باعث افزایش فتوسنتز خالص، هدایت روزه‌ای، کارایی فتوسیستم ۲، دی اکسید کربن بین سلولی، دی اکسید کربن خالص و کاهش میزان تنفس در چندین گونه گیاهی آزمایش شده شد. تیمار سیلیکون باعث افزایش هدایت روزه‌ای، ماکزیمم کارایی فتوسیستم ۲ و فتوسنتز اطلسی ایرانی می‌شود (بیات و همکاران، ۱۳۹۱). سیلیکون باعث افزایش تجمع دی اکسید کربن، افزایش سطح برگ، کلروفیل و هدایت روزه‌ای می‌شود (Goyal, 2012) که این عوامل به نوبه خود باعث افزایش میزان فتوسنتز می‌شود. هدایت روزه‌ای بهینه منجر به افزایش جذب آب و دی اکسید کربن برای افزایش کارایی فتوسنتزی و در نهایت عملکرد بیشتر می‌شود. هدایت روزه‌ای به شرایط آب و هوایی نیز وابسته است. کاهش هدایت روزه‌ای به طور مستقیم در محدود کردن جذب دی اکسید کربن و جریان بخار آب از روزه‌ها اثر دارد (McDermitt, 1990). سیلیکون با رسوب در دیواره خارجی سلول‌های اپیدرمی برگ باعث کاهش تبخیر و

منابع:

- بیات، ح.، نعمتی، ح. و سلاح وزی، ح. (۱۳۹۱) تاثیر سیلیسیم بر رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی اطلسی ایرانی (*Petunia hybrid*). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۶: ۱۶-۱۰.
- فاطمی سیدلر، ل.، طباطبایی، س.ج. و فلاحی، الف. (۱۳۸۸) اثر سیلیسیوم بر رشد و عملکرد گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۳: ۹۵-۸۸.
- Abdalla, M. M. (2010) Sustainable effects of diatomite on the growth criteria and phytochemical contents of *Vicia faba* plants. Agriculture and Biology Journal of North America 1: 1076-1089.

- Adatia, M. H. and Besford, R. T. (1986). The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany* 58: 343-351.
- Amador, B. M., Yamada, S., Yamaguchi, T., Puente, E. R., Serrano, N. A., Hernandez, J. L., Aguilar, R. L., Dieguez, E. T. and Garibay, A. N. (2007) Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193: 413-421.
- Anderson, N. O. (2006) *Flower Breeding and Genetics*. Springer. Minnesota.
- Anser, A., Basra, S. M. A., Hussain, S. and Iqbal, J. (2012) Salt stress alleviation in field crops through nutritional supplementation of silicon. *Pakistan Journal of Nutrition* 11: 637-655.
- Ávila, F. W., Baliza, D. P., Faquin, V., Araujo, J. and Ramos, S. J. (2010) Silicon-nitrogen interaction in rice cultivated under nutrient solution. *Revista Ciencia Agronomica* 41: 184-190.
- Bharwana, S. A., Ali, S., Farooq, M. A., Iqbal, N., Abbas, F. and Ahmad, M. S. A. (2013) Alleviation of lead toxicity by silicon is related to elevated photosynthesis, antioxidant enzymes suppressed lead uptake and oxidative stress in cotton. *Journal of Bioremediation and Biodegradation* 4: 4-15.
- Carvalho-Zanão, M. P., Zanao junior, L. A., Barbosa, J. G., Groosi, J. A. S. and Avila, V. T. (2012). Yield and shelf life of chrysanthemum in response to the silicon application. *Horticultura Brasileira* 30: 403-408.
- Dakora, F. D. (2005) Silicon nutrition and N₂ fixation in symbiotic legumes III. Silicon in Agriculture Conference, 22-26 October, Uberlandia /MGBrazil, p.135.
- Ding, Y., Yamada, R., Gresback, R., Zhou, S. Pi, Z. and Nozaki, T. (2014) A parametric study of non-thermal plasma synthesis of silicon nanoparticles from a chlorinated precursor. *Journal of Physics D: Applied Physics* 47: 1-9.
- Epstein, E. (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91: 11-17.
- Epstein, E. (1999) Silicon. *Plant Physiology* 50: 641-664.
- Epstein, E. and Bloom, A. J. (2005) *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Sinauer Associates. New York.
- Fauteux, F., Remus-Borel, W., Menzies, J. and Belanger, R. R. (2005) Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters* 249: 1-6.
- Frantz, J. M., Locke, J. C., Datnoff, L., Omer, M., Widrig, A., Sturtz, D., Horst, L. and Krause, C. R. (2008) Detection, distribution and quantification of silicon in floricultural crops utilizing three distinct analytical methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 2734-2751.
- Gandul-Rojas, B., Roca, M. and Mínguez-Mosquera, M. I. (2004) Chlorophyll and carotenoid degradation mediated by thylakoid-associated peroxidative activity in olives (*Olea europaea*) cv. Hojiblanca. *Journal of Plant Physiology* 161: 499-507.
- Goyal, A. (2012). Crop Plant. Chapter 2: Silicon the non-essential beneficial plant nutrient to enhanced drought tolerance in wheat. Utah State University. Pp. 1-240.
- Hodson, M. J., White, P. J., Mead, A. and Broadley, M. R. (2005) Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals of Botany* 96: 1027-1046.
- Janislampi, K.W. (2012) Effect of silicon on plant growth and drought stress tolerance. *Plant Science* 22: 1-100.
- Kamenidou, S., Cavins, T. J. and Marek, S. 2008. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse produced ornamental sunflowers. *HortScience* 43: 236-239.
- Korndorfer, G. H. and Lepsch, I. (2001) Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: *Silicon in Agriculture*. (ed. Datnoff, L.E., Snyder, G. H. and Korndorfer, G. H.) Pp. 133-147. Elsevier, Amsterdam.
- Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1985) Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biological Sciences* 11: 591-592.
- Linjuan, Z., Junping, J., Lijun, W., Min, L. and Fusoo, Z. (1999). Effects of the silicon on the seedling growth of creeping bentgrass and zoysiagrass. In: *Conference Silicon in Agriculture*, Fort Lauderdale, Florida, USA.
- Locarno, M., Fochi, C. G. and Paiva, P. D. O. (2011) Influence of silicate fertilization on chlorophylls of rose leaves. *Ciência e Agrotecnologia* 35: 287-290.
- Ma, J. F. and Takahashi, E. (2002) *Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Mali, M. and Aery, N. C. (2009) Effect of silicon on growth, biochemical constituents and mineral nutrition of cowpea. *Communications of Soil Science and Plant Analysis* 40: 1041-1052.
- Marschner, H. (2002). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London.
- McDermitt, D. K. (1990). Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. *HortScience* 25: 1538-1548.
- Perira, A. S., Fernandes, E. J., Rodrigues, T. J. D. and Turco, J. E. P. (2005) Stomatal conductance in leaves of bean plants submitted to different irrigation regimes. *Engenharia Agrícola* 25: 161-169.

- Reezi, S., Babalar, M. and Kalantari, S. (2009) Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt stressed cut rose (*Rosa xhybrida* L.) 'Hot Lady'. *African Journal of Biotechnology* 8: 1502-1508.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. and Cuartero, J. (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology* 163: 847-855.
- Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M. and Patakioutas, G. (2009) Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany* 65: 11-17.
- Savvas, D., Manos, G., Kotsiras, A. and Souvaliotis, S. (2002) Effects of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroonic system. *Journal of Applied Botany* 76: 153-158.
- Siqueira, S. C., Moreira, M. A., Mosquim, P. R., Jose, I. C., Ferreira, F. A. and Sedyama, C. S. (1999) Simulation of the transgenic soybean tolerant to glyphosate through explant cultivation. *Planta Daninha* 17: 95-107.
- Sivanesan, I., Moon, S. S., Song, J. Y. and Jeong, B. R. (2013) Silicon supply through the subirrigation system affects growth of three chrysanthemum cultivars. *Horticulture, Environment and Biotechnology* 54: 14-19.
- Snyder, G. H., Matichenkov, V. V. and Datnoff, L. E. (2006) Silicon. In: *Handbook of Plant Nutrition*. (ed. Barker, A. V. and Pilbeam, D. J.) Pp. 551-568. CRC Press, Florida.
- Song, J. Y., Mattson, N. S. and Jeong, B. R. (2011) Efficiency of shoot regeneration from leaf, stem, petiole and petal explants of six cultivars of *Chrysanthemum morifolium*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 107: 295-304.
- Vasanthi, L. N., Saleena, M. and Anthoni Raj, S. (2012) Silicon in day today life. *Sciences Journal* 17: 1425-1440.
- Wang, Y. J., Cheng, H., Edwards, R. L., He, Y. Q., Kong, X.G., An, Z. S., Wu, J. Y., Kelly, M. J., Dykoski, C. A. and Li, X. D. (2005). The Holocene Asian Monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science* 308: 854-857.
- Watanabe, S., Fujiwara, T., Yoneyama, T. and Hayashi, H. (2002) Effects of silicon nutrition on metabolism and translocation of nutrients in rice plants. *Developments in Plant and Soil Sciences* 92: 174-175.
- Weerahewa, H. L. D. (2013) Applicability of the use of aeroponic system and silicon supplementation on growth and the floricultural quality traits of *Dendrobium* sp. Annual Academic Sessions. Department of Botany, The Open University of Sri Lanka, Nawala, Nugegoda.

