دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی

دوره سیزدهم ، شماره اول، بهار و تابستان۱۴۰۲

اثر کودهای آلی و شیمیایی همراه با کاربرد سیلیسیم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)

رسول قنبری[۱] ، یوسف نیک‌نژاد*[۲]

۱ و ۲- گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

***مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:** yousofniknejad@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۵ شهریور ۱۴۰۲، تاریخ پذیرش: ۲۰ مهر ۱۴۰۲)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کودهای آلی و شیمیایی همراه با سیلیکون بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)، در یک مزرعه واقع در استان مازندران، شهرستان آمل طی سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل مصرف کودهای آلی و شیمیایی در چهار سطح (شاهد، کود دامی، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی) به‌عنوان عامل اصلی و کاربرد سیلیسیم در سه سطح (شاهد، سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که بیشترین صفات رشدی نظیر ارتفاع بوته، تعداد گل در بوته و سطح برگ با کاربرد کود شیمیایی حاصل شد. حداکثر وزن خشک اندام گیاهی با مصرف کود شیمیایی حاصل شد اگرچه اختلاف معنی‌داری با کاربرد ورمی‌کمپوست نداشت. بیشترین وزن خشک گل (۴۲۹/۳ گرم در متر مربع) با کاربرد کود شیمیایی حاصل شد که با مصرف ورمی‌کمپوست (۴۱۷/۳ گرم در متر مربع) اختلاف معنی‌داری نداشت. کاربرد هر دو منبع سیلیکون منجر به بهبود تعداد گل در بوته، سطح برگ و غلظت کلروفیل‌ها در مقایسه با تیمار شاهد شد اگرچه کاربرد نانوسیلیکون اثر بهبوددهندگی بالاتری در مقایسه با سیلیکات پتاسیم داشت. مصرف نانوسیلیکون به‌ترتیب موجب افزایش ۹/۶ و ۷/۴ درصدی وزن خشک گل در مقایسه با عدم کاربرد سیلیکون و کاربرد سیلیکات پتاسیم شد. بنابراین، با توجه به یافته‌های حاصل از این پژوهش، کاربرد ورمی‌کمپوست به عنوان جایگزین مناسب برای کودهای شیمیایی و استفاده از نانوسیلیکون جهت بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد سرخارگل معرفی می‌گردد.

واژگان کلیدی: سرخارگل، کود آلی، محتوای کلروفیل، نانوسیلیکون، وزن خشک اندام گیاهی

مقدمه

در کشاورزی متداول، نیاز غذایی گیاهان با استفاده از کودهای شیمیایی تأمین می‌شود اما مطالعات طولانی مدت نشان دادند که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به دلیل اسیدی شدن خاک، کاهش فعالیت بیولوژیک، تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاهش عناصر کم‌مصرف منجر به کاهش تولید گیاهان زراعی می‌شود (۳۵). جایگزین نمودن بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای آلی در راستای کشت و اهلی نمودن گیاه دارویی سرخارگل علاوه بر ارتقاء صفات کمی آن، موجب کاهش مصرف کود شیمیایی به عنوان یکی از نهاده‌های پرهزینه و به دنبال آن، کاهش هزینه‌ها و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد و استفاده بهینه از کودهای آلی را نیز به دنبال خواهد داشت (۱). مواد آلی به علت اثر مفیدی که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک دارند یکی از ارکان مهم باروری خاک محسوب می‌شوند. کودهای آلی باعث افزایش ماده آلی خاک می‌شوند و به سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک نظیر pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش فعالیت ریزجانداران و میزان دسترسی به مواد غذایی باعث افزایش باروری خاک می‌شود (۳۷). هم‌چنین زراعت گیاهان دارویی با کودهای آلی و بیولوژیک، کیفیت دارویی آنها را افزایش می‌دهد لذا بسیاری از شرکت‌های تولید کننده داروهای گیاهی، ترکیبات گیاهی را که از طریق کشت آلی یا بیودینامیک تولید شده باشند ترجیح می‌دهند (۲۶). تأکید کشاورزی پایدار بر افزایش کیفیت و پایداری عملکرد محصولات زراعی می باشد. کودهای آلی نظیر ورمی‌کمپوست با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی به منظور افزایش کمیت، کیفیت و پایداری عملکرد محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۶). ورمی‌کمپوست به دلیل فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک به عنوان یک ماده افزودنی در خاک جهت کاهش استفاده از کودهای معدنی استفاده می‌شود (۴۱). فضولات دامی حاوی مقادیر قابل توجهی عناصر غذایی است که حفظ این عناصر غذایی از هنگام تولید تا زیر خاک بردن آن‌ها هم از جهت بهداشتی و زیست-محیطی و هم هم از جهت اقتصادی به دلیل مقدار عناصر مهم است (۱۳). گزارش شده است که کاربرد مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست سبب افزایش وزن خشک گل، ساقه، عملکرد زیست توده، شمار گل در بوته و سبزینگی برگ در گیاه سرخارگل شد (۳۶). فیاضی و همکاران (۶) در تحقیق خود بر روی اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی بر گیاه دارویی سرخارگل نشان دادند که بالاترین قطر گل در تیمار ورمی‌کمپوست به دست آمد.

سیلیسیم دومین عنصر فراوان در خاک است و به عنوان یک عنصر کاملاً مفید برای گیاهان عالی مطرح می‌باشد (۳۴). سیلیس یک عنصر فعال زیستی است (۴۲) که علاوه بر اثر مستقیم در بهبود ساختارهای گیاهی و برگ و هم‌چنین فرآیندهای متابولیکی و فتوسنتز و در نهایت افزایش رشد و نمو و عملکرد گیاه، به دلیل کاهش اثر مضر ناشی از تنش‌های زیستی (آفات و بیماری‌ها) و غیرزیستی (خشکی، شوری، گرما، سرما، سمیت فلزات سنگین و عدم تعادل مواد مغذی از طریق تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسدانی (۴۵) سبب حفظ غشای سلولی و ماکرومولکول‌های سلول‌ها شده و به صورت غیرمستقیم موجب بهبود رشد گیاه می‌شود (۲۳). سیلیس به عنوان یک عنصر مفید در ترویج رشد و ثبات ساختار در گیاهان در نظر گرفته شده است (۲۹). سیلیس باعث افزایش کشش سلولی و گسترش دیواره‌های اولیه سلولی می‌شود که باعث بهبود رشد در گیاهان می‌شود (۴۳). در تحقیقی، موذن‌پور و همکاران (۸) با بررسی اثر تغذیه سیلیکون بر صفات کمی و

کیفی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) بیان نمودند که کاربرد نانوسیلیس موجب افزایش تعداد برگ، ارتفاع گیاه و کاهش پرولین در گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. سایر محققان گزارش دادند که با افزایش غلظت سیلیس از سطح صفر به ۲/۲۵ میلی‌مولار، بیوماس تر گیاه دارویی سرخارگل به میزان ۲۶/۵ درصد افزایش یافت، در حالی که نسبت طول اندام هوایی به طول ریشه گیاه به مقدار ۵۰ درصد کاهش یافت (۲۷). در مطالعه دیگری، زارع و همکاران (۱۰) با بررسی اثر سیلیسیوم بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل بیان نمودند که با افزایش غلظت سیلیس، تمام شاخص‌های رشدی، ریخت‌شناختی، فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه سرخارگل از جمله طول ریشه، وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، آب نسبی برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، کلروفیل کل، فلاونوئید کل، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه به طور معنی‌داری بهبود یافتند.

امروزه رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت استفاده از رهیافت‌های کشاورزی پایدار وهم‌چنین تکنولوژی‌های نوین با به‌کارگیری روش‌های مدیریتی نظیر کاربرد کودهای آلی و کود سیلیکون به منظور بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد. بنابراین، با توجه به کمبود مطالعات در رابطه با واکنش گیاه دارویی سرخارگل به منابع مختلف کودهای آلی نظیر کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و هم‌چنین منابع مختلف سیلیکون و در راستای کاربرد کمتر کودهای شیمیایی به منظور پیشگیری از افزایش آلودگی محیط زیست و همچنین دلایل اقتصادی و ترغیب کشاورزان به کاربرد بیشتر کودهای آلی، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر مصرف کودهای آلی و شیمیایی همراه با کاربرد سیلیکون بر رشد و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در یک مزرعه واقع در استان مازندران، شهرستان آمل در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. منطقه اجرای طرح با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۸۱ متری از سطح دریای آزاد قرار دارد. جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از اجرای آزمایش، اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در چند نقطه و مخلوط کردن نمونه‌ها و تهیه نمونه مرکب گردید. بافت خاک از نوع لوم رسی بود (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش

پتاسیم قابل جذب میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن کل (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	بافت خاک
۱۶۶	۱۰/۱	۰/۱۶	۱/۳۲	۷/۲۲	لوم رسی

تیمارهای آزمایش شامل مصرف کودهای آلی و شیمیایی در چهار سطح (شاهد یا عدم کاربرد کودهای آلی و شیمیایی، مصرف کود دامی، مصرف ورمی‌کمپوست و مصرف کود شیمیایی) به عنوان عامل اصلی و کاربرد کود سیلیسیم در سه سطح (شاهد یا عدم مصرف سیلیسیم، مصرف سیلیکات پتاسیم و مصرف نانوسیلیس) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. جهت اجرای آزمایش، عملیات زراعی شامل شخم، دیسک، تسطیح و

کرت‌بندی از ماه اسفند آغاز و تا اواخر ماه فروردین یا اوایل ماه اردیبهشت و هم‌چنین عملیات کشت به صورت دستی (نشاکاری) در ماه اردیبهشت انجام شد. زمین طرح، متشکل از ۳۶ کرت آزمایشی و هر کرت آزمایشی به ابعاد ۳×۳ متر مربع بود. هر واحد آزمایشی دارای ۱۰ خط کاشت به فاصله ۳۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر، فاصله کرت‌ها داخل بلوک از هم یک متر و بین بلوک‌ها از هم دو متر بود. کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار طی سه مرحله (قبل از کاشت، مرحله پنجه‌زنی و مرحله گلدهی) در کرت‌های مورد نظر مصرف شد. هم‌چنین فسفر و پتاسیم به‌ترتیب از منابع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به کرت‌های مورد نظر اضافه گردید. کودهای ورمی‌کمپوست و دامی به‌ترتیب به مقادیر ۵ و ۳۰ تن در هکتار قبل از کاشت با خاک مخلوط شدند. محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم (تولید شرکت اگری‌تکنو اسپانیا) و نانوسیلیس (تولید شرکت تحقیقات نانو مواد آمریکا) به میزان ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر طی سه مرحله (اواسط پنجه‌دهی، اواخر پنجه‌دهی و خوشه‌دهی کامل) در کرت‌های مورد نظر انجام شد. عملیات داشت در طول فصل رشد شامل آبیاری و کنترل علف‌های هرز (وجین دستی) به طور منظم انجام و در طول دوره رشد از هیچ نوع علف‌کش و آفت‌کشی استفاده نگردید. از هر واحد آزمایشی تعداد ۱۰ بوته به عنوان نمونه در زمان ۵۰ درصد گلدهی انتخاب و صفات رشدی شامل ارتفاع بوته، تعداد گل در بوته و سطح برگ مورد سنجش قرار گرفت. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل، ۰/۵ گرم از بافت تازه خرد و در لولهٔ آزمایش ریخته شد. سپس مقدار ۱۰ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید (DMSO) خالص به آن اضافه و به مدت سه ساعت در آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از صاف کردن نمونه‌ها با کاغذ صافی، یک میلی‌لیتر از محلول صاف شده برداشت و به حجم پنج میلی‌لیتر رسانده و با دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب محلول به‌دست آمده در طول موج‌های ۶۶۳/۲ و ۶۴۶/۸ نانومتر قرائت گردید (۱۸). مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ به‌دست آمد:

1) $Chl.a\ (mg/g\ FW) = (12.25\ A_{663.2}) - (2.79\ A_{646.8})$
2) $Chl.b\ (mg/g\ FW) = (21.50\ A_{646.8}) - (5.1\ A_{663.2})$
3) $Chl.T\ (mg/g\ FW) = Chl.a + Chl.b$

در پایان فصل رشد پس از حذف اثر حاشیه، مساحت یک متر مربع از بوته‌ها همراه با ریشه جمع‌آوری و ریشه، ساقه، برگ و گل جدا شدند. جهت تعیین وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و گل، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس وزن خشک هر یک توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار منابع کودی بر صفت مورفولوژیکی ارتفاع بوته ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد ولی ارتفاع بوته تحت اثر ساده سیلیکون و هم‌چنین برهمکنش منابع کودی و سیلیکون قرار نگرفت (جدول ۲).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر ساده منابع کودی نشان داد که کاربرد کودهای ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم کاربرد منابع کودی گردید، در حالیکه بین مصرف کودهای دامی و شاهد اختلاف معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته مشاهده نگردید اگرچه مصرف کود دامی تا حدودی منجر به افزایش ارتفاع در مقایسه با تیمار شاهد گردید. به هر حال، بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۵۹/۸ سانتی‌متر با اعمال کود شیمیایی حاصل شد و کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ارتفاع بوته برابر با ۵۴/۷ سانتی‌متر در رتبه بعدی قرار گرفت. کمترین ارتفاع بوته (۴۰/۷ سانتی‌متر) در شرایط عدم مصرف منابع کودی یا شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). کاهش ارتفاع در تیمارهای کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با کود شیمیایی می‌تواند ناشی از آزادسازی تدریجی عناصر غذایی توسط کودهای آلی و تأثیر تدریجی آن‌ها در افزایش رشد گیاه نسبت به کود شیمیایی باشد که در نهایت موجب کاهش ارتفاع بوته گیاه در شرایط مصرف کودهای آلی در مقایسه با کود شیمیایی می‌گردد. به هر حال نتایج حاصله گویای آن بود که به جز مصرف کودهای شیمیایی، کاربرد ورمی‌کمپوست نیز نقش مؤثری در بهبود ارتفاع بوته گیاه در مقایسه با کود دامی داشت. بررسی‌های به‌عمل آمده توسط سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم (۳۹) نشان داد که کاربرد کود ورمی‌کمپوست در مقایسه با سایر کودهای آلی اثر مثبت بیشتری بر ارتفاع گیاه دارویی زیرهٔ سبز داشت. سایر محققان گزارش دادند که ارتفاع بوته سرخارگل با کاربرد کودهای شیمیایی و ۳۰ تن کمپوست در هکتار به‌ترتیب با میانگین‌های برابر با ۴۳ و ۴۰/۵ سانتی‌متر روند مشابهی داشت (۱).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر ساده سیلیکون نشان داد که اگرچه بین کاربرد منابع سیلیکون و عدم مصرف سیلیکون اختلاف معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته ایجاد نشد ولی استفاده از کودهای سیلیکات پتاسیم (۵۰/۸ سانتی‌متر) و نانوسیلیکون (۵۱/۶ سانتی‌متر) سبب بهبود جزئی ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید (جدول ۳). بررسی‌های به‌عمل آمده توسط یحیی‌پور و همکاران (۱۴) نیز نشان داد که استفاده از نانوذرات سیلیکون موجب افزایش حدود ۴/۴ درصدی ارتفاع بوته کلزا در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم کاربرد سیلیکون شد، اگرچه اختلاف ایجاد شده معنی‌دار نبود. گروه دیگری از پژوهشگران در مطالعه‌ای با بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیس با غلظت‌های صفر، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار بر روی گیاه دارویی استویا، گزارش نمودند که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد که در مقایسه با تیمار سیلیکون یک میلی‌مولار و عدم مصرف سیلیکون، افزایش معنی‌دار در حدود ۲۲ درصد داشت (۲۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی سرخارگل تحت تیمارهای آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد گل در بوته	سطح برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
تکرار	۲	۲۶/۸۹	۰/۰۷۰	۴۳/۵۰	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۰۵۸
منابع کودی	۳	۶۷۸/۰۷**	۶/۸۷**	۹۴۵/۱۵**	۱۶/۷۸**	۰/۵۶**	۲۳/۰۸**
خطای a	۶	۲۶/۳۹	۰/۰۵۴	۱۴/۱۳	۰/۸۳	۰/۱۱	۱/۴۰
سیلیکون	۲	۴۵/۹۸^{ns}	۲/۶۵**	۱۲۷/۰۹*	۴/۶۳*	۰/۲۷*	۷/۱۰*
منابع کودی × سیلیکون	۶	۱۱/۲۵^{ns}	۰/۱۸*	۳/۰۰^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۱۴^{ns}
خطای b	۱۶	۲۲/۸۴	۰/۰۵۲	۲۶/۱۰	۱/۲۶	۰/۰۶۵	۱/۳۱
ضریب تغییرات	-	۹/۵۳	۴/۸۷	۴/۲۰	۱۵/۱۵	۱۱/۷۱	۱۱/۹۳

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی سرخارگل تحت تیمارهای آزمایش

تیمارهای آزمایش	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد گل در بوته	سطح برگ (سانتی‌متر مربع در بوته)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
منابع کودی						
شاهد	۴۰/۷c	۳/۷۶d	۱۰۸/۰۷c	۵/۴۷b	۱/۸۲b	۷/۳۰b
کود دامی	۴۵/۳c	۴/۲۸c	۱۲۰/۹۵b	۷/۷۴a	۲/۲۶a	۱۰/۰۱a
ورمی‌کمپوست	۵۴/۷b	۴/۹۵b	۱۲۴/۲۲b	۷/۷۸a	۲/۳۱a	۱۰/۱۵a
کود شیمیایی	۵۹/۸a	۵/۷۸a	۱۳۲/۷۷a	۸/۶۷a	۲/۳۶a	۱۰/۹۸a
$LSD_{0.05}$	۴/۷۷	۰/۲۲	۵/۱۰	۱/۱۲	۰/۲۵	۱/۱۴
سیلیکون						
شاهد	۴۷/۹a	۴/۲۰c	۱۱۸/۲۳b	۶/۷۸b	۲/۰۲b	۸/۸۰b
سیلیکات پتاسیم	۵۰/۸a	۴/۷۶b	۱۲۱/۵۵ab	۷/۴۵ab	۲/۲۳ab	۹/۶۹ab
نانوسیلیکون	۵۱/۶a	۵/۱۳a	۱۲۴/۷۴a	۸/۰۲a	۲/۳۱a	۱۰/۳۴a
$LSD_{0.05}$	۴/۱۳	۰/۱۹	۴/۴۲	۰/۹۷	۰/۲۲	۰/۹۹

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

تعداد گل در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که تعداد گل در بوته از نظر آماری تحت اثر اصلی منابع کودی، سیلیکون ($P\leq0.01$) و برهمکنش بین منابع کودی و سیلیکون ($P\leq0.05$) معنی‌دار گردید (جدول ۲).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر اصلی منابع کودی نشان داد که کاربرد هر سه منبع کودی شامل کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و شیمیایی منجر به افزایش تعداد گل در بوته به‌ترتیب به میزان ۱۲/۱، ۲۴ و ۳۴/۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف منابع کودی گردید. نتایج نشان داد که در بین منابع

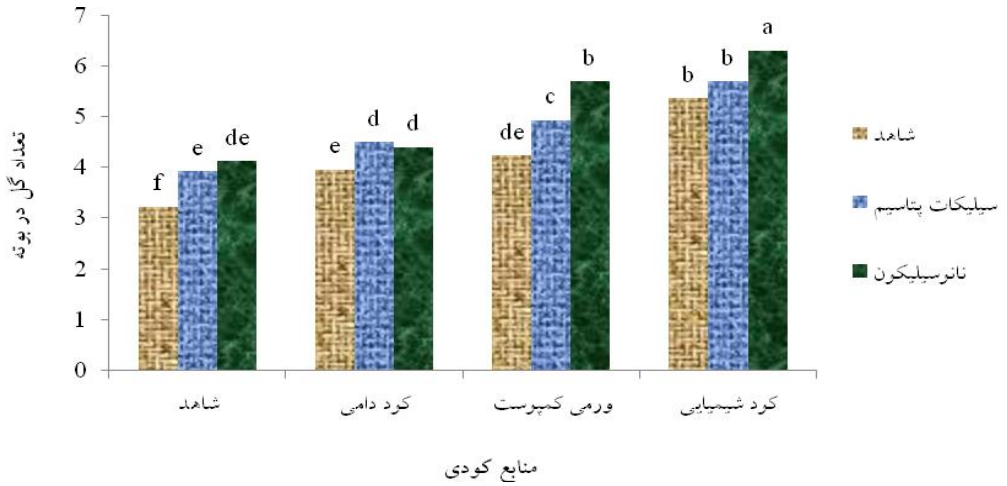
مختلف کودی، کاربرد کود شیمیایی سبب حصول حداکثر تعداد گل در بوته (۵/۷۸) گردید که اختلاف معنی‌داری با سایر منابع کودی مورد استفاده نشان داد (جدول ۳). محمودان و همکاران (۷) گزارش دادند که کاربرد کود شیمیایی NPK موجب افزایش معنی‌دار تعداد گل در بوته گیاه سرخارگل در مقایسه با مصرف جداگانه سایر کودهای مورد مطالعه از جمله ورمی‌کمپوست گردید که با نتایج حاصل از مطالعه حاضر مطابقت دارد. در مطالعه‌ای دیگر، به منظور مقایسه منابع مختلف کودی از جمله کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست بر عملکرد گیاه دارویی بابونه، گزارش شد که در بین تیمارهای کودی مورد استفاده، تیمار کود شیمیایی از بیشترین کارایی در میزان گل تولیدی برخوردار بود (۱۷).

در مطالعه حاضر، پس از تیمار کود شیمیایی، تیمار ورمی‌کمپوست این قابلیت را داشت تا بتواند شمار گل در بوته را به طور معنی‌داری افزایش دهد. کمپوست ضمن افزایش ذخیره آب در خاک باعث تأمین عناصر غذایی مورد نیاز و افزایش رشد سبزینگی و تعداد گل در بوته می شود (۱). استفاده از کودهای آلی باعث آزادسازی هورمون‌های گیاهی از جمله جیبرلیک اسید و اکسین و در نتیجه افزایش تعداد گل در بوته و زیست توده گیاه می‌گردد (۴۴). در نتایجی مشابه، راویندران و همکاران (۳۶) عنوان نمودند که شمار گل در بوته و سبزینگی برگ با کاربرد ورمی‌کمپوست به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده سیلیکون، کاربرد هر دو منبع سیلیکون مورد استفاده موجب افزایش تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید، به طوری که مصرف سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیکون به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۱/۸ و ۱۸/۱ درصدی تعداد گل در بوته نسبت به عدم مصرف سیلیکون گردید. در بین دو منبع سیلیکون، کاربرد نانوسیلیکون اثر بهتری بر تعداد گل در بوته داشت به طوری که مصرف نانوسیلیکون منجر به افزایش ۷/۲ درصدی تعداد گل در بوته نسبت به تیمار کاربرد سیلیکات پتاسیم گردید (جدول ۳). افزایش غلظت کلروفیل در تیمارهای کاربرد سیلیس می‌تواند منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی و در نهایت تولید بیشتر گل گردد (۳). کاربرد سیلیس از طریق افزایش بیوسنتز سیتوکینین می‌تواند باعث تحریک توسعه جوانه‌های جانبی و افزایش تعداد جوانه‌های گل در گیاه شود (۳۲). سایر محققان گزارش دادند که کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار تعداد گل در بوته در گیاه رز بریده گردید (۳۸).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های برهمکنش بین منابع کودی و سیلیکون نشان داد که حداکثر تعداد گل در بوته با میانگین ۶/۳ گل در بوته از تیمار ترکیبی نانوسیلیکون + کود شیمیایی حاصل شد، در حالیکه حداقل تعداد گل در بوته با حدود ۴۸/۷ درصد کاهش در شرایط شاهد یا عدم کاربرد منابع کودی و سیلیکون مشاهده شد. نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح کودهای ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی، کاربرد نانوسیلیکون اثر مثبت بیشتری بر تعداد گل در بوته در مقایسه با مصرف سیلیکات پتاسیم داشت، در حالیکه در سطح مصرف کود دامی، اختلاف معنی‌داری بین کاربرد نانوسیلیکون و سیلیکات پتاسیم از نظر تعداد گل در بوته وجود نداشت. در سطوح کودهای دامی و ورمی‌کمپوست، بین کاربرد منابع سیلیکون و عدم مصرف سیلیکون اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد ولی در سطح کاربرد کود شیمیایی، بین مصرف سیلیکات پتاسیم و عدم مصرف سیلیکون اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و فقط نانوسیلیکون اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان داد. در شرایط عدم مصرف منابع کودی نیز اختلاف معنی‌داری بین نانوسیلیکون و سیلیکات پتاسیم مشاهده نشد اگرچه مصرف نانوسیلیکون تا حدودی اثر بهتری نسبت به سیلیکات پتاسیم داشت ولی

هر دو منبع سیلیکون موجب بهبود معنی‌دار تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردیدند (شکل ۱). سایر پژوهشگران نیز اثر سیلیس بر محتوای تنظیم کننده‌های رشد در گل داوودی را عامل بهبود برخی صفات از جمله تعداد و اندازه گل عنوان نمودند (۴۰).



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش بین منابع کودی و سیلیکون بر تعداد گل در بوته گیاه دارویی سرخارگل

سطح برگ

نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده منابع کودی ($P\leq0.01$) و سیلیکون ($P\leq0.05$) بر سطح برگ معنی‌دار شد ولی برهمکنش عوامل آزمایش بر صفت سطح برگ معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده منابع کودی نشان داد که کاربرد هر سه منبع کودی موجب بهبود معنی‌دار سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد، در حالی که بین کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری از نظر سطح برگ مشاهده نشد و بیشترین سطح برگ (۱۳۲/۷۷ سانتی‌متر مربع در بوته) با مصرف کود شیمیایی حاصل شد. با کاربرد کود شیمیایی، سطح برگ به‌ترتیب به میزان ۱۸/۶، ۸/۹ و ۶/۴ درصد در مقایسه با تیمارهای شاهد، مصرف کود دامی و کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافت (جدول ۳). در نتایجی مشابه، سایر پژوهشگران اظهار نمودند که کاربرد کودهای شیمیایی و ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب با شاخص سطح برگ برابر با ۲/۷۵ و ۱/۳۴) موجب افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ در گیاه دارویی سرخارگل در مقایسه با تیمار شاهد (شاخص سطح برگ برابر ۰/۹۳) گردید و در بین تیمارهای مورد مطالعه، شاخص سطح برگ حاصله با کاربرد کودهای شیمیایی به طور معنی‌داری بالاتر از ورمی‌کمپوست بود (۷).

بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سیلیکون (جدول ۳)، کاربرد نانوسیلیکون موجب افزایش معنی‌دار سطح برگ (افزایش ۵/۲ درصدی) در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف سیلیکون گردید، در حالی که بین کاربرد سیلیکات پتاسیم و شاهد اختلاف آماری معنی‌داری از نظر سطح برگ وجود نداشت ولی به هر حال میزان سطح برگ با کاربرد سیلیکات پتاسیم افزایش جزئی در مقایسه با تیمار شاهد داشت. نتایج نشان داد که بین دو منبع سیلیکون مصرفی نیز اختلاف معنی‌داری از نظر سطح برگ مشاهده نشد. گزارش‌ها حاکی از آن است که کاربرد سیلیس باعث افزایش سطح برگ، مقدار کل کلروفیل برگ، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و طول ریشه در گیاه می‌گردد (۳۱).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a

نتایج ارائه شده در جدول ۲، حاکی از آن است که غلظت کلروفیل a تحت اثر اصلی منابع کودی در سطح احتمال یک درصد و تحت اثر ساده سیلیکون در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت ولی صفت مذکور تحت برهمکنش فاکتورهای آزمایش معنی‌دار نشد.

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده منابع کودی نشان داد که کاربرد هر سه منبع کودی منجر به بهبود غلظت کلروفیل a گردید به طوری که مصرف کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و شیمیایی به‌ترتیب موجب افزایش ۲۹/۳، ۲۹/۷ و ۳۶/۹ درصدی غلظت کلروفیل a در مقایسه با عدم کاربرد منابع کودی گردید. هم-چنین، بین منابع مختلف کودی اختلاف معنی‌داری از نظر محتوای کلروفیل a مشاهده نشد (جدول ۳). کودهای آلی نظیر کود دامی و ورمی‌کمپوست دارای مواد آلی می‌باشند که به راحتی تجزیه شده و حاوی مقادیر زیادی نیتروژن می‌باشند، بنابراین با افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه و افزایش رشد رویشی، برگ‌های بیشتری تولید شده، در نتیجه میزان جذب نور و فتوسنتز توسط گیاه افزایش می‌یابد (۲۲). ورمی‌کمپوست به دلیل فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک به عنوان یک ماده افزودنی در خاک جهت کاهش استفاده از کودهای معدنی استفاده می‌شود (۴۱). مطالعات قبلی نشان داد که بین دو منبع کود شیمیایی و کمپوست به‌ترتیب با میانگین‌های برابر با ۹/۹۵ و ۱۰/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر اختلاف معنی‌داری از نظر غلظت کلروفیل a وجود نداشت (۱).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده سیلیکون نشان داد که کاربرد نانوسیلیکون موجب افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل a (۸/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف سیلیکون گردید، در حالیکه بین کاربرد سیلیکات پتاسیم (۷/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و شاهد (۶/۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) اختلاف آماری معنی‌داری از نظر غلظت کلروفیل a مشاهده نشد (جدول ۳). مطالعات قبلی نشان داد که کاربرد سیلیکون موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی سرخارگل از جمله محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید گردید (۱۰).

نتایج حاصله حاکی از آن بود که بین دو منبع سیلیکون نیز اختلاف معنی‌داری از نظر محتوای کلروفیل a وجود نداشت. به هر حال، کاربرد نانوسیلیکون توانست غلظت کلروفیل a را به حداکثر مقدار برساند. در راستای نتایج حاصل از تحقیق حاضر، دانائی و عبدوسی (۴) گزارش دادند که در بین دو منبع سیلیس (نانوسیلیکون و سیلیکون) مورد مطالعه، کاربرد نانوسیلیکون اثر مثبت بیشتری در بهبود محتوای کلروفیل در گیاه نعناع فلفلی در مقایسه با سیلیکون معمولی داشت. گزارش شده که مصرف سیلیس به هر دو روش خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی موجب بهبود غلظت کلروفیل a در گیاه گندم گردید (۵).

کلروفیل b

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده منابع کودی ($P\leq0.01$) و سیلیکون ($P\leq0.05$) بر غلظت کلروفیل b معنی‌دار گردید ولی برهمکنش منابع کودی و سیلیکون بر صفت یاد شده معنی‌دار نشد (جدول ۲).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر اصلی منابع کودی، غلظت کلروفیل b روند مشابهی با محتوای کلروفیل a با اعمال منابع مختلف کودی نشان داد به طوری که مصرف هر سه منبع کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و شیمیایی به‌ترتیب سبب افزایش ۱۹/۵، ۲۱/۲ و ۲۲/۹ درصدی غلظت کلروفیل b در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف منابع کودی گردید. بین منابع مختلف کودی نیز اختلاف معنی‌داری از نظر محتوای کلروفیل b وجود نداشت (جدول ۳). مشاهدات نشان داد که اگرچه بین منابع مختلف کودی مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از نظر محتوای کلروفیل b وجود نداشت ولی به هر حال استفاده از کود شیمیایی سبب تولید بالاترین غلظت کلروفیل گردید. اکبرپور و همکاران (۲) با بررسی اثر کود شیمیایی و دامی بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه سرخارگل، گزارش دادند که غلظت کلروفیل a و b تحت اثر تیمارهای کودی قرار گرفت به طوری که بیشترین غلظت کلروفیل a و b به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۱/۳۳ و ۲/۴۱ میلی-گرم در گرم وزن تر با کاربرد کود شیمیایی حاصل گردید. بر اساس یافته‌های آرزمجو و همکاران (۱۷)، کود شیمیایی از بیشترین کارایی نسبت به کودهای آلی (دامی و کمپوست) در افزایش محتوای کلروفیل a و b برخوردار بوده است، که در راستای نتایج حاصل از این مطالعه می‌باشد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سیلیکون نشان داد که کاربرد نانوسیلیکون موجب افزایش غلظت کلروفیل b به میزان ۱۲/۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف سیلیکون گردید، در حالیکه بین کاربرد سیلیکات پتاسیم (۲/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و شاهد (۲/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) اختلاف آماری معنی‌داری از نظر غلظت کلروفیل b مشاهده نشد. نتایج حاصله حاکی از آن بود که بین دو منبع سیلیکون نیز اختلاف معنی‌داری از نظر محتوای کلروفیل b وجود نداشت. اگرچه کاربرد سیلیکات پتاسیم اختلاف معنی‌داری در افزایش غلظت کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد ایجاد نکرد ولی توانست محتوای کلروفیل b را تا حدودی (افزایش ۹/۴ درصدی) در مقایسه با عدم مصرف سیلیکون بهبود ببخشد (جدول ۳). عاصمه و پوراکبر (۱۹) با بررسی اثر سیلیکات و نانوسیلیکات بر زعفران گزارش کردند که نانوسیلیکات باعث افزایش طول و وزن خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب، کلروفیل b، فلاونوئید و پروتئین محلول در زعفران شد.

کلروفیل کل

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاکی از آن بود که اثر ساده منابع کودی ($P\leq0.01$) و سیلیکون ($P\leq0.05$) بر غلظت کلروفیل کل معنی‌دار شد ولی برهمکنش بین منابع کودی و سیلیکون بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده منابع کودی نشان داد که کاربرد هر سه منبع کودی منجر به بهبود غلظت کلروفیل کل گردید به طوری که مصرف کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و شیمیایی به‌ترتیب موجب

افزایش ۲۷/۱، ۲۸/۱ و ۳۳/۵ درصدی غلظت کلروفیل کل در مقایسه با عدم کاربرد منابع کودی گردید. هم-چنین، بین منابع مختلف کودی اختلاف معنی‌داری از نظر محتوای کلروفیل کل مشاهده نگردید (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده سیلیکون نشان داد که حداکثر غلظت کلروفیل با میانگین ۱۰/۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر با مصرف نانوسیلیکون حاصل گردید اگرچه با کاربرد سیلیکات پتاسیم (۹/۶۹ میلی-گرم بر گرم وزن تر) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. حداقل محتوای کلروفیل کل نیز با حدود ۱۴/۹ درصد کاهش در شرایط شاهد یا عدم مصرف سیلیکون در مقایسه با کاربرد نانوسیلیکون مشاهده شد. نتیجه حاصله نشان داد که در بین منابع سیلیکون مصرفی، کاربرد نانوسیلیکون اثر بهتری در بهبود غلظت کلروفیل کل در مقایسه با سیلیکات پتاسیم داشت (جدول ۳). فهیمی و همکاران (۲۴) گزارش دادند که مصرف سیلیس به-ترتیب موجب افزایش ۶۵ و ۵۸ درصدی غلظت کلروفیل a و b در زعفران گردید که در نهایت منجر به افزایش فتوسنتز، سنتز مواد و بهبود عملکرد گردید. اثر مثبت معنی‌دار کاربرد سیلیس بر تمامی رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و کلروفیل کل در گیاه خرفه گزارش شده است (۳۳).

وزن خشک اندام گیاه

وزن خشک ریشه

نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان داد که در بین تیمارهای آزمایش، صفت وزن خشک ریشه فقط تحت اثر اصلی منابع کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و اثر اصلی سیلیکون و هم‌چنین برهمکنش بین منابع کودی و سیلیکون بر صفت مذکور معنی‌دار نگردید.

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده منابع کودی نشان داد که حداکثر وزن خشک ریشه به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۴۳/۷۸ و ۳۵۶/۵۶ گرم در متر مربع با مصرف ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی حاصل شد که به طور معنی‌داری بالاتر از کاربرد کود دامی و تیمار شاهد بود. بین کاربرد کود دامی و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری از نظر وزن خشک ریشه مشاهده نشد ولی به هر حال مصرف کود دامی تا حدودی منجر به افزایش وزن خشک ریشه گردید. حداقل وزن خشک ریشه در شرایط عدم کاربرد منابع کودی با حدود ۲۳/۲ و ۲۶ درصد کاهش در مقایسه با تیمارهای ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی مشاهده گردید (جدول ۵).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سیلیکون نشان داد که بین کاربرد منابع سیلیکون و عدم کاربرد سیلیکون اختلاف آماری معنی‌داری از نظر وزن خشک ریشه وجود نداشت (جدول ۵). از طرفی سایر محققان با بررسی اثر غلظت‌های مختلف سیلیکون (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار) بر صفات سرخارگل، اظهار نمودند که با افزایش غلظت سیلیکون، میزان وزن تر و خشک ریشه و میزان فلاونویید و فنل کل افزایش یافت (۱۰).

جدول ۴- تجزیه واریانس وزن خشک اندام گیاهی گیاه دارویی سرخارگل تحت تیمارهای آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک کل
تکرار	۲	۲۴۸/۸۶	۴۶۹/۰۰	۱۵۵۸/۰۸	۴۵۹/۰۸
منابع کودی	۳	۱۵۹۲۲/۸۵**	۱۰۰۷۷/۶۶*	۱۱۴۸۰/۲۵*	۱۱۰۱۸/۰۰**
خطای a	۶	۸۹۲/۸۲	۳۴۱۲/۰۰	۹۴۰/۸۶	۸۶۲/۵۲
سیلیکون	۲	۱۳/۱۹^{ns}	۱۵۹۳/۲۵^{ns}	۳۷۸۹/۰۰^{ns}	۵۳۳۳/۲۵*
منابع کودی × سیلیکون	۶	۱۳۸/۹۳^{ns}	۱۳۹/۹۱^{ns}	۴۰۰/۰۰^{ns}	۴۵۶/۲۵^{ns}
خطای b	۱۶	۱۵۱۸/۷۵	۲۳۴۱/۵۰	۲۷۰۲/۶۶	۱۱۲۶/۱۶
ضریب تغییرات	-	۱۲/۳۰	۱۲/۷۰	۱۴/۲۳	۸/۴۵

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۵- مقایسه میانگین وزن خشک اندام گیاهی گیاه دارویی سرخارگل تحت تیمارهای آزمایش

تیمارهای آزمایش	وزن خشک ریشه (گرم در متر مربع)	وزن خشک برگ (گرم در متر مربع)	وزن خشک ساقه (گرم در متر مربع)	وزن خشک گل (گرم در متر مربع)
		منابع کودی		
شاهد	۲۶۳/۹b	۳۴۲/۳c	۳۱۶/۷b	۳۵۰/۳c
کود دامی	۳۰۲/۷b	۳۶۶/۰bc	۳۶۲/۰ab	۳۹۱/۰b
ورمی‌کمپوست	۳۴۳/۸a	۳۹۶/۷ab	۳۸۳/۷a	۴۱۷/۳ab
کود شیمیایی	۳۵۶/۶a	۴۱۸/۳a	۳۹۸/۷a	۴۲۹/۳a
$LSD_{0.05}$	۳۸/۹۴	۴۸/۳۵	۵۱/۹۵	۳۳/۵۳
		سیلیکون		
شاهد	۳۱۶/۶a	۳۶۹/۷a	۳۴۴/۷a	۳۸۰/۵b
سیلیکات پتاسیم	۳۱۷/۸a	۳۸۰/۰a	۳۷۶/۲a	۳۸۹/۷b
نانوسیلیکون	۳۱۵/۷a	۳۹۲/۷a	۳۷۴/۷a	۴۲۰/۷a
$LSD_{0.05}$	۳۳/۷۲	۴۱/۸۷	۴۴/۹۹	۲۹/۰۴

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

وزن خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که وزن خشک برگ از نظر آماری تحت اثر ساده منابع کودی ($P\leq0.05$) قرار گرفت ولی اثر ساده سیلیکون و هم‌چنین برهمکنش بین منابع کودی و سیلیکون بر وزن خشک برگ معنی‌دار نشد (جدول ۴).

بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌های اثر اصلی منابع کودی (جدول ۵)، کاربرد کودهای شیمیایی و ورمی‌کمپوست موجب بهبود معنی‌دار وزن خشک برگ در مقایسه با تیمار شاهد گردید. نتایج نشان داد که اگرچه بین کاربرد کود دامی و تیمار شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری از نظر وزن خشک برگ مشاهده نشد ولی مصرف کود دامی تا حدودی منجر به بهبود وزن خشک برگ گردید. مشاهدات نشان داد که حداکثر وزن خشک برگ (۴۱۸/۳۳ گرم در متر مربع) با مصرف کود شیمیایی به‌دست آمد که با کاربرد ورمی‌کمپوست

(۳۹۶/۶۷ گرم در متر مربع) اختلاف معنی‌داری نداشت. حداقل وزن خشک برگ نیز با حدود ۱۸/۲ درصد کاهش در تیمار شاهد مشاهده شد. کاربرد کمپوست از طریق تأمین عناصر غذایی خاک و بهبود کیفیت ساختمان خاک سبب افزایش تعداد برگ و متعاقب آن افزایش میزان جذب نور و فتوسنتز می‌گردد، در نتیجه مواد هیدروکربنی بیشتری در برگ‌های گیاه ساخته شده و سبب افزایش تعداد گل و میوه و در نهایت عملکرد گیاه می‌گردد (۲۰).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سیلیکون نشان داد که اگرچه بین کاربرد منابع سیلیکون و تیمار شاهد اختلاف آماری معنی‌داری از نظر وزن خشک برگ وجود نداشت ولی کاربرد سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیکون به‌ترتیب سبب افزایش ۲/۷ و ۵/۸ درصدی وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۵). کاربرد سیلیکون موجب تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم روبیسکو در برگ و متعاقب آن سبب بهبود تنظیم سوخت و ساز دی اکسید کربن و در نهایت افزایش کارایی تثبیت کربن توسط گیاهان می‌گردد (۱۵). سیلیکون به واسطه افزایش میزان تولیدات فتوسنتزی موجب افزایش وزن تر و خشک اندام‌ها به خصوص برگ‌ها می‌شود (۱۲).

وزن خشک ساقه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده منابع کودی بر وزن خشک ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد ولی صفت یاد شده تحت اثر ساده سیلیکون و برهمکنش منابع کودی × سیلیکون قرار نگرفت (جدول ۴).

نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین‌های اثر ساده منابع کودی نشان داد که کاربرد هر سه منبع کودی موجب بهبود وزن خشک ساقه در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف منابع کودی گردید، اگرچه بین کاربرد کود دامی و تیمار شاهد، اختلاف ایجاد شده از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که حداکثر وزن خشک ساقه به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۸۳/۶۷ و ۳۹۸/۶۷ گرم در متر مربع با مصرف کودهای ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی حاصل شد و در شرایط عدم مصرف منابع کودی، وزن خشک ساقه به میزان ۲۰/۶ درصد کاهش یافت (جدول ۵). مصرف کودهای آلی نظیر ورمی‌کمپوست از طریق افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، کربن آلی، زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیمی، افزایش تخلخل و ظرفیت نگهداری آب، تولید هورمون‌های رشد گیاهی و تولید اسیدهای آلی در خاک موجب بهبود ویژگی‌های خاک می‌گردد (۳۶). افزودن کود ورمی‌کمپوست به خاک به واسطه بهبود شرایط فیزیکی و زیستی خاک و هم‌چنین افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و ظرفیت تبادل کاتیونی و عرضهٔ تدریجی و پایدار عناصر غذایی و داشتن آنزیم‌ها و هورمون‌های رشد به دلیل برانگیختن رشد رویشی و نیز انتقال دوبارهٔ مواد از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان و در نتیجه ظهور دیرتر نشانه‌های پیری، موجب تجمع بیشتر مادهٔ خشک به خصوص افزایش عملکرد می‌گردد (۶). گزارش شده که کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست بر بیشتر صفات عملکردی گیاه سرخارگل همانند وزن خشک ریشه، ساقه، گل و عملکرد بیولوژیک اثر مثبت معنی‌داری داشت (۹).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر ساده سیلیکون نشان داد که بین کاربرد منابع سیلیکون و عدم کاربرد سیلیکون اختلاف آماری معنی‌داری از نظر وزن خشک ساقه مشاهده نشد ولی مصرف هر دو منبع سیلیکون موجب افزایش جزئی وزن خشک ساقه گردیدند (جدول ۵). مهدوی و همکاران (۳۰) با ارزیابی اثر

محلول‌پاشی سیلیس (صفر و ۱ میلی‌مولار) بر ویژگی‌های کمی و کیفی نعناع، عنوان نمودند که در غلظت یک میلی‌مولار سیلیکون، وزن خشک اندام هوایی و کربوهیدرات‌ها در گیاه بیشتر از شاهد بود.

وزن خشک گل

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌های آزمایش (جدول ۴) حاکی از آن بود که اثر ساده منابع کودی ($P\leq0.01$) و سیلیکون ($P\leq0.05$) بر وزن خشک گل معنی‌دار شد ولی برهمکنش بین منابع کودی و سیلیکون بر صفت مذکور معنی‌دار نگردید.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر اصلی منابع کودی نشان داد که کاربرد هر سه منبع کودی شامل کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و شیمیایی منجر به افزایش وزن خشک گل به‌ترتیب به میزان ۱۰/۴، ۱۶ و ۱۸/۴ درصد در مقایسه با عدم مصرف منابع کودی (تیمار شاهد) گردید. نتایج نشان داد که در بین منابع مختلف کودی، کاربرد کود شیمیایی سبب حصول حداکثر وزن خشک گل (۴۲۹/۳۳ گرم در متر مربع) گردید که اختلاف معنی‌داری با کاربرد کود ورمی‌کمپوست (۴۱۷/۳۳ گرم در متر مربع) نداشت ولی به طور معنی-داری بالاتر از مصرف کود دامی بود (جدول ۵). در نتایجی مشابه با یافته‌های تحقیق حاضر، فیاضی و همکاران (۶) اظهار داشتند که تیمار شاهد یا عدم کاربرد منابع کودی با کاهشی به میزان ۳۳/۳۲ درصد، کمترین میزان وزن خشک گل با میانگین ۳۲۹۲/۳ کیلوگرم در هکتار را داشت. آشناور و همکاران (۱) بیان داشتند که بین کاربرد کود شیمیایی و کمپوست از نظر وزن خشک گل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و کاربرد هر دو منبع کودی موجب بهبود وزن خشک گل گیاه دارویی سرخارگل در مقایسه با شاهد گردید. سلطانیان و همکاران (۱۱) گزارش دادند که بیشترین عملکرد دانه گیاه دارویی سرخارگل با کاربرد تیمارهای کود شیمیایی کامل $NPK_{20+20+20}$ و ورمی‌کمپوست + هیومیک اسید + کود کامل $NPK_{20+20+20}$ حاصل گردید.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، استفاده از ورمی‌کمپوست به عنوان یک کود آلی می‌تواند به طور مشابه با کود شیمیایی سبب بهبود وزن خشک اندام هوایی گیاه سرخارگل گردد. بررسی‌های انجام شده توسط راویندران و همکاران (۳۶) نیز نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گل، ساقه و عملکرد زیست توده شد. گزارشات حاکی از آن است که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه‌تنها فراهم شدن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده است، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای زیستی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، باعث افزایش رشد اندام‌های هوایی و تولید مادهٔ خشک و در نهایت بهبود عملکرد گردیده است (۶). گزارشات حاکی از آن است که استفاده از کمپوست در گیاه دارویی بابونه سبب افزایش عملکرد گل شد (۱۷).

بر اساس نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین‌های اثر ساده سیلیکون (جدول ۵)، کاربرد نانوسیلیکون موجب افزایش وزن خشک گل به میزان ۹/۶ و ۷/۴ درصد به‌ترتیب در مقایسه با تیمارهای عدم مصرف سیلیکون (شاهد) و سیلیکات پتاسیم گردید. نتایج حاکی از آن بود که بین کاربرد سیلیکات پتاسیم و تیمار شاهد اختلاف آماری معنی‌داری از نظر وزن خشک گل وجود نداشت اگرچه مصرف سیلیکات پتاسیم توانست به صورت جزئی موجب بهبود وزن خشک گل در مقایسه با عدم کاربرد سیلیکون گردد. از دلایل افزایش زیست‌توده در گیاهان می‌توان به اثر سیلیس در افزایش رشد و استحکام ریشه اشاره داشت که در نهایت

منجر به افزایش جذب مواد غذایی و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌گردد (۲۸). سیلیکون به واسطه قرار دادن بهتر برگ‌ها در معرض نور خورشید و در نتیجه افزایش فتوسنتز موجب افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (۲۵). بررسی‌های به عمل آمده توسط زارع و همکاران (۱۰) نشان داد که مصرف سیلیسیم منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی سرخارگل گردید. سایر محققان گزارش دادند که با افزایش غلظت سیلیس از صفر به ۲/۲۵ میلی‌مولار، بیوماس تر گیاه دارویی سرخارگل به میزان ۲۶/۵ درصد افزایش یافت (۲۷).

در مطالعه حاضر، کاربرد نانوذرات سیلیکون به طور قابل توجهی برتر از مصرف سیلیکات پتاسیم از نظر افزایش وزن خشک گل بود. مشابه با نتایج این پژوهش، دانائی و عبدوسی (۴) با بررسی اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر شاخص‌های کمّی و کیفی گیاه نعناع فلفلی، بیان نمودند که اثر بهبود دهندگی نانوسیلیکون در صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه بیشتر از سیلیکون بود. عاصمه و پور اکبر (۱۹) نیز با بررسی اثر نانوذرات سیلیکات و سیلیکات بر زعفران، بیان نمودند که نانوذرات سیلیکات باعث افزایش معنی‌دار تعداد برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاه زعفران شد.

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که تمام صفات مورد مطالعه در آزمایش نظیر صفات رشدی، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و وزن خشک اندام گیاهی تحت اثر منابع کودی معنی‌دار شدند. اثر اصلی تیمار سیلیکون بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، برگ و ساقه معنی‌دار بود. برهمکنش بین منابع کودی و سیلیکون فقط بر صفت تعداد گل در بوته معنی‌دار گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در بین منابع کودی، کاربرد کود شیمیایی بیشترین اثر را بر صفات مورد مطالعه داشت اگرچه مصرف کود آلی ورمی‌کمپوست به جز در صفات رشدی، اختلاف معنی‌داری با کاربرد کود شیمیایی نشان نداد. به هر حال، کاربرد کود ورمی‌کمپوست در تمام صفات مورد بررسی اثر بهتری در مقایسه با کود دامی داشت. در این تحقیق، اگرچه کاربرد هر دو منبع سیلیکون سبب بهبود صفات رشدی و غلظت رنگیزه-های فتوسنتزی در مقایسه با تیمار شاهد گردید ولی کاربرد نانوسیلیکون اثر بهبوددهندگی بالاتری در مقایسه با مصرف سیلیکات پتاسیم نشان داد. علاوه بر این، محلول‌پاشی نانوسیلیکون سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گل در مقایسه با تیمار شاهد و هم‌چنین سیلیکات پتاسیم گردید. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر، کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست به عنوان جایگزین مناسب برای کودهای شیمیایی و هم‌چنین استفاده از نانوسیلیکون جهت بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد سرخارگل معرفی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱- **آشناور، م.، بهمنیار م.ع. و اکبرپور، و. ۱۳۹۳.** بررسی تأثیر منابع مختلف کودی بر شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۶(۲): ۲۶۶-۲۷۴.

۲- **اکبرپور، و.، آشناور، م. و بهمنیار، م.ع. ۱۳۹۵.** اثر کود دامی و شیمیایی روی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه سرخارگل. مجله به‌زراعی کشاورزی، ۱۸(۳): ۷۰۱-۷۱۱.

۳- **بیات، م.، رحمنی، آ.، امیرنیا، ر.، وعلوی سینی، س.م. ۱۳۹۳.** تعیین بهترین روش و مدت زمان پیش تیمار بذر در گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.). نشریه علوم و تحقیقات بذر ایران. ۱(۱): ۱-۱۵.

٤- **دانائی، ا. و عبدوسی، و. ۱۴۰۰.** اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۷(۱): ۹۸-۱۱۲.

٥- **طباطبایی، ن.، عطاآبادی، م.، تهرانی، م.م. و هودجی، م. ۱۴۰۱.** اثر سیلیسیم بر ویژگی‌های آگروفیزیولوژیک گندم در شرایط تنش خشکی. مجله علوم به‌زراعی گیاهی، ۱۲(۱): ۱۶-۲۹.

٦- **فیاضی، ح.، ابدالی مشهدی، ع.، کوچک‌زاده، ا.، پاپزن، ع. و ارزانش، م.ح. ۱۳۹۵.** تأثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاه دارویی سرخارگل(*Echinaceae purpurea* L.). نشریه علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۷(۲): ۳۱۴-۳۰۱.

۷- **محمودان، س.، بیابانی، ع.، حبیبی، د.، قلی‌زاده، ع. و غلامعلی‌پور علمداری، ا. ۱۳۹۹.** مطالعه‌ی اثر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر صفات رویشی و ترکیبات دارویی گیاه سرخارگل (*Echinaceae purpurea* L.). مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۳(۴): ۱۵۰-۱۳۵.

۸- **موذن‌پور, س.، ریزی، س. و محمدخانی، ع. ۱۳۹۲.** اثر تغذیه سیلیکون بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.). همایش ملی گیاهان دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی، آمل، ایران.

۹- **رضوی‌نیا، س.م.، آقاعلیخانی، م. و نقد بادی، ح. ۱۳۹۴.** تأثیر کود ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه سرخارگل (*Echinaceae purpurea* (L.) Moench). مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۱(۲): ۳۵۷-۳۷۳.

۱۰- **زارع، ف.، خراسانی‌نژاد، س. و همتی، خ. ۱۳۹۷.** اثر سیلیسیوم در برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinaceae purpurea* L.) در تنش شوری. زیست‌شناسی گیاهی ایران، ۳۷: ۶۸-۵۵.

۱۱- **سلطانیان، ب.، رضوانی مقدم، پ. و اصیلی، ج. ۱۳۹۹.** بررسی اثر تنش رطوبتی و منابع کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد دانه و ترکیبات فنلی ریشه سرخارگل (*Echinaceae purpurea* L.). نشریه علوم باغبانی. ۳۴(۴): ۵۹۳-۶۰۳.

۱۲- **کرمانی، م. و امیر مرادی، ش. ۱۴۰۰.** اثر غلظت و تعداد دفعات محلول‌پاشی سیلیس بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران. نشریه زراعت و فناوری زعفران، ۹(۴): ۳۲۳-۳۴۱.

۱۳- **مرادی، ا. و امینیان، م. ۱۳۹۱.** میزان نشر گازهای گلخانه ایران در سال ۱۳۸۹. نشریه نشاء علم، ۳(۱): ۵۵-۵۹.

۱۴- **یحیی‌پور، ح.، نیک‌نژاد، ی.، فلاح، ه.، دستان، س. و براری تاری، د. ۱۴۰۲.** اثر اصلاح‌کننده‌های خاک بر اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.). مجله علوم به‌زراعی گیاهی، ۱۳(۱): ۱۵-۲۹.

15- **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.

16- **Agha Alikhani, M., Iranpour, A. and Naghdi Badi, H. 2013.** Changes in agronomical and phytochemical yield of purple coneflower *(Echinaceae purpurea* (L.) Moench) under urea and three biofertilizers application. Journal of medicinal Plants, 2(46): 121-136.

17- **Arazmjoo, A., Heidari, M. and Ghanbari, A. 2009.** The effect of water stress and three sources of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrient uptake in Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 25: 482-494.

18- **Arnon, A.N. 1967.** Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23:112-121.

19- **Asemeh, M. and Pourakbar, L. 2017.** Effect of silicate nanoparticles on some physiological and biochemical parameters of saffron (*Crocus sativus* L.) under salt stress. M.Sc. Thesis, Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran.

20- **Asgharipour, M. and Ahmadian, A. 2008.** Utilization of compost for organic production of isabgol and cumin. In: Proceeding of the Third National Congress of Recycling and Reuse of Renewable Organic Resources in Agriculture, Isfahan, Iran, 14-16 May, p. 162-168.

21- **Askarnejad, M., Sodaeei Zadeh, H., Mosleh Arani, A., Yazdani Biouki, R. and Mavandi, P. 2019.** Effect of silicon on increasing drought tolerance of *stevia rebaudiana* Bertoni under moisture stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12: 847-863.

22- **Bauer, A. and Black, A.L. 1994.** Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. Soil Science Society of America Journal, 58: 185-193.

23- **Etesami, H. and Jeong, B.R. 2018.** Silicon (Si): review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 147: 881-896.

24- **Fahimi, J., Bouzoubaa, Z., Achemchem, F., Saffah, N. and Mamouni, R. 2018.** Effect of silicon application on taliouine *Crocus sativus* L. cultivation under salt stress. International Journal of Research Granthaalayah, 6(9): 291-300.

25- **Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Romheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, L. and Cesco, S. 2012.** Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* (L.) Laterr) plants. Plant Physiology and Biochemistry, 56: 14-23.

26- **Griffe, P., Metha, S. and Shankar, D. 2003.** Organic production of medicinal, aromatic and dye-yielding plants (MADPs): Forward, Preface and Introduction, FAO, Rome, Italy.

27- **Khorasaninejad, S., Zare, F. and Hemmati, K. 2019.** Effects of silicon on some phytochemical traits of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under salinity. Scientia Horticulturae, 264: 108954.

28- **Ma, J.F. and Yamaji, N. 2006.** Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends Plant Science, 11: 392-397.

29- **Maghsoudi, K., Emam, Y. and Pessarakli, M. .2013.** Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. Journal of Plant Nutrition, 39(7): 1001-1015.

30- **Mahdavi, M., Esmaielpour, B. and Fatemi, H. 2018.** Effect of silicon nutrition on growth and physiology of spearmint (*Mentha spicata*) under cadmium stress condition. Iranian Journal of Horticultural Sciences, 49(1): 185-198.

31- **Mali, M. and Aery, N.C. 2009.** Effects of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40: 1041-1052.

32- **Markovich, O., Steiner, E., Kouril, S., Tarkowski, P., Aharoni, A. and Elbaum, R. 2017.** Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in Arabidopsis and Sorghum. Plant Cell and Environment, 40: 1189-1196.

33- **Mohammadi Azni, M., Moradi, H., Ghasemi, K. and Biparva, P. 2020.** Effect of silicon and methyl jasmonate on some morphological traits and photosynthetic parameters in common purslane (*Portulaca oleracea* L.). Journal of Horticultural Plants Nutrition, 3(1): 175-186.

34- **Nakata, Y., Ueno, M., Kihara, J., Ichii, M., Taketa, S. and Arase, S. 2008.** Rice blast disease andsusceptibility to pests in a silicon uptake deficient mutant. Crop Protection, 27: 865-868.

35- **Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., Thonart, P. and Biotechnol, I. 2011.** Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 15(2): 327-337.

36- **Ravindran, B., Wong, J.W., Selvam, A. and Sekaran, G. 2016.** Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste. Bioresource Technology, 217: 200-204.

37- **Renato, Y., Ferreira, M.E., Cruz, M.C. and Barbosa, J.C. 2003.** Organic matter fractions and soil fertility under influence of liming, vermicompost and cattle manure. Bioresource Technology, 60(3): 59-63.

38- **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 hybrisa* L.) "Hot Lady". African Journal of Biotechnology, 8(8): 1502-1508.

39- **Saeed Nejad, A.H. and Rezvani Moghadam, P. 2010.** Valuation consumption of compost, vermicompost and cow manure effect on yield, yield

componts and essential oil (*Cuminum cyminum*). Journal of Horticultural Science, 24(2): 142-148.

40- **Sivanesan, I., Son, M.S., Song, J.Y. and Jeong, B.R. 2013.** Silicon supply through the sub irrigation system affects growth of three chrysanthemum cultivars. Horticultural Environment and Biotechnology, 54(1): 14-19.

41- **Tejada, M. and Gonzaler, J.L. 2009.** Application of two vermicompost on a rice crop: effects on soil biological properties and rice quality and yield. Agronomy Journal, 101(2): 336-344.

42- **Torabi, F., Majd, A., Enteshari, Sh. and Ayriyan, S. 2013.** Study of effect of silicon on some anatomical and physiological characteristics of borage (*Borago officinalis* L.) in hydroponic conditions. Journal of Cell and Tissue, 4(3): 275-285.

43- **Vaculík, M., Lux, A., Luxová, M., Tanimoto, E. and Lichtscheidl, I. .2009.** Silicon mitigates cadmium inhibitory effects in young maize plants. Environmental and Experimental Botany, 67: 52-58.

44- **Vikram, A., Hamzehzarghani, H., Al-Mughrabi, K.I., Krishnaraj, P.U. and Japadeesh, K.S. 2007.** Interaction between (*Pseudomonas fluorescens)* FPD-15 and *(Bradyrhizobium* spp.) In peanut. Biotechnology, 6: 292-298.

45- **Yan, G.C., Nikolic, M., Ye, M.J., Xiao, Z.X. and Liang, Y.C. 2018.** Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. Journal of Integrative Agriculture, 17(10): 2138-2150.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 13, Issue 1, Spring and Summer 2023

Effect of organic and chemical fertilizers along with silicon application on morpho-physiological characteristics and yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.)

Rasool Ghanbari[*1], Yousof Niknezhad[1]

1- Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. Medicinal Plants Research Center, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

Corresponding Author; Email: yousofniknejad@gmail.com

(Received: 6 September 2023; Accepted: 12 October 2023)

Abstract

This research was conducted with aim of investigating the effect of organic and chemical fertilizers along with silicon on morpho-physiological characteristics and yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.), in Mazandaran, Amol during 2022. The experiment was conducted as a split-plot in a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments include the organic and chemical fertilizers at four levels (control, manure, vermicompost and chemical fertilizer) as the main plot and silicon at three levels (control, potassium silicate and nano-Si) were considered as sub plot. The results indicated that the most growth characteristics like plant height, number of flowers per plant and leaf area were obtained by chemical fertilizer. The highest dry weight of plant organ was achieved with use of chemical fertilizers, although there was no significant difference with vermicompost. The highest dry weight of flowers (429.3 g.m^{-2}) was obtained by chemical fertilizer, which was not significantly different from use of vermicompost (417.3 g.m^{-2}). The application of both sources of silicon led to improvement in the number of flowers per plant, leaf area, and chlorophylls concentration compared with control, although the nano-Si had higher improvement effect compared with potassium silicate. The nano-Si increased the dry weight of flowers by 9.6 and 7.4% compared with non-application of silicon and use of potassium silicate, respectively. Therefore, according to the findings of this research, application of vermicompost is introduced as a suitable alternative to chemical fertilizers, as well as nano-Si to improve the morpho-physiological characteristics and yield of purple coneflower.

Key words: Chlorophyll content, Dry weight of plant organs, Nano-silicon, Organic fertilizer, Purple coneflower