https://doi.org/10.22034/12.57.91

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی سیلیسیم بر اجزای عملکرد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) در بسترهای کشت مختلف

سارا خراسانی‌نژاد*، فاطمه بهشتی، فاطمه داوریان و حسین کیخا

گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷)

چکیده

بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) گیاه دارویی ارزشمند در مدیترانه و غرب آسیا است. در سال‌های اخیر مشخص شده است عنصر سیلیسیم، دارای اثرات مهمی روی رشد و افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌ها و بهبود جذب یون‌ها است. امروزه، به‌ویژه در شرایط نامساعد محیطی، سیستم‌های کشت بدون‌خاک از مهمترین فناوری‌های روز به‌شمار می‌آیند. باتوجه به اهمیت روزافزون این نوع از تکنیک کشت، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح سیلیسیم با غلظت‌های صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار در چهار بستر کشت شامل خاک و ماسه (مشتقات خاکی)، خاک و ورمی‌کمپوست (مشتقات خاکی)، پرلیت (بدون خاک و تغذیه با محلول غذایی با پایه هوگلند)، پرلیت و کوکوپیت (بدون خاک و تغذیه با محلول غذایی با پایه هوگلند) با سه تکرار انجام شد. پس از کشت نشا و کامل‌شدن رشد رویشی و شروع فاز گلدهی، شاخص‌های رشدی، مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی از جمله طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، رطوبت نسبی برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی، فنل کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، عملکرد و درصد اسانس اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل سیلیسیم با بسترهای کشت بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادرنجبویه در سطح اختلاف یک درصد معنی‌دار شد و بیشترین میانگین شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی در بستر کشت پرلیت به‌دست آمد. افزایش غلظت سیلیسیم تا حدی باعث بهبود عملکرد شد اما در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار بهترین نتایج به دست آمد. بیشترین مقدار عملکرد اسانس (۰/۰۶ میلی‌گرم در هر بوته) در شرایط خاک مزرعه و بدون محلول‌پاشی سیلیسیم و بیشترین درصد اسانس (۰/۸ درصد) در محیط‌کشت پرلیت با سیلیسیم ۲/۲۵ میلی‌مولار به‌دست آمد. همچنین بالاترین مقدار فنل کل (۱۴۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) در سیستم کشت خاکی و سیلیسیم ۲/۲۵ میلی‌مولار و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۵۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) در محیط‌کشت خاکی و عدم استفاده از سیلیسیم مشاهده شد. باتوجه به نتایج به‌دست آمده، به نظر می‌رسد با وجود اینکه سیلیسیم دارای اثرات افزایشی بر پارامترهای رشدی بوده است، بهترین نتیجه روی متابولیت‌های ثانویه، در بستر خاک مزرعه بدون کاربرد سیلیسیم، به‌دست آمد که از نظر اقتصادی نیز به‌صرفه است.

کلمات کلیدی: اسانس، عملکرد بیولوژیک، کشت بدون خاک، ورمی‌کمپوست

مقدمه

بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) گیاهی چندساله از خانواده Lamiaceae است که ارتفاع آن به یک متر می‌رسد،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: skhorasaninejad@yahoo.com; khorasaninejad@gau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

بومی حوزه مدیترانه و غرب آسیا است و اکنون در سراسر جهان کشت می‌شود. دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی است و ترکیبات معطر موجود در اسانس آن‌ها کاربرد فراوانی در صنایع دارویی، بهداشتی و غذایی دارد (Seidler-Lozykowska *et al.*, 2015). بادرنجبویه قرن‌ها است که در طب سنتی به‌طور گسترده به دلیل اثرات مفید آن بر سیستم عصبی، از جمله علائم اضطراب و تسکین تپش قلب، آرام‌بخش خفیف و اثرات خواب‌آور، اثرات کاهنده قند خون، محافظت از کبد، ضدباکتری، ضدالتهاب، آنتی‌اکسیدان، ضدویروسی، ضداسپاسم، محافظت‌کننده عصبی و سیتوتوکسیک استفاده می‌شود (Joukar *et al.*, 2016).

غلظت سیلیسیم قابل‌جذب در محلول خاک بین ۰/۱ تا ۰/۶ میلی‌مولار برآورد شده (Richmond and Sussman, 2003) که به‌علت فرآیند آبشویی مقدار دسترسی گیاه به این عنصر کاهش پیدا می‌کند؛ از این‌رو تداوم تأمین این عنصر در تمامی مراحل از چرخه زندگی گیاه به‌منظور حفظ سلامت آن ضروری به‌نظر می‌رسد (Khan *et al.*, 2016). امروزه اثر عنصر سیلیسیم در افزایش مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها، سمیت به عناصر سنگین و افزایش عملکرد در بسیاری از گونه‌های گیاهی ثابت شده است (Ma and Yamaji, 2006). سیلیسیم اثرات مثبتی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه توت‌فرنگی تحت تنش شوری دارد، اگر چه اثرات سیلیسیم تحت شرایط مطلوب نیز محسوس بود ولی به نظر می‌رسد وقتی گیاه در شرایط تنش باشد، اثرات سودمند سیلیسیم چشمگیرتر است (سیدلرفاطمی و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین در تحقیقی روی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش شوری مشخص شد اعمال سیلیسیم قادر است با افزایش ترکیبات فنلی در ریشه و اندام هوایی و جلوگیری از کاهش اجزای عملکرد ریشه و اندام هوایی، سبب بهبود رشد و متابولیت‌های ثانویه اصلی در این گیاه شود (زارع و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین سیلیسیم دارای اثرات مشابهی روی خیار (*Cucumis sativus*) (Mousavi *et al.*, 2022) و زعفران (*Crocus sativus*) (عاصمه و پوراکبر، ۱۴۰۱) تحت تنش شوری بود.

کاربرد مشتقات سیلیسیم نیز اثرات بهبوددهندگی تحت تنش خشکی را نیز نشان داده است به‌طوری‌که کاربرد نانوسیلیسیم روی بابونه گاوی (*Tanacetum parthenium*) تحت تنش خشکی توانست از کاهش رشد و درصد اسانس جلوگیری نمود (Esmaili *et al.*, 2022). افزودن سیلیسیم به محلول غذایی بر رشد و عملکرد گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) تأثیر مثبت گذاشت. براساس نتایج حاصل استفاده از سیلیسیم به‌عنوان یک نوع کود توانسته اثرهای مثبتی بر این گیاه بگذارد، به‌طوری‌که این تغییرات آمادگی برای تحمل تنش‌ها را در پی خواهد داشت (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین این اثرات می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب عناصر تحت تأثیر سیلیسیم باشد به‌طوری‌که مشخص شد سیلیسیم می‌تواند رشد گیاه را تحت تنش با تنظیم اسمزی و تعدیل جذب و توزیع عناصر غذایی را در زیره سیاه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش‌های شوری و خشکی بهبود ببخشد که این اثرات مفید در تنش شوری بیشتر بود (Rahmani *et al.*, 2023).

با توجه به رویکرد جهانی به سمت استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار، به کارگیری کودهای بیولوژیک حاوی ترکیبات هیومیکی نظیر ورمی‌کمپوست می‌تواند شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود دهد و بر ویژگی‌های رشدی و کیفی گیاه اثر گذارد (اصغری و همکاران، ۱۳۹۵). در همین راستا و در تحقیقات متعدد مشخص شده است که ترکیبات هیومیکی می‌تواند روی رشد گیاهان مختلف از جمله خرفه (*Portulaca oleracea*) (مظفری و همکاران، ۱۳۹۶)، آویشن‌باغی (*Thymus vulgaris*) (گرگینی‌شبانکاره و همکاران، ۱۳۹۷)، استویا (*Stevia rebaudiana*) (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹) و سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) (علیزاده احمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۶) اثر مثبت داشته و سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی مانند تنش‌های شوری و خشکی می‌گردد. این ترکیبات هیومیکی به‌وفور در کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست وجود دارد. به‌طوری‌که در تحقیقی با بررسی غلظت‌های مختلف ورمی‌کمپوست روی گیاه استویا مشخص شد نسبت بالاتر (۴۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

درصد) می‌تواند اثرات مثبتی روی ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه داشته باشد (اصغری، ۱۳۹۶) و در تحقیق مشابهی بیشترین مقدار عملکرد برگ استویا در ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (یوسفی‌شیاده و همکاران، ۱۳۹۴). در همین راستا با بررسی اثرات مایکوریزا در بسترهای مختلف کشت روی رشد استویا، بیشترین عملکرد برگ و ریشه در شرایط کشت ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (سیدمحمدی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین در گیاه اسطوخودوس انگلیسی (*Lavandula officinalis* L.) با بررسی ۱۰ محیط‌کشت مختلف، نتایج نشان داد بیشترین مقدار ترکیبات منوترپن‌های هیدروکربنه در اسانس در تیمار ترکیبی ماسه، ورمی‌کمپوست، پیت‌ماس و پرلیت مشاهده شد (جوشقانی و همکاران، ۱۳۹۶).

در سال‌های اخیر، مشکلات کشت‌های خاکی نظیر شوری و نامناسب بودن ساختمان خاک و همچنین محدودیت منابع آب در بسیاری از کشورها، به‌ویژه در ایران استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار را با محدودیت مواجه کرده است از این‌رو گسترش روش‌ها و سیستم‌های مختلف جایگزین کشت خاکی نظیر هیدروپونیک (کشت بدون خاک) ضروری به‌نظر می‌رسد (Ghehsareh *et al*., 2011). کشت هیدروپونیک روش مناسبی برای کنترل بهینه رشدونمو گیاه است که اخیراً در تمام دنیا کاربرد دارد. امروزه کشاورزی با مشکل کمبود آب روبه‌رو است که با استفاده از روش‌های کشت هیدروپونیک می‌توان بیشترین بهره را از آب داشت. کشت هیدروپونیک علاوه بر ایجاد عملکرد بالا در گیاهان، تولید با کیفیت بالا را با کمترین خطرات احتمالی موجب می‌شود (Emam, 2016). برخی گیاهان، به‌ویژه با نیاز آبی بالا، قابلیت زیادی برای کشت در سیستم‌های بدون خاک دارند به‌طوری‌که در تحقیقات مختلف سعی شده به این مسأله پرداخته شود. در همین راستا در تحقیقی روی گیاه بادرنجبویه مشخص شد بیشترین وزن تر و خشک گیاه و درصد اسانس در محیط‌کشت پرلیت حاصل شد (فرخی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین در نتیجه بررسی پاسخ دو گونه نعناع، نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) و نعناع معمولی (*Mentha sativa* L.) به کشت‌های آکوآپونیک و هیدروپونیک، مشخص گردید وزن تر و خشک اندام های هوایی و ریشه، سطح برگ و تعداد گره در هر دو گونه نعناع در سیستم هیدروپونیک بیش تر از سیستم آکواپونیک بود (Roosta and Hamidpour, 2011).

با توجه به جایگاه مهم گیاه بادرنجبویه در صنایع دارویی، آرایشی و غذایی و سطوح بالای زیر کشت این گیاه، از آنجایی‌که بادرنجبویه گیاهی با نیاز آبی نسبتاً بالا است، این طرح با هدف بررسی عملکرد ماده تر و خشک و اسانس این گیاه در کشت‌های خاکی و بدون خاک (هیدروپونیک) در شرایط گلخانه طراحی شد. در همین ارتباط و با توجه به تیپ رویشی نسبتاً خزنده گیاه، سعی شد با انتخاب غلظت مناسب سیلیسیم، گامی در جهت بهبود رشد و استقرار این گیاه برداشته شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلدانی بر مبنای فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار غلظت سیلیسیم و سه تکرار در چهار بستر کشت مختلف (در مجموع ۴۸ گلدان و در هر گلدان دو بوته) در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. نشاهای مورد نیاز برای انجام آزمایش از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه شد. سپس نشاءها را به گلدان‌هایی (با دهانه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) با بسترهای مختلف کشت (چهار نوع بستر) که شامل ۱- خاک مزرعه، ۲- خاک مزرعه و ورمی‌کمپوست، ۳- پرلیت (به‌تنهایی) و ۴- کوکوپیت و پرلیت (۱ به ۱) انتقال داده شدند (سنگین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). جهت مطالعه خاک مورد استفاده برای گلدان‌های کشت، نمونه‌ای از بسترهای خاکی برای آنالیز خصوصیات شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱). ابتدا برای استقرار گیاهان (تا دو هفته) هر سه روز در میان، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی هوگلند به گلدان‌های حاوی بستر هیدروپونیک و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب خالص به گلدان‌های حاوی بستر خاکی داده شد (زارع و همکاران، ۱۳۹۷؛ بهشتی و همکاران، ۱۴۰۲). پس از گذشت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

جدول ۱- مشخصات خاک استفاده‌شده برای انجام آزمایش

نمونه	pH	هدایت الکتریکی	درصد اشباع	مواد خنثی شونده	ازت	کربن آلی	رس	لای	ماسه	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	بافت
				(٪)						ppm		
خاک مزرعه و ماسه	۷/۹۱	۰/۸۲۷	۳۰/۰۴	۳۶	۰/۱۴	۱/۴	۸	۲۴	۶۸	۳	۳۶	لوم- شنی
خاک مزرعه و ورمی‌کمپوست	۷/۴۶	۰/۱۵۸	۳۸/۵۸	۳۱/۵	۰/۰۹	۰/۹	۸	۳۴	۵۸	۷/۴	۲۲۳	لوم- شنی

هدایت الکتریکی برحسب (دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر)

چهار هفته و استقرار کامل گیاهان، محلول‌پاشی با چهار سطح مختلف سیلیسیم به‌صورت سیلیکات پتاسیم (صفر، ۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۲۵ میلی‌مولار) به‌مدت یک ماه و نیم و هر دو هفته یک‌بار (تا زمان گلدهی) انجام شد (بهشتی و خراسانی‌نژاد، ۱۴۰۲). همزمان، محلول‌دهی با محلول غذایی برند "ترجه" تهیه‌شده از شرکت "هماپالیز پارس" بر پایه هوگلند، هر سه روز یکبار انجام شد. پس از دو ماه از شروع کشت و کامل‌شدن رشد رویشی و شروع گلدهی، ارزیابی ویژگی‌های دیگر نظیر محتوی نسبی آب برگ، نشت یونی، مقدار کلروفیل (a، b و کل)، کارتنوئید، آنتوسیانین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، فلاونوئید کل و قند کل از یکی از بوته‌ها در ۴۸ گلدان، انجام شد. پس از کامل‌شدن دوره رشد زایشی، بوته‌های دوم از ۴۸ گلدان، بیرون آورده شدند و شاخص‌های مختلف رشد و عمکرد از قبیل طول ریشه، طول اندام هوایی، وزن تر ریشه و اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی و تعداد گل اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی: پس از تکمیل رشد گیاه در مرحله گلدهی، بوته‌ها به‌طور کامل به همراه ریشه از گلدان‌ها خارج و ابتدا با آب شسته شدند، سپس طول ریشه و اندام هوایی و نیز تعداد برگ و تعداد گل و طول میانگره و وزن تر اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه، آن‌ها را در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد (چورلی و همکاران، ۱۳۹۶).

اندازه‌گیری سطح برگ: برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، قبل از ظهر، از هر تکرار ۱۰ برگ بالغ به‌طور تصادفی انتخاب شد و سطح برگ آن‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta T Device, Cambridge, UK) اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها محاسبه شد. سطح برگ تولیدی در واحد سطح (سانتی‌متر مربع) اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری نشت یونی: ابتدا قطعات یکسانی از سطح برگ گرفته، سپس با آب‌مقطر شستشو شد. مقدار ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به آن‌ها اضافه و ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس هدایت الکتریکی اولیه توسط دستگاه هدایت الکتریکی‌سنج (EC1) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و هدایت الکتریکی ثانویه (EC2) اندازه‌گیری شد (Sullivan and Ross, 1979). نشت یونی (٪) براساس رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه (۱)

$$EC = \frac{EC_1}{EC_2} \times 100$$

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ: محتوای آب معمولاً به‌صورت نسبی و به عنوان درصدی از آب در حال آماس کامل بیان می‌شود. این شاخص را می‌توان با استفاده از رابطه (۲) محاسبه کرد.

رابطه (۲)

$$RWC = [(\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})] \times ۱۰۰$$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

جهت اندازه‌گیری مقدار RWC از قسمت وسط پهنک برگ استفاده شد، به این صورت که قطعاتی به یک اندازه از برگ جدا و با ترازوی دقیق آزمایشگاهی وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. سپس قطعات برگی را در ظروف پتری در بسته در آب‌مقطر غوطه‌ور کرده و به‌مدت ۱۵ ساعت در شدت نور کم قرار داده شدند. با قراردادن آن‌ها بین دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک به‌مدت حدود یک دقیقه خشک شده و وزن آماس آن‌ها بلافاصله اندازه‌گیری شد. سپس قطعات برگی در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن خشک آن‌ها تعیین و مقدار RWC تیمارها با استفاده از رابطه (۲) اندازه‌گیری شد (McCaig and Romogosa, 1991).

اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی: برای تعیین غلظت کلروفیل و کاروتنوئید از روش Barnes (۱۹۹۲) استفاده شد. ابتدا ۰/۵ گرم نمونه برگی تازه از هر تیمار آزمایشی در پنج میلی‌لیتر DMSO (Dimethyl Sulfoxide) به‌مدت چهار ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد. از نمونه حاصل ۲۵۰ میکرولیتر برداشته شد و مجدد دو میلی‌لیتر DMSO به آن اضافه شد. نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شده و از DMSO خالص به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد. اندازه‌گیری کلروفیل *a* و *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید به‌ترتیب در طول‌موج‌های ۶۴۵، ۶۲۳، ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر انجام گرفت و اعداد به دست آمده بر مبنای میلی‌گرم بر وزن تر گیاه گزارش شدند.

اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین: یک گرم از نمونه را با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (۹۹ میلی‌لیتر متانول خالص و ۱ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید) ساییده و عصاره برای ۲۴ ساعت در تاریکی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد (دمای یخچال) قرار داده شد و جذب در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. مقدار آنتوسیانین با استفاده از فرمول $A=\varepsilon bc$ بدست می‌آید که در آن مقدار ε یا ضریب خاموشی معادل $mMcm^{-1}$ ۳۳۰۰، مقدار A مقدار جذب، b عرض کوت اندازه‌گیری برابر یک سانتی‌متر و c مقدار آنتوسیانین برحسب مول بر گرم وزن تر گیاه است. در نهایت مقدار آنتوسیانین برحسب میکرومول در گرم وزن تر بیان می‌گردد (Wagner, 1971).

برای اندازه‌گیری فنل کل و فلاونوئید کل، مواد گیاهی تازه برداشت شده در هر مرحله در دمای اتاق، خشک شدند و پس از خشک‌شدن یک گرم از مواد گیاهی پودرشده به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ ٪ به‌مدت ۱۲ ساعت و در دمای اتاق بر روی شیکر عصاره‌گیری شدند و عصاره به‌دست آمده پس از صاف شدن تا زمان اندازه‌گیری در فریزر نگهداری شد (گرگینی‌شبانکاره و همکاران، ۱۳۹۷).

اندازه‌گیری مقدار فنل‌کل برگ: برای اندازه‌گیری فنل کل از روش فولین- سیوکالتیو استفاده شد (Barreca *et al.*, 2016). به طوری‌که ابتدا، ۲۰ میکرولیتر از عصاره متانولی برگ با ۱۰۰ میکرولیتر فولین- سیوکالتیو و ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب‌مقطر مخلوط می‌شود. سپس به آن ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم یک مولار اضافه گردیده و به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام بخار با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، در تاریکی، قرار داده شد. برای تهیه نمونه شاهد، از متانول به‌عنوان حلال استفاده شده، بعد فولین- سیوکالتیو و کربنات سدیم به آن اضافه گردید و از این محلول برای کالیبره‌کردن دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO 2800) استفاده شد. مقدار جذب در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شده و با استفاده از غلظت‌های متفاوت استاندارد اسید گالیک (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) محلول اسید گالیک در متانول، منحنی کالیبراسیون به‌دست آمد. این مقدار برای یک گرم در لیتر محاسبه شده و در نهایت فنل کل برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم ماده خشک گزارش شد.

اندازه‌گیری مقدار فلاونوئیدکل برگ: برای محاسبه فلاونوئید کل، مقدار ۰/۵میلی‌لیتر از عصاره متانولی برگ را در لوله آزمایش ریخته و به‌ترتیب به آن۱/۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر پتاسیم استات، ۲/۸ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیم کلراید اضافه شد. برای تهیه شاهد، متانول خالص جایگزین عصاره متانولی گردید. محلول حاصل ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. مقدار جذب نمونه‌ها در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

مقابل بلانک در طول‌موج ۴۱۵ توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. جهت رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف محلول استاندارد کوئرستین (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) استفاده شد. معادله خط به دست آمده برای تعیین مقدار فلاونوئید کل در ۱۰۰ گرم ماده خشک استفاده گردید (Chang *et al*., 2012).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ به روش DPPH:

برای اندازه‌گیری مقدار مهار رادیکال‌های آزاد به‌روش DPPH ابتدا یک میلی‌لیتر از عصاره آبی با یک میلی‌لیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط گردید. برای نمونه شاهد یک میلی‌لیتر متانول خالص به‌جای یک میلی‌لیتر عصاره متانولی قرار داده شده و برای بلانک از متانول خالص استفاده شد. بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی، میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. اعداد به دست آمده توسط رابطه (۳) به درصد مهار رادیکال آزاد تبدیل شد.

رابطه (۳)

$$\text{درصد مهار رادیکال آزاد} = \frac{(Ac-As)}{Ac} \times ۱۰۰$$

در این رابطه As و Ac به ترتیب برابر با عدد جذب نمونه و کنترل است. اعداد به دست آمده برابر با درصد مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره متانولی نمونه‌ها است (Wu *et al*., 2003).

اندازه‌گیری قند کل: برای اندازه‌گیری قند کل از روش آنترون استفاده گردید بدین منظور، ۱۰۰میلی‌گرم از نمونه خشک‌شده با ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲/۵ نرمال در حمام آب به‌مدت سه ساعت به‌منظور هیدرولیز جوشانده شد و سپس با کربنات سدیم خنثی شد. حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر افزایش داده شد و در ۵۰۰۰ دور به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی جدا شده و یک میلی‌لیتر جهت آنالیز برداشته شد. ۴ میلی‌لیتر معرف آنترون به آن افزوده شد و در بن‌ماری (۷۰ درجه سانتی‌گراد) به‌مدت یک دقیقه گرم شد. سپس نمونه به سرعت سرد شد و رنگ آن از سبز به خاکستری تغییر یافت و جذب آن در ۶۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و براساس واحد میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد. جهت تهیه نمونه استاندارد قند کل از محلول ساکارز با غلظت یک میلی‌گرم در میلی‌گرم آب‌مقطر استفاده شد (Thimmaiah, 2004).

استخراج و اندازه‌گیری اسانس: اندازه‌گیری اسانس بخش‌های رویشی با روش تقطیر با آب در شرایط یکسان و به‌مدت دو ساعت به‌وسیله دستگاه کلونجر صورت گرفت. جهت محاسبه عملکرد اسانس، وزن یک بوته از هر تکرار با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. سپس ماده خشک یک بوته وزن و ثبت شده و این ماده خشک، به همراه ۲۵۰ میلی‌لیتر آب به بالن ۵۰۰ میلی‌لیتری اضافه گردید. عملکرد اسانس و درصد براساس وزن خشک نمونه براساس روابط ۴ و ۵ محاسبه شد (گرگینی‌شبانکاره و خراسانی‌نژاد، ۱۳۹۶؛ چورلی و همکاران، ۱۳۹۹).

رابطه (۴)

$$\text{درصد اسانس} = \frac{\text{مقدار اسانس}}{\text{وزن خشک}} \times ۱۰۰$$

رابطه (۵)

$$\text{عملکرد اسانس در بوته} = \frac{\text{مقدار اسانس}}{\text{تعداد بوته}}$$

محاسبات آماری این آزمایش با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شدند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد استفاده شد.

نتایج

نتایج جدول تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی (جدول ۲) نشان داد که بستر کشت روی طول ریشه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، تعداد میانگره و برگ در سطح یک درصد و سطح برگ و نشت یونی در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار است. همچنین سیلیسیم توانست روی طول ریشه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، تعداد میانگره و برگ، سطح برگ و تعداد شاخه جانبی در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار باشد. اثر متقابل سیلیسیم و بستر کشت بر ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن خشک گیاه، سطح برگ، تعداد برگ و تعداد شاخه‌های جانبی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشت اما بر وزن خشک ریشه، تعداد میانگره و نشت یونی اختلاف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سیلیسیم و بسترکشت بر خصوصیات فیزیولوژیکی بادرنجبویه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	طول ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	تعداد میانگره	سطح برگ	تعداد برگ	تعداد شاخه جانبی	نشت یونی
بسترکشت (A)	۳	۶۴/۳۱^{ns}	۱۷۲**	۳/۷۲**	۱/۳۸**	۲۵/۷۲*	۳۱/۹۲**	۱۵۴۹**	۱۰/۱^{ns}	۲۰۸*
سیلیسیم (B)	۳	۱۵/۳۴^{ns}	۳۰۱/۴**	۲۵/۳۸**	۱/۴۷**	۵۹/۵۵**	۱۸/۶۳**	۶۱۳۷**	۱۹۴**	۹۴/۵^{ns}
(B) × (A)	۹	۱۰۰**	۵۳/۱۵**	۲/۹۱**	۰/۳۸^{ns}	۱۱/۷۲^{ns}	۱۷/۱۱**	۵۱۴۶**	۳۹/۵۹**	۱۱۰^{ns}
خطا	۳۲	۲۹/۵۶	۹/۲۹	۰/۷۷	۰/۱۷	۶/۴۵	۳/۴۱	۸۹۳/۱	۳/۵۴	۶۰/۲۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۰۴	۱۵/۹۲	۱۸/۰۹	۲۶/۰۹	۱۵/۸۸	۱۲/۷۵	۱۷/۲۶	۲۵/۹۶	۹/۰۲

ns بیان‌کننده معنی‌دار نبودن است. * و ** به‌ترتیب بیان‌کننده معنی‌داری در سطح احتمال P≤۰/۰۵ و P≤۰/۰۱ هستند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سیلیسیم و بسترکشت بر خصوصیات فیتوشیمیایی بادرنجبویه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		فنل کل	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	قند کل	فلاونوئید کل	آنتوسیانین	درصد اسانس
بسترکشت (A)	۳	۶۷۲**	۳۸۵**	۱۳۷**	۸۹/۸۸**	۰/۰۴**	۰/۱۷**
سیلیسیم (B)	۳	۲۷۳**	۱۴۸**	۴۴/۲۷**	۷۵/۶۸**	۰/۰۰۴*	۰/۰۶*
(B) × (A)	۹	۱۱۱**	۲۵۸**	۴۵/۷**	۱۱۷**	۰/۰۰۳*	۰/۰۹**
خطا	۳۲	۹/۱	۱۴/۶۸	۷/۴۲	۸/۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۹/۴۷	۹/۲	۱۱/۸۱	۸/۱	۱۵/۰۷	۲۶/۱۹

ns بیان‌کننده معنی‌دار نبودن است. * و ** به‌ترتیب بیان‌کننده معنی‌داری در سطح احتمال P≤۰/۰۵ و P≤۰/۰۱ هستند.

ادامه جدول ۳-

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد اسانس	کارتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل a	کلروفیل b
بسترکشت (A)	۳	۰/۰۰۱**	۰/۰۳^{ns}	۵/۱۴**	۰/۸۶**	۱/۳۸**
سیلیسیم (B)	۳	۰/۰۰۰۵*	۰/۰۶^{ns}	۲/۸**	۰/۴۶**	۰/۶۴**
(B) × (A)	۹	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۸*	۱/۰۵**	۰/۱۵**	۰/۸۱**
خطا	۳۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۰۶
ضریب تغییرات (٪)		۲۶/۶	۱۲/۸۴	۱۶/۴۲	۱۵	۱۴/۵۲

ns بیان‌کننده معنی‌دار نبودن است. * و ** به‌ترتیب بیان‌کننده معنی‌داری در سطح احتمال P≤۰/۰۵ و P≤۰/۰۱ هستند.

معنی‌داری نشان نداد. نتایج جدول تجزیه واریانس صفات فیتوشیمیایی (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سیلیسیم و بسترکشت بر عملکرد اسانس، درصد اسانس، مقدار فنل کل، مقدار فلاونوئید کل، درصد آنتی‌اکسیدان، قند کل، کلروفیل کل و کلروفیل *a* و *b* در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد اما بر مقدار کارتنوئید و آنتوسیانین در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل بسترکشت و سیلیسیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی بادرنجبویه

بسترهای کشت	سیلیسیم	کلروفیل *b*	کلروفیل *a*	کلروفیل کل	کارتنوئید	تعداد برگ	سطح برگ	تعداد شاخه جانبی	وزن خشک گیاه	طول ریشه	ارتفاع گیاه
پرلیت	S1	۱/۷۵^{cde}	۱/۰۶^{cde}	۲/۸۳^{e}	۱/۲۷^{bc}	۱۸۷^{efg}	۹/۶۴^{g}	۶^{bcde}	۴/۴^{def}	۱۸/۶۷^{cde}	۶۷/۳۸^{f}
	S2	۱/۷۴^{cde}	۱/۲۰^{c}	۲/۹۵^{e}	۱/۴۹^{abc}	۶۳/۳۳^{hi}	۱۷/۱۴^{bc}	۳/۳۳^{cde}	۲/۴^{gh}	۱۰/۳۳^{fg}	۵۳/۶۷^{a}
	S3	۱/۸۶^{cd}	۱/۲۶^{bc}	۳/۱۴^{cde}	۱/۶۱^{a}	۱۵۲/۶۷^{fg}	۱۳/۸۶^{def}	۱۱/۶۷^{abcd}	۵/۴^{cde}	۲۱/۳۳^{bcd}	۴۷^{bcd}
	S4	۱/۶۴^{def}	۱/۰۶^{cde}	۲/۶۶^{ef}	۱/۶^{a}	۱۶۱/۶۷^{efg}	۲۰/۳۹^{a}	۶/۶۷^{bcde}	۷/۸^{a}	۱۶/۳۳^{def}	۳۹/۳۳^{f}
پرلیت+ کوکوپیت	S1	۱/۴۴^{defg}	۱/۷۲^{a}	۳/۸۴^{abcd}	۱/۶۱^{a}	۳۳۳^{a}	۱۶/۳۵^{bcd}	۷/۶۷^{abcde}	۷^{ab}	۲۴^{bc}	۴۷/۶۷^{abcd}
	S2	۲/۷۴^{a}	۱/۵۷^{ab}	۴^{abc}	۱/۶۷^{a}	۶۰/۶۷^{hi}	۱۷/۸۷^{ab}	۲^{e}	۴/۲^{efg}	۸/۳۳^{g}	۴۲^{def}
	S3	۲/۵۰^{ab}	۱/۶۰^{a}	۴/۱۱^{ab}	۱/۶۶^{a}	۱۸۷/۶۷^{ef}	۱۲/۶۵^{ef}	۳^{de}	۵/۴^{cde}	۱۶^{def}	۴۰^{ef}
	S4	۲/۰۹^{bc}	۱/۲۳^{c}	۳/۳۴^{bcde}	۱/۲۲^{c}	۲۲۹/۶۷^{bcd}	۱۱/۵۳^{fg}	۱۶/۳۳^{a}	۵/۸^{bcd}	۱۲/۳۳^{efg}	۵۰/۳۳^{abc}
خاک+ ورمی‌کمپوست	S1	۲/۴۴^{ab}	۱/۵۷^{ab}	۴/۲۹^{a}	۱/۶۳^{a}	۲۴۵/۳۳^{b}	۱۵/۵^{bcd}	۱۲/۶۷^{abc}	۴/۵^{def}	۳۳/۶۷^{a}	۵۰/۳۳^{abc}
	S2	۱/۶۷^{cdef}	۱/۱۲^{cd}	۲/۸^{e}	۱/۶۳^{a}	۱۰۲/۳۳^{h}	۱۱/۵۴^{fg}	۲^{e}	۲/۲^{h}	۷۶/۶۷^{cdef}	۴۷/۳۳^{abcd}
	S3	۱/۳۲^{fg}	۰/۶۴^{f}	۱/۶۸^{h}	۱/۴۸^{abc}	۱۹۲/۳۳^{cdef}	۱۵/۹۷^{bcd}	۶/۶۷^{bcde}	۳/۴^{fgh}	۱۸/۳۳^{cde}	۵۳^{ab}
	S4	۰/۵۷^{h}	۰/۵۶^{f}	۱/۸۱^{fgh}	۱/۶۳^{a}	۱۴۵/۶۷^{g}	۱۵/۰۱^{cde}	۱۲/۶۷^{abc}	۶/۹^{abc}	۲۱^{bcd}	۴۲/۳۳^{def}
خاک مزرعه	S1	۱/۷۹^{cd}	۱/۲۰^{c}	۳/۰۱^{de}	۱/۶۲^{a}	۱۹۰/۶۷^{def}	۱۴/۸۳^{cde}	۵^{bcde}	۷^{ab}	۲۷^{ab}	۴۱/۳۳^{def}
	S2	۱/۵۶^{defg}	۱^{cde}	۲/۵۷^{efg}	۱/۵^{abc}	۴۹/۳۳^{i}	۱۴/۱۵^{def}	۲/۶۷^{de}	۳/۵^{fg}	۱۸/۶۷^{cde}	۴۴/۳۳^{cdef}
	S3	۱/۱۹^{g}	۰/۷۷^{ef}	۱/۸۷^{fgh}	۱/۵۷^{ab}	۲۳۳/۳۳^{bc}	۱۶/۱۴^{bcd}	۴/۳۳^{bcde}	۴/۵^{def}	۱۶^{def}	۳۸/۶۷^{f}
	S4	۱/۳۳^{efg}	۰/۸۲^{def}	۱/۷۲^{gh}	۱/۲۲^{c}	۱۹۷/۶۷^{cde}	۱۷/۲۵^{bc}	۱۳/۳۳^{ab}	۵/۸^{bcd}	۲۶/۶۷^{ab}	۴۶/۳۳^{cde}

S1، S2، S3 و S4 به‌ترتیب صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیم

سطح احتمال پنج‌درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد.

شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی: براساس نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل سیلیسیم و بستر کشت (جدول ۴) می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین ارتفاع گیاه در بستر پرلیت با غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم و کمترین ارتفاع در بستر پرلیت با غلظت صفر سیلیسیم مشاهده شد که با غلظت ۲/۲۵ تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین طول ریشه (۳۳/۶۷ سانتی‌متر) در بستر ورمی‌کمپوست با غلظت صفر سیلیسیم مشاهده شد که با بستر خاک تفاوت معنی‌داری نداشت بنابراین سیلیسیم در طول ریشه نقش چندانی نداشته است. غلظت‌های پایین (۰/۷۵ میلی‌مولار)، در سیستم‌های کشت خاکی و هیدروپونیک، روی تجمع مواد گیاهی اثر افزایشی نداشته است به‌طوری‌که وزن خشک اندام هوایی را افزایش چندانی نداده است، ولی با افزایش غلظت از ۰/۷۵ به ۲/۲۵ میلی‌مولار، وزن خشک اندام هوایی افزایش یافته است. در بسترهای پرلیت و خاک مزرعه، روال افزایش و کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاه بادرنجبویه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیسیم نسبتاً یکسان است. در بسترهای پرلیت و مخلوط خاک و کود، با توجه به ویژگی‌های بستر کشت و شرایط آزمایش افزایش غلظت به ۲/۲۵ میلی‌مولار وزن خشک اندام هوایی را نسبت به شاهد افزایش داده است. بیشترین سطح برگ (۲۰/۳۹ سانتی‌متر مربع) در بستر پرلیت با غلظت ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیم مشاهده شد که با بستر کوکوپیت و پرلیت با غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم تفاوتی نشان نداد و کمترین سطح برگ (۹/۶۴ سانتی‌متر مربع) در سطح شاهد در بستر پرلیت مشاهده شد که نشان می‌دهد با افزایش غلظت سیلیسیم در بستر پرلیت مقدار سطح برگ افزایش نشان داده است. بیشترین تعداد برگ (۳۳۳ عدد) در بستر پرلیت و کوکوپیت با غلظت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

صفر سیلیسیم مشاهده شد. همچنین بیشترین تعداد ساقه‌های فرعی (۱۶/۳۳ عدد) در بستر پرلیت و کوکوپیت با غلظت ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیم مشاهده شد. مقدار کارتنوئید در بستر کشت هیدروپونیک و ورمی‌کمپوست با افزایش غلظت سیلیسیم تا سطح سوم، افزایش نشان داد به‌طوری‌که بالاترین مقدار کارتنوئید (۱/۶۷ میلی‌گرم بر گرم ماده تازه) در غلظت‌های ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار سیلیسیم دیده شد، اما در بستر خاک مزرعه با افزایش غلظت سیلیسیم مقدار کارتنوئید کاهش یافت. بیشترین مقدار رنگیزه‌های کلروفیل a (۱/۷۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و b (۲/۷۴ میلی‌گرم بر گرم ماده تازه) به‌ترتیب در نمونه شاهد و ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم و در بستر پرلیت و کوکوپیت مشاهده شد. به‌طوری‌که در بستر خاکی مقدار رنگیزه‌های کلروفیلی با افزایش غلظت سیلیسیم رابطه عکس داشت و کاهش یافت.

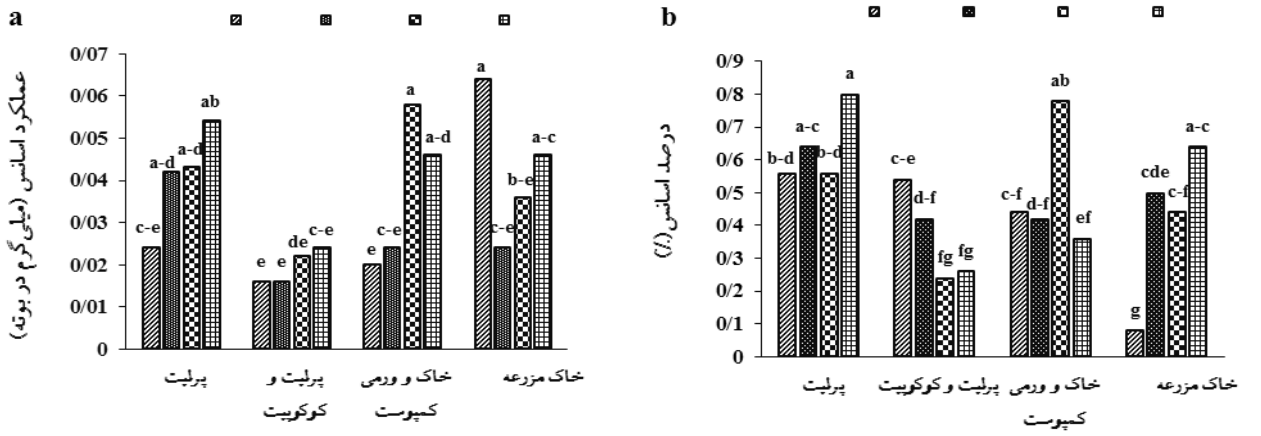
عملکرد و درصد اسانس: در بررسی اثر بسترهای کشت، محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیلیسیم عملکرد اسانس را نسبت به شاهد افزایش داده است (شکل ۱). به‌طوری‌که بیشترین مقدار عملکرد اسانس (۰/۰۶ میلی‌گرم در هر بوته) در شرایط خاک مزرعه و بدون محلول‌پاشی سیلیسیم به‌دست آمد و با اضافه‌شدن سیلیسیم در غلظت‌های پایین (۰/۷۵ میلی‌مولار) در محیط خاک مزرعه عملکرد اسانس به‌شدت کاهش یافته است. باتوجه به شکل ۲ مشخص است که بیشترین درصد اسانس (۰/۸ درصد) در محیط‌کشت پرلیت با سیلیسیم ۲/۲۵ میلی‌مولار به دست آمد.

مقدار فنل کل: مقدار فنل کل گیاه بادرنجبویه در سیستم کشت خاکی، با بالاتر مقدار (۱۴۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، در مقایسه با سیستم کشت هیدروپونیک بالاتر بوده است (شکل ۲). مقدار ترکیبات فنلی (حدود ۱۴۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) گیاه بادرنجبویه در بستر خاک مزرعه و محلول‌پاشی سیلیسیم با غلظت ۲/۲۵ میلی‌مولار، افزایش یافت. ولی ترکیب خاک و ورمی‌کمپوست بدون محلول‌پاشی سیلیسیم توانسته افزایش (حدود ۱۳۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) چشمگیری بر مقدار ترکیبات فنلی داشته باشد. از محیط‌های هیدروپونیک، مخلوط پرلیت-کوکوپیت نسبت به پرلیت عملکرد بهتری در ترکیبات فنلی (حدود ۱۰۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بادرنجبویه داشته است که با افزایش غلظت از ۰/۷۵ میلی‌مولار به ۱/۵ میلی‌مولار باعث افزایش ترکیبات فنلی شده است.

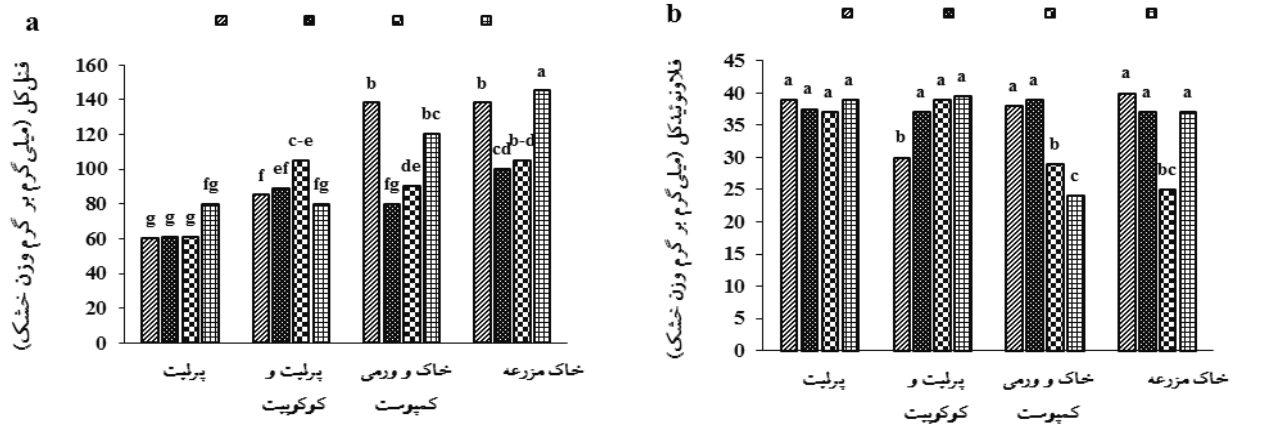
فلاونوئید کل: نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سیلیکون با بستر کشت بر مقدار فلاونوئیدکل (شکل ۲) نشان می‌دهد که محیط‌کشت هیدروپونیک، ترکیبات فلاونوئیدی را نسبت به کشت خاکی افزایش داده است. در بسترهای کشت هیدروپونیک، مقایسه بین شاهدها نشان می‌دهد که پرلیت نسبت مخلوط پرلیت-کوکوپیت، با توجه به ویژگی‌های بستر کشت، مقدار ترکیبات فلاونوئیدی (حدود ۴۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بادرنجبویه را در این آزمایش افزایش داده است و استفاده از غلظت‌های مورد آزمایش، در بستر پرلیت بر ترکیبات فلاونوئیدی اثر معناداری نداشته است. در غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار محلول سیلیسیم نسبت به سطوح دیگر، ترکیبات فلاونوئیدی را افزایش داده است، این‌طور به‌نظر می‌رسد که این سطح از غلظت، نسبت به سایر غلظت‌های مورد آزمایش، توانسته در مسیر متابولیتی فلاونوئید، اثر مطلوب گذارد. در بسترهای کشت هیدروپونیک و خاکی گیاه بادرنجبویه که شاهدها از نظر مقدار ترکیبات فلاونوئیدی چندان اختلافی ندارند. در مخلوط خاک و کود، با افزایش غلظت سیلیسیم از مقدار ترکیبات فلاونوئیدی کاسته شده است؛ می‌توان با بررسی سایر پارامترهای فیتوشیمیایی این آزمایش این‌طور استنباط نمود که سیلیسیم در بستر خاک و کود، مسیر متابولیکی ترکیبات فلاونوئیدی بادرنجبویه را تحت تأثیر قرار داده و طبق الگوی نظریه دفاع بهینه، انرژی گیاه را بیشتر به سمت فرآیند تولید ترکیبات فنلی و یا جهت افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی هدایت کرده است.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بسترکشت و سیلیسیم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی (شکل ۳) نشان داد که در شرایط خاک مزرعه و عدم استفاده از سیلیسیم و یا استفاده از آن در غلظت‌های پایین ۰/۷۵ میلی‌مولار، فعالیت

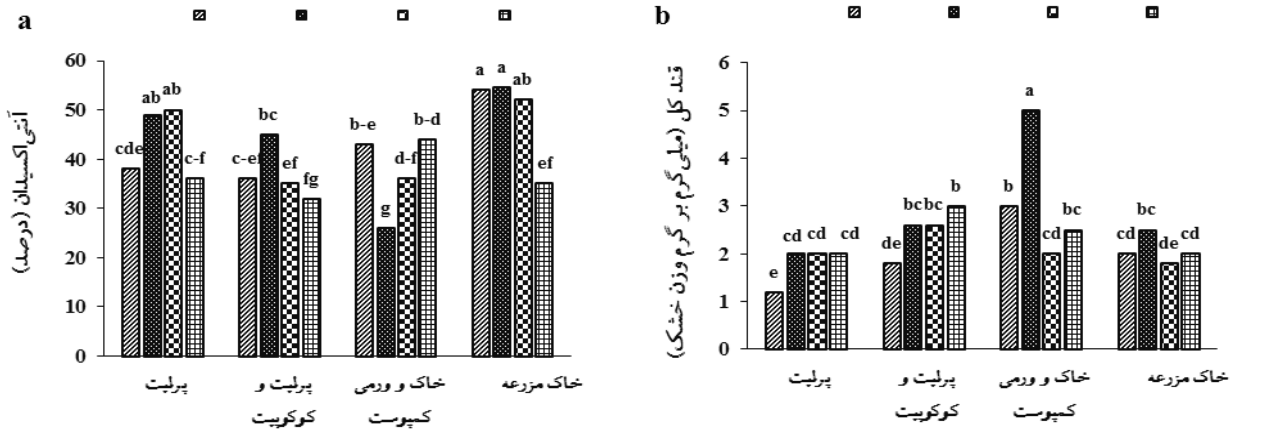
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف سیلیسیم و بسترهای کشت بر عملکرد اسانس در هر بوته (a) و درصد اسانس (b) بادرنجبویه

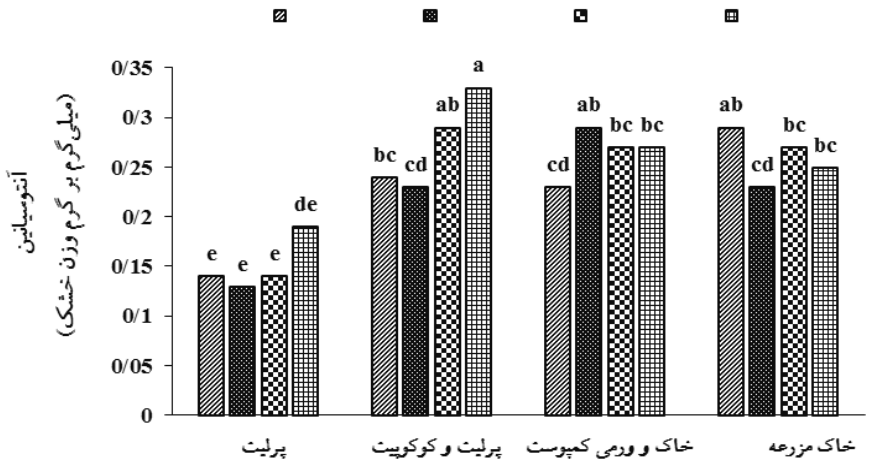


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف سیلیسیم و بسترهای کشت بر مقدار فنل کل (a) و فلاونوئید کل (b) بادرنجبویه



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف سیلیسیم و بسترهای کشت بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی (a) و قند کل (b) بادرنجبویه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف سیلیسیم و بسترهای کشت بر مقدار آنتوسیانین در گیاه بادرنجبویه

آنتی‌اکسیدانی گیاه (حدود ۵۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) افزایش داشته است. در همین شرایط استفاده از غلظت‌های سیلیسیم تا سطح ۱/۵ میلی‌مولار بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر معناداری نداشته ولی استفاده از غلظت ۲/۲۵ میلی‌مولار، از فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاسته است. در آزمایش انجام شده روی گیاه بادرنجبویه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی شاهدها (غلظت صفر سیلیسیم) در بسترهای کشت هیدروپونیک، پرلیت و مخلوط پرلیت-کوکوپیت، فاقد اختلاف معناداری است؛ با به‌کارگیری غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط کشت هیدروپونیک نسبت به شاهد خود (حدود ۴۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) افزایش یافته اما با بالابردن غلظت سیلیسیم به سطوح ۲/۲۵ میلی‌مولار، فعالیت آنتی‌اکسیدان نه‌تنها افزایش نیافته بلکه در بستر پرلیت-کوکوپیت نسبت به شاهد همان تیمار، کمتر هم شده است.

قند کل: مقدار قند در بسترهای کشت هیدروپونیک (پرلیت و مخلوط پرلیت-کوکوپیت) بدون اعمال سیلیسیم چندان تفاوتی ندارد و استفاده از سیلیسیم، مقدار قند گیاه بادرنجبویه را در این بسترها نسبت به شاهد افزایش داده است (شکل ۳). سطح قند کل در بستر مخلوط خاک و ورمی‌کمپوست بدون اعمال سلیسیم، نسبت به بسترکشت خاکی بدون اعمال سیلیسیم، بالاتر (حدود ۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بوده است، علت را می‌توان به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به واسطه اضافه‌کردن کود ورمی-کمپوست و اثر آن بر تجمع متابولیت‌های گیاهی نسبت داد. به-کارگیری سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم در شرایط کشت خاکی این آزمایش، مقدار کل قندهای محلول را نسبت به شاهد افزایش داده است ولی با افزایش غلظت سیلیسیم به ۲/۲۵ میلی‌مولار اثر منفی بر تجمع قند کل گذاشته است.

آنتوسیانین: با افزایش غلظت سیلیسیم، مقدار آنتوسیانین گیاه بادرنجبویه در شرایط آزمایش افزایش یافت (شکل ۴). در این آزمایش مقدار آنتوسیانین در بستر پرلیت نسبت به سایر محیط‌های کشت کمتر (حدود ۰/۳۲ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بود و در سایر بسترهای کشت اختلاف چندانی روی مقدار آنتوسیانین گیاه بادرنجبویه نداشته است.

بحث

با توجه به نتایج، مشخص شد که بیشترین سطح برگ در بستر پرلیت با غلظت ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیم مشاهده شد. همچنین بیشترین تعداد برگ و تعداد ساقه‌های فرعی نیز در بستر پرلیت و کوکوپیت به دست آمد. کشت هیدروپونیک دارای مزایای متعددی از جمله عملکرد بیشتر، بهبود یکنواختی محصول و کنترل بهتر جذب عناصر نسبت به شرایط خاک است (سلیقه‌دار و همکاران، ۱۳۹۲). در همین راستا، محققان طی تحقیقاتی در تأثیر کم‌آبی و نوع بسترکشت بر برخی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

ویژگی‌های گیاه شب‌بو (*Matthiola incana*) بیان داشتند که با استفاده از بسترهای کشت مخلوط، طول و قطر ساقه و همچنین سطح برگ افزایش می‌یابد و این افزایش در سطح یک درصد معنی‌دار است، همچنین بسترهای کشت با مخلوط‌های مناسب باعث افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و زمینی گیاه شده که این موضوع باعث افزایش کارایی مصرف آب شده است (آزادگان و همکاران، ۱۳۹۱). پرلیت به تنهایی دارای ویژگی‌های رشد عالی به دلیل ظرفیت نگهداری آب بالا و افزایش راندمان آب است همچنین پرلیت و مخلوط ترکیبی آن بستری با ویژگی‌های عالی است که باعث بهبود رشدونمو گیاهان در کشت بدون خاک می‌شود (Chhukit, 2009). محققان طی مطالعاتی روی تأثیر محیط‌کشت بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) بیان داشتند که محیط‌کشت پرلیت با FYM در بهبود پارامترهای رشد و عملکرد گیاه بیش از سایر تیمارها مؤثر بوده و سبب بهبود پارامترهای رشد گیاه مانند تعداد برگ و طول ریشه گردید (Thakur and Shylla, 2018).

در ارتباط با نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بالاترین مقدار کارتنوئید در غلظت‌های ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار سیلیسیم دیده شد و بیشترین مقدار رنگیزه‌های کلروفیلی *a* و *b* به‌ترتیب در نمونه شاهد و ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم و در بستر پرلیت و کوکوپیت مشاهده شد. در همین رابطه، براساس تحقیقات محققان در استفاده از کمپوست زباله‌های غذایی برای بسترکشت بیان داشتند استفاده از کمپوست سبب افزایش معنی‌داری در سطح برگ، غلظت کلروفیل، وزن خشک کاهو (*Lactuca sativa*) در مقایسه با سایر بسترهای کشت شد (Moschou *et al.*, 2022). سیلیسیم به‌عنوان عنصر ضروری برای رشدونمو گیاه در نظر گرفته نمی‌شود (Bansal *et al.*, 2022) ولی نشان داده شده است محلول‌پاشی سیلیسیم به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای موجب کاهش اثرات ناشی از تنش شوری بر شاخص‌های کمی و کیفی نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) گردید و اثر بهبودبخشی در وزن تر و خشک بوته و مقدار کلروفیل و فنل کل داشت (دانایی و عبدوسی، ۱۴۰۰). در بررسی تأثیر تغذیه برگی سیلیسیم بر عملکرد و برخی خصوصیات رازیانه (*Foeniculum vulgar*) نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سیلیسیم از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و اسمولیت‌های محلول، همچنین محافظت در برابر خسارت نشت الکترولیتی توانایی گیاه رازیانه را در پاسخ به تنش خشکی بهبود بخشیده و باعث افزایش عملکرد دانه شد. همچنین محققان بیان داشتند که کاربرد نانوذرات سیلیسیم باعث بهبود عملکرد و بهره‌وری مصرف آب شد و به‌طور میانگین سبب افزایش ۲۷ درصدی عملکرد در خیار گردید (شکری و همکاران، ۱۴۰۱).

در نتایج مربوط به عملکرد و درصد اسانس مشخص شد بیشترین مقدار عملکرد اسانس در شرایط خاک مزرعه و بدون محلول‌پاشی سیلیسیم به‌دست آمد زیرا گیاه زمانی که در غلظت صفر سیلیسیم در بسترخاک مزرعه قرار گرفته است، تنش‌های وارده به سبب کمبودهای طبیعی در خاک، به آن مسیر طبیعی فرآیند گیاه بادرنجبویه را به سمت تولید اسانس برده است ولی با اضافه‌شدن سیلیسیم در غلظت‌های پایین در محیط خاک مزرعه عملکرد اسانس به‌شدت کاهش یافته است، به نظر می‌رسد که سطح غلظت سیلیسیم می‌تواند مسیرهای متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر قرار دهد. از طرف دیگر بیشترین درصد اسانس در محیط‌کشت پرلیت با سیلیسیم ۲/۲۵ میلی‌مولار به‌دست آمد. روند افزایشی درصد اسانس در محیط پرلیت به نظر می‌رسد ویژگی‌های بسترکشت پرلیت و اثر غلظت‌های سیلیسیم بر گیاه بادرنجبویه سبب شده تا متابولیسم اسانس افزایش پیدا کند درحالی‌که با توجه به روند کاهشی درصد اسانس در بستر پرلیت-کوکوپیت نشان می‌دهد که اثر متقابل محیط‌کشت و غلظت‌های سیلیسیم سبب شده تا اندازه بوته‌های گیاه بادرنجبویه کاهش پیدا کند؛ از این‌رو با اینکه عملکرد اسانس در بستر پرلیت-کوکوپیت کاهش یافته ولی درصد اسانس کاهش افزایش است. در همین راستا در مطالعه اثر بسترهای آلی کشت بر اجزای عملکرد و کیفیت و کمیت اسانس در چند اکوتیپ مرزه (*Satureja hortensis*) اسانس گیاه در بستر مخلوط (کود دامی، کمپوست، خاک برگ)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

بیشترین مقدار کارواکرول (۷۴/۶۹ درصد) را نشان داد (همتی و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه‌ای دیگر نتایج نشان داد که کمپوست باعث افزایش گاماترپینن در اسانس گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum majorana*) شد (Edris *et al*., 2003). پژوهشگران در مطالعه‌ای روی تأثیر اندازه ذرات پرلیت و پیت ماس بر روی عملکرد اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) بیان داشتند عملکرد اسانس و سایر پارامترهای رشد (ارتفاع و عملکرد وزن تر و خشک) در بسترهای مخلوط پرلیت و پیت‌ماس نسبت به پرلیت خالص و پیت‌ماس خالص بیشتر بود (فرخی و همکاران، ۱۳۹۷). کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست باعث بهبود معنی‌دار صفات ارتفاع بوته، زود گلدهی، عملکرد گل بابونه (*Matricaria recutita*) شد و در تیمار ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست بیشترین عملکرد اسانس مشاهده شد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین بیشترین درصد و عملکرد اسانس از محلول‌پاشی ۷/۵ میلی‌مولار سیلیسیم به‌دست آمد (موسی‌پور یحیی‌آبادی و اصغری‌پور، ۱۳۹۴).

در ارتباط با ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشخص شد که مقدار فنل کل گیاه بادرنجبویه در سیستم کشت خاکی، در مقایسه با سیستم کشت هیدروپونیک بالاتر بوده است و در این محیط‌کشت، در حضور سیلیسیم با غلظت ۲/۲۵ میلی‌مولار، مقدار ترکیبات فنلی گیاه بادرنجبویه افزایش یافته است. درصورتی‌که در بسترهای کشت هیدروپونیک و خاکی گیاه بادرنجبویه از نظر مقدار ترکیبات فلانوئیدی چندان اختلافی ندارند. همچنین در شرایط خاک مزرعه و عدم استفاده از سیلیسیم و یا استفاده از آن در غلظت‌های پایین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه افزایش داشته است. این بدین معناست که در مطالعه صورت‌گرفته، شاهدها در بستر هیدروپونیک از نظر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرنجبویه ارزش یکسانی داشته‌اند و استفاده از سطوح مختلف سیلیسیم در بسترهای کشت مختلف مسبب ایجاد تغییر در فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرنجبویه شده است. سیلیسیم باعث تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه و با فلزات سنگین واکنش داده و آن‌ها را به اندام‌هایی نظیر واکوئل سلول‌ها منتقل می‌کند و باعث کاهش اثرات تنش و سمیت فلزات سنگین می‌شود (Liang *et al*., 2015). کاربرد سیلیسیم در گیاه ریحان (*Osimum basilicum*) تحت تیمار فلز سنگین نیکل، باعث افزایش رشد گیاه و تجمع کمتر نیکل در ریشه و بخش هوایی شد همچنین باعث افزایش متابولیسم قندها و پخش مواد فتوسنتزی در گیاهان در حال رشد گردید (اسماعیل‌زور و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعه دیگری محلول‌پاشی نانوذرات سیلیسیم و دی‌اکسید سیلیسیم باعث بهبود فاکتورهای رشد، RWC، محتوای K^+ و نسبت K/Na در زعفران (*Crocus sativus*) شد. همچنین نتایج نشان داد که اعمال سیلیسیم و نانوسیلیسیم باعث کاهش اسمولیت‌های سازگار و محتوای Na^+ و Cl^- می‌شود. بررسی تأثیر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی سیلیسیم بر گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis*) نشان داد که سیلیسیم باعث کاهش اثرات کم‌آبیاری و سبب افزایش مقاومت گاوزبان در برابر کم‌آبی شد همچنین باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و تعداد گل در بوته شد (کیمیایی و همکاران، ۱۴۰۱). محققان طی پژوهشی بر تأثیر بسترهای کشت بر روی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) اظهار داشتند که نوع بسترکشت و اندازه ذرات پرلیت تأثیر متفاوتی بر خواص آنتی‌اکسیدانی بادرنجبویه در کشت هیدروپونیک داشت به‌طوری‌که مشاهده شد در بین بسترهای مورد استفاده، بستر پیت‌ماس خالص بیشترین تأثیر را در خواص آنتی‌اکسیدانی در گیاه بادرنجبویه داشت (فرخی و همکاران، ۱۴۰۰). پژوهشگران طی تحقیقاتی اعلام داشتند که مقدار فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه اسپیلانتس (*Acmella oleraceae*) در کشت هیدروپونیک نسبت به کشت خاکی و کشت‌بافت بیشتر بوده است (Abeysinghe *et al*., 2014). به نظر می‌رسد انباشت سیلیسیم در گیاه با توجه به غلظت‌های مورد استفاده می‌تواند مسیرهای متابولیکی مواد ثانویه گیاه را تحت تأثیر خود قرار دهد. همچنین در تحقیق مشابهی روی شاهدانه (*Cannabis sativa*)، بسترهای کشت بدون خاک سبب ایجاد بیشترین رشد و بیومس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

گردیده و با کاربرد سیلیسیم این مقادیر افزایش یافته است که این نتایج می‌تواند به‌دلیل ویژگی‌های این بسترها، شامل در دسترس بودن مواد غذایی و آب، تخلل مناسب بستر کشت برای تهویه بهتر ریشه، سبک وزن بودن و عاری بودن از عوامل بیماری‌زا و عناصر نامناسب و سمی برای گیاهان، باشد. همچنین بیشترین مقادیر متابولیت‌های ثانویه گیاه از بستر خاک مزرعه و ورمی‌کمپوست به‌دست آمد که مقادیر این متابولیت‌ها، با کاربرد غلظت‌های پایین سیلیسیم، افزایش یافت (بهشتی و خراسانی‌نژاد، ۱۴۰۲).

نتیجه‌گیری

صفات رشدی و فیزیولوژیکی مورد مطالعه در بستر کشت پرلیت بیشترین میانگین را نسبت به سایر بسترها داشت. افزایش غلظت سیلیسیم باعث بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیکی مورد مطالعه گردید و در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار بهترین نتایج به‌دست آمد ولی افزایش غلظت سیلیسیم باعث کاهش میانگین‌ها می‌شود. مقایسه کشت خاکی نشان می‌دهد گیاه بادرنجبویه در بستر خاک (فاقد کود)، توانسته مقدار متابولیت ثانویه را افزایش دهد و محیط‌کشت پرلیت با محلول‌پاشی سیلیسیم ۱/۵ میلی‌مولار می‌تواند در بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیکی مؤثر باشد و محیط‌کشت قابل توصیه است.

منابع

آزادگان، بهزاد، کوهستانی، رضا، و مشعل، محمود (۱۳۹۱). تأثیر کم‌آبیاری و نوع محیط‌کشت بر کارایی مصرف آب و برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شب‌بو. *مجله به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴(۱)، ۱۱۵-۱۲۴. https://doi.org/10.22059/jci.2021.323429.2551

اسماعیل‌زور، بهروز، داوودی، مرضیه، و فاطمی، حمیده (۱۳۹۷). تأثیر تغذیه سیلیکونی بر کاهش اثرات مخرب استرس نیکل در (*Ocimum basilicum*). *مجله فرآیند و عملکرد گیاه*، ۷(۲۴)، ۲۵-۳۸.۲.۷.۲۴.۷.۲۳۲۲۲۷۲۷.۱۳۹۷.۱.۲۰

اصغری، ربابه (۱۳۹۶). مقایسه اثر تیمار غذایی و بستر رشد بر برخی از صفات فیتوشیمیایی گیاه استویا. *مجله پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی گیاهی ایران)*، ۳۰(۲)، ۲۶۴-۲۷۲.۳.۲.۲.۳۰.۱۳۹۶.۲۳۸۳۲۵۹۲.۱.۲۰

اصغری، محسن، یوسفی‌راد، مجتبی، و معصومی، ابوالفضل (۱۳۹۵). تأثیر کودهای آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست بر روی تریاک‌های کمی و کیفی گیاه سیاه‌دانه لیمو. *مجله گیاهان دارویی*، ۱۵(۵۸)، ۶۳-۷۱.۰.۷۱.۵۸.۱۵.۲۰۱۶.۲۷۱۷۲۰۴.۱.۲۰

بهشتی، فاطمه، و خراسانی‌نژاد، سارا (۱۴۰۲). تأثیر سیلیکون بر برخی از خواص رشد، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه شاهدانه در خاک و کشت بدون خاک. *مجله فیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۱۰(۴)، ۴۵-۶۱. DOI: 10.30495/ejmp.2022.1957995.1687; DOR: 20.1001.1.23223235.1401.10.4.3.3

بهشتی، فاطمه، خراسانی‌نژاد، سارا، و همتی، خدایار (۱۴۰۲). تأثیر تنش شوری بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان نر و ماده شاهدانه (*Cannabis sativa* L.). *تحقیقات ژنتیک، اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران*، ۳۰(۲)، ۲۴۲-۲۶۲. 10.22092/IJRFPBGR.2022.358696.1419

جوشقانی، رضیه، مهرآفرین، علی، و لبافی، محمدرضا (۱۳۹۶). تغییرات فیتوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی اسطوخودوس (*Lavandula officinalis* L.) در پاسخ به محیط‌های کشت مختلف. *مجله گیاهان دارویی*، ۱۶ (۶۴)، ۱۴۱-۱۵۲. 20.1001.1.2717204.2017.16.64.26.3

چورلی، صدیقه، خراسانی‌نژاد، سارا، همتی، خدایار، و کاشفی، بهاره (۱۳۹۶). بررسی خصوصیات مورفولوژیکی، آنتی‌اکسیدانی و میزان اسانس گیاه دارویی چای کوهی *Stachys lavandulifolia* Vahl. در رویشگاه‌های استان‌های سمنان، خراسان شمالی و رضوی. *مجله فیزیولوژی محیطی گیاهی ایران*، ۱۱(۴۱)، ۴۱-۵۲.۴.۷.۵۲.۱۱.۴۱.۱۳۹۵.۷۶۷۱۲۴۲۳.۱.۲۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

چورلی، صدیقه، خراسانی‌نژاد، سارا، همتی، خدایار، و کاشفی، بهاره (۱۳۹۹). اتنوفارماکولوژی، کمیت و کیفیت اسانس گل و برگ گیاه دارویی چای کوهی .*Stachys lavandulifolia* Vahl در رویشگاه‌های استان‌های سمنان، خراسان شمالی و رضوی. *مجله فیزیولوژی محیطی گیاهی ایران*، ۱۱(۵۹)، ۷۲-۸۸. 20.1001.1.76712423.1399.15.59.6.3

دانایی، الهام، و عبدوسی، وحید (۱۴۰۰). اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی خواص مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۷ (۱)، ۹۸-۱۱۲. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.343340.2810

زارع، فرشاد، خراسانی‌نژاد، سارا، و همتی، خدایار (۱۳۹۷). اثر سیلیکون بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی سرخارگل ارغوانی (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش شوری. *مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۱۰(۳۷)، ۵۵-۶۸. 10.22108/IJPB.2018.105683.1044

زارعی، فاطمه، هزارجریبی، ابوطالب، خراسانی‌نژاد، سارا، و ذاکری‌نیا، مهدی (۱۳۹۹). اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر افزایش قدرت تحمل استویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. *تحقیقات ژنتیک، اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران*، ۲۸(۲)، ۲۸۱-۲۹۲. 10.22092/IJRFPBGR.2021.351485.1371

سلیقه‌دار، فائقه، صداقت‌حور، شهرام، و الفتی، جمالعلی (۱۳۹۲). اثرات چهار محلول غذایی بر صفات رویشی آلوئه‌ورا رقم آستین در شش دوره برداشت. *نشریه علمی پژوهشی روابط آب و خاک*، ۴، ۱۵-۲۷. 20.1001.1.20089082.1392.4.1.2.7

سنگین‌آبادی، هادی، خراسانی‌نژاد، سارا، همتی، خدایار، و قاسم‌نژاد، عظیم (۱۳۹۵). بررسی روش‌های تکثیر گیاه اسطوخودوس (*Lavandula stricta*). *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۲(۳). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106824

سیدلرفاطمی، لیلا، طباطبایی، سیدجلال، و فلاحی، اسماعیل (۱۳۸۷). اثر سیلیکون بر شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی توت‌فرنگی تحت تنش شوری. *دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی)*، ۱۹/۱ (۱)، ۱۰۷-۱۱۸.

سیدمحمدی، نسرین‌سادات، برمکی، مرتضی، و داوری، مهدی (۱۳۹۸). تأثیر بسترهای کشت و همزیستی قارچ میکوریزا بر عملکرد برگ، درصد کلونیزاسیون ریشه و برخی از ویژگی‌های ریشه استویا در سیستم کشت بدون‌خاک. *دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی)*، ۲۹ (۲)، ۱۸۹-۲۰۴.

شکری، ساناز، هوشمند، عبدالرحیم، گلابی، منا، عالم‌زاده اصاری، ناصر و استرو، دن (۱۴۰۱). بررسی اثر نانوذرات سیلیکا بر عملکرد خیار (*Cucumis sativus* L.) در منطقه اهواز. *دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی)*، ۳۲(۱). ۲۷۹-۲۹۲. 10.22034/SAPS.2021.44312.2624

عاصمه، مریم، و پوراکبر، لطیفه (۱۴۰۱). تأثیر نانوذرات سیلیسیم و دی‌اکسید سیلیکون بر عوامل رشد، اسمولیت‌ها و محتوای یونی زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت تنش شوری. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۵(۱)، ۳۱-۴۱. 20.1001.1.23832592.1401.35.1.1.5

عزیزی، مجید، رضوانی، فرهاد، حسن‌زاده خیاط، محمد، لکزیان، امیر، و نعمتی، حسین (۱۳۸۷). تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیک و میزان اسانس بابونه آلمانی (*Matricaria recutita*) رقم 'Goral'. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۴(۱)، ۹۳-۸۲.

علیزاده احمدآبادی، عباس، خراسانی‌نژاد، سارا، و همتی، خدایار (۱۳۹۶). تأثیر تنش آبیاری محدود و اسید هیومیک بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی ریشه سرخارگل ارغوانی (*Echinacea purpurea* L.). *مجله به‌زراعی کشاورزی*، ۱۹(۱)، ۱-۱۴. https://doi.org/10.22059/jci.2017.6040314

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

فرخی، الهام، صمدی، عباس، رحیمی، امیر، و اسدزاده، فرخ (۱۳۹۷). تأثیر اندازه ذرات پرلیت و مخلوط آن با پیت‌ماس بر درصد اسانس و عملکرد بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) در سیستم هیدروپونیک. *مجله روابط آب و خاک*، ۹(۳)، ۳۹-۴۷. 20.1001.1.20089082.1397.9.3.6.0

فرخی، الهام، صمدی، عباس، و رحیمی، امیر (۱۴۰۰). بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل کل و فلاونوئید بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) در محیط‌های مختلف تحت شرایط هیدروپونیک. *مجله اکوفیتوشیمیایی گیاهان دارویی*، ۸(۴)، ۱۹-۳۳. 20.1001.1.23223235.1399.8.4.2.8

کیمیایی، محمدرضا، سیروسم‌هر، علیرضا، و فاخری، براتعلی (۱۴۰۱). اثر سیلیکون بر ویژگی‌های کمی و فیزیولوژیکی گل گاوزبان (*Borago officinalis* L.) تحت رژیم‌های آبیاری. *مجله به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴ (۲)، ۶۳۱-۶۴۳. https://doi.org/10.22059/jci.2022.322842.2544

گرگینی‌شبانکاره، حسین، و خراسانی‌نژاد، سارا (۱۳۹۶). تأثیر نیتروپروساید سدیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرزه (*Satureja khuzestanica*) در رژیم‌های کم‌آبی. *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۴(۳): ۵۵-۷۰.10.22069/JOPP.2017.11747.2079

گرگینی‌شبانکاره، حسین، خراسانی‌نژاد، سارا، صادقی، مرتضی، و طبسی، علیرضا (۱۳۹۷). اثرات دوره‌های آبیاری و اسید هیومیک بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آویشن (*Thymus vulgaris*). *مجله فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۳(۵۱)، ۶۷-۸۲. 20.1001.1.76712423.1397.13.51.5.2

مظفری، سونا، خراسانی‌نژاد، سارا، و گرگینی‌شبانکاره، حسین (۱۳۹۶). تأثیر رژیم‌های آبیاری و اسید هیومیک بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی خرفه معمولی در گلخانه. *مجله به‌زراعی کشاورزی*، ۱۹ (۲)، ۴۰۱-۴۱۶. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60423

موسی‌پور یحیی‌آبادی، حسن، و اصغری‌پور، محمدرضا (۱۳۹۴). تأثیر تغذیه برگی سیلیکون بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیوشیمیایی رازیانه تحت شرایط کم‌آبیاری. *مجله به‌زراعی کشاورزی*، ۱۷(۴)، ۱۰۳۵-۱۰۴۸.10.22059/JCI.2015.55149

همتی، خدایار، اردوان‌پور، بختیار، غزائیان، مینا، و اکبرپور، وحید (۱۳۹۸). مطالعه اثر بسترهای آلی کشت بر اجزای عملکرد و کیفیت و کمیت اسانس در چند اکوتیپ مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط آب و هوایی گرگان. *مجله علوم باغبانی*، ۳۳(۳)، ۳۴۹-۳۶۱.20.1001.1.20084730.1398.33.3.1.1

یوسفی، مهدی، انتشاری، شکوفه، و سعادتمند، مهشید (۱۳۹۴). اثرات تیمار سیلیس بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، تشریحی و فیزیولوژیکی گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch and CA Mey). *مجله روابط خاک و گیاه*، ۵(۲)، ۸۳-۹۴ 20.1001.1.20089082.1393.5.2.7.1

یوسفی‌شیاده، سیده‌محبوبه، چالوی، ویدا، و زنگی، ستاره (۱۳۹۴). اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و طول مدت روشنایی در تولید گلخانه‌ای گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۶ (۱)، ۳۱-۳۹.

Abeysinghe, D. C., Wijerathne, S. M. N. K., & Dharmadasa, R. M. (2014). Secondary metabolites contents and antioxidant capacities of *Acmella oleraceae* grown under different growing systems. *World Journal of Agricultural Research*, *2*(4), 163-167. DOI: 10.12691/wjar-2-4-5

Bansal, K., Hooda, V., Verma, N., Kharewal, T., Tehri, N., Dhull, V., & Gahlaut, A. (2022). Stress alleviation and crop improvement using silicon nanoparticles in agriculture: A review. *Silicon*, 1-14. DOI: 10.1007/s12633-022-01755-y

Barnes, J. D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., & Davison, A. W. (1992). A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, *32* (2), 85-90. DOI: 10.1016/0098-8472(92)90034-Y

Barreca, D., Lagana, G., Leuzzi, U., Smeriglio, A., Trombetta, D., & Bellocco, E. (2016). Evaluation of the nutraceutical, antioxidant and cytoprotective properties of ripe pistachio (*Pistacia vera* L., variety Bronte) hulls. *Food Chemistry*, *196*, 493-502. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.077

Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2012). Estimation of total flavonoid content in Propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, *10*, 178-182. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.077

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

Chhukit, K. (2009). Studies on vegetative propagation of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). M.Sc. Thesis, Dr YS Parmar University of Horticulture and Forestry, University in Nauni, India.

Edris, A. E., Ahmad, S., & Fadel, H. M. (2003). Effect of organic agriculture practices on the volatile aroma components of some essential oil plant growing in Egypt II: sweet marjoram (*Origanum marjorana* L.) essential oil. *Flavour and Fragrance Journal*, *18*(4), 345-351. DOI: 10.1002/ffj.1235

Emam, M. S. A. (2016). The sprout production and water use efficiency of some barley cultivars under intensive hydroponic system. *Middle East Journal of Agriculture Research*, *5*(2), 161-170.

Esmaili, S., Tavallali, V., Amiri, B., Bazrafshan, F., & Sharafzadeh, S. (2022). Foliar application of nano-silicon complexes on growth, oxidative damage and bioactive compounds of feverfew under drought stress. *Silicon*, *14*(16), 10245-10256. DOI: 10.1007/s12633-022-01754-z

Ghehsareh, A. M., Borji, H., & Jafarpour, M. (2011). Effect of some culture substrates (date-palm peat, cocopeat and perlite) on some growing indices and nutrient elements uptake in greenhouse tomato. *African Journal of Microbiology Research*, *5*(12), 1437-1442.

Joukar, S., Asadipour, H., Sheibani, M., Najafipour, H., & Dabiri, S. (2016). The effects of *Melissa officinalis* (lemon balm) pretreatment on the resistance of the heart to myocardial injury. *Pharmaceutical Biology, 54*(6), 1005-1013. https://doi.org/10.3109/13880209.2015.1091845

Khan, W. U. D., Aziz, T., Maqsood, M. A., Sabir, M., Ahmad, H. R., Ramzani, P. M. A., & Naseem, M. (2016). Silicon: A beneficial nutrient under salt stress, its uptake mechanism and mode of action. In: Soil Science: Agricultural and Environmental Prospective. Pp. 287-301. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-319-34451-5_12

Liang, Y., Nikolic, M., Belanger, R., Gong, H., & Song, A. (2015). Silicon-mediated Tolerance to Salt Stress. Springer, Science.

Ma, J. F. & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, *11*(8), 392-397.

McCaig, T. N. & Romogosa, I. (1991). Water status measurements of excised wheat leaves: Position and age effects. *Crop Science*, *31*, 1583-1588. https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100060041x

Moschou, C. E., Papadimitriou, D. M., Galliou, F., Markakis, N., Papastefanakis, N., Daskalakis, G., Sabathianakis, M., Stathopoulou, E., Bouki, C., Daliakopoulos, I. N., & Manios, T. (2022). Grocery waste compost as an alternative hydroponic growing medium. *Agronomy*, *12*(4), 789. https://doi.org/10.3390/agronomy12040789

Mousavi, S. A., Roosta, H. R., Esmaeilizadeh, M., & Eshghi, S. (2022). Alleviating the adverse effects of salinity and alkalinity stresses on some physiological traits by selenium and silicon foliar applications on cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, *46*(4), 556-573. DOI: 10.1080/01904167.2022.2043370

Rahmani, V., Movahhedi Dehnavi, M., Balouchi, H., Yadavi, A., & Hamidian, M. (2023). Silicon can improve nutrient uptake and performance of Black Cumin under drought and salinity stresses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *54*(3), 297-310. DOI: 10.1080/00103624.2022.2112590

Seidler-Lozykowska, K., Mordalski, R., Kucharski, W., Kedzia, E., Nowosad, K., & Bocianowski, J. (2015). Effect of organic cultivation on yield and quality of lemon balm herb (*Melissa officinalis* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, *14*(5), 55-67.

Richmond, K. E. & Sussman, M. (2003). Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion in Plant Biology*, *6*(3), 268-272.

Roosta, H. R. & Hamidpour, M. (2011). Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, *129*(3), 396-402.

Sullivan, C. Y. & Ross, W. M. (1979). Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. *Stress Physiology in Crop Plants*, 263-281. DOI: 10.4236/ajps.2014.522357

Thakur, M. & Shylla, B. (2018). Influence of different growing media on plant growth and fruit yield of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) cv. Chandler grown under protected conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(4), 2724-2730. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.704.310

Thimmaiah, S. R. (2004). Standard Methods for Biochemical Analysis. Kalyani Publishers, New Delhi.

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, *64*, 88-93. DOI: 10.1104/pp.64.1.88

Wu, H. C., Chen, H. M., & Shiau, C. Y. (2003). Free amino acids and peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel (*Scomber austriasicus*). *Food Research International*, *36*(9-10), 949-957. https://doi.org/10.1016/s0963-9969(03)00104-2

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

The effect of growth media on yield components, physiological and phytochemical characteristics of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under silicon foliar spraying

Sarah Khorasaninejad *, Fatemeh Beheshti, Fatemeh Davariyan, Hosein Keykha

Horticultural Sciences Department, Plant Production faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(Received: 2022/12/02, Accepted: 2023/07/18)

Abstract

Lemon balm (*Melissa officinalis*) is a valuable medicinal plant in the Mediterranean and West Asia. Silica is also emphasized as a very important element in improving the behavior of plants. Today, and especially in adverse environmental conditions, soilless cultivation systems are among the most important technologies of the day. Considering the growing importance of this type of cultivation technique, a factorial experiment in the form of a completely randomized design with four silica treatments with concentrations of zero, 0.75, 1.5 and 2.25 mM and three repetitions in four cultivation beds including soil and sand (soil derivatives), soil and vermicompost (soil derivatives), perlite (without soil and feeding with nutrient solution with Hoagland base), perlite and cocopeat (without soil and feeding with nutrient solution with Hoagland base) were done. After seedling cultivation and the completion of vegetative growth, growth, morphological, physiological and phytochemical indicators, including root length, fresh and dry weight of aerial organs and roots, relative humidity of leaves, photosynthetic pigments, total phenolics, total flavonoids, antioxidant activity, oxidation, yield and percentage of essential oil, were measured. The results showed that the interaction effect of silicon with culture media on morpho-physiological and biochemical indicators of marigold was significant at the level of 1% difference. However, growth and physiological indicators in the perlite culture bed had the highest averages compared to other beds. Increasing the concentration of silicon improved the performance to some extent, but the best results were obtained at a concentration of 1.5 mM. The highest amount of essential oil yield (0.06 mg per plant) was obtained in field soil conditions without silicon foliar spraying, and the highest percentage of essential oil (0.8%) was obtained in perlite culture medium with 2.25 mM silicon. Also, the highest amount of total phenol (140 mg/g dry matter) was obtained in the soil culture system, and 2.25 mM silicon and antioxidant activity (55 mg/g dry matter) were obtained in the soil culture medium and no use of silicon. According to the obtained results, it seems that despite the increasing effect of silicon on the growth parameters, the field soil substrate without the application of silicon has the best results on the secondary metabolites of the plant and is economical.

Keywords: Essential oil, Biological yield, Soilless cultivation, Vermicompost

Corresponding author, Email: skhorasaninejad@yahoo.com; khorasaninejad@gau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]