Eco-phytochemical
Journal of Medicinal Plants
Print ISSN: 2322-3235
Online ISSN: 2783-4697
Islamic Azad University Gorgan Branch
Iranian Society of Medical Plants

Effect of silicon on some growth, physiological and phytochemical properties of *Cannabis sativa* L. in soil and soilless culture

Fatemeh Beheshti[1], Sarah Khorasaninejad[2*]

[1] Horticultural Sciences Department, Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: fbeheshti68@yahoo.com

[2] Horticultural Sciences Department, Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: khorasaninejad@gau.ac.ir

Serial 40, 10th year, Number 4, Winter 2023 (44-61)

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 2022/5/3
Revised: 2022/6/3
Accepted: 2022/6/18

Keywords
Anthocyanin
Antioxidant
Cannabis sativa L.
Hydroponic
Total Phenol

Abstract

Cannabis sativa L. is a promising product for the production of special herbal medicines. Silicon is also a very important element in improving plant performance in a variety of environmental conditions. Soilless culture systems are one of the most important technologies in the world for adverse environmental environments. Based on a two-factor factorial in a completely randomized design with four silicon treatments with concentrations of zero, 0.75, 1.5 and 2.25 mmol and three replications in four culture media (soil and sand (soil derivatives), soil and vermicompost compost (soil derivatives), perlite (hydroponics), perlite and cocopeat (hydroponics) were applied. After vegetative growth is complete, growth, morphophysiological and phytochemical indices including root and shoot length (ruler), fresh weight of shoot and root, dry weight of shoot and root, relative leaf moisture (scales), leaf area (leaf surface), photosynthetic pigments and anthocyanins, sugar, phenol, flavonoids, antioxidant activity (spectrophotometer), some leaf and root elements (flame photometer) were measured. The results showed that the culture system had a significant effect on all measured traits (except flavonoids) and the application of silicon improved many phytochemical traits and yield components with concentrations of 1.5 and 2.25 in this plant. It is noteworthy that silicon in hydroponic systems improved the growth traits and absorption of elements, but in the culture medium of soil derivatives, increased the phytochemical traits of flavonoids and anthocyanins. The results can indicate that the use of hydroponic culture media increases the yield, while in soil media due to some limitations, especially the absorption of elements, non-enzymatic antioxidant compounds such as phenolic acid increase.

Please cite this article as: Beheshti, F., Khorasaninejad, S. (2023). Effect of silicon on some growth, physiological and phytochemical properties of *Cannabis sativa* L. in soil and soilless culture. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*. 10(4): 44-61.

© 2023. All Rights Reserved
DOI: 10.30495/ejmp.2022.1957995.1687
DOR: 20.1001.1.23223235.1401.10.4.3.3

اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی
شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۳۲۳۵
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۹۷
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان
انجمن گیاهان دارویی ایران ثبت ۱۸۹۶۳

بررسی اثر سیلیکون بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی *Cannabis sativa* L. در محیط کشت‌های خاکی و بدون‌خاک

فاطمه بهشتی[۱]، سارا خراسانی‌نژاد[۲]*

[۱]گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: fbeheshti68@yahoo.com
[۲]گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: khorasaninejad@gau.ac.ir

سال دهم، شماره ۴۰، زمستان ۱۴۰۱ / صفحات: ۶۱-۴۴

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۲/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۸

واژه‌های کلیدی:
آنتوسیانین
آنتی‌اکسیدان
فنل‌کل
شاهدانه
هیدروپونیک
Cannabis sativa L.

چکیده

گیاه شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) یک محصول امیدبخش به‌لحاظ تولید داروهای گیاهی خاص موردتوجه می‌باشد. همچنین سیلیکون به‌عنوان یک عنصر اصلی بسیار مهم در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط متنوع محیطی مطرح می‌باشد. سیستم‌های کشت بدون‌خاک از مهمترین فناوری روز دنیا برای محیط‌های نامساعد محیطی است در همین راستا باهدف بررسی عملکرد رشدی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی شاهدانه تحت محلول‌پاشی سیلیکون، آزمایشی گلدانی، در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در بهار و تابستان سال ۱۳۹۸، براساس فاکتوریل دوعاملی در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تیمارسیلیکون با غلظت‌های صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار و سه تکرار در چهار بستر کشت (خاک و ماسه (مشتقات خاکی)، خاک و ورمی‌کمپوست (مشتقات خاکی)، پرلیت (هیدروپونیک)، پرلیت و کوکوپیت (هیدروپونیک)) انجام شد. پس از کامل شدن رشد رویشی، شاخص‌های رشدی، مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی از جمله طول ریشه و اندام هوایی (خط‌کش)، وزن تر اندام‌هوایی و ریشه، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، رطوبت نسبی برگ (ترازو)، سطح برگ (سطح برگ‌سنج)، رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنتوسیانین، قندکل، فنل‌کل، فلاونوئیدکل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (اسپکتوفتومتر)، برخی عناصر برگ و ریشه (فلیم‌فتومتر) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که سیستم کشت دارای اثر معنی‌داری روی همه صفات مورد اندازه‌گیری (به جز فلاونوئیدکل) بوده است و اعمال سیلیکون سبب بهبود بسیاری از صفات فیتوشیمیایی و اجزای عملکرد با غلظت ۱/۵ و ۲/۲۵ در این گیاه شد. نکته قابل‌توجه این است که سیلیکون در سیستم‌های هیدروپونیک سبب بهبود صفات رشدی و جذب عناصر گردید ولی در محیط کشت‌های مشتقات خاکی، سبب افزایش صفات فیتوشیمیایی فلاونوئیدکل و آنتوسیانین شد. نتایج به‌دست آمده می‌تواند حاکی از آن باشد که استفاده از محیط کشت‌های هیدروپونیک سبب افزایش عمکرد می‌گردد درحالی‌که در محیط‌های کشت خاکی به سبب وجود برخی محدودیت‌ها به ویژه محدودیت در جذب عناصر، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی مانند فنل‌کل افزایش نشان می‌یابد.

استناد: بهشتی، ف.، خراسانی‌نژاد، س. (۱۴۰۱). بررسی اثر سیلیکون بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه داروئی *Cannabis sativa* L. در محیط کشت‌های خاکی و بدون‌خاک. *فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۱۰ (۴)، ۶۱-۴۴.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.
DOI: 10.30495/ejmp.2022.1957995.1687
DOR: 20.1001.1.23223235.1401.10.4.3.3

مقدمه

شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) گیاهی یک‌ساله، علفی و دوپایه متعلق به راسته Urticaies و خانواده Cannabinaceae است که ارتفاع آن به ۱ تا ۳ متر می‌رسد. شاهدانه هزاران سال است که در درجه اول به‌عنوان منبع فیبری (که حشیش یا Hemp نامیده می‌شود) و یک ماده نشاط‌آور (که ماریجووانا نامیده می‌شود) و در درجه دوم به‌عنوان دانه خوراکی مورد استقاده قرار می‌گیرد (Chandra et al., 2017). شاهدانه یک کارخانه تولیدکننده متابولیت‌های ثانویه است. کانابینوئیدها ترکیبات ترپنوفنولیکی مانند Tetrahydrocannabinol (THC)، Cannabidol (CBD)، Cannabichromen (CBC)، Cannabinol (CBN) و Cannabigerol (CBG) وجود دارند که طی مسیرهای بیوسنتز و واکنش‌های مختلف و با استفاده از آنزیم‌های خاص سنتز می‌شوند (Jin et al., 2020). این گیاه نه‌تنها حاوی ترکیبات مهم کانابینوئیدی است، بلکه ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی بسیار ارزشمندی شامل فلاونوئیدهای پرنیلات، مشتقات استیلبنوئیدها و لیگنانامیدها می‌باشد (Pollastro et al., 2018). شاهدانه گیاهی شگفت‌انگیز با پتانسیل درمانی بالا برای طیف گسترده‌ای از بیماری‌ها از جمله سردرد، سرطان، مولتیپل‌اسکلروزیس (MS)، آلزایمر، صرع، بیماران گوارشی و پوستی، روماتیسم و حتی در بهبود علائم نسبی ایدز مورد استفاده قرار می‌گیرد. کانابینوئیدها و ترکیبات فنلی می‌توانند جایگزین بسیاری از داروهای شیمیایی از قبیل داروهای قلبی، ضدالتهاب، آنتی‌بیوتیک، تنگی نفس و حتی داروهای سرطان و MS باشند (Peeri and Koltani, 2022).

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 بدون‌خاک) ضروری به نظر می‌رسد (Mahammadi Ghehsareh et al., 2011). امروزه در صنعت کشاورزی، کشت هیدروپونیک به‌عنوان فشرده‌ترین روش برای تولید محصولات کشاورزی معرفی شده است. کشت هیدروپونیک با وجود نیاز به تخصص و سرمایه اولیه بالا در مقایسه با کشت خاکی دارای مزایای بسیاری همانند کنترل علف‌های هرز، بهینه‌سازی مصرف آب، امکان اعمال تامین مواد غذایی متناسب با نیازهای گیاهان، استفاده کمتر از کود و مواد شیمیایی و درنتیجه سالم‌تر بودن محصولات کشاورزی است (Vahedi Torshizi et al., 2018). سیستم‌های مختلفی برای تولید گیاهان دارویی در سیستم هیدروپونیک استفاده می‌شود. بسترهای مختلف کشت یکی از انواع سیستم‌های هیدروپونیک می‌باشند که مواد غذایی به‌صورت محلول به بستر اضافه شده و به خاطر تخلخل و تهویه مناسب محیط ریشه و عدم رشد علف‌های هرز بر کشت خاکی ترجیح داده می‌شود (Afreen, et al., 2005). سیستم‌های کشت بدون خاک مهم‌ترین روش تولید بر اساس فناوری‌های روز دنیاست که به‌ویژه در مکان‌های نامساعد (کمبود آب و خاک نامناسب) می‌تواند منجربه تولید محصول بیشتر شود. ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک ماده اصلاحی در ترغیب رشد و عملکرد گیاه از طریق افزایش اشکال قابل‌جذب عناصر غذایی (نیترات‌ها، فسفر تبادلی، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) برای جذب گیاه کمک می‌کند و همچنین حاوی مقادیر زیادی هیومیک بوده که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بهتری برای جذب گیاه را مهیا می‌کند (Emam et al., 2022) که این ترکیبات در شرایط تنش سبب بهبود

عملکرد گیاه می‌گردد. به طوری‌که در تحقیقات مربوط به اثر ترکیبات هیومیکی در شرایط خشکی روی گیاهان خرفه (*Portulaca oleracea*) (Mozafari et al., 2017) و آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) (Gorgini Shabankareh et al., 2018) و سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) (Alizade ahmadabadi et al., 2017)، مشخص شد این ترکیبات سبب بهبود عملکرد و صفات فیتوشیمیایی این گیاهان گردیده است. بنابراین ورمی‌کمپوست در ترکیب با خاک قابلیت تبدیل شدن به محیط کشت بسیار مناسب برای کشت محسوب می‌گردد.

از طرف دیگر کشت‌های بدون خاک یا هیدروپونیک، به‌دلیل فراهم نمودن مواد غذایی در حد بهینه برای گیاهان، به‌ویژه در شرایط نامناسب برای کشت مانند خاک یا آب شور، جز کشت‌های بسیار قابل‌توجه به‌شمار می‌آیند. به‌همین دلیل تحقیقات زیادی مبنی بر استفاده از سیستم‌های کشت برای افزایش عملکرد نسبت به کشت خاکی مطرح شده است به طوری‌که استفاده از سیستم هواکشت سبب افزایش تولید ریزغده در گیاه سیب‌زمینی شد (Rosta et al., 2016) و استفاده از سیستم‌های مختلف کشت نظیر (NFT) و هواکشت روی گیاهان دارویی مختلف نظیر زنجبیل، بابا‌آدم، گزنه، ریحان و فندق سبب افزایش عملکرد این گیاهان نسبت به کشت خاکی گردید (Hayden, 2006).

سیلیکون با عدد اتمی ۱٤ بیشترین ماده شبه‌فلزی در خاک است که به‌صورت اسیدسولفوریک غیرآزاد [$Si(OH)_4$] جذب می‌شود و به‌طور نامرتب در سراسر گیاه پراکنده است (Palin et al., 2018). پس از اکسیژن سیلیکون دومین عنصر فراوان در کره زمین است (Zare et al., 2018). ریشه گیاهان سیلیکون را به شکل اسیدسیلیسیک جذب و از طریق جریان تعرق به اندام هوایی منتقل می‌کند. در انتهای جریان، سیلیکون به‌دلیل تبخیر آب تجمع پیدا می‌کند و زمانی‌که از حد حلالیت گذشت به شکل سیلیکات بدون شکل پلیمر می‌شود. سیلیکون به شکل سیلیکات برون‌شکل عمدتاً در دیواره سلولی، عدسک‌ها و فضای بین سلولی تجمع می‌یابد. توانایی گیاهان در جذب Si و انباشت آن در بافت‌هایشان با یکدیگر متفاوت است، این اختلاف از ۰/۱درصد تا ۱۰ درصد سیلیکون در وزن خشک گیاه محاسبه شده است (Khan et al., 2016). گیاهان واکنش‌های فیزیولوژیک متفاوتی را به سیلیکون نشان می‌دهند (Terry et al., 2000). مفیدترین اثرات سیلیکون برای گیاهان افزایش مقاومت به آفات و بیماری‌ها، افزایش فتوسنتز و کاهش سمی بودن عناصر و مقاومت به تنش‌ها می‌باشد و همچنین دسترسی عناصر غذایی بر افزایش قابلیت جذب گیاه و از این طریق حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد (Ahmed et al., 2019). در همین راستا در تحقیقی مشخص شد که اعمال سیلیکون با غلظت ۲/۲۵ میلی‌مولار روی گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در شرایط تنش شوری، توانست سبب بهبود اثرات مخرب شوری شده و سبب افزایش فنل‌کل، فلاونوئیدکل و درصد مهار رادیکال‌های آزاد گردید (Zare et al., 2018). با توجه به اهمیت بالای گیاه دارویی شاهدانه و مساله محدودیت منابع خاک و آب مناسب کشاورزی و کارکرد خوب سیلیکون در شرایط مختلف کشت، به‌منظور درک نقش سیلیکون در استقرار بهینه این گیاه در محیط کشت‌های مختلف خاکی و بدون‌خاک یا هیدروپونیک بر ویژگی‌های رشدی، مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی این گیاه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش براساس آزمایش گلدانی بر مبنای فاکتوریل دوعاملی در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تیمار غلظت سیلیکون و سه تکرار در چهار بستر کشت مختلف (در مجموع ٤٨ گلدان) در گلخانه‌های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. بذور موردنیاز برای انجام این آزمایش از پاکان بذر اصفهان تهیه شده، سپس بذور در سینی نشاء حاوی کوکوپیت و پرلیت کشت شدند پس از گذشت یک هفته جوانه‌زنی بذر آغاز شد و پس از این‌که نشاءها به مرحله پنج تا شش برگی رسیدند آن‌ها را به گلدان‌هایی (با دهانه ۲۵ سانتی‌متر) با بسترهای مختلف کشت که شامل خاک، خاک و ورمی‌کمپوست، پرلیت و کوکوپیت و پرلیت (۱ به ۱) انتقال داده شدند. 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 هر یک روز درمیان، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی هوگلند به گلدان‌های حاوی بستر هیدروپونیک و ۱۰۰ میلی لیتر آب خالص به گلدان‌های حاوی بستر خاکی داده‌شد. پس از گذشت چهار هفته و استقرار کامل گیاهان، محلول‌پاشی با چهار سطح مختلف سیلیکون (۰، ۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۲۵میلی‌مولار) به‌مدت یک ماه و هر ۷ روز یک‌بار انجام شد. پس از دو ماه از شروع کشت و کامل شدن رشد رویشی، گیاهان 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. پس از کامل شدن دوره رشد زایشی، ارزیابی ویژگی‌های دیگر نظیر محتوی نسبی آب برگ، نشت‌یونی، میزان کلروفیل (انواع مختلف)، کارتنوئید، آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدان، فنل‌کل، فلاونوئیدکل، قندکل و میزان عناصر پتاسیم و فسفر برگ و ریشه انجام شد.

جدول ۱: مشخصات خاک استفاده شده برای انجام آزمایش

نمونه	pH	هدایت‌الکتریکی (دسی‌مینس بر سانتی‌متر)	درصد اشباع (٪)	درصدمواد خنثی‌شونده (٪)	درصد ازت (٪)	کربن آلی (٪)	فسفر قابل‌جذب ppm	پتاسیم قابل‌جذب ppm	رس (٪)	لای (٪)	ماسه (٪)	بافت
خاک و ماسه	۷/۹۱	۰/۸۲۷	۳۰/۰٤	۳٦	۰/۱٤	۱/٤	۳	۳٦	۸	۲٤	٦۸	لوم-شنی
خاک و ورمی‌کمپوست	۷/٤٦	۰/۱۵۸	۳۸/۵۸	۳۱/۵	۰/۰۹	۰/۹	۷/٤	۲۲۳	۸	۳٤	۵۸	لوم-شنی

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 اندام‌هوایی و ریشه، آن‌ها را در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤٨ ساعت قرار داده شدند و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد (Khorasaninejad et al., 2016; Gorgini shabankareh et al., 2021).

اندازه‌گیری سطح برگ: برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ قبل از ظهر از هر تکرار یک گیاه به‌طور تصادفی انتخاب شد و سطح برگ آن‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta T Device,

(Cambridge, UK) انـدازه‌گیری و میـانگین آن‌هـا محاسبه شـد. سـطح بـرگ تولیـدی در واحـد سـطح (سانتی‌متر مربع) اندازه‌گیری شد (Motamedi et al., 2018).

اندازه‌گیری نشت یونی: ابتدا قطعات یکسانی از سطح برگ گرفته، سپس با آب مقطر شستشوشد. مقـدار ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌هـا اضـافه و ۲٤ سـاعت در دمـای ۲۵ درجـه سـانتی‌گراد قـرار داده شـد. سـپس هـدایت الکتریکـی اولیـه توسـط دسـتگاه هـدایت الکتریکی‌سنج (EC_1) اندازه‌گیری شد. سپس نمونـه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شـدند و هـدایت الکتریکـی ثانویـه (EC_2) اندازه‌گیری شـد (Sullivan and Ross, 1979). نشـت یونی (٪) بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه (۱) $EC = \frac{EC1}{EC2} \times 100$

اندازه‌گیری محتوای نسـبی آب بـرگ: محتـوای آب معمولاً به صورت 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 = 100 × [(وزن خشک – وزن آماس)/ (وزن خشک – وزن تر)]

جهت اندازه‌گیری میزان RWC از قسمت وسط پهنک برگ استفاده شد، به این صورت کـــه قطعاتی به یک اندازه از برگ جدا و با ترازوی دقیق آزمایشگـــاهی وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. سپس قطعات برگی را در ظروف پتری در بسته در آب مقطر غوطـه‌ور کـرده و به‌مدت ۱۵ ساعت در شدت نور کم قرار داده شـدند. با قرار دادن آن‌ها بـین دو لایـه کاغـذ صـافی واتمـن شماره یک به‌مدت حدود یک دقیقـه خشـک شـده و وزن آماس آن‌هـا بلافاصـله انـدازه‌گیری شـد. سـپس قطعات برگی در آون و در دمای ۷۰ درجه سـانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت خشک شده و وزن خشـک آن‌هـا تعیین و میزان RWC تیمارها با اسـتفاده از رابطـه (۲) اندازه‌گیری شد (McCaig and Romogosa, 1991).

انـدازه‌گیری رنگدانـه‌های فتوسـنتزی: بـرای تعیـین غلظت کلروفیل و کاروتنوئید از روش بارنس (۱۹۹۲) استفاده شد. ابتدا ۰/۵ گرم نمونـه برگـی تـازه از هـر تیمار آزمایشی در پنج میلی‌لیتر DMSO به‌مدت چهار ساعت در دمای ٦۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد. از نمونه حاصل ۲۵۰ میکرولیتـر برداشـته شـد و مجدد دو میلی‌لیتر DMSO به آن اضافه شد. نمونـه‌ها بهوسـیله دسـتگاه اسـپکتروفتومتر قرائـت شـده و از DMSO خالص به‌عنوان نمونـه شـاهد اسـتفاده شـد. اندازه‌گیری کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به‌ترتیب در طـول موج‌هـای ٦٤۵، ٦۲۳، ٤۸۰ و ۵۱۰ نانومتر انجام گرفت و اعداد بدست‌آمده در رابطـه‌های (۳، ٤، ۵ و ٦) جای‌گذاری شدند.

رابطه (۳) Chl.a=[12.7(A663)-2.69(A645)]×V/W

رابطه (٤) Chl.b= [22.9(A645)-4.68(A663)]×V/W

رابطه (۵) Car=[7.6(A480)-1.49(A510)]×V/W

رابطه (٦)

Chlo total =[20.2(A645) + 8.02(A663)] ×V/W

A480، A510، A645، A663 به‌ترتیب میـزان جـذب در طول موج ٤۸۰، ۵۱۰، ٦٤۵ و ٦٦۳

اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین: یک گرم از نمونه را بـا ۱۰ میلی‌لیتـر متـانول اسـیدی (۹۹ میلـی‌لیتـر متـانول خالص و یک میلی‌لیتر هیدروکلریک‌اسـید) سـاییده و عصاره برای ۲٤ ساعت در تاریکی در دمای ٤ درجـه سانتی‌گراد (دمای یخچال) قرار داده شد و جـذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. مقدار آنتوسـیانین با استفاده از فرمول $A=\varepsilon bc$ بدست می‌آیـد کـه در آن مقدار ε یا ضریب خاموشـی معـادل $۳۳۰۰ mMcm^{-1}$، مقدار A مقدار جذب، b عرض کـوت انـدازه گیـری برابر یک سانتی‌متر و c مقدار آنتوسیانین برحسب مول

بـر گـرم وزن تـر گیـاه مـی‌باشـد. در نهایـت میـزان آنتوسیانین برحسب میکرومول در گـرم وزن تـر بیـان می گردد (Wagner, 1971).

اندازه‌گیری میزان پتاسیم و فسفر برگ و ریشه: بعـد از گذاشتن نمونه‌ها (ریشه و اندام‌هوایی) جداگانـه در کوره در دمای ۵۵۰ درجه به مدت ٦ سـاعت بـا HCl غلـیظ، هضـم شدند و از این عصاره برای اندازه‌گیری پتاسیم و فسفر استفاده شد. مقدار پتاسـیم بـا اسـتفاده از فلیم‌فتومتر (مدلJENWAY انگلستان) انـدازه‌گیری شد و جهـت رسـم منحنـی اسـتاندارد بـا اسـتفاده از غلظت‌های (۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤٠ و ۵۰ KCl) استفاده شد برای تعیین میزان فسفر گیـاه ۵ میلی‌لیتـر از عصـاره‌ی گیاهی را به بالن ۲۵ میلی‌لیتری منتقل کرده، سـپس ۵ میلی‌لیتر از محلول آمونیـوم مولیبـدات‌وانـادات بـه آن اضافه و به حجم رسانده شده و همین عمل در مـورد شاهد و استانداردها نیز صورت گرفت. فسفر موجـود در نمونه تهیه شده، با طول موج ٤٧٠ نـانومتر توسـط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شود. همچنین از نمـک فسفات‌پتاسیم جهت تهیه محلـول اسـتاندارد اسـتفاده گردید (Chapman and Pratt, 1961).

اندازه‌گیری میزان فنل‌کل برگ: برای اندازه‌گیری فنل کل از روش فولین- سیوکالتیو اسـتفاده شـد (Oki et al., 2002). ۲۰ میکرولیتر از عصاره متـانولی بـرگ و ریشـــه بـــه‌طـــور جداگانـــه، بـــا ۱۰۰ میکرولیتـــر فولین‌سیوکالتیو و ۱/۱٦ میلی‌لیتـر آب مقطـر مخلـوط کرده و سپس به آن ۳۰۰ میکرولیتر کربنات‌سدیم یک مولار اضافه شد. به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام بخـار ٤٠ درجه سانتی‌گراد در تاریکی قرار گرفـت. بـرای تهیـه نمونه شاهد نیز به‌جای عصاره متانولی، تنها از متـانول به‌عنوان حلال استفاده شـد و بعـد فـولین‌سـیوکالتیو و کربنات‌سدیم اضافه گردید. از این محلول برای کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO 2800) استفاده شد. میزان جذب در طول موج ٧٦٠ نانومتر خوانده‌شد.

با استفاده از غلظت‌های متفاوت استاندارد اسیدگالیک (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) محلول اسـیدگالیک در متـانول، منحنـی کالیبراسـیون به‌دست آمد. این مقدار برای یک گرم در لیتر محاسـبه شد. فنل‌کل برحسـب میلی‌گـرم اسـیدگالیک در ۱۰۰ گرم ماده خشک بدست آمد.

اندازه گیری میزان فلاونوئیدکل برگ: برای محاسـبه فلاونوئیدکل، مقدار۰/۵میلی‌لیتر از عصاره متانولی برگ و ریشه، به‌طور جداگانه، را در لوله آزمایش ریختـه و به‌ترتیـب بـه آن۱/۵میلـی‌لیتـر اتـانول۹۵ درصـد، ۰/۱ میلی‌لیتـر پتاسـیم اسـتات، ۲/۸میلی‌لیتـر آب مقطـر و۰/۱میلی‌لیتر آلومینیم کلراید اضافه شـد. بـرای تهیـه شاهد، متانول خالص جایگزین عصاره متانولی گردید. محلول حاصل۳۰ دقیقـه در تـاریکی قـرار داده شـد. میزان جذب نمونه‌ها در مقابل بلانـک در طـول مـوج ٤١٥ توسط دستگاه اسـپکتروفتومتر انـدازه‌گیری شـد. جهت رسم منحنی اسـتاندارد از غلظت‌هـای مختلـف محلـول اسـتاندارد کوئرسـتین (۰، ۲۰، ٤٠، ٦٠، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) استفاده شـد. معادلـه خـط بدست آمده برای تعیـین میـزان فلاونوئیـدکل در ۱۰۰ گـرم مـاده خشـک اسـتفاده گردیـد (Chang et al., 2012).

اندازه‌گیـری میـزان فعالیـت آنتی‌اکسـیدانی بـرگ بـــه‌روش DPPH: بـرای انـدازه‌گیری میـزان مهـار رادیکال‌های آزاد به روش DPPH ابتدا یـک میلی‌لیتـر از عصاره آبی با یک میلی‌لیتر DPPH بـا غلظـت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط گردیـد. بـرای نمونـه شـاهد یـک میلی‌لیتر متانول خالص به‌جای یک میلی‌لیتـر عصـاره متانولی قرار داده شد. و برای بلانک از متانول خـالص استفاده شد. بعد از ۳۰ دقیقه تـاریکی، میـزان جـذب نمونه‌ها در طـول مـوج ۵۱۷ نـانومتر توسـط دسـتگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. اعـداد بدسـت‌آمده توسـط رابطه (۷) به درصد مهار رادیکال آزاد تبدیل شد.

رابطه (۷)

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

در این رابطه As و Ac به‌ترتیب برابر با عدد جذب نمونه و کنترل می‌باشد. اعداد بدست‌آمده برابر با درصد مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره متانولی نمونه‌ها می‌باشد (Wu et al., 2003).

اندازه‌گیری قندکل: برای اندازه‌گیری قندکل از روش آنترون استفاده گردید بدین منظور، ۱۰۰میلی‌گرم از نمونه خشک شده با ۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲/۵ نرمال در حمام آب به‌مدت ۳ ساعت به‌منظور هیدرولیز جوشانده شد و سپس با کربنات‌سدیم 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. ٤ 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 ٦۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و بر اساس واحد میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد.جهت تهیه نمونه استاندارد قند کل از محلول ساکارز با غلظت یک میلی‌گرم در میلی‌گرم آب مقطر استفاده شد (Thimmaiah, 2004).

تحلیل آماری

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 جداول ۲ و ۳ نشان داد که انواع بستر کشت بر ارتفاع بوته، طول ریشه و میانگره، وزن تر اندام‌هوایی و ریشه، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، سطح برگ، نشت یونی، رطوبت نسبی برگ، آنتوسیانین، کلروفیل و کارتنوئید، فنل‌کل، آنتی-اکسیدان، قندکل، پتاسیم برگ و ریشه، فسفر برگ و ریشه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد اما میزان فلاونوئیدکل اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین نتایج حاکی از آن است که تیمار سیلیکون به تنهایی بر ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر اندام‌هوایی و ریشه، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، سطح برگ، رطوبت نسبی برگ، آنتوسیانین، کلروفیل a وb، کارتنوئید، فنل‌کل، آنتی‌اکسیدان و فلاونوئیدکل در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد اما کلروفیل‌کل و میزان نشت یونی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری داشت. سیلیکون اثری در میزان قندکل، پتاسیم و فسفر برگ و ریشه از خود نشان نداد. همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون در ارتفاع بوته، طول ریشه و میانگره، وزن تر اندام‌هوایی و ریشه، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، سطح برگ، نشت یونی، رطوبت نسبی برگ، آنتوسیانین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، فنل‌کل، فلاونوئیدکل، آنتی‌اکسیدان، قندکل، پتاسیم برگ، فسفر برگ در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد ولی در میزان پتاسیم و فسفر ریشه اثر معنی‌داری نشان نداد. نتایج مقایسه میانگین آثار متقابل بستر کشت و سیلیکون (جدول ٤) نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در بستر پرلیت باسیلیکون ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار مشاهده شد که با تیمار شاهد بستر خاک و ورمی‌کمپوست تفاوتی نداشت و همچنین بیشترین طول ریشه در تیمار شاهد بستر خاک و ورمی‌کمپوست مشاهده شد. بیشترین طول میانگره، وزن‌تر اندام‌هوایی، وزن‌تر ریشه و میزان رطوبت نسبی سطح برگ در بستر پرلیت با سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس تاثیر سیلیکون و بستر کشت بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی شاهدانه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		ارتفاع بوته	طول ریشه	طول میانگره	وزن تر اندام‌هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام‌هوایی	وزن خشک ریشه	آنتوسیانین	سطح برگ	نشت یونی	رطوبت نسبی برگ
بستر کشت	۳	۲۰۲۰/۰**	۵۸۲**	۱۲۵**	۷۷۵**	۲۵/۴۸**	۸۳/۹۱**	۳/۱۶**	۰/۴۴**	۰/۱۱**	۳۵۶**	۱۱۰**
سیلیکون	۳	۲۸۲**	۹۲**	۳/۵۲ns	۱۱۸**	۱۱/۹۲**	۱۹/۶۳**	۰/۷۳**	۰/۲۸**	۰/۰۲**	۳۹/۲۹*	۲۵/۳۷**
بسترکشت× سیلیکون	۹	۲۳۳**	۲۱۸**	۱۳/۹۵**	۸۳/۶۷**	۴/۱۵**	۷/۸۳**	۰/۲۶**	۰/۰۵**	۰/۰۵**	۷۵/۱۹**	۹/۲۷**
خطا	۳۲	۱۹/۰۴	۴/۶۳	۱/۵۲	۵/۴۸	۰/۳۱	۰/۶۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۱۱/۴۷	۰/۶۶
ضریب تغییرات(٪)		۶/۰۴	۱۱/۶۶	۱۰/۵۱	۱۳/۵	۲۰/۴۸	۱۳/۶۹	۱۴/۲۳	۲۱/۰۲	۱۳/۲	۶/۳۶	۱۱/۸۱

ns بیان کننده معنی‌دار نبودن است. * و ** به ترتیب بیان‌کننده معنی‌داری در سطح احتمال P≤۰/۰۵ و P≤۰/۰۱ هستند.

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس تاثیر سیلیکون و بستر کشت بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی شاهدانه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	فلاونوئیدکل	آنتی‌اکسیدان	فنل کل	قندکل	پتاسیم برگ	پتاسیم ریشه	فسفربرگ	فسفرریشه
بستر کشت	۳	۰/۰۹**	۰/۳۵**	۰/۳۴**	۱۱۸**	۵/۰۷ns	۹۱۶/۶**	۱۲۶/۹۷**	۱/۹**	۷۲۲/۰۳**	۸۲/۳۸**	۱۸/۹۱**	۴/۳۴**
سیلیکون	۳	۰/۰۶**	۰/۱۹**	۰/۰۷*	۴۴۷**	۸/۲۷**	۳۱۳۹/۳۲**	۵۶۸/۶۲**	۰/۲۱ns	۳/۵۳ns	۰/۹۲ns	۱/۱۸ns	۰/۶۸ns
بسترکشت × سیلیکون	۹	۰/۰۱**	۰/۰۳**	۰/۱۲**	۱۰۱**	۶/۰۱**	۲۲۳/۸۸**	۷۲/۸۱**	۰/۳۷°	۲۱/۷۳**	۳/۲۷ns	۶/۵۸**	۱/۵۲ns
خطا	۳۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۱۴/۴۴	۱/۸	۲۷/۹۹	۱/۰۷	۰/۱۵	۲/۶۲	۲/۱۸	۰/۶۶	۰/۷۳
ضریب تغییرات(٪)		۱۲/۶۶	۱۲/۹۴	۱۲/۶۴	۱۲/۲۹	۶/۴۱	۱۲/۱۹	۹/۶۶	۱۵/۰۵	۷/۴۸	۱۷/۳	۶/۳۷	۶/۰۴

ns بیان کننده معنی‌دار نبودن است* و ** به ترتیب بیان‌کننده معنی‌داری در سطح احتمال P≤۰/۰۵ و P≤۰/۰۱ هستند.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون بر وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه (شکل ۱ و ۲) نشان داد که بیشترین وزن خشک نیز در بستر پرلیت با سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار و کمترین میزان در بستر خاک و ماسه مشاهده شد که نشان می‌دهد سیلیکون قادر به افزایش شاخص‌های رشدی در شرایط کشت هیدروپونیک شد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون بر صفات فیتوشیمیایی شاهدانه (جدول ۶) نشان داد که بیشترین میزان فلاونوئیدکل در بستر خاک و ماسه با ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون، بیشترین میزان آنتی‌اکسیدان در بستر خاک و ماسه با شاهد سیلیکون و همچنین بستر خاک و ورمی‌کمپوست با شاهد سیلیکون، بیشترین میزان فنل‌کل در بستر خاک و ورمی‌کمپوست و همچنین بستر پرلیت و پرلیت و کوکوپیت با شاهد سیلیکون، بیشترین میزان آنتوسیانین در بستر خاک و ورمی‌کمپوست و پرلیت با ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیکون و کمترین میزان در خاک و ماسه با ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیکون، بیشترین میزان قند کل در بستر پرلیت و کوکوپیت با ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیکون مشابه با میزان فسفر برگ و بیشترین میزان پتاسیم برگ در بستر پرلیت و کوکوپیت با ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون و کمترین میزان آن در بستر خاک و ماسه با شاهد سیلیکون مشاهده شد. که این نتایج حاکی از آن است که سیلیکون در بیشتر صفات فیتوشیمیایی شاهدانه تاثیری نداشته ولی بستر کشت هیدروپونیک و خاک حاوی ورمی‌کمپوست تاثیر بسزایی در افزایش صفات داشته‌اند.

جدول ٤: نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون بر خصوصیات رشدی و مورفوفیزیولوژیکی شاهدانه

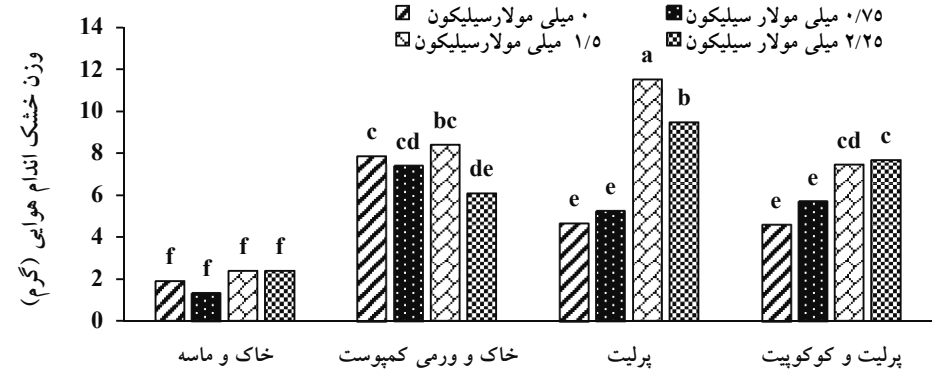
بستر کشت	تیمار سیلیکون	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول ریشه (سانتی‌متر)	طول میانگره (سانتی‌متر)	وزن‌تر اندام‌هوایی (گرم در بوته)	وزن‌تر ریشه (گرم در بوته)	سطح‌برگ سانتی‌متر در بوته)	نشت یونی (درصد)	رطوبت برگ (درصد)
خاک + ماسه	Si1	٤٧/٣٣^{h}	٨/١٦^{h}	٧/٦٦^{g}	٤/٧٥^{hi}	١/١٣^{gh}	٠/١٦^{h}	٥٥/٢٣^{cd}	٢/٤٦^{f}
	Si2	٤٥/٣٣^{h}	٨/١٦^{h}	٧/٣٣^{g}	٢/٦٩^{i}	٠/٤٨^{h}	٠/١٨^{h}	٤٤/١^{g}	١/٥٧^{f}
	Si3	٦٠/٣٣^{fg}	١٠^{gh}	٧/٦٦^{g}	٧/٥٤^{h}	١/١١^{gh}	٠/١٧^{h}	٤٦/٨٧^{efg}	٢/٨١^{f}
	Si4	٥٨/٦٦^{g}	٩/٣٣^{h}	٨^{fg}	٦/٦٩^{hi}	٠/٨٦^{gh}	٠/١٦^{h}	٤٥/١٨^{fg}	٢/٧٦^{f}
خاک + ورمی‌کمپوست	Si1	٨٩/٣٣^{a}	٤٠^{a}	١٥/٣٣^{b}	٢٢/٦٩^{cd}	١/٨٥^{fg}	٠/١٩^{gh}	٦٢/٥٣^{ab}	٨/٧١^{c}
	Si2	٧٠^{de}	١١/٣٣^{gh}	١٢/٦٦^{cd}	٢٢/٦٦^{cde}	١/٨٢^{fg}	٠/٣٥^{cd}	٥١/١٦^{def}	٨/١١^{cd}
	Si3	٦٦^{efg}	٩^{h}	١٤/٣٣^{bc}	١٦/٢٣^{fg}	٢/٧١^{def}	٠/٢٥^{fg}	٦٦/٤٢^{a}	٩/٢٤^{bc}
	Si4	٨٤/٦٦^{ab}	١٣/٣٣^{fg}	١٠^{ef}	١٧/٥٨^{fg}	٢/٦٢^{def}	٠/٣٩^{bc}	٦٠/٢٢^{abc}	٧/٠٢^{de}
پرلیت	Si1	٧٧^{bcd}	٢٤^{cd}	١٤^{bc}	١٣/٤٨^{g}	٣/٤٢^{cd}	٠/٢٨^{ef}	٥٢/٧٤^{de}	٥/٩٨^{e}
	Si2	٦٧/٦٦^{ef}	٢٢/٦٦^{cde}	١٤^{bc}	١٨/٣٦^{ef}	٢/٩٣^{cde}	٠/٣٥^{cd}	٥٦/٣٨^{bcd}	٦^{e}
	Si3	٨٩^{a}	٢٩^{b}	١٨^{a}	٣٢/٦١^{a}	٧/٩٣^{a}	٠/٣١^{def}	٥٤/٧٦^{cd}	١٣/٧^{a}
	Si4	٩١^{a}	٢٥/٦٦^{bc}	١٥^{b}	٢٦/٢٧^{bc}	٢/٢٩^{ef}	٠/٣١^{def}	٥٦/٢٢^{cd}	١٠/٣٤^{b}
پرلیت + کوکوپیت	Si1	٧٢/٦٦^{cde}	١٥/٣٣^{f}	١١^{de}	١٦/٧٦^{fg}	٢/٥٢^{def}	٠/٣٢^{de}	٥١/٣٢^{def}	٦/١٩^{e}
	Si2	٨٣^{ab}	١٩/٣٣^{e}	١٤^{bc}	١٩/٢٩^{def}	٣/٠٩^{cde}	٠/٤١^{ab}	٥٢/٦١^{de}	٦/٩٧^{de}
	Si3	٧٤^{cde}	٢١/٣٣^{de}	٨^{fg}	٣٠/٢^{ab}	٥/٠٩^{b}	٠/٤٦^{a}	٤٣/٧٧^{g}	٩/٣٤^{bc}
	Si4	٧٩^{bc}	٢٨/٦٦^{b}	١٠/٦٦^{de}	١٩/٦٦^{def}	٣/٧٥^{c}	٠/٤٣^{ab}	٥٢/٥٥^{de}	٩/١٤^{bc}

Si3،Si2،Si1 و Si4 به‌ترتیب بیان کننده غلظت‌های صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیکون هستند

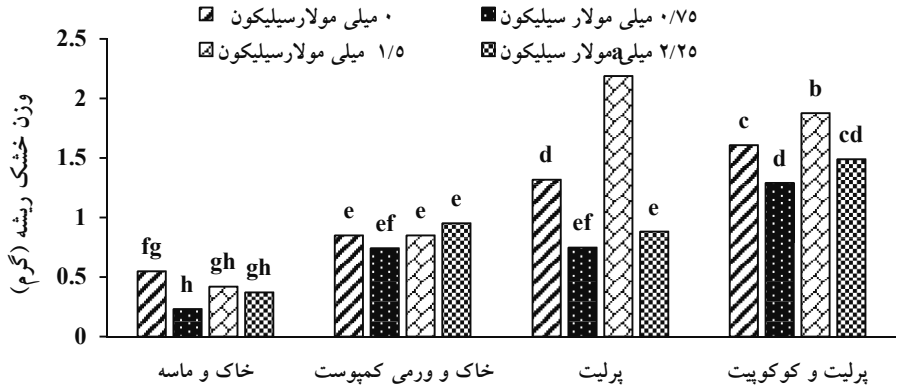
جدول ۵: نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون بر خصوصیات بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی شاهدانه

بستر کشت	تیمار سیلیکون	فلاونوئیدکل	آنتی‌اکسیدان	فنل‌کل	آنتوسیانین	قندکل	پتاسیم برگ	فسفربرگ
خاک + ماسه	Se1	١٨/٩٦^{ef}	٧٤/٢٨^{a}	٥/٨١^{efg}	٠/٤٢^{cd}	٢/٢٩^{cd}	٧/٥٣^{i}	١٣/٤٥^{cd}
	Se2	١٨/٥٦^{f}	٣٨/٢٦^{efg}	٥/٢٦^{fg}	٠/٢٦^{def}	٢/٦^{bcd}	١١/٠٨^{h}	١٢/٣٩^{def}
	Se3	٢٤/٣١^{a}	٥١/٤٤^{bcd}	٤/٥٦^{g}	٠/٠٦^{g}	٢/٣٢^{cd}	١٠/٧٩^{h}	١٢/٨٨^{cdef}
	Se4	٢١/١٦^{bcde}	٤٥/٧٩^{def}	٨/٥٥^{cd}	٠/٢٣^{efg}	١/٩٦^{d}	١٢/٩٩^{h}	١١/٦٤^{efg}
خاک + ورمی‌کمپوست	Se1	٢٢/٧٣^{ab}	٧٩/٥^{a}	٢٥/١٦^{a}	٠/٧١^{ab}	٢/٢٣^{cd}	٢٢/٦٤^{ef}	١٤/٣٨^{bc}
	Se2	٢١/٦٦^{bcd}	٢٨/٧٩^{gh}	٧/٤٥^{de}	٠/٧٨^{a}	٢/٦٤^{bcd}	٢٢/٨٨^{def}	١١/٦٩^{ef}
	Se3	٢٢/٢٤^{abc}	٤٠/٥٩^{ef}	١٠/٠٦^{bc}	٠/١٤^{fg}	٢/٤٧^{bcd}	١٨/٩٦^{g}	١١/٤٣^{fg}
	Se4	٢٠/٨٦^{bcdef}	٢٩/٨٤^{gh}	١١/٣٥^{b}	٠/٣٢^{def}	٢/٥٣^{bcd}	٢٥/٧٧^{bcd}	١٠/١٨^{g}
پرلیت	Se1	١٩/٦٢^{def}	٥٩/٣٩^{b}	٢٦/٤٣^{a}	٠/٧١^{ab}	٢/٦٢^{bcd}	٢٤/٧٨^{def}	١١/٧٦^{ef}
	Se2	٢٠/٦٧^{bcdef}	٢٩/١^{gh}	٧/٤٧^{de}	٠/٧٩^{a}	٢/٧٤^{bc}	٢٥/٢٥^{cdef}	١٢/٦٢^{def}
	Se3	٢١/٠٨^{bcde}	٢٣/٦٤^{h}	٥/٧٧^{efg}	٠/٧١^{ab}	٢/١٣^{cd}	٢٨/٠٤^{abc}	١٢/٠١^{def}
	Se4	١٩/٩٨^{cdef}	١٣/٥٧^{i}	٨/٦^{cd}	٠/٦٥^{ab}	٢/١١^{cd}	٢٢/٣٧^{f}	١٢/١٧^{def}
پرلیت + کوکوپیت	Se1	٢١/٥٢^{bcd}	٥٦/٠١^{bc}	٢٦/٤٧^{a}	٠/٦٩^{ab}	٢/٦٧^{bcd}	٢٨/٦٧^{ab}	١٣/٠٨^{cde}
	Se2	٢١/٣^{bcde}	٣٦/٠٧^{fg}	٧^{def}	٠/٥٨^{bc}	٣/٠٧^{b}	٢٨/٦٤^{ab}	١٥/٢٢^{b}
	Se3	٢١/١٦^{bcde}	٤١/٠١^{ef}	٦/١١^{efg}	٠/٤^{cde}	٣/١٤^{ab}	٣٠/٧٥^{a}	١٣/٤٤^{cd}
	Se4	١٩/٦٥^{def}	٤٦/٦٤^{cde}	٥/٤٦^{fg}	٠/٣٤^{de}	٣/٨٥^{a}	٢٥/٥٥^{cde}	١٦/٩٣^{a}

Se3،Se2،Se1 و Se4 به‌ترتیب بیان کننده غلظت‌های صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیوم هستند



شکل ۱: مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون بر وزن خشک اندام‌هوایی



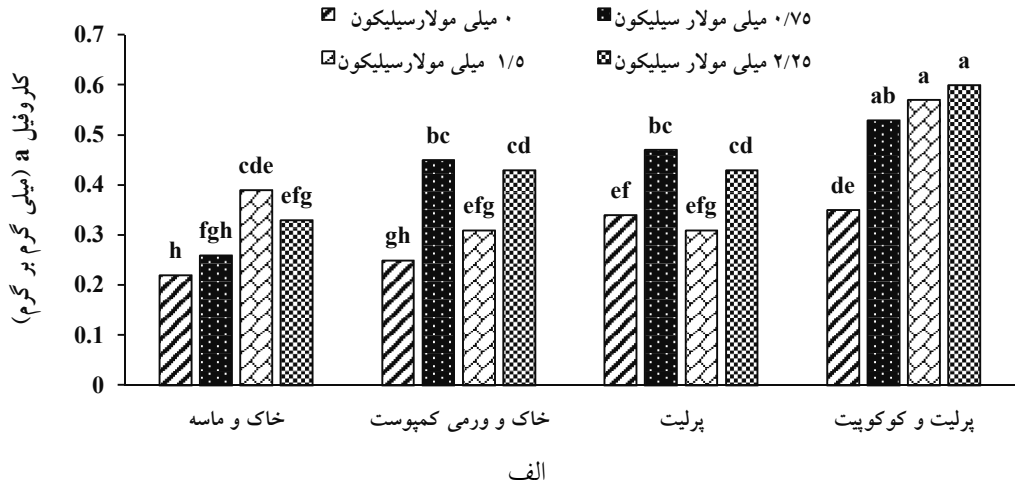
شکل ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون بر وزن خشک ریشه

جدول ٦: نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون بر صفات فیتوشیمیایی شاهدانه

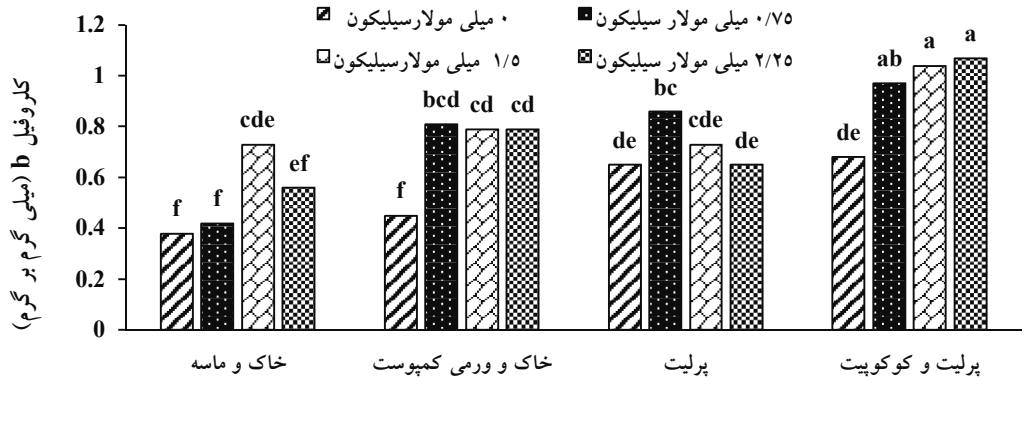
بستر کشت	تیمار سیلیکون	فلاونوئیدکل (میلی‌گرم‌بر گرم‌وزن خشک)	آنتی اکسیدان (درصد)	فنل‌کل (میلی‌گرم بر گرم‌وزن خشک)	آنتوسیانین (میکرومول‌بر گرم ماده تر)	قندکل (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	پتاسیم برگ ppm	فسفربرگ ppm
خاک + ماسه	Si1	۱۸/۹٦^{ef}	۷٤/۲۸^{a}	۵/۸۱^{efg}	۰/٤۲^{cd}	۲/۲۹^{cd}	۷/۵۳^{i}	۱۳/٤۵^{cd}
	Si2	۱۸/۵٦^{f}	۳۸/۲٦^{efg}	۵/۲٦^{fg}	۰/۲٦^{def}	۲/٦^{bcd}	۱۱/۰۸^{h}	۱۲/۳۹^{def}
	Si3	۲٤/۳۱^{a}	۵۱/٤٤^{bcd}	٤/۵٦^{g}	۰/۰٦^{g}	۲/۳۲^{cd}	۱۰/۷۹^{h}	۱۲/۸۸^{cdef}
	Si4	۲۱/۱٦^{bcde}	٤۵/۷۹^{def}	۸/۵۵^{cd}	۰/۲۳^{efg}	۱/۹٦^{d}	۱۲/۹۹^{h}	۱۱/٦٤^{efg}
خاک + ورمی کمپوست	Si1	۲۲/۷۳^{ab}	۷۹/۵^{a}	۲۵/۱٦^{a}	۰/۷۱^{ab}	۲/۲۳^{cd}	۲۲/٦٤^{ef}	۱٤/۳۸^{bc}
	Si2	۲۱/٦٦^{bcd}	۲۸/۷۹^{gh}	۷/٤۵^{de}	۰/۷۸^{a}	۲/٦٤^{bcd}	۲۲/۸۸^{def}	۱۱/٦۹^{ef}
	Si3	۲۲/۲٤^{abc}	٤۰/۵۹^{ef}	۱۰/۰٦^{bc}	۰/۱٤^{fg}	۲/٤۷^{bcd}	۱۸/۹٦^{g}	۱۱/٤۳^{fg}
	Si4	۲۰/۸٦^{bcdef}	۲۹/۸٤^{gh}	۱۱/۳۵^{b}	۰/۳۲^{def}	۲/۵۳^{bcd}	۲۵/۷۷^{bcd}	۱۰/۱۸^{g}
پرلیت	Si1	۱۹/٦۲^{def}	۵۹/۳۹^{b}	۲٦/٤۳^{a}	۰/۷۱^{ab}	۲/٦۲^{bcd}	۲٤/۷۸^{def}	۱۱/۷٦^{ef}
	Si2	۲۰/٦۷^{bcdef}	۲۹/۱^{gh}	۷/٤۷^{de}	۰/۷۹^{a}	۲/۷٤^{bc}	۲۵/۲۵^{cdef}	۱۲/٦۲^{def}
	Si3	۲۱/۰۸^{bcde}	۲۳/٦٤^{h}	۵/۷۷^{efg}	۰/۷۱^{ab}	۲/۱۳^{cd}	۲۸/۰٤^{abc}	۱۲/۰۱^{def}
	Si4	۱۹/۹۸^{cdef}	۱۳/۵۷^{i}	۸/٦^{cd}	۰/٦۵^{ab}	۲/۱۱^{cd}	۲۲/۳۷^{f}	۱۲/۱۷^{def}
پرلیت + کوکوپیت	Si1	۲۱/۵۲^{bcd}	۵٦/۰۱^{bc}	۲٦/٤۷^{a}	۰/٦۹^{ab}	۲/٦۷^{bcd}	۲۸/٦۷^{ab}	۱۳/۰۸^{cde}
	Si2	۲۱/۳^{bcde}	۳٦/۰۷^{fg}	۷^{def}	۰/۵۸^{bc}	۳/۰۷^{b}	۲۸/٦٤^{ab}	۱۵/۲۲^{b}
	Si3	۲۱/۱٦^{bcde}	٤۱/۰۱^{ef}	٦/۱۱^{efg}	۰/٤^{cde}	۳/۱٤^{ab}	۳۰/۷۵^{a}	۱۳/٤٤^{cd}
	Si4	۱۹/٦۵^{def}	٤٦/٦٤^{cde}	۵/٤٦^{fg}	۰/۳٤^{de}	۳/۸۵^{a}	۲۵/۵۵^{cde}	۱٦/۹۳^{a}

Si3،Si2،Si1 و Si4 به‌ترتیب بیان کننده غلظت‌های صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیکون هستند

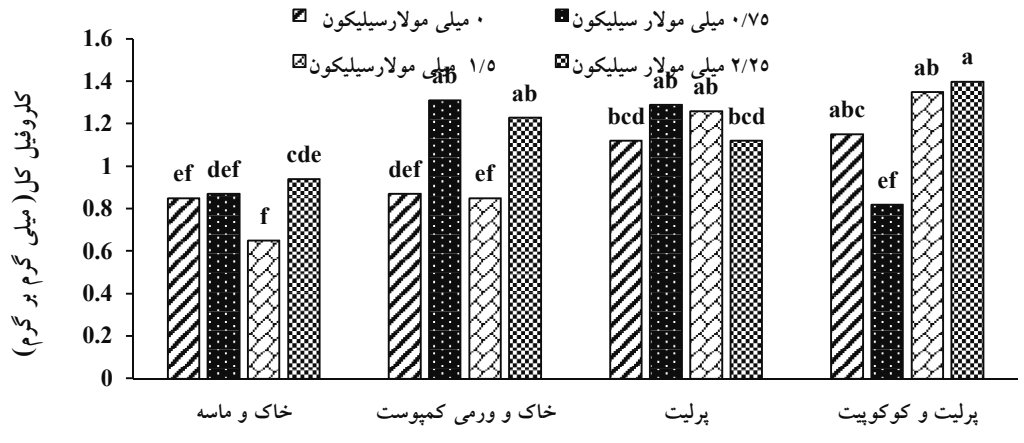
نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون بر رنگدانه‌های فتوسنتزی (شکل ۳) نشان داد که بیشترین میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در بستر کشت پرلیت و کوکوپیت با ۱/۵ و ۲/۲۵ میلی‌مولار سیلیکون مشاهده شد که نشان می‌دهد سیلیکون در بستر کشت هیدروپونیک قادر به افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌باشد.



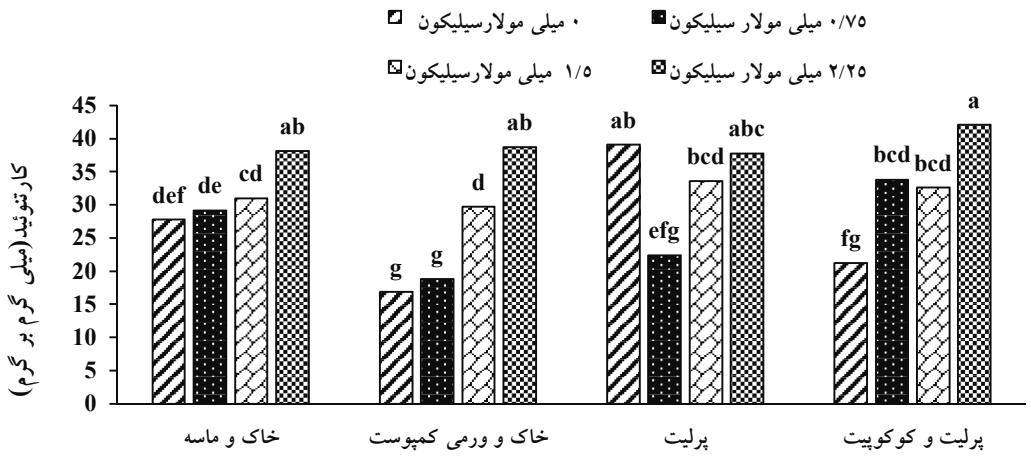
الف



ب



پ



ت

شکل ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و سیلیکون در رنگدانه‌های فتوسنتزی: کلروفیل a (الف)، کلروفیل b (ب)، کلروفیل کل (پ) و کارتنوئید (ت)

بحث

رشد و نمو اساسا از پدیده‌های مهم در طی انتوژنی گیاه است. رشد و نمو تحت‌تاثیر عوامل متعدد محیطی و ژنتیکی قرار دارد. رشد نتیجه تعامل ژنوتیپ و محیط است. مزایای کشت بدون خاک شامل آبیاری موثر، مدیریت بهینه مواد غذایی و مدیریت حفاظت گیاه، افزایش عملکرد در مقایسه با سیستم‌های مبتنی بر خاک به دلیل تراکم بالای گیاه و رشد سریع‌تر گیاه است (Katsoulas et al., 2015).

در این پژوهش مشخص شد سیلیکون با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار در محیط کشت پرلیت سبب به دست آمدن بالاترین میزان طول ریشه، اندام هوایی و میانگره، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و درصد رطوبت برگ گردید (جدول ٤ و شکل ۱ و ۲) و همین غلظت سیلیکون سبب تولید بیشترین سطح برگ در محیط کشت پرلیت و کوکوپیت گردید (جدول ٤). در همین راستا محققان تاثیر سیلیکون بر خصوصیات مورفولوژیکی و رشدی گل ژربرا (*Gerbera aurantiaca*) را در شرایط کشت گلخانه بررسی نمودند و اثرات مثبت کاربرد سیلیکون بر ارتفاع گیاه، ضخامت ساقه، اندازه گل‌ها و زمان گلدهی را گزارش کردند (Kamenidou et al., 2010). همچنین محققان در پژوهشی اثر سیلیکون و اسیدفولویک تحت تنش شوری روی گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*) بیان داشتند که کاربرد سیلیکون در غلظت ۳ میلی‌مولار بالاترین مقادیر ارتفاع بوته، وزن تر بوته، وزن خشک گیاه، تعداد برگ در بوته، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، پروتئین و محتوای کلروفیل کل را به ثبت رساند و اثر مخاطره‌آمیز نیترات و اگزالات کل را کاهش داد (Gabr et al., 2022). همچنین بررسی‌ها نشان داد که کاربرد تیمارهای سیلیکون باعث افزایش سطح برگ گیاهان در نتیجه افزایش آسمیلات‌ها است که موجب افزایش رشد گیاه و افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Khademi Astaneh etal., 2017). در این مورد می‌توان ذکر نمود سیلیکون با افزایش راندمان فتوسنتز، کاهش تعرق و در نتیجه رشد بیشتر اندام‌هوایی در ارتباط است و از دو طریق بر رشد و نمو تاثیر دارد. اول این‌که موجب تقویت سیستم

حفاظتی گیاه در برابر بیماری‌ها، حمله حشرات و شرایط نامساعد محیطی می‌شود از طرف دیگر از نظر ژئوشیمیایی سبب بهبود وضعیت آب در خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه شده است (Etesami et al., 2018). به طوری‌که در این تحقیق بیشترین مقادیر کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کارتنوئید، قند محلول، پتاسیم برگ و ریشه و فسفر برگ و ریشه، حاصل محلول‌پاشی غلظت‌های ۱/۵ و ۲/۷۵ میلی‌مولار می‌باشد (جدول ۵ و شکل ۳). به طوری‌که محققان در پژوهشی بیان داشتند کشت هیدروپونیک سبب تجمع فسفر در گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) شد (Liszka et al., 2022). همچنین سیلیکون بر جذب سایر مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و کلسیم و سایر ریز مغذی‌ها تاثیر می‌گذارد (Farshidi et al., 2012). غلظت فسفر و محتوای فسفرکل با افزودن سیلیکون در شرایط شور افزایش یافت. علل احتمالی برای این امر ممکن است با فعالیت ریشه تحریک شده با سیلیکون که توسط فعالیت دهیدروژناز ریشه و فراهمی زیستی بهبود یافته فسفر در خاک به‌دلیل رقابت شیمیایی بین آنیون‌های H_2PO_4 و سیلیکات (H_3SiO_4) برای جذب زیستی مرتبط است (Liang, 1999). همچنین Liang و همکاران (Liang et al., 2006) نشان داده است که افزودن سیلیکون، انتقال پتاسیم را افزایش داده، نسبت K/Naرا با فعال کردن پمپ H-ATPase بهبود می‌بخشد. همچنین همچنین لی و همکاران (Li et al., 2015) نشان داد که محتوای کلروفیل در نتیجه افزودن کاربرد Si به گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersic*) تحت تنش شوری افزایش یافته است. علاوه‌بر این، در اسفناج (*Spinacia oleracea*)، کاربرد خارجی سیلیسیم باعث افزایش غلظت کلروفیل تحت تنش شوری شد (Eraslan et al., 2008). توجه به این نکته ضروری است که سیلیکون تاثیر خطر سدیم و کلر را کاهش می‌دهد. چرا که نقش‌های متفاوتی در رشد و نمو گیاه دارد، مقاومت گیاه در برابر بیماری‌ها و آفات را بهبود می‌بخشد، تنفس را تنظیم می‌کند و تحمل گیاه را به سمیت عناصر افزایش می‌دهد (Deshmukh et al., 2017).

پژوهش حاضر نشان داد بیشترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، فنل‌کل و آنتوسیانین از محیط کشت خاک و ورمی‌کمپوست با غلظت‌های پایین سیلیکون و از محیط کشت پرلیت و کوکوپیت بدون محلول‌پاشی سیلیکون به دست آمد (جدول ۵). در تحقیقی مشخص گردید 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) و کاربرد ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک ماده اصلاحی روی محتوای نیتروژن گیاه کاهو معنی‌دار بود و منجر به افزایش این عناصر گردید (Emam et al., 2022). بسترهای کشت مختلف دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلفی هستند که می‌تواند بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات پلی‌فنلی اثر بگذارد. بستر پیت‌ماس باعث افزایش خصوصیات آنتی‌اکسیدانی درگیاه بادرنجبویه (*Melissa Officinalis*) نسبت به بسترهای کشت دیگر شد (Farrokhi et al., 2021). پژوهشگران بیان داشتند میزان فنل‌کل، فلاونوئیدکل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در کشت هیدروپونیک نسبت به کشت خاکی و کشت بافت در گیاه *Acmlla Oleraceae* افزایش نشان داده‌است (Abaysinghe et al., 2014). همچنین محلول‌پاشی سیلیکون به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای موجب کاهش اثرات ناشی از تنش شوری بر شاخص‌های کمی و کیفی نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) گردید و اثر بهبود بخشی در وزن تر و خشک بوته و میزان کلروفیل و فنل داشت

(Danaei and Abdoosi, 2021). به‌طورکلی کاربرد سیلیکون باعث کاهش در تبخیر و تعرق با تشکیل فیتولیت زیر سلول‌های اپیدرم برگ و ساقه می‌شود و باعث بهبود وضعیت آب در گیاه می‌شود (Yaghubi et al., 2016). همچنین آنتوسیانین نقش مهمی در دفاع آنتی‌اکسیدانی در برگ‌های تحت تنش دارد و با کاهش آثار تنش به کمک سیلیکون میزان آن کاهش می‌یابد (Hajiboland and Cheraghvareh, 2014). در پژوهشی بر روی گیاه گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenu*) مشاهده شد که سیلیکون سبب کاهش آثار منفی تنش خشکی و افزایش شاخص‌های رشد و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Bagheri et al., 2020). همچنین استفاده از سیلیکون در شرایط تنش شوری از طریق افزایش کارایی فتوسیستم II موجب افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) شد (Al-aghabary et al., 2005). به‌همین صورت، کاربرد سیلیکون باعث افزایش سطح ترکیبات فنلی و فلاونوئیدکل در گیاه برنج (*Oryza Sativa*) تحت تنش آبی شد (Rizwan et al., 2015). نتایج بررسی‌ها نشان داد که سیلیکون در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین باعث کاهش جذب روی شد و همچنین کاربرد سیلیکون باعث بهبود محتوای کلروفیل شد (Luyckx et al., 2022). استفاده از سیلیکون در گیاه ذرت (*Zea mays*) با کمبود پتاسیم باعث بهبود کارایی مصرف آب، محتوای کلروفیل و کارتنوئید و تولید ماده خشک آن‌ها شد و استرس کمبود پتاسیم را کاهش داد (Dos Santos Sarah et al., 2022).

نتیجه‌گیری نهایی

از آنجایی‌که ویژگی‌های بسترهای مختلف کشت هیدروپونیک به‌دلیل 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 سبب رشد مناسب گیاه می‌شود، بیشترین رشد و بیومس از این بسترها به‌دست آمد که با کاربرد سیلیکون این مقادیر افزایش یافت. درخصوص متابولیت‌های ثانویه نیز بیشترین مقادیر از بستر خاک و ورمی‌کمپوست به‌دست آمد که این مقادیر در غلظت‌های پایین سیلیکون نیز مقادیر بالا را نشان داد.

References

Abeysinghe, D.C., Wijerathne, S.M.N.K. and 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

Afreen, F., Zobayed, S.M.A. and Kozai, T. (2005). Spectral quality and UV-B stress stimulate glycyrrhizin concentration of *Glycyrrhiza uralensis* in hydroponic and pot system. Plant Physiology and Biochemistry. 43(12): 1074-1081.

Ahmad, P., Ahanger, M.A., Alam, P., Alyemeni, M.N., Wijaya, L. and Ali, S. (2019). Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean (*Vigna radiata* L.) through the modifications of physio-biochemica attributes and key antioxidant enzymes. Journal of Plant Growth Regulation. 38: 70-82.

Ahmed, M., Asif, M. and Hassan, F.U. (2014). Augmenting drought tolerance in sorghum by silicon nutrition. Acta physiologiae plantarum. 36(2): 473-483.

Al-Aghabary, K., Zhu, Z. and Shi, Q. (2005). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and anti-oxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal Plant Nutrition. 27: 2101-2115.

Alizadeh ahmad abadi, A., Khorasaninejad, S. and Hemmati. (2017). The effect of limited irrigation stress and humic acid

on the some morphological and root phytochemical characteristics of Purple coneflower. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture), 19(1): 1-14.

Bagheri, N., Enteshari, S. and Razavi Zadeh, R. (2020). Effect of silicon on some of morphological. physiological parameters and the expression of betaine aldehyde dehydrogenase and proline 5-carboxylate synthase genes in Iranian Borago medicinal plant under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology. 12(1): 85-106.

Barnes, J.D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S. and 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. Environ. Exp. Bot. 32 (2): 85–90.

Benton, J. (2014). Complete guide for growing plants hydroponically. 1, 1. CRC Press, 206, 3-4.

Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H. M. and Chern, J. C. (2012). Estimation of total flavonoid content in Propolis by two complementary colorimetric methods. J. Food Drug Anal. 10: 178–182.

Chapman, H.D. and Pratt, P.F. (1961). Methods of Analysis for Soil, Plants and Waters. University of California. Division of Agriculture. Sciences, 309.

Danaei, A. and Abdoosi, V. (2021). Effect of silicon and nanosilicon on some morphophysiological and phytochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. Research on Iranian Medicinal and Aromatic Plants. 37 (1): 98-112.

Deshmukh, R. K., Ma, J. F. and Bélanger, R. R. (2017). Role of silicon in plants. Frontiers in plant science. 8: 1858.

Dos Santos S. M., de Mello Prado, R., Teixeira, G.C.M., de Souza Júnior, J. P., de Medeiros, R.L.S. and Barreto, R. F. (2022). Silicon supplied via roots or leaves relieves potassium deficiency in maize plants. Silicon. 14(3):773-782.

Emam, M., Hawash, A. and Abul-Soud, M. (2022). Effect of some organic amendments on lettuce production under urban conditions. Middle East Journal of Agriculture Research. 11(01):134-145.

Eraslan, F., Güne, A., Inal, A., Çiçek, N. and Alpaslan, M. (2008). Comparative physiological and growth responses of Tomato and Pepper plants to fertilizer induced salinity and salt stress under geenhouse conditions. International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology. Turkey. 687-696.

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.

Farrokhi, E., Samadi, A. and Rahimi, A. (2021). Investigation of antioxidant activity, total phenol and flavonoid content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) in different media under hydroponic condition.Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants. 8(4): 19-33.

Farshidi, M., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H. R. (2012). Silicon nutrition (JAAR) Volume: 27 (1) 39 alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (Brassica napus L.) plants. Acta. Physiol. Plant. 34:1779–1788.

Gabr, S. M., Abouelsaad, I. A., Brengi, S. and Gouda, A. (2022). Growth and yield of spinach as affected by silicon and fulvic acid under salt stress. Journal of the Advances in Agricultural Researches. 27(1): 26-42.

Ghehsareh, A.M., Borji, H. and 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.

Gorgini Shabankareh, H., Khorasaninejad, S., Sadeghi, M. and Tabasi, A.R. (2018). The effects of irrigation periods and humic acid on morpho- physiological and biochemical traits of Thyme (*Thymus vulgaris*). Journal of Plant Ecophysiological Research. 13(51): 67-82.

Gorgini Shabankareh, H., Khorasaninejad, S., Soltanloo, H. and Shariati, V. (2021). Physiological response and secondary

metabolites of three lavender genotypes under water deficit. Scientific Reports. 11(1): 19164.

Hajiboland, R. and Cheraghvareh, L. (2014). Influence of Si supplementation on growth and some physiological and biochemical parameters in salt-stressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) plants. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran. 25(3): 205-217.

Hayden, M. (2006). Introduction to international education: International schools and their communities. Sage.

Jin, D., Dai, K., Xie, Z. and Chen, J. (2020). Secondary Metabolites Profiled in Cannabis Inflorescences, Leaves, Stem Barks, and Roots for Medicinal Purposes. Scientific Reports. 10 (1):1-14.

Kamenidou, S., Cavins, T.J. and Marek, S. (2010). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. Scientia Horticulturae. 123(3): 390-394.

Katsoulas, N., Savvas, D., Kitta, E., Bartzanas, T. and Kittas, C. (2015). Extension and evaluation of a model for automatic drainage solution management in tomato crops grown in semi-closed hydroponic systems. Computers and Electronics in Agriculture. 113: 61-71.

Khademi Astaneh, R. Tabatabaei, J. and Bolandnazar, S. (2017). The effect of selenium on yield and vegetative characteristics of hydroponic. Horticultural sciences. 31 (1): 167-179.

Khan, W.U.D., Aziz, T., Maqsood, M.A., Sabir, M., Ahmad, H.R., Ramzani, P.M.A. and Naseem, M. (2016). Silicon: a beneficial nutrient under salt stress, its uptake mechanism and mode of action. In Soil science: Agricultural and environmental prospectives. 287-301. Springer, Cham.

Khorasaninejad, S., Soltanloo, H., Hadian, J. and Atashi, S. (2016). The effect of salinity stress on the growth, quantity and quality of essential oil of lavender (*Lavandula angustifulia* Miller). Journal of Horticulture Science. 30(2): 209-216.

Li, Z., Jin, X., Wang, J., Yang, G., Nie, C., Xu, X. and Feng, H. (2015). Estimating winter wheat (*Triticum aestivum*) LAI and leaf chlorophyll content from canopy reflectance data by integrating agronomic prior knowledge with the PROSAIL model. International journal of remote sensing. 36(10): 2634-2653.

Liang, Y. (1999). Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant and soil, 209(2): 217-224.

Liang, Y., Hua, H., Zhu, Y.G., Zhang, J., Cheng, C. and Rmheld, V. (2006). Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport. New phytologist. 172 (1): 63-72.

Liszka-Skoczylas, M., Berski, W., Witczak, M., Skoczylas, Ł., Kowalska, I., Smoleń, S., Szlachcic, P. and Kozieł, M. (2022). The influence of hydroponic potato plant cultivation on selected properties of starch isolated from its tubers. Molecules. 27(3): 856.

Luyckx, M., Hausman, J.F., Guerriero, G. and Lutts, S. (2022). Silicon reduces zinc absorption and trigger oxidative tolerance processes without impacting growth in young plants of hemp (*Cannabis Sativa* L.). Environmental Science and Pollution Research, 30(1): 943-955.

McCaig, T.N. and Romogosa, I. (1991). Water status measurements of excised wheat leaves: position and age effects. Crop Science. 31: 1583-1588.

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

Motamedi Sharak, H., Hemati, Kh. and Khorasaninejad, S. (2019). Effect of abscisic acid on morphophysiological characteristics and some biochemical properties of *Cannabis sativa* under different soil moisture conditions. Ecophytochemistry of Medicinal Plants. 7(1): 12-24.

Mozaffari, S., Khorasaninejad, S. and Gorgini shabankareh, H. (2017). The effects of irrigation regimes and humic

acid on some of physiological and biochemical traits of Common Purslane in greenhouse. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture). 19 (2):401-416.

Oki, T., Masuda, M., Kobayashi, M., Nishiba, Y., Furuta, S. and Suda, I. F. (2002). Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 30: 5382-5387.

Palin, W.M., Leprince, J.G. and Hadis, M.A. (2018). Shining a light on high volume photocurable materials. Dental Materials. 34(5): 695-710.

Peeri, H. and Koltai, H. (2022). Cannabis biomolecule effects on cancer cells and cancer stem cells: cytotoxic, anti-proliferative, and anti-migratory activities. Biomolecules. 12(4): 491.

Pollastroa, F., Minassia, A. and Grazia Fresu, L. (2018). Cannabis phenolics and their bioactivities. Current Medicinal Chemistry. 25: 1160-1185.

Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F. and Abbas, F. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. Environmental Science and Pollution Research.22(20): 15416-15431.

RostsRosta, H. R. Bagheri, V. and Kiyan, H. (2016). The effect of different culture media on some vegetative traits, physiology and elements of *Grandgala rose* cultivar in hydroponic system. Greenhouse science and technology. (28): 27-39.

Sullivan, C.Y. and Ross, W.M. (1979). Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. Stress Physiology in Crop Plants. 263-281.

Terry N., Zayed A. M., De Souza M. P. and Tarun A. S. (2000). Selenium in higher plants. Annual, Review Plant Molecular Biology. 51:401-432

Thimmaiah, S.R. (2004). Standard methods for biochemical analysis Kalyani Publishers, New Delhi, 545.

Vahedi Torshizi, M. Fathi, M. Zamani, S. and Hoseini Mighani, A. (2018). Introducing hydroponic cultivation as a new method in the development of agricultural entrepreneurship. Journal of Entrepreneurship in Agriculture. 4(2): 43-60.

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

Wu, H.C., Chen, H.M. and 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.

Yaghubi, K., Ghaderi, N., Vafaee, Y. and Javadi, T. (2016). Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two Strawberry cultivars grown under soilless pot culture. Scientia Horticulturae. 213: 87-95.

Zare, F., Khorasaninejad, S. and Hemmati, Kh. (2018). The effect of silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Plant Biology. 10(37): 55-68.