University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

The Effect of Silica and Selenium Foliar Application in Combination with Chemical and Organic Fertilizers on the Vegetative Characteristics of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.)

Gholam Reza Afshar Lo[1]| Soran Sharafi[2]| Hamze Hamze[3]✉

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran. Email: s.sharafi@iau-mahabad.ac.ir
3. Corresponding Author, Sugar Beet Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamedan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran. Email: h.hamze@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: December 02, 2023
Received in revised form: January 22, 2024
Accepted: January 25, 2024
Published online: September 22, 2024

Keywords:
Chlorophyll,
macro elements,
nitrogen,
sugar content,
vermicompost.

ABSTRACT

To investigate the effect of silica and selenium foliar application along with chemical and organic fertilizers on sugar beet, an experiment was conducted as a split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications in the crop year 2022 in the research farm of the Islamic Azad University of Mahabad. The main plot was fertilizer treatments (NPK fertilizer, vermicompost, and control (without fertilizer)), and the sub-plot factor was foliar application treatment (including silica, selenium, silica+selenium, and control). Results showed that treatment NPK fertilizer with increased chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, relative water content, sugar content, and white sugar content by 26.02%, 27.42%, 55.60%, 7.48%, 23.90%, and 29.47%, compared with control treatment, respectively. Also, silica foliar application increased the above-mentioned traits by 11.94%, 29.25%, 82.48%, 26.11%, 11.17%, and 22.33%, compared with the control treatment. The results showed that silica foliar application with NPK fertilizer and vermicompost treatments had the highest leaf area index (5.10 and 4.8, respectively), root yield (76.83 and 46.27 t/ha, respectively), sugar yield (14.81 and 14.38 t/ha) and white sugar yield (11.84 and 11.39 t/ha, respectively). In this study, silica foliar application treatment, along with NPK chemical fertilizer and vermicompost treatments, increased white sugar yield compared to NPK fertilizer and non-foliar applications. Therefore, it can be stated that using silica in combination with NPK fertilizer and vermicompost positively affected the improvement of white sugar yield.

Cite this article: Afshar Lo, G.R., Sharafi, S., & Hamze, H. (2024). The effect of silica and selenium foliar application in combination with chemical and organic fertilizers on the vegetative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(3), 13-30.
DOI: 10.22059/ijfcs.2024.369037.655050.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.369037.655050

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۸۲

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

تأثیر محلول‌پاشی سیلیس و سلنیوم در ترکیب با کودهای شیمیایی و آلی بر ویژگی‌های رویشی چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)

غلامرضا افشارلو[۱] | سوران شرفی[۲] | حمزه حمزه[۳]✉

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران. رایانامه: **s.sharafi@iau-mahabad.ac.ir**

۳. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: **h.hamze@areeo.ac.ir**

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
عناصر ماکرو،
عیار قند،
کلروفیل،
نیتروژن،
ورمی‌کمپوست.

چکیده

با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیس و سلنیوم همراه با کودهای شیمیایی و آلی روی چغندرقند آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد انجام شد، تیمارهای کودی (**NPK**، کود دامی ورمی‌کمپوست و شاهد) به کرت‌های اصلی و تیمارهای محلول‌پاشی (سیلیس، سلنیوم، سیلیس+ سلنیوم و شاهد) به کرت-های فرعی اختصاص یافتند. تیمار کودی **NPK** محتوی کلروفیل **a**، کلروفیل **b**، کارتنوئیدها، محتوی نسبی آب برگ، عیار قند، درصد شکر سفید را در مقایسه با تیمار شاهد مربوطه به‌ترتیب ۲۶/۰۲، ۲۷/۴۲، ۵۵/۶۰، ۷/۴۸، ۲۳/۹۰ و ۲۹/۴۷ درصد افزایش داد. همچنین، محلول‌پاشی سیلیس مقدار صفات مذکور را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۱/۹۴، ۲۹/۲۵، ۸۲/۴۸، ۲۶/۱۱، ۱۱/۱۷ و ۲۲/۳۳ درصد افزایش داد. محلول‌پاشی سیلیس در ترکیب با تیمار کودی **NPK** و ورمی‌کمپوست بالاترین شاخص سطح برگ (به‌ترتیب۵/۱۰ و ۴/۸)، عملکرد ریشه (به‌ترتیب ۷۶/۸۳ و ۴۶/۲۷ تن در هکتار)، عملکرد شکر ناخالص (به‌ترتیب ۱۴/۸۱ و ۱۴/۳۸ تن در هکتار) و عملکرد شکر سفید (به‌ترتیب ۱۱/۸۴ و ۱۱/۳۹ تن در هکتار) را به خود اختصاص دادند. در این مطالعه تیمار محلول‌پاشی سیلیس همراه با تیمارهای کود شیمیایی **NPK** و ورمی‌کمپوست قادر به افزایش عملکرد شکر سفید در مقایسه با تیمار کاربرد کود **NPK** همراه با شاهد محلول‌پاشی شدند. بنابراین، می توان اظهار داشت کاربرد سیلیس در ترکیب با هر دو کود **NPK** و ورمی‌کمپوست اثر مثبتی بر بهبودی عملکرد شکر سفید داشت.

استناد: افشارلو، غ.ر.، شرفی، س.، و حمزه، ح. (۱۴۰۳). تأثیر محلول‌پاشی سیلیس و سلنیوم در ترکیب با کودهای شیمیایی و آلی بر ویژگی‌های رویشی چغندرقند (***Beta vulgaris* L.**). *علوم گیاهان زراعی ایران*، *۵۵*(۳)، ۱۳-۳۰.

DOI: 10.22059/ijfcs.2024.369037.655050

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

با رشد جمعیت جهان و کاهش سطح زمین‌های زراعی، افزایش عملکرد در واحد سطح و کیفیت محصولات برای تضمین امنیت غذایی جهانی حیاتی است (**Pr˘av˘alie *et al*., 2021**). علاوه‌بر به‌نژادی، استفاده از مواد اگزوژن یک رویکرد جایگزین برای بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان است. سیلیس (**Si**) و سلنیوم (**Se**) عناصر مفیدی برای رشد و نمو گیاهان هستند (**Pilon-Laane, 2018**) و این عناصر برای سلامت انسان نیز مفید هستند. به‌عنوان مثال، سیلیس می‌تواند استخوان‌ها و بافت‌های هم‌بند را تقویت کند و خطر ابتلا به آلوپسی، آلزایمر و بیماری‌های قلبی عروقی را کاهش دهد (**Farooq & Dietz, 2015**). سلنیوم ارتباط تنگاتنگی با سلامت انسان دارد و سطح پایین آن در بدن خطر مرگ‌ومیر، عملکرد ضعیف سیستم ایمنی و کاهش قدرت شناختی را افزایش می دهد (**Rayman, 2012**)؛ بنابراین، سیلیس و سلنیوم ممکن است در تولید محصول استفاده شود: ازیک‌طرف، آن‌ها پتانسیل در افزایش عملکرد و کیفیت محصول دارند. از سوی دیگر، مکمل این عناصر ممکن است محتوای آنها را در محصول افزایش دهد که به نفع سلامتی انسان است. سیلیس دومین عنصر فراوان در پوسته زمین پس از اکسیژن است (**Liu *et al*., 2020**) و عنصر مفیدی برای رشد و نمو گیاهان در نظر گرفته می‌شود (**L'opez-P'erez *et al*., 2018**). اثرات مفید سیلیس در برخی از گیاهان گزارش شده است. به‌عنوان مثال، جینگر و همکاران (**Jinger *et al*., 2020**) مشاهده کردند که تغذیه سیلیس می‌تواند رشد برنج و کارایی مصرف آب و فعالیت برخی از آنزیم‌های خاک را بهبود بخشد. آنها همچنین دریافتند که عملکرد دانه و محتوای پروتئین همگی در تیمار کاربرد سیلیس افزایش یافته است. ثابت شده است که سیلیس باعث افزایش باروری گرده، عملکرد میوه، محتوای قند میوه و ماندگاری میوه در توت‌فرنگی می‌شود (**Peris-Felipo *et al*., 2020**). گزارش شده است که عملکرد قند سفید، عملکرد ریشه، عیار قند و درصد قند خالص افزایش قابل توجهی در تیمارهای کاربرد سیلیس در مقایسه با تیمار شاهد داشته است (**Artyszak *et al*., 2021**).

مشابه سیلیس، سلنیوم نیز به‌عنوان یکی از عناصر مفید گیاهان در نظر گرفته می‌شود (**Pilon-Smits *et al*., 2009**). در سال‌های اخیر، مطالعات متعدد نشان داده است که استفاده از سلنیوم می‌تواند به‌طور قابل توجهی رشد و کیفیت تغذیه محصولات را بهبود بخشد. به‌عنوان مثال، گزارش شده است که محلول‌پاشی سلنیت سدیم به‌طور قابل توجهی باعث افزایش غلظت سلنیوم، **K**، **Fe**، سلنومتیونین و سلنوسیستئین در ارزن شد (**Liang *et al*., 2020**) . نشان داده شده است که تیمار سلنیوم اثرات مثبتی بر نرخ خالص فتوسنتزی، عملکرد دانه، غلظت سلنیوم و آهن، و تشکیل عطر و همچنین سایر کیفیت تغذیه‌ای در برنج معطر دارد (**Liang *et al*., 2020**). در تحقیقی کود سلنیوم باعث بهبود کیفیت تغذیه انگور خوراکی از جمله افزایش غلظت قند محلول، ویتامین **C**، پروتئین محلول، جامد محلول، پتاسیم و کلسیم و کاهش تجمع فلزات سنگین شد (**Zhu *et al*., 2017**). در گوجه‌فرنگی محلول‌پاشی سلنات سدیم باعث افزایش عملکرد و غلظت قندهای محلول، اسیدهای آمینه و ترکیبات فعال زیستی در میوه شد (**Hern'andez-Hern´andez *et al*., 2019**). گزارش شده است که غلظت کاروتنوئید، پروتئین محلول، قند محلول، ویتامین **C**، فلاونوئید کل، پلی‌فنول کل و سلنیوم آلی در جوانه کلم بروکلی از طریق تیمار ترکیبی سلنیوم و کیفیت نور **LED** به‌طور چشمگیری افزایش یافت (**He *et al*., 2020**). تعداد تحقیقات محدودی در مورد اثر محلول‌پاشی سیلیس در کشت چغندرقند وجود دارد (**Artyszak *et al*., 2017; H˘rivna *et al*., 2017; Urban & Pulkrabek, 2018**). در مطالعه‌ای مشاهده شد با افزایش غلظت سیلیس عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، درصد قند قابل استحصال و عملکرد شکر خالص افزایش نشان داده و میزان سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره در خمیر ریشه کاهش یافت (**Kermani & Amir Moradi, 2019**)؛ در مطالعه مذکور عملکرد ریشه و عملکرد شکر خالص در تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس به‌ترتیب ۲۲/۶ و ۳۹/۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت.

ورمی‌کمپوست یک کود آلی محرک رشد گیاه است که غنی از اسیدهیومیک است که می‌تواند شاخص‌های عملکرد رشد گیاه را بهبود بخشد (**Vidal *et al*., 2020**). ورمی‌کمپوست حاوی آنزیم‌ها و محرک‌های رشد طبیعی است که همراه با مواد مغذی و اسیدهیومیک باعث رشد و عملکرد گیاه می‌شود (**Ievinsh *et al*., 2020**). مطالعات متعددی در رابطه با تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست بر رشد و نمو محصولات مختلف انجام شده است. گزارش شده است که مواد مغذی ورمی‌کمپوست نسبت به مواد آلی مشتق‌شده از گیاه بالاتر بوده و مقادیر زیادی از این مواد مغذی به اشکالی تبدیل شده‌اند که به‌راحتی توسط گیاهان قابل جذب هستند

(**Mahmud *et al*., 2018**). از طرف دیگر، ورمی‌کمپوست دارای فعالیت میکروبی و آنزیمی بالایی است و حاوی مقادیر زیادی تنظیم‌کننده رشد گیاه است (**Pierre-Louis *et al*., 2021**). اثر مثبت ورمی‌کمپوست بر بهبود خصوصیات کمی و کیفی چغندرقند در مطالعات قبلی اشاره شده است (**Ghaffari *et al*., 2022**).

باتوجه‌به اینکه اکثر خاک‌های زراعی کشور از نظر ماده آلی فقیر هستند استفاده از مواد آلی راهکاری مؤثر در جهت افزایش عملکرد محصول و کشاورزی پایدار است (**Honarvar *et al*., 2012**). مصرف کودهای آلی حیوانی بخش اعظم نیتروژن مورد نیاز گیاه را در طول دوره رشد ناشی از تجزیه اوره، ترکیبات آمینی و پروتئین‌های حیوانی و گیاهی را تأمین می‌کند. گزارش شده است که عملکرد ریشه با مصرف ۵۰ تن در هکتار کود دامی ۳۱/۹۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین محققان گزارش کردند که مصرف کود دامی سبب افزایش عملکرد شکر خالص می‌شود؛ به‌طوری‌که حداکثر عملکرد شکر (۱۰/۴۸ تن در هکتار) در تیمار ۵۰ تن در هکتار و کمترین میزان آن (۸/۴۱ تن در هکتار) در تیمار شاهد ثبت کردند (**Doulati *et al*., 2018**).

باتوجه‌به افزایش قیمت کودهای شیمیایی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از کاربرد آنها یافتن راه‌حلی برای جایگزینی این کودها با عملکرد اقتصادی یکسان ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا محلول‌پاشی به‌واسطه انتشار کم کود در خاک و همچنین کودهای آلی می‌تواند راه‌حلی برای این موضوع باشد؛ بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیس و سلنیوم بر خصوصیات رویشی چغندرقند در ترکیب با کودهای شیمیایی و آلی اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد با طول جغرافیایی °۴۵ و ′۴۳ و عرض جغرافیایی °۳۶ و ′۱ و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا (جدول ۱) در سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا شد. طرح آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تیمارهای کودی (**NPK**، کود دامی، ورمی‌کمپوست و شاهد (عدم کاربرد کود)) به کرت‌های اصلی و تیمارهای محلول‌پاشی (سیلیس، سلنیوم، سیلیس+ سلنیوم، شاهد (محلول‌پاشی آب)، به کرت‌های فرعی اختصاص داده شدند.

در پاییز جهت تهیه بستر کاشت، نسبت به انجام شخم عمیق اقدام شد. عملیات آماده‌سازی زمین در بهار شامل اجرای شخم سطحی، دیسک، تسطیح، خط‌کشی و تهیه ردیف‌های کاشت (با استفاده از شیپر) بود. توزیع کودهای مورد نیاز بر اساس نتایج تجزیه خاک انجام شد. در هر کرت چهار ردیف کاشت به طول پنج متر و فاصله ردیف‌های کاشت و فاصله بوته روی ردیف به‌ترتیب ۵۰ و ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر و فاصله بین کرت های اصلی دو متر در نظر گرفته شد. کاشت در اوایل فروردین ۱۴۰۱ در عمق تقریباً سه سانتی‌متری صورت گرفت. در این مطالعه از بذر چغندرقند رقم داخلی شکوفا (رقم تک‌جوانه‌ای مقاوم به رایزومانیا و نماتد) استفاده شد.

بر این اساس ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره طی سه مرحله کاشت، دو تا چهار برگی و شش تا هشت برگی به مزرعه افزوده شد . علاوه‌براین به‌ترتیب ۱۳۵ و ۱۱۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم نیز هم‌زمان با شخم پاییزه به مزرعه داده شد (در تیمار **NPK**). کود دامی پوسیده (۵۰ تن در هکتار قبل از کاشت)، ورمی‌کمپوست (سه تن در هکتار قبل از کاشت) با خاک مخلوط شدند (جدول۲ و ۳). محلول‌پاشی سیلیس با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و سلنیوم با غلظت دو میلی‌گرم در لیتر در مرحله شش‌برگی آغاز و پنج مرتبه با فواصل دو هفته یک‌بار انجام شد (**Kermani & Amirmoradi, 2019**). باتوجه به این‌که چغندرقند در ابتدای مراحل رشد به کمبود آب حساس و همچنین جوانه‌زنی آن با مشکل مواجه است از مرحله جوانه‌زنی تا استقرار کامل گیاه (مرحله هشت‌برگی)، آبیاری به میزان کافی (هر هفته یک‌بار) انجام شد. آبیاری نیز به صورت قطره‌ای (نوار تیپ) انجام شد. جهت کنترل علف‌های هرز از بتانال پروگرس استفاده شد و جهت کنترل آفات به‌خصوص کارادرینا و کک در اوایل فصل از آفت‌کش دیازینون و آوانت استفاده شد. برای کنترل بیماری سفیدک در اواخر تیر و اوایل مرداد از سم کالکسین استفاده شد.

برای اندازه‌گیری صفات، در اواخر دوره رشد و قبل از برداشت محصول، از برگ‌های چهارم و پنجم هر تیمار آزمایشی، تعداد ۵-۴ برگ به‌منظور تعیین خصوصیات بیوشیمیایی گیاه، نمونه‌برداری شد. نمونه‌های تهیه‌شده از هر تیمار، بلافاصله در داخل فویل

آلومینیوم پیچیده شده و پس از درج شماره نمونه، در داخل نیتروژن مایع (دمای ۱۹۶- درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت تا منجمد شوند. سپس نمونه‌های منجمدشده به داخل فریزر با دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد.

برای اندازه‌گیری کلروفیل ۰/۲۵ گرم برگ تازه و کاملا توسعه‌یافته برداشت و در هاون چینی خرد شده و با پنج میلی‌لیتر آب مقطر، در محیط خنک و کم‌نور، ساییده تا به‌صورت توده یکنواختی درآید. مخلوط حاصل را در یک بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری ریخته و به حجم رسانیده شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از مخلوط به‌دست‌آمده را برداشته و با ۴/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ مخلوط کرده و با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. پس از سانتریفوژ کردن، بخش رویی مخلوط را برداشته و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (**PD-303**)، مقدار جذب آن در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ قرائت شد. غلظت کلروفیل **a**، **b**، کل و کاروتنوئید با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (**Lichtenthaler & Buschmann, 2001**).

Cholorophyll a (mg/ml) = 12.25(A663.2)-2.79(A646.8)
Cholorophyll b (mg/ml) = 21.50(A646.2)-5.10(A663.2)
Carotenoid (µg/ml) = (1000(A470)-1.8(Chla) -85.02(Chlb))/198

جهت اندازه‌گیری ضریب هدایت روزنه‌ای از روش کیلی و والیجو-رامیریز (**Ramirez-Vallejo & Kelly, 1998**) استفاده شد. در این روش از جوانترین برگ توسعه‌یافته استفاده شد. در هر کرت سه برگ انتخاب و هدایت روزنه در دوطرف این برگها با استفاده از از دستگاه پرومتر مدل **SC-1** شرکت دِکاگون (**Decagon**) اندازه گیری شدند.

همچنین مقدار آب نسبی برگ از رابطه ۵ محاسبه شد:

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100$$ رابطه ۵

FW= وزن تر، **DW**= وزن خشک (بعد از قرارگیری نمونه برگ‌ها در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد و حصول وزن ثابت) و **TW**= وزن آماس (بعد از غوطه‌ورشدن نمونه برگ‌ها در داخل آب مقطر در زمان معین).

برداشت در اواخر مهر انجام شد. در هنگام برداشت پس از حذف حاشیه‌ها (دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها) تعداد ریشه‌های هر کرت (چهار متر مربع) برداشت، شمارش و توزین شد و پس از شستشو، توسط دستگاه اتوماتیک خمیر ریشه (پالپ) تهیه و پس از انجماد، در آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند کرج تجزیه کیفی نمونه‌ها انجام شد. جهت اندازه‌گیری درصد قند برای هر نمونه مقدار ۲۰ گرم خمیر ریشه‌های برداشت‌شده با ۱۷۷ میلی‌لیتر سواستات سرب (مخلوطی از سه قسمت استات سرب و یک قسمت اکسید سرب) در هم‌زن ریخته و به مدت سه دقیقه مخلوط شدند که پس از منتقل‌کردن مخلوط حاصله به قیف صافی، شربت زلالی حاصل شد. شربت به‌دست‌آمده جهت تجزیه در دستگاه بتالیزر (**D- 3016**) مورداستفاده قرار گرفت. پلاریمتر بر مبنای میزان انحراف نور پلاریزه، میزان قند موجود در هر نمونه را نشان داد که به‌عنوان درصد قند کل یا ناخالص (**CUMSA, 2009**) برای هر کرت ثبت شد.

برای تعیین عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص، عملکرد ریشه در هر کرت به درصد قند ناخالص و درصد قند خالص مربوط به همان کرت ضرب و سپس ارقام به‌دست‌آمده به صورت عملکرد قند ناخالص و قند خالص در هکتار بر اساس روابط (۱)، (۲) و (۳) ثبت شد.

(رابطه ۱) قند ملاس - درصد قند = درصد قند قابل استحصال

(رابطه ۲) درصد قند قابل استحصال
× عملکرد ریشه (تن در هکتار) =
عملکرد قند خالص

$$\text{ضریب استحصال قند} = \frac{\text{درصد قند خالص یا قابل استحصال}}{\text{درصد قند ناخالص یا کل}} \times ۱۰۰$$ (رابطه ۳)

تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از بررسی و تأیید برقراری فرض‌های تجزیه واریانس، انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار **SAS** نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی نیز با استفاده از حداقل اختلاف معنی‌دار (**LSD**) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

جدول ۱. خصوصیات آب و هوایی محل مورد آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱.

Months	Average Temperature (C°)	Total Evaporation (mm)	Total Precipitation (mm)
March	9.1	0	20
April	14.2	113	2.2
May	17	190	9.3
June	20	283	2
July	24.6	276	4
August	23.4	271	0
September	21	213	5.6
October	14.3	146	0.1
November	12.1	90	53

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Parameters	Sp %	EC (dS/m)	F.C 1/3 A+	W.P	B.D	pH	T. N. V %	O.C%	N%	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Sand %	Silt %	Clay %	Soil texture
Value	43	1.36	27.3	12.3	1.4	8.09	4.75	1.3	0.13	14.62	444	16	54	28	Silt clay loam

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود های آلی مورد استفاده.

Parameters	EC (dS/m)	pH	N (%	P (mg/kg)	K (mg/kg)	کربن آلی (٪)
Vermicompost	4.19	8.06	56	43	53	8.10
Manure	3.80	8.2	42	32	17	16.00

۳. نتایج و بحث

۳-۱. محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اختلاف بین تیمارهای کودی و تیمارهای محلول‌پاشی از لحاظ اثر بر محتوی کلروفیل **a** (هر دو در سطح p <۰/۰۵)، کلروفیل **b** (تیمار کودی در سطح p <۰/۰۵ و تیمار محلول‌پاشی در سطح p <۰/۰۱) و کارتنوئید (هر دو در سطح p <۰/۰۵) معنی‌دار بودند (جدول ۴).

نتایج نشان داد کاربرد **NPK** و ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب با متوسط ۸/۵۷ و ۷/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) محتوی کلروفیل **a** را به حداکثر مقدار خود رساند، کمترین محتوی کلروفیل نیز به تیمار شاهد (با متوسط ۶/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) اختصاص داد، هرچند بین تیمار شاهد و تیمار کاربرد کود دامی اختلاف معنی‌داری دیده نشد، همچنین محتوی کلروفیل **b** در کرت‌هایی که با **NPK**، کود دامی و ورمی‌کمپوست تیمار شده بودند به‌ترتیب ۲۷/۴، ۲۰/۵ و ۲۰/۰ درصد بالاتر از تیمار شاهد بود (جدول ۵). در بین تیمارهای کودی بالاترین محتوی کارتنوئید با متوسط ۳/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برای تیمار **NPK** ثبت شد، اختلاف بین این تیمار و تیمار کود دامی از نظر محتوی کارتنوئید معنی‌دار نبود، کمترین محتوی کارتنوئید با متوسط ۲/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر هم تیمار شاهد ثبت شد (جدول ۵).

بهبود محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی در تیمارهای کودی **NPK** می‌تواند به این دلیل باشد که نیتروژن به‌طور مستقیم در تشکیل کلروفیل و همچنین افزایش سطح برگ‌های گیاه شرکت می‌کند. در مطالعات قبلی ثابت شده است که نیتروژن دارای نقش‌های متعددی در گیاه است که از جمله آن می‌توان به مشارکت در سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، سنتز آنزیم‌های شرکت‌کننده در کاهش کربن و تشکیل کلروپلاست اشاره کرد. گزارش شده است که کود **NPK** اثرات مثبتی بر محتوی کلروفیل ارقام ذرت دارد (**Hokmalipour & Darbandi, 2011**). در تحقیقی دیگر گزارش داد که کود پتاسیم و نیتروژن باعث افزایش محتوای کلروفیل در رازیانه شیرین (***Foeniculum vulgare* Mill.**) شد (**Barzegar *et al.*, 2020**) مواد مغذی ضروری مانند **N**، **P** و **K** نقش عمده‌ای در بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتز ایفا می‌کنند، به‌طوری‌که **N** جزء ساختار مولکولی پورفیرین رنگدانه‌های کلروفیل است

(Barzegar *et al*., 2020). اثر مثبت کود **NPK** بر افزایش محتوی کلروفیل ممکن است به این دلیل باشد که آنزیم‌های واکنش کربن مانند ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز (**RUBISCO**) می‌توانند **N** بیشتری جهت فعالیت دریافت کنند (**Akram, 2014**).

در بررسی حاضر محلول‌پاشی سیلیس و سیلیس + سلنیوم (به‌ترتیب با متوسط ۷/۵۱ و ۷/۸۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) علاوه بر اینکه حداکثر محتوی کلروفیل **a** را به خود اختصاص دادند محتوی این رنگدانه را در مقایسه با تیمار شاهد (۷۵/ ۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌ترتیب ۱۱/۹۴ و ۱۶/۴۱ درصد افزایش دادند. لازم به ذکر است که بین تیمار شاهد و تیمار محلول‌پاشی سیلیس اختلاف از نظر محتوی کلروفیل **a** معنی‌دار نبود. بر اساس مقایسه میانگین تیمارهای محلول‌پاشی تیمارها به دو دسته تقسیم شدند؛ در گروه اول تیمارهای محلول‌پاشی با سیلیس و سیلیس+ سلنیوم قرار داشتند، این تیمارها به‌ترتیب با متوسط ۲/۴۳ و ۲/۲۱ میلی گرم بر گرم وزن تر بالاترین محتوی کلروفیل **a** را نشان دادند، تیمارهای شاهد و محلول‌پاشی با سلنیوم در گروه دوم قرار داشتند. این دو تیمار به‌ترتیب با متوسط ۱/۸۸ و ۱/۶۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حداقل مقدار کلروفیل **a** را به خود اختصاص دادند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد محتوی کارتنوئید واکنش مثبتی به تیمارهای محلول‌پاشی نشان داد؛ به‌طوری‌که محلول‌پاشی سیلیس، سلنیوم و سیلیس+ سلنیوم محتوی این رنگدانه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۸۲/۴۸، ۴۷/۴۵ و ۸۷/۰۰ درصد افزایش داد (جدول ۵).

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارهای کودی و محلول‌پاشی بر صفات مورد مطالعه در چغندر قند.

S.O.V.		Mean of squares											
	DF	Chll a	Chl b	Carotenoid	Stomatal conductance	LAI	RWC	Root yield	Sugar content	White sugar content	White sugar yield	Sugar extraction coefficient
Replication	2	3.91	0.04	0.24	6.95	0.21	6.36	217.69	217.69	2.85	5.38	310.13
Fertilizer (F)	3	6.74*	0.71*	0.88**	61.68**	2.79*	70.30**	108.5**	1005.35**	27.19**	65.0**	259.62*
Ea	6	1.41	0.12	0.16	4.93	0.53	5.69	24.48	7.06	1.29	1.02	42.55
Foliar application (FA)	3	4.70*	1.35**	6.10**	92.01**	2.09**	586.25**	1005.3**	108.59**	23.59**	6.48*	384.36^{ns}
F×FA	9	0.38^{ns}	0.09^{ns}	0.14^{ns}	16.27*	2.20**	52.01^{ns}	68.03**	68.03**	0.98^{ns}	4.10*	77.65^{ns}
Eb	24	1.50	0.07	0.14	6.95	0.25	28.94	15.05	20.38	2.38	1.52	77.54
CV%	-	16.18	13.57	13.90	5.30	11.15	8.01	18.8	6.92	11.74	10.72	18.08

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیر معنی دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

Note: Chll a- Chlorophyll a, Chl b- Chlorophyll b, LAI- Leaf area index, RWC Relative water,

فتوسنتز یک فرایند متابولیک است که در آن گیاهان ترکیبات آلی را سنتز کرده و انرژی ذخیره می‌کنند و درجه آن شاخص مهمی است که وضعیت رشد گیاه را منعکس می‌کند (**Ashraf *et al*., 2017**). ثابت شده است که سلنیوم از تخریب مولکول کلروفیل جلوگیری می‌کند (**Seppanen *et al*., 2003**)؛ در نتیجه از کاهش فتوسنتز جاری در گیاه ممانعت کرده و تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که مصرف سیلیس به‌ترتیب موجب افزایش ۶۵ و ۵۸ درصدی غلظت کلروفیل **a** و **b** در زعفران شد که در نهایت منجر به افزایش فتوسنتز، سنتز مواد و بهبود عملکرد شد (**Fahimi *et al*., 2018**). اثر مثبت معنی‌دار کاربرد سیلیس بر تمامی رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل **a**، کلروفیل **b**، کاروتنوئید و کلروفیل کل در گیاه خرفه گزارش شده است (**Mohammadi Azni *et al*., 2020**). در تحقیقی روی خیار گزارش شد کاربرد ترکیبی سیلیس و سلنیوم غلظت کلروفیل **a**، کلروفیل **b** و کاروتنوئید را به میزان ۲۵/۲، ۲۸/۹ و ۲۳/۸ درصد افزایش داد (**Hu *et al*., 2022**).

۳-۲. ضریب هدایت روزنه‌ای

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها بین تیمارهای کودی (p <۰/۰۱)، تیمارهای محلول‌پاشی (p <۰/۰۵) و اثر متقابل دو تیمار از لحاظ ضریب هدایت روزنه‌ای اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۴).

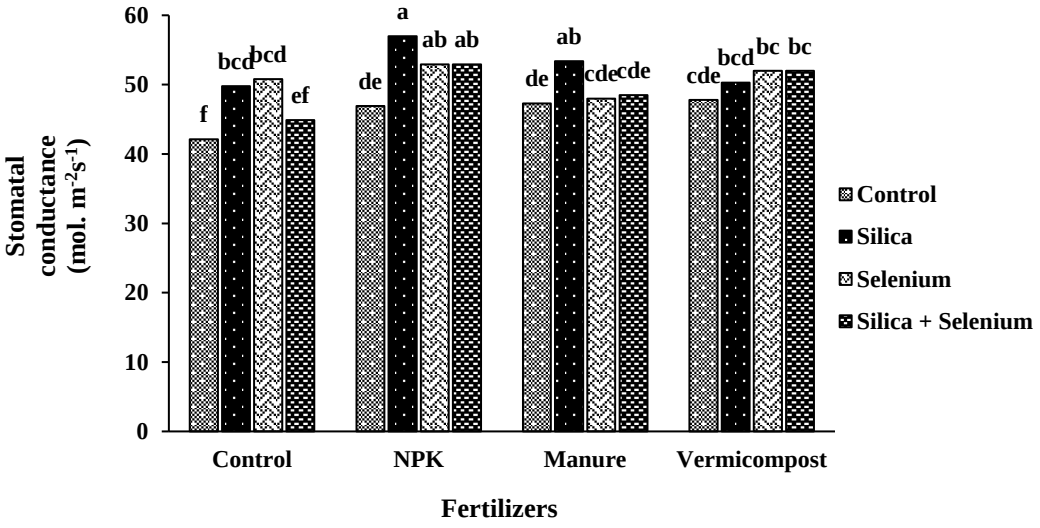
نتایج مقایسات میانگین نشان داد محلول‌پاشی سیلیس همراه با کود **NPK** با متوسط ۵۷/۰۰ حداکثر ضریب هدایت روزنه‌ای را به خود اختصاص داد، هر چند اختلاف بین این تیمار و تیمارهای محلول‌پاشی سلنیوم و سیلیس + سلنیوم همراه با کود **NPK** و محلول‌پاشی سیلیس همراه با تیمار کود دامی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. در این تحقیق تیمار شاهد کود و محلول‌پاشی با متوسط ۴۲/۱۰ کمترین ضریب هدایت روزنه‌ای را کسب کرد. نتایج همچنین نشان داد محلول‌پاشی سیلیس تحت تیمارهای شاهد، **NPK** و ورمی‌کمپوست ضریب هدایت روزنه‌ای را در مقایسه با تیمار شاهد متناظر به‌ترتیب ۱۸/۲۹، ۲۱/۵۳ و ۱۲/۸۹ درصد افزایش دادند (شکل ۱). سیلیسیوم به‌عنوان یک ماده ضد تنش خشکی می تواند موجب دسترسی بیشتر به آب و افزایش رطوبت نسبی و بنابراین موجب باز ماندن روزنه‌ها و افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق شود، همچنین ورمی‌کمپوست به دلیل بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک برای گیاه می‌تواند اثر مثبتی بر ضریب هدایت روزنه‌ای داشته باشد (**Tejada & Gonzaler, 2009**).

به نظر می‌رسد در تحقیق حاضر کاربرد عناصر مغذی موجب گسترش ریشه و دسترسی بهتر به منابع آبی شده و از این طریق موجب کاهش آبسیزیک‌اسید و افزایش هدایت روزنه‌ای شده است (**Rodriguez *et al*., 2005**).

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای کودی و محلول‌پاشی بر صفات مورد مطالعه چغندر قند.

Fertilizer	Chlorophyll a (mg/g FW)	Chlorophyll b (mg/g FW)	Carotenoid (mg/g FW)	Relative water content (%)	sugar content (%)	White sugar content (%)(	Sugar extraction coefficient (%)
Control	**6.80b**	**1.75b**	**2.21c**	**63.70b**	**15.73c**	**10.89b**	**70.37b**
NPK	**8.57a**	**2.23a**	**3.33a**	**68.47a**	**19.49a**	**14.1a**	**72.42b**
Manure	**7.26b**	**2.11a**	**2.28ab**	**67.90a**	**17.29b**	**13.61a**	**79.6a**
Vermicompost	**7.64ab**	**2.11a**	**2.26bc**	**69.00a**	**17.68b**	**13.92a**	**79.02a**
Spraying							
Control	**6.72b**	**1.88b**	**1.77c**	**58.02c**	**16.91b**	**11.64b**	**-**
Silica	**7.54ab**	**2.43a**	**3.23a**	**73.92a**	**18.80a**	**14.24a**	**-**
Selenium	**6.20b**	**1.68b**	**2.61b**	**65.98b**	**17.07b**	**12.24b**	**-**
Silica + Selenium	**7.81a**	**2.21a**	**3.31a**	**71.17a**	**17.41b**	**14.41a**	**-**

Means in each column, followed by similar letter(s), are not significantly different at the 5% probability level.



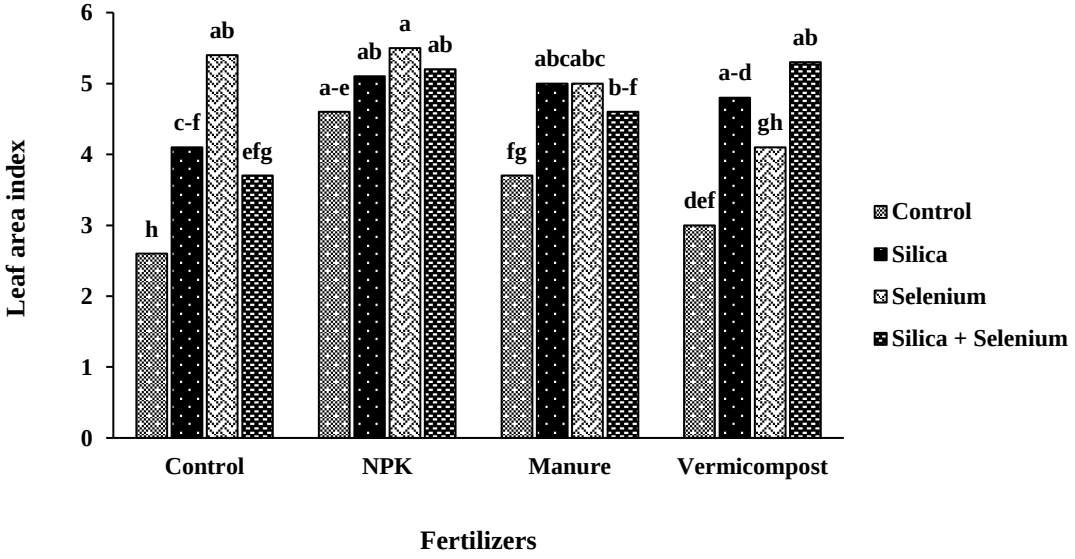
شکل ۱. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل کود با محلول‌پاشی از نظر ضریب هدایت روزنه‌ای در چغندرقند.

۳-۳. شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد اختلاف بین تیمارهای کودی، محلول‌پاشی و اثر متقابل آنها از لحاظ اثر بر شاخص سطح برگ (p <۰/۰۱) معنی دار بود (جدول ۴).

در این مطالعه حداکثر شاخص سطح برگ (۵/۵۰) در تیمار کاربرد **NPK** همراه با محلول‌پاشی سلنیوم به دست آمد، اختلاف بین این تیمار و تیمارهای شاهد کود همراه با محلول‌پاشی سلنیوم، کاربرد **NPK** همراه با تیمارهای شاهد، سیلیس، سیلیس+ سلنیوم، تیمار کاربرد کود دامی همراه با محلول‌پاشی سیلیس و سلنیوم، کاربرد ورمی‌کمپوست همراه با کاربرد سیلیس و سیلیس + سلنیوم معنی‌دار نبود، ترکیب شاهد هر دو تیمار (عدم کوددهی و محلول‌پاشی) با متوسط ۲/۶۱ کمترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد، در این بررسی هر چهار تیمار کوددهی واکنش مثبتی به محلول‌پاشی سلنیوم نشان دادند؛ به‌طوری‌که محلول‌پاشی این ماده در تیمارهای شاهد، **NPK**، کود دامی و ورمی‌کمپوست شاخص سطح برگ را در مقایسه با تیمار شاهد متناظر به‌ترتیب درصد ۵۷/۶۹، ۱۰/۸۷، ۳۵/۱۳ و ۶۰/۰۰ درصد افزایش دادند (شکل ۲).

کودهای آلی نظیر کود دامی و ورمی‌کمپوست دارای مواد آلی هستند که به‌راحتی تجزیه شده و حاوی مقادیر زیادی نیتروژن هستند، بنابراین با افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه و افزایش رشد رویشی، برگ‌های بیشتری تولید شده، در نتیجه میزان جذب نور و فتوسنتز توسط گیاه افزایش می‌یابد **(Bauer & Black, 1994)**. ورمی‌کمپوست به دلیل فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک به‌عنوان یک ماده افزودنی در خاک جهت کاهش استفاده از کودهای معدنی استفاده می‌شود (**Tejada & Gonzaler, 2009**). کاربرد سیلیس موجب تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم روبیسکو در برگ و متعاقب آن سبب بهبود تنظیم سوخت‌وساز دی‌اکسیدکربن و در نهایت افزایش کارایی تثبیت کربن توسط گیاهان می‌شود (**Adatia & Besford, 1986**). سیلیس به‌واسطه افزایش میزان تولیدات فتوسنتزی موجب افزایش وزن تر و خشک اندام‌ها به‌خصوص برگ‌ها می‌شود (**Laane, 2018**). گزارش شده است که سیلیس اضافه‌شده باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (**Wang *et al*., 2018**).



شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل کود با محلول‌پاشی از نظر شاخص سطح برگ در چغندرقند.

۳-۴. محتوی نسبی آبی برگ

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی و محلول‌پاشی بر محتوی نسبی آب برگ معنی‌دار (p <۰/۰۱) بود (جدول ۴). در این مطالعه کاربرد کودهای **NPK**، کود دامی و ورمی‌کمپوست محتوی نسبی آب برگ را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۶/۹۶، ۶/۱۸ و ۷/۶۸ درصد افزایش دادند.

محققان نشان دادند کاربرد ورمی‌کمپوست به‌طور قابل توجهی محتوی نسبی آب برگ را در چغندرقند افزایش داد (جدول ۵). در واقع کودهای زیستی با تأمین کود نیتروژن و افزایش کارایی آن باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شوند (**Zeighami Nejad *et al*., 2020**). گزارش شده است که کاربرد ورمی‌کمپوست محتوی نسبی آب برگ در چغندرقند را تحت شرایط تنش کادمیوم در خاک شور افزایش داد (**El-Mageed *et al*., 2019**).

نتایج نشان داد محلول‌پاشی برگ با سیلیس و سلنیوم (به‌ترتیب با متوسط ۷۳/۱۷ و ۷۱/۹۲ درصد) علاوه بر اینکه حداکثر محتوی نسبی آب برگ را به خود اختصاص دادند مقدار این صفت را در مقایسه با تیمار شاهد (۵۸/۰۲ درصد) به‌ترتیب ۲۵/۷۲ و ۲۳/۵۷ درصد افزایش دادند (جدول ۵).

۳-۵. عملکرد ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای کودی و محلول‌پاشی و اثر متقابل دو تیمار بر عملکرد ریشه معنی‌دار (۰/۰۱ p) بودند(جدول ۴).

نتایج مقایسات میانگین ترکیبات تیماری کود با محلول‌پاشی نشان داد تیمار کودی **NPK** و ورمی‌کمپوست همراه با محلول‌پاشی سیلیس به‌ترتیب با متوسط ۷۶/۸۳ و ۷۶/۲۷ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه را کسب کردند، اختلاف بین این تیمارها و تیمارهای محلول‌پاشی سیلیس+ سلنیوم در ترکیب با تیمارهای **NPK**، ورمی‌کمپوست و کود دامی و همچنین محلول‌پاشی سلنیوم و شاهد همراه با تیمار کود دامی معنی‌دار نبودند. در این بررسی تیمار شاهد هر دو تیمار (عدم کودهی و محلول‌پاشی) با متوسط ۴۸/۲۷ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص داد. همانطوری‌که در شکل ۳ مشاهده می شود، هر یک از تیمارهای کودی واکنش مختلفی به تیمارهای محلول‌پاشی نشان دادند، تحت تیمار شاهد محلول‌پاشی سیلیس+ سلنیوم توانست عملکرد ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد ۱۶/۱۳ درصد افزایش دهد، در تیمار کودی **NPK** کاربرد سیلیس و سیلیس+ سلنیوم توانستند عملکرد ریشه را نسبت به تیمار شاهد مربوطه (به‌ترتیب ۱۸/۱۰ و ۱۳/۶۸ درصد) به صورت معنی‌داری افزایش دهد. تحت تیمار

ورمی‌کمپوست نیز تنها اختلاف معنی‌دار بین تیمار محلول‌پاشی سیلیس و تیمار شاهد مشاهده شد، تیمار مذکور عملکرد ریشه را در مقایسه با شاهد متناظر ۱۱/۱۹درصد افزایش داد (شکل ۳).

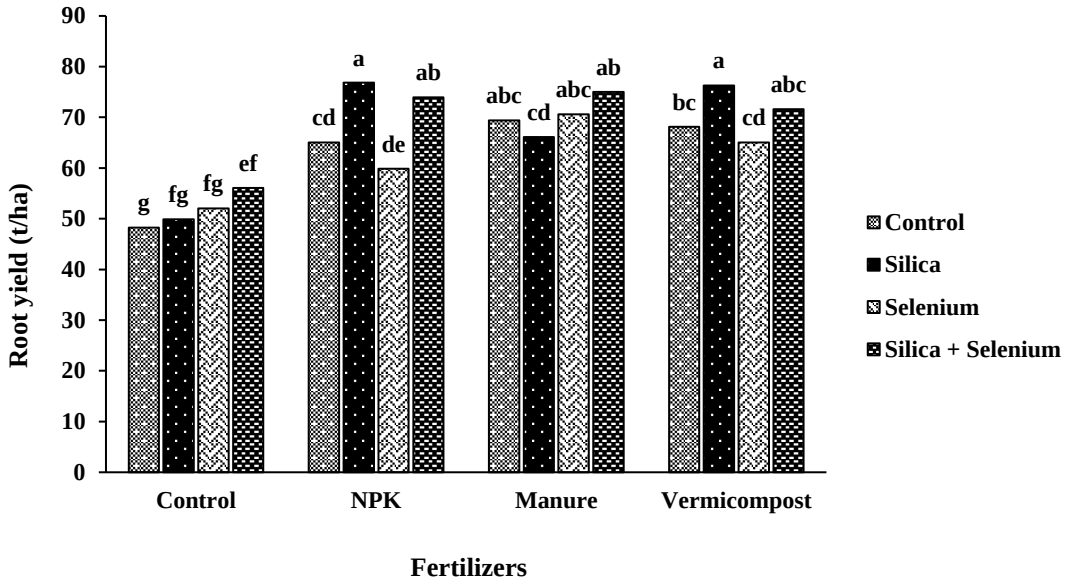
مطالعه حاضر، تیمار ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد ریشه و خصوصیات کیفی ریشه چغندرقند شد که همسو با نتایج سایر محققین است (**Pibars *et al*., 2018; Ghaffari *et al*., 2022**).

مصرف کودهای آلی نظیر ورمی‌کمپوست از طریق افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، کربن آلی، زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیمی، افزایش تخلخل و ظرفیت نگهداری آب، تولید هورمون‌های رشد گیاهی و تولید اسیدهای آلی در خاک موجب بهبود ویژگی‌های خاک می‌شود (**Ravindran *et al*., 2016**) افزودن کود ورمی‌کمپوست به خاک به‌واسطه بهبود شرایط فیزیکی و زیستی خاک و همچنین افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و ظرفیت تبادل کاتیونی و عرضهٔ تدریجی و پایدار عناصر غذایی و داشتن آنزیم‌ها و هورمون‌های رشد به دلیل برانگیختن رشد رویشی و نیز انتقال دوبارهٔ مواد از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان و در نتیجه ظهور دیرتر نشانه‌های پیری، موجب تجمع بیشتر مادهٔ خشک به‌خصوص افزایش عملکرد می‌شود (**Ravindran *et al*., 2016**)

از دلایل افزایش زیست‌توده در گیاهان می‌توان به اثر سیلیس در افزایش رشد و استحکام ریشه اشاره داشت که در نهایت منجر به افزایش جذب مواد غذایی و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌شود (**Ma & Yamaji, 2006**). سیلیس به‌واسطه قراردادن بهتر برگ‌ها در معرض نور خورشید و در نتیجه افزایش فتوسنتز موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود (**Gottardi *et al*., 2012**)

بهبود رشد و عملکرد گیاهان در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست را به سه دلیل محتوی بالاتر آب و عناصر غذایی و حضور میکروارگانیسم‌های مفید نسبت داده‌اند. گزارش شده است که افزایش کاربرد کمپوست عملکرد ریشه و عملکرد قند را افزایش داد (**El-Mageed *et al*., 2019**). مشاهده شده است که افزودن اسیدهای هیومیک به خاک افزایش قابل ملاحظه‌ای را در پارامتر عملکرد چغندرقند ثبت کرد (**Bayat *et al*., 2021**). در تحقیقی روی ارقام چغندرقند حداکثر عملکرد ریشه در تیمار کاربرد کود **NPK** + کود دامی ثبت شد (**Minakovaa *et al*., 2023**). تأثیر مثبت بر تعداد میوه و عملکرد میوه در بوته در تیمار ترکیبی سیلیس و سلنیوم نسبت به تیمارهای جداگانه آنها آشکارتر بود (**Hu *et al*., 2023**). سیلیس و سلنیوم نه‌تنها برای رشد و نمو گیاهان مفید هستند (**Pilon-Smits *et al*., 2009; Laane, 2018**)، بلکه برای سلامت انسان نیز مفید هستند (**Rayman, 2012; Faroq & Dietz, 2015**). محلول‌پاشی و کاربرد خاکی دو روش اصلی کوددهی سیلیس و سلنیوم هستند. در مقایسه با کاربرد خاکی، محلول‌پاشی کارآمدتر و سازگار با محیط زیست است، زیرا به میزان زیادی باقیمانده کود در خاک را کاهش می‌دهد و از بدتر شدن خواص خاک که می‌تواند در کاربرد خاکی رخ دهد، جلوگیری می‌کند (**Miyake & Takahashi, 1983a,b**). اثر برتر کاربرد ترکیبی نسبت به کاربرد انفرادی سیلیس و سلنیوم بر عملکرد محصول نیز در برنج مشاهده شده است (**Liu *et al*., 2020**).

برخی از محققین نیز تأثیر استفاده از محلول‌پاشی با سیلیس را بر عملکرد ریشه چغندرقند مثبت گزارش کردند (**Artyszak *et al*., 2015**) سیلیس از طریق افزایش معنادار تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین، جیبرلین و سیتوکینین، سبب افزایش رشد و بیوماس گیاه می‌شود (**Mali *et al*., 2009**). بر اساس نظر برخی محققین، تأثیر سیلیس بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این طریق توانایی گیاه را برای استفاده مؤثر از نور بالا می‌برد (**Lu *et al*., 2018**)؛ لذا با افزایش مقدار کلروفیل و فتوسنتز، سنتز مواد در گیاه افزایش و در نتیجه عملکرد گیاه نیز افزایش خواهد یافت. در وانگ و همکاران (**Wang *et al*., 2018**) مشاهده کردند تحقیقی گزارش شد بالاترین عملکرد ریشه در چغندرقند در تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس ثبت شد (**Wang *et al*., 2018**). در تحقیقی دیگر حداکثر عملکرد ریشه چغندرقند در تیمار محلول‌پاشی سیلیس همراه با پتاسیم گزارش شد (**Wang *et al*., 2018**).



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل کود با محلول‌پاشی از نظر شاخص سطح برگ در چغندر قند.

۳-۶. عیار قند

نتایج نشان داد اختلاف بین تیمارهای کودی و تیمارهای محلول‌پاشی از نظر اثر بر عیار قند معنی‌دار (p <۰/۰۱) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین تیمارهای کودی نشان داد کاربرد **NPK** و تیمار شاهد به‌ترتیب با متوسط ۱۹/۴۹ و ۱۵/۷۳ درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین عیار قند را به خود اختصاص دادند، لازم به ذکر است که دو تیمار ورمی‌کمپوست و کود دامی نیز عیار قند را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۲/۴۹ و ۱۵/۰۲ درصد افزایش دادند (جدول ۵).

افزایش محتوای قند تحت کاربرد کودهای دامی به دلیل نقش کودهای زیستی در بهبود رشد و تجمع ماده خشک و در نتیجه افزایش محتوای ساکارز و کاهش پارامترهای ناخالصی در ریشه است **(Alotaibi *et al*., 2021)**.

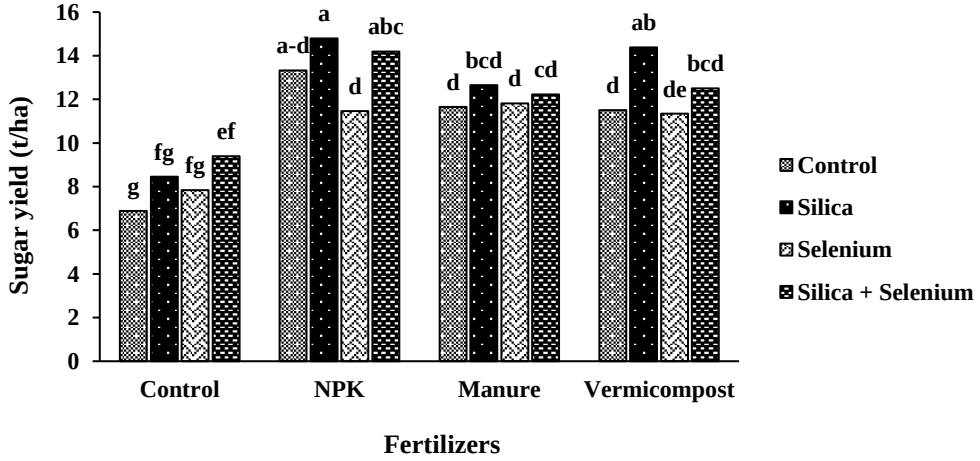
در بین تیمارهای محلول‌پاشی بالاترین عیار قند با متوسط ۱۸/۸۰ درصد در تیمار محلول‌پاشی سیلیس ثبت شد، کمترین عیار قند نیز با متوسط ۱۶/۹۱ درصد به تیمار شاهد اختصاص داشت، اختلاف بین تیمار شاهد و تیمارهای محلول‌پاشی سیلیس و محلول‌پاشی سیلیس+ سلنیوم از نظر عیار قند معنی‌دار نبود (جدول ۵).

کاربرد سیلیس محلول جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیوفسفاتت کربوکسیلاز در برگ مفید است. این آنزیم سوخت‌وساز دی‌اکسید کربن را تنظیم کرده و در نتیجه کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن توسط گیاهان را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به افزایش تولید قندها در گیاه می‌شود (**Guntzer *et al*., 2012**). گزارش شده است که کاربرد سیلیس به فرم کربنی روی چغندرقند باعث افزایش درصد قند ناخالص شده است (**Lenka *et al*., 2015**). در تحقیقی در کرمان گزارش شد که محلول‌پاشی سیلیس با ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار باعث افزایش درصد قند ناخالص در چغندرقند شد (**Abadani *et al*., 2016**). در مطالعه ای دیگر گزارش شد که کاربرد سیلیس به‌صورت معنی‌داری درصد قند ناخالص در چغندرقند را افزایش داد (**Kermani & Amir Moradi, 2019**) به نظر می‌رسد افزایش غلظت پتاسیم در لوله‌های غربالی باعث افزایش فشار اسمزی و در نتیجه افزایش جریان توده‌ای مواد ساخته‌شده (ساکارز) فتوسنتز از برگ‌ها به ریشه می‌شود و کاربرد سیلیس این روند را بهبود بخشید (**Marscher, 1995**). گزارش شده است که محلول‌پاشی سیلیس و پتاسیم اثر مثبتی بر افزایش درصد قند ریشه چغندرقند شده است (**Farazi *et al*., 2018**).

۳-۷. عملکرد شکر ناخالص

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس عملکرد شکر ناخالص به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کودی (p <۰/۰۱)، محلول‌پاشی (p <۰/۰۵) و اثر متقابل دو تیمار (p <۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۴).

در بین تیمارهای برهمکنش کود با محلول‌پاشی کاربرد **NPK** همراه با محلول‌پاشی سیلیس با متوسط ۱۴/۸ تن در هکتار بالاترین عملکرد شکر ناخالص را کسب کرد، بین تیمار مذکور و تیمار ورمی‌کمپوست همراه با محلول‌پاشی سیلیس و تیمار **NPK** همراه با محلول‌پاشی سیلیس+ سلنیوم و تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. در این بررسی تیمار عدم کاربرد کود و محلول‌پاشی با متوسط ۶/۵۹ تن در هکتار کمترین عملکرد شکر ناخالص را کسب کرد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد محلول‌پاشی در هر سه تیمار **NPK**، ورمی‌کمپوست و کود دامی عملکرد شکر ناخالص را در مقایسه با کاربرد جداگانه آنها به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. در بررسی حاضر تنها محلول‌پاشی سیلیس در مقایسه با تیمار شاهد متناظر خود قادر به افزایش عملکرد شکر سفید بود (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل کود با محلول‌پاشی از نظر عملکرد قند در چغندرقند.

۳–۸. درصد شکر سفید

نتایج تحقیق حاضر نشان داد درصد شکر سفید به‌صورت معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای کودی و محلول‌پاشی (p □ ۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۴).

نتایج مقایسات میانگین نشان داد درصد شکر سفید واکنش مثبتی به تیمارهای کودی نشان داد؛ به‌طوری‌که تیمارهای **NPK**، کود دامی و ورمی‌کمپوست درصد شکر سفید را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۹/۴۷، ۲۴/۹۷ و ۲۷/۸۲ درصد افزایش دادند. نتایج همچنین نشان داد بین تیمارهای کودی از نظر درصد قند سفید اختلاف معنی‌دار دیده نشد (جدول ۵).

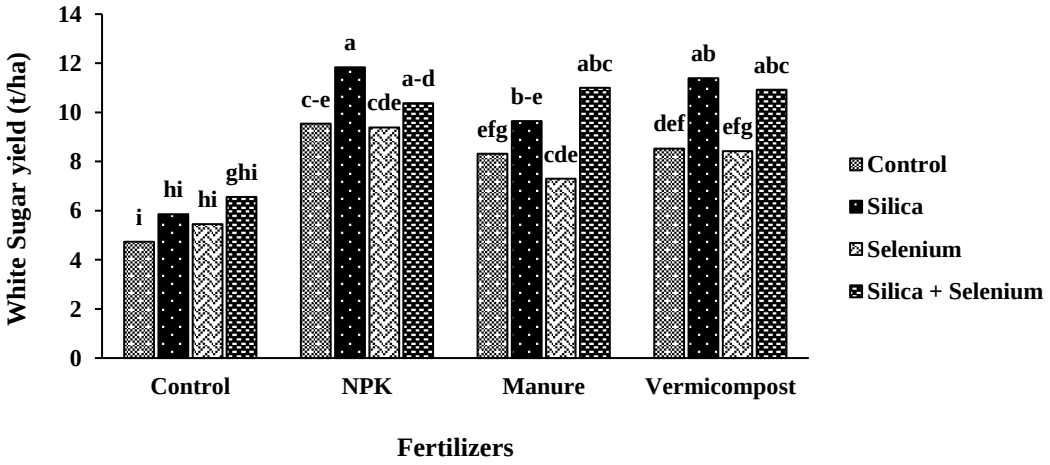
در این مطالعه محلول‌پاشی سیلیس و سیلیس+ سلنیوم به‌ترتیب با متوسط ۱۴/۲۴ و ۱۴/۴۱ درصد حداکثر و تیمار شاهد و محلول‌پاشی سلنیوم به‌ترتیب با متوسط ۱۲/۲۴ درصد حداقل درصد شکر سفید را به خود اختصاص دادند. آنچه به نظر می‌رسد این است که سیلیس با تأثیر بر تجمع بیشتر ساکارز در ریشه در شهریورماه و کاهش میزان ناخالصی‌های ریشه از قبیل سدیم و پتاسیم و نیتروژن باعث افزایش درصد قند قابل استحصال شده که این نتیجه توسط برخی محققین نیز تأیید شده است **(Asadzadehs *et al*., 2017)**. گزارش شده است که غلظت گلوکز، فروکتوز و ساکارز همگی با استفاده انفرادی یا ترکیبی سیلیس و سلنیوم افزایش یافت و تأثیر کاربرد ترکیبی آشکارتر از مصرف انفرادی بود (**Hu *et al*., 2022**) .در مطالعه کرمانی و امیر مرادی حداکثر درصد شکر خالص در تیمار ۱/۵ در هکتار به دست آمد.

۳–۹. عملکرد شکر سفید

نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر تیمارهای کودی (p <۰/۰۱) محلول‌پاشی و اثر متقابل دو تیمار بر عملکرد شکر سفید معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج مقایسات میانگین نشان داد پلات‌های تیمار شده با **NPK** و محلول‌پاشی سیلیس+ سلنیوم حداکثر عملکرد شکر سفید را تولید کردند، اختلاف بین تیمار ذکر شده با تیمارهای کود دامی و ورمی‌کمپوست محلول‌پاشی شده با سیلیس+ سلنیوم، تیمار کودی **NPK** و ورمی‌کمپوست همراه با محلول‌پاشی سیلیس از نظر عملکرد شکر سفید اختلاف معنی‌داری دیده نشد، تیمار شاهد کود و محلول‌پاشی با متوسط ۴/۷۳ تن در هکتار کمترین عملکرد شکر سفید را به خود اختصاص داد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد در تیمارهای **NPK**، کود دامی و ورمی‌کمپوست محلول‌پاشی سیلیس و سیلیس + سلنیوم در مقایسه با تیمار شاهد عملکرد شکر سفید را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (شکل ۵). در این بررسی تنها تیمار محلول‌پاشی سیلیس همراه با تیمارهای کود شیمیایی **NPK** و ورمی‌کمپوست قادر به افزایش عملکرد شکر سفید در مقایسه با تیمار کاربرد کود **NPK** همراه با شاهد محلول‌پاشی شدند.

گزارش شده که با افزایش غلظت سیلیس به‌صورت محلول‌پاشی روی چغندرقند عملکرد شکر ناخالص و خالص به‌ترتیب ۴۵ و ۴۴ درصد افزایش یافت (**Artyszak *et al*., 2015**). این افزایش با کاربرد سیلیس با منبع آلی نیز مشاهده شد (**Lenka *et al*., 2015**). کاربرد سیلیس در افزایش سطح برگ، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش مقدار کل کلروفیل برگ، قندها و پروتئین‌های قابل‌حل نقش مؤثری دارد و از این طریق می‌تواند باعث افزایش عملکرد گیاه شود (**Abdalla, 2011**). اثر مفید محلول‌پاشی محصولات حاوی اشکال مختلف سیلیس بر عملکرد چغندرقند در مطالعات قبلی مشاهده شد (**Artyszak *et al*., 2017; Artyszak *et al*., 2016**).



شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل کود با محلول‌پاشی از نظر عملکرد شکر سفید در چغندرقند.

۳-۱۰. درصد استحصال قند

در این تحقیق درصد استحصال قند به‌صورت معنی‌داری (p <۰/۰۱) تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت (جدول ۴). در بین تیمارهای کودی، کود دامی و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب با متوسط ۷۹/۶۰ و ۷۹/۰۲ حداکثر و تیمار **NPK** و شاهد به‌ترتیب با متوسط ۷۲/۴۲ و ۷۰/۳۷ درصد کمترین درصد استحصال قند را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

۴. نتیجه‌گیری

مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین صفت در چغندرقند عملکرد شکر سفید است. در این بررسی تیمار محلول‌پاشی سیلیس همراه با تیمارهای کود شیمیایی **NPK** و ورمی‌کمپوست بالاترین عملکرد شکر سفید را تولید کردند و اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود، همچنین دو تیمار مذکور قادر به افزایش عملکرد شکر سفید در مقایسه با تیمار کاربرد کود **NPK** همراه با شاهد محلول‌پاشی شدند، تیمارهای **NPK** و ورمی‌کمپوست در ترکیب با تیمارهای محلول‌پاشی سیلیس با اثر مثبت روی رنگدانه‌های فتوسنتزی بهبود هدایت روزنه‌ای و تولید عملکرد ریشه و تولید قند توانسته است عملکرد شکر سفید را افزایش دهد، با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان نتیجه

گرفت کاربرد ورمی‌کمپوست با سیلیس با بهبود خصوصیات تغذیه‌ای گیاه توانست عملکرد اقتصادی بالاتر از کاربرد جداگانه کود **NPK** و عملکرد اقتصادی یکسان با **NPK** همراه با سیلیس داشته باشد.

۵. منابع

Abadani, M., Naser Alavi, M., Arvin, M.J., & Farahbakhsh, H. (2016). The effect of silicon on qualitative and quantitative characteristics of sugar beet. M.Sc. thesis. Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, 95 p. (In Persian).

Abdalla, M.M. (2011). Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. *Agriculture and Biology Journal of North America*, *2*, 207-220.

Adatia, M.H., & Besford, R.T. (1986) The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*, *58*, 343-351.

Akram, M. (2014). Effects of nitrogen application on chlorophyll content, water relations, and yield of maize hybrids under saline conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *45*(10), 1336-1356.

Alotaibi, F., Bamagoos, A.A., Ismaeil, F.M., Zhang, W., & Abou-Elwafa, S.F. (2021) Application of beet sugar by products improves sugar beet biofortification in saline soils and reduces sugar losses in beet sugar processing. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 30303–30311.

Artyszak, A. (2017) Possibilities of using silicon for foliar fertilization of sugar beet; Wie´s Jutra: Warsaw, Poland, 2017; p. 128.

Artyszak, A., Gozdowski, D., & Kuci´ nska, K. (2016). The effect of calcium and silicon foliar fertilization in sugar beet. *Sugar Technologies*, *18*, 109–114.

Artyszak, A., Gozdowski, D., & Kucinska, K. (2015). The effect of silicon foliar fertilization in sugar beet *Beta vulgaris* (L.) ssp. *vulgaris* conv. Crassa (Alef.) prov. altissima (Döll). *Turkish Journal of Field Crops*, *20*(1), 115-119.

Artyszak, A., Gozdowski, D., & Siuda, A. (2021). Effects of the application date of fertilizer containing silicon and potassium on the yield and technological quality of sugar beet roots. *Plants*, *10*, 370.

Asadzadehs, N., Moosavi, S.G., & Seghatoleslami, M.J. (2017). Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and SiO2 fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *30*(1), 1-17. (In Persian).

Ashraf, U., Hussain, S., Anjum, S.A., Abbas, F., Tanveer, M., Noor, M.A., & Tang, X. (2017). Alterations in growth, oxidative damage, and metal uptake of five aromatic rice cultivars under lead toxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*, *115*, 461–471

Barzegar, T., Mohammadi, S., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of nitrogen and potassium fertilizer on growth, yield and chemical composition of sweet fennel. *Journal of Plant Nutrition*.

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

Doulati, B., Rahimi, A., & Heydarzade, S. (2018). The effect of manure on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivar laetitia. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *8*(1), 143-157. (In Persian).

El-Mageed, T.A.A., El-Sherif, A.M.A., El-Mageed, S.A.A., & Abdou, N.M. (2019). A novel compost alleviate drought stress for sugar beet production grown in Cd-contaminated saline soil. *Agricultural Water Management*, *226*, 105831-105848.

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

Farazi, M., Goldani, M., Nasiri Mahallati, M., Nezami, A., & Rezaei, J. (2021). Investigating the effect of silicon and potassium foliar spraying and additional soil application of potassium on quantitative and qualitative yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under moisture stress conditions. *Applied Research in Field Crops*, *31*(3), 1-19. (In Persian).

Farooq, M.A., & Dietz, K.J. (2015). Silicon as versatile player in plant and human biology: Overlooked and poorly understood. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 994.

Ghaffari, H., Tadayon, M.R., Nadeem, M., Cheema, M., & Razmjoo, J. (2022). Biochemical and yield response of sugar beet to drought stress and foliar application of vermicompost tea. *Plant Stress*, *5*, 1-8.

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

Guntzer, F., Keller, C., & Meunier, J.D. (2012). Benefits of plant silicon for crops: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 32*, 201-213.

H˘rivna, L., Joany, K.H., Machálková, L., Burešová, I., Sapáková, E., Ku˘cerová, J., & Šottníková, V. (2017). Effect of foliar nutrition of potassium and silicon on yield and quality of sugar beet in unusual windy conditions in 2014 and 2015. *Listy Cukrovarnicke a Reparske, 133*, 182–187.

He, R., Gao, M., Shi, R., Song, S., Zhang, Y., Su, W., & Liu, H. (2020). The combination of selenium and LED light quality affects growth and nutritional properties of broccoli sprouts. *Molecules, 25*, 4788.

Hern´andez-Hern´andez, H., Quiterio-Guti´errez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hern´andez-Fuentes, A.D., Fuente, M.C., Vald´es-Reyna, J., & Ju´arez-Maldonado, A. (2019). Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants, 8*, 355.

Hokmalipour, S., & Darbandi, M.H. (2011). Effects of nitrogen fertilizer on chlorophyll content and other leaf indicate in three cultivars of maize (*Zea mays* L.). *World Applied Sciences Journal, 15*(12), 1780-1785.

Honarvar, M., Ashtari, A.K., & Karimi, K. (2012). Estimation of sugar losses at production in molasses sugar industries, based on technological qualities of sugar beet. *Journal of Food Technology & Nutrition Sciences, 9*, 31-38. (In Persian).

Ibrahim, H.I.M., & Al-Wasfy, M.M. (2014). The promotive impact of using silicon and selenium with potassium and boron on fruiting of valencia orange trees grown under Minia region conditions. *World Rural Observat, 6*, 28–36.

Ievinsh, G. (2020). Review on physiological effects of vermicomposts on plants. In Biology of composts; Meghvansi, M.K., Varma, A. Eds.; Springer: Cham, Switzerland, pp. 63–86.

Jinger, D., Dhar, S., Dass, A., Sharma, V.K., Shukla, L., Parihar, M., Rana, K., Gupta, G., & Jatav, H.S. (2020). Crop productivity, grain quality, water use efficiency, and soil enzyme activity as influenced by silicon and phosphorus application in aerobic rice (*Oryza sativa*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 51*, 2147–2162.

Kermani, M., & Amirmoradi, S. (2019). Effect of foliar application of silicon on improving the qualitative and quantitative traits of two variety of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) grown in Torbat Heydarieh. *Crop Production, 12*(1), 129-142. (In Persian).

Laane, H.M. (2018). The effects of foliar sprays with different silicon compounds. *Plants, 7*, 45.

Lenka, M., Ludek, H., Joany lizet, H.K., & Ondrej, S. (2015). Yield and technological quality of sugar beet after extradical nutrition. *Mendel. Net.*, 356- 361.

Liang, K.H., Liang, S., & Zhu, H. (2020). Comparative proteomics analysis of the effect of selenium treatment on the quality of foxtail millet. *LWT - Food Science and Technology, 131*, 109691.

Liu, X., Huang, Z., Li, Y., Xie, W., Li, W., Tang, X., Ashraf, U., Kong, L., Wu, L., Wang, S., & Mo, Z. (2020). Selenium-silicon (Se-Si) induced modulations in physio-biochemical responses, grain yield, quality, aroma formation and lodging in fragrant rice. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 196*, 110525.

Lu, Y.G., Ma, J., Teng, Y., He, J.Y., Christie, P., Zhu, L.J., Ren, W.J., Zhang, M.Y., & Deng, S.P. (2018). Effects of silicon on the growth, physiology and cadmium translocation of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) in cadmium contaminated soil. *Pedosphere, 28*(4), 680-689.

L´opez-P´erez, M.C., P´erez-Labrada, F., Ramírez-P´erez, L.J., Ju´arez-Maldonado, A., Morales-Díaz, A.B., Gonz´alez-Morales, S., García-D´avila, L.R., García-Mata, J., & Benavides-Mendoza, A. (2018). Dynamic modeling of silicon bioavailability, uptake, transport, and accumulation: Applicability in improving the nutritional quality of tomato. *Frontiers in Plant Science, 9*, 647.

Luo, H., He, L., Du, B., Pan, S., Mo, Z., Duan, M., Tian, H., & Tang, X. (2020). Biofortification with chelating selenium in fragrant rice: Effects on photosynthetic rates, aroma, grain quality and yield formation. *Field Crops Research, 255*, 107909.

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

Mahmud, M., Abdullah, R., & Yaacob, J.S. (2018). Effect of vermicompost amendment on nutritional status of sandy loam soil, growth performance, and yield of pineapple (*Ananas comosus* var. MD2) under field conditions. *Agronomy, 8*, 183.

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

Marscher,H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic press London.

Minakovaa, O.A., Alexandrovaa, L.V., & Podviginaa, T.P. (2023). Consumption of NPK by domestic and foreign sugar beet hybrids with different main fertilizer backgrounds in the central black-earth region. *Russian Agricultural Sciences, 49*(4), 391–399.

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

Peris-Felipo, F.J., Benavent-Gil, Y., & Hern´andez-Apaolaza, L. (2020). Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substances under different iron status. ***Plant Physiology and Biochemistry, 152,*** **23–31.**

Pierre-Louis, R.C., Kader, M., Desai, N.M., & John, E.H. (2021). Potentiality of vermicomposting in the South Pacific Island countries: A review. ***Agriculture, 11,*** **876.**

Pilon-Smits, E.A., Quinn, C.F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. ***Current Opinion in Plant Biology, 12,*** **267–274.**

Pr˘av˘alie, R., Patriche, C., Borrelli, P., Panagos, P., Roş ca, B., Dumitras¸cu, M., Nita, I.A., S˘avulescu, I., Birsan, M.V., & Bandoc, G. (2021). Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. ***Environmental Research, 194,*** **110697.**

Ramirez-Vallejo, P., & Kelly, J.D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. ***Euphytica, 99,*** **127–136.**

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

Rayman, M.P. (2012). Selenium and human health. ***The Lancet, 379,*** **1256–1268.**

Rodriguez, P., Torrecillas, A., Morales, M.A., Ortuno, M.F., & Blanco, M.J. (2005). Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscus maritimus* plants. ***Environmental and Experimental Botany, 2,*** **113-123.**

Seppanen, M., Turakainen, M., & Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. ***Plant Science, 165,*** **311-319.**

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

Urban, J., & Pulkrabek, J. (2018). Increased yield and quality of sugar beet by means of foliar nutrition and biologically active substances. ***Listy Cukrovarnicke a Reparske, 134,*** **188–194.**

Vidal, A., Lenhart, T., Dignac, M.F., Biron, P., Höschen, C., Barthod, J., Vedere, C., Vaury, V., Bariac, T., & Rumpel, C. (2020). Promoting plant growth and carbon transfer to soil with organic amendments produced with mineral additives. ***Geoderma, 374,*** **114454.**

Wang, M., Nie, L., Xu, B., & Ang, S. (2018). Effects of foliar application of silicon on accumulation of sugar and vitamin C and related enzymes in cucumber fruits. ***Acta Horticulturae Sinica, 45,*** **351–358. (In Chinese with English abstract).**

Zeighami Nejad, K., Ghasemi, M., Shamili, M., & Damizadeh, G.R. (2020). Effect of mycorrhiza and vermicompost on drought tolerance of lime seedlings (*Citrus aurantifolia* cv. Mexican Lime). ***International Journal of Fruit Science, 20*****(3), 646–657.**

Zhu, S., Liang, Y., Gao, D., An, X., & Kong, F. (2017). Spraying foliar selenium fertilizer on quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) from different source varieties. ***Scientia Horticulturae, 218,*** **87–94.**