Research Paper

Investigating the use of Iron Slag of Alloy Steel in combination with biochar and vermicompost to reduce the water stress of coriander plants

Hossein Asghari Shivaee[1], Sahar Dehyouri[2]*, Abootaleb Kazemi[3], Hamid Reza Javadian[4]
1. Assistant Prof. Department of Engineering, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran
2. Associate Prof. Department of Agricultural, Environmental Sciences Research Center, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran
3. Master of Metallurgy, Materials Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran
4. Master of Metallurgy, Technical and Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2024/04/03
Revised: 2024/04/14
Accepted: 2023/08/24

Use your device to scan and read the article online

DOI:
https://doi.org/10.71632/wej.2024.1167665

Keywords:
Coriander, Iron Slag, Essential Oil yield, Drought Stress

Abstract

Introduction: This research was conducted to test the use of Iron slag without and with the combination of biochar and vermicompost under drought-stress conditions on coriander plants.

Methods: The experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design. The first factor included drought stress in 2 levels, and the second included fertilizer treatments in 7.

Findings: The results showed that the drought stress of 50% of the agricultural capacity caused a decrease in the fresh weight of shoot by 35%, fresh weight of roots (25%), chlorophyll a (29%), and chlorophyll b (25%), and total chlorophyll (26%), essential oil yield. (42%), phosphorus (39%), potassium (18%), magnesium (26%), Iron (40%), and an increase in malondialdehyde (34%) compared to the treatment. The treatments of different fertilizer sources increased shoot weight, root weight, chlorophyll content, relative leaf water content, essential oil yield, and leaf elements and decreased malondialdehyde and ion leakage. Based on the results of Iron slag treatment, especially in combination with vermicompost, it had an essential role in increasing plant yield under stress conditions. The correlation results between the traits showed that the yield of essential oil with shoot fresh weight (0.98), root fresh weight (0.87), chlorophyll (0.94), relative leaf water content (0.91), leaf phosphorus (95.0) 0), leaf potassium (0.86), leaf magnesium (0.92) and leaf Iron (0.83) had a positive and significant correlation with malondialdehyde (-0.93) and ion leakage (70) -0/) had a negative and significant correlation.

Citation: Asghari Shivaee H, Dehyouri S*, Kazemi A, Javadian HR. Investigating the use of Iron Slag of Alloy Steel in combination with biochar and vermicompost to reduce the water stress of coriander plants. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (62): 71- 88.

***Corresponding author:** Sahar Dehyouri
Address: Dept. of Agriculture, College of Engineering, Environmental Sciences Research Center, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran.
Tell: +989123009169

Email: dehyouri.s@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Drought is a multidimensional stress that affects plants at different organizational levels morphologically and physiologically. Drought stress causes significant changes in the secondary metabolites of plants. One way to increase plants' resistance to stress is to use vermicompost and, recently, biochar. Using Iron slag as organic source rich in important nutrients helps plants. In organic agriculture, the use of this fertilizer can improve soil properties, provide nutrients, reduce the use of chemical fertilizers, and recycle industrial waste materials. This helps to preserve the environment, promote the production of organic products, and improve the health of the soil. Optimal use of Iron slag can support organic and sustainable agriculture development. Therefore, a pot experiment was meticulously designed and executed on coriander plants subjected to various water stress treatments. The aim was to a) comprehensively understand the effects of water stress on different parameters of coriander plants, seeds, and oil, as well as their water consumption efficiency, and b) to investigate the potential of Iron slag fertilizers in combination with biochar, and vermicompost to enhance coriander's tolerance to water stress. The study also sought to establish a threshold value for water stress and yield reduction per unit of water stress in semi-arid weather conditions.

Materials and Methods

This experiment aims to investigate the effect of Iron slag alone and in combination with biochar and vermicompost in drought stress conditions on coriander plants in greenhouse conditions with a photoperiod of 16 hours of light and 8 hours of darkness, relative humidity of 65 to 80%, maximum temperature 29 and minimum temperature of 15 degrees Celsius was done in Tehran. Coriander seeds (provided by Pakan Seed Company) were disinfected and planted in 3-liter pots. The present experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design. The first factor includes drought stress at 2 levels (100 and 50% of the agricultural capacity of the soil), and the second factor includes fertilizer treatments at seven levels including control, Iron slag (3 and 6% by volume of the pot), vermicompost (10% by weight and volume of the pot), biochar (4% by volume of the pot) and Iron slag composition (3% by volume) along with vermicompost and biochar. A total of 102 pots were selected by applying 14 experimental treatments in 3 repetitions and 2 observations. Iron slag was obtained from the reputable Pasargad Alloy Steel Complex, and vermicompost was obtained from the trusted Turan Biotechnology Company.

Findings

Using mineral and organic fertilizers such as Iron slag, biochar, and vermicompost can positively affect the growth and development of plants and increase their weight. These fertilizers contain nutritional compounds needed by plants, including minerals, acids, and enzymes, which can have multiple effects on the biochemical activities of plants. Among them are slow-compacting fertilizers rich in minerals such as Iron, calcium, manganese, zinc, and copper. These minerals have a positive effect on the production of chlorophyll, root microbial growth, and absorption of nutrients by the plant, which leads to an increase in plant weight. Also, Iron slag can help improve soil structure and increase plant respiration. Using Iron slag, biochar, and vermicompost fertilizers can help increase the relative water content of leaves and the relative content of nutrients, including vitamin A (photophores) in plants. These fertilizers have positive effects on the biochemical pathways of plants, which lead to an increase in the relative water content of leaves and improve the quality and content of plant nutrients. Iron slag contains a large amount of minerals such as Iron, calcium, manganese, and copper, which help to improve the soil structure, increase the

absorption of water and nutrients by the plant, and improve the activity of various enzymes in the plant. These mineral factors can facilitate the improvement of vitamin A production and storage in plants, thus increasing the relative water content of leaves.

Discussion

The general results of this research showed that In addition to the fact that drought stress at 50% of crop capacity caused significant changes in many biochemical traits, a significant decrease in growth, photosynthetic content, and plant water was reported at 50% of crop capacity compared to the control. Finally, Iron slag treatment, especially in combination with vermicompost, was necessary in increasing plant yield under stress conditions. This treatment can compensate for a considerable part of the adverse effects of stress in coriander plants.

Conclusion

According to the present research results, it is possible to propose the commercialization of this product in combination with high-quality products. Also, to make this fertilizer more generalizable for the size of agricultural products, considering the critical role of Iron slag in combination with vermicompost and biochar in modulating stress, the effect of its different levels from 2 to 10 percent by volume should be investigated in drought stress conditions. Considering the critical results of Iron slag treatments in combination with vermicompost and biochar in the present research, additional investigation should be done in the conditions of other environmental stresses such as salinity and cold.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The data collection and in vitro studies were done on plants according to laboratory permission.

Funding

The cost of this research was funded by Pasargad Alloy Steel Complex.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Hossein Asghari Shivaee, Sahar Dehyouri.
Methodology and data analysis: Hossein Asghari Shivaee, Sahar Dehyouri, Abutaleb Kazemi, Hamid Reza Javadian.
Supervision and final writing: Sahar Dehyouri.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بررسی استفاده از سرباره آهن فولاد آلیاژی درترکیب با بیوچار و ورمی کمپوست به منظور کاهش تنش آبی گیاه گشنیز

حسین اصغری شیوایی[۱]، سحر ده یوری[۲*]، ابوطالب کاظمی[۳]، حمید رضا جوادیان[۴]

۱. استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

۲. دانشیار گروه کشاورزی، مرکز تحقیقات پژوهش های علوم زیست محیطی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

۳. دانش آموخته کارشناس ارشد متالورژی، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۴. دانش آموخته کارشناس ارشد متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۵

تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2024.33253.2413

واژه‌های کلیدی:
گشنیز، سرباره آهن، عملکرد اسانس، تنش خشکی

چکیده

مقدمه: این تحقیق به منظور آزمایش استفاده از سرباره آهن بدون و با ترکیب بیوچار و ورمی کمپوست در شرایط تنش خشکی روی گیاه گشنیز انجام گرفت.

روش: این تحقیق با روش آزمایشگاهی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتور اول شامل تنش خشکی در ۲ سطح و فاکتور دوم شامل تیمارهای کودی در ۷ سطح بود.

یافته‌ها: یافته های تحقیق نشان داد تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش وزن تر اندام هوایی ۳۵درصد)، وزن تر ریشه (۲۵ درصد)، کلروفیل a (29 درصد)، کلروفیل b (25 درصد)، کلروفیل کل (۲۶ درصد)، عملکرد اسانس (۴۲ درصد)، فسفر (۳۹ درصد)، پتاسیم (۱۸ درصد)، منیزیم (۲۶ درصد) و آهن برگ (۴۰ درصد) و افزایش مالون دی آلدهید (۳۴ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد. تیمارهای منابع کودی مختلف سبب افزایش وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد اسانس، عناصر برگ و کاهش مالون دی آلدهید و نشت یونی شد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج تیمار سرباره آهن به ویژه در ترکیب با ورمی کمپوست نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش داشت. نتایج همبستگی بین صفات نشان داد عملکرد اسانس با وزن تر اندام هوایی (۰/۹۸)، وزن تر ریشه (۰/۸۷)، کلروفیل (۰/۹۴)، محتوای نسبی آب برگ (۰/۹۱)، فسفر برگ (۰/۹۵)، پتاسیم برگ (۰/۸۶)، منیزیم برگ (۰/۹۲) و آهن برگ (۰/۸۳) همبستگی مثبت و معنی داری داشت و با صفات مالون دی آلدهید (۰/۹۳-) و نشت یونی (۰/۷۰-) همبستگی منفی و معنی داری داشت. تیمار سرباره آهن به ویژه در ترکیب با ورمی کمپوست نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش داشتند.

* **نویسنده مسئول:** سحر ده یوری

نشانی: گروه کشاورزی، مرکز تحقیقات پژوهش های علوم زیست محیطی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۳۰۰۹۱۶۹

پست الکترونیکی: dehyouri.s@gmail.com

مقدمه

مطالعات متعددی از گذشته تا به امروز در مورد اثرات تنش های محیطی بر گیاهان انجام شده است. در میان تنش‌های محیطی، خشکی مهمترین تنشی است که معمولاً به‌عنوان یک عامل خارجی که اثرات سوء به‌جا می‌گذارد تعریف می‌شود. در بیش‌تر موارد تنش در ارتباط با رشد (تجمع بیوماس) یا فرآیندهای اولیه آسیمیلاسیون (جذب CO_2 و مواد معدنی) مرتبط با رشد کلی اندازه‌گیری می‌شود(۱, ۲, ۳).

تنش خشکی بلافاصله بعد از بروز، اثر خود را ایجاد نمی‌کند، زیرا گیاهان مکانیزم‌های حفاظتی را برای تأخیر یا متوقف کردن اختلالات شیمیایی و ترمودینامیکی داخل سلول به‌کار می‌برند(۴). خشکی یک تنش چند بعدی است که گیاهان را در سطوح مختلف سازمانی از نظر موفولوژیکی و فیزیولوژیکی تحت تاثیر قرار می‌دهد(۵). یکی از تغییرات فیزیولوژیکی که به هنگام تنش خشکی ممکن است روی دهد، تنظیم فشار اسمزی می‌باشد. هر نوع افزایش در فشار اسمزی سلول ناشی از تنش، به حفظ حالت تورژسانس کمک می‌کند و در حقیقت تغییرات اندک در وضعیت تورژسانس گیاه متحمل وسیله‌ای است که تنش از طریق آن متابولیسم گیاه را متأثر می‌سازد و لازم است در نظر گرفته شوند(۶). همچنین تنش خشکی سبب تغییرات معنی‌داری در متابولیت‌های ثانویه گیاهان می‌شود. در شرایط تنش گیاهان برای مقابله با تنش مقدار آب و تبادل دی اکسید کربن از طریق تغییر در اندازه و تراکم روزنه تنظیم می‌کنند. گیاهان پاسخ‌های روزنه‌ای گیاهان به تنش و کود در گیاهان متفاوت است. تغییر در اندازه و تراکم روزنه‌ها و کرک‌های ترشحی اسانس تحت تاثیر تنش خشکی گزارش شده است(۵).

در سال‌های اخیر کاربرد فرآورده‌های آلی در تغذیه گیاهان به‌عنوان راهکارهای بنیادین برای توسعه سیستم‌های مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه و به منظور افزایش کمی و کیفی مواد غذایی در واحد سطح از طریق تلفیق روش‌های تغذیه‌ای معدنی و آلی گیاه مورد توجه قرار گرفت. در سیستم‌های کشاورزی پایدار، استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر محاسن اکولوژیکی و حداقل مضرات زیست‌محیطی را دارا باشد، امری ضروری است (۷). یکی از شیوه‌های افزایش مقاومت گیاهان به تنش استفاده از ورمی کمپوست و اخیراً بیوچار است. ورمی کمپوست از طریق فرآوری ضایعات آلی نظیر کودهای دامی و بقایای گیاهی توسط کرم خاکی ساخته می‌شود و به دلیل داشتن پتانسیل قابل توجه جهت اصلاح خاک مورد توجه زیادی قرار گرفته است. ورمی کمپوست سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش تهویه و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد(۸).

همچنین، یکی دیگر از کودهایی آلی برای اثرگذاری در مقاومت خاک بیوچار است. بیوچار ماده کربنی است که از گرمادهی بقایای گیاهی و ضایعات در محیط حاوی اکسیژن محدود یا بدون اکسیژن به دست می‌آید. بیوچار با تجزیه گرمایی زیست توده در محیط فاقد اکسیژن باعث گرماکافت می شوند(۹-۱۰). بیوچار پایداری بالایی داشته و به‌منظور مدیریت ضایعات، کاهش تغییرات اقلیمی، تولید انرژی و بهبود خصوصیات خاک تولید می‌شود. خصوصیات منحصر به فرد بیوچار آن را به عنوان گزینه مناسبی برای مصرف در خاک مطرح ساخته است. بیوچار خصوصیات مختلف فیزیکی (از جمله ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی)، شیمیایی(اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان مواد آلی) و زیستی خاک (فعالیت میکروبی، تنوع میکروبی، فعالیت آنزیمی، جمعیت میکروبی) را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود(۱۰). بیوچار با تأمین بخشی از عناصر مورد نیاز گیاه موجب افزایش عملکرد گیاه می‌گردد. مصرف بیوچار در اغلب موارد باعث بهبود حاصلخیزی خاک (۱۱) و افزایش محصولات اصلی و فرعی گیاهی می‌شود. در جنگلکاری‌ها هم کود بیوچار نقش مهمی در افزایش حاصلخیزی خاک و رشد درختان دارند (۱۲).

از طرفی دیگر کودهایی که حاوی آهن هستند به عنوان کودهای ویژه تایید می شوند. کودهای ویژه (حاوی آهن) به کودهایی گفته می شود که حاوی لیمونیت (شامل سنگ آهن باتلاقی)، سرباره (فقط سرباره ای که عمدتاً برای تامین آهن و حاوی ۱۰٪ یا بیشتر آهن است)، یا پودر آهن و سنگ هوازده حاوی ۱۰٪ یا بیشتر آهن مشخص می شود . آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است و از آنجا که شکلی کلروفیل بدون حضور آهن ممکن نیست بنابراین کمبود یا غیر فعال شدن آهن در گیاهان یا کلروز برگ ها ظاهر می شود عارضه کلروز آهن اغلب در خاک های آهکی دیده می شود کمبود آهن و بعضی از عناصر کم مصرف گیاهان و یا غیر قابل جذب بودن آنها در خاک های آهکی از مشکلات اصلی تولید محصولات کشاورزی می باشد. این خاکها ۲۵ تا ۴۵ درصد زمین های کشاورزی جهان را تشکیل میدهند(۱۳،۱۴،۱۵،۱۶). استفاده از سرباره آهن به عنوان یک منبع ارگانیک و غنی از عناصر غذایی مهم به گیاهان کمک می‌کند. در کشاورزی ارگانیک، استفاده از این کود می‌تواند بهبود خصوصیات خاک، تأمین عناصر غذایی، کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و بازیافت مواد زائد صنعتی را فراهم کند. این امر به حفظ محیط زیست، ارتقای تولید محصولات ارگانیک و بهبود سلامتی خاک کمک می‌کند. استفاده بهینه از سرباره آهن می‌تواند به توسعه کشاورزی ارگانیک و سیر پایدار در کشاورزی کمک کند(۱۷).

اعلام ممنوعیت سازمان بهداشت جهانی مبنی بر عدم استفاده از رنگ‌ها و اسانس‌های سنتیک و عوارض جانبی داروهای مصنوعی در سال‌های اخیر باعث رونق کشت و صنعت گیاهان دارویی شده است. گیاهان دارویی مخازن غنی از متابولیت‌های ثانوی یعنی مخازن مواد مؤثره اساسی بسیاری از داروها می‌باشند. مواد مذکور اگرچه اساساً با هدایت فرآیندهای ژنتیکی ساخته می‌شوند ولی ساخت آن‌ها به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. به‌طور کلی نظر بر این است که تولید متابولیت‌های ثانویه برای تنظیم سازگاری گیاه نسبت به عوامل نامساعد و تنش‌های محیطی زندگی صورت گرفته و به منزله به کار افتادن یک نوع جریان دفاعی در جهت استمرار تعادل فعالیت‌ها به حساب می‌آید. بنابراین، محصولات دارویی برخلاف همه محصولات کشاورزی که در اوضاع تنش از نظر مقدار تولید لطمه می‌بینند ممکن است در این اوضاع تولید شیمیایی بیشتر و در نتیجه بازده اقتصادی برتری پیدا کنند(۱۸-۱۹).

۱۲ هزارگونه گیاهی وجود دارد که برای قرن‌ها به صورت سازگار با آب و هوای ایران شناخته شده است (۲۰). بیش از ۱۰۰۰ گیاه دارویی و

معطر[1] با خواص دارویی بالقوه وجود دارد. بهره برداری گسترده از آنها از زیستگاه های طبیعی برای عرضه بازار و تخریب طبیعی پوشش گیاهی/فلور به دلیل عوامل انسانی، دلایل اصلی این است که این گیاهان اغلب به عنوان گونه های در معرض خطر و/یا در معرض تهدید در بسیاری از مناطق در نظر گرفته می شود. کنوانسیون های بین المللی مانند کنوانسیون ریو در ۱۹۹۶ (۲۱) و همچنین همچنین قوانین ملی مانند قانون حفاظت از محیط زیست که به تصویب رسیده اند، به عنوان اسناد کلی در نظر گرفته می شوند که بیش از ۳۵۰۰۰ گیاه یا گیاه را فهرست می کنند. گروهی از گونه های گیاهی مشمول این قانون در گروه گیاهان دارویی و معطر قرار دارند. برنامه های توسعه ملی، سطح زیرکشت تحت پوشش MAP به سرعت در حال افزایش است. در حال حاضر در اسلوونی، MAP ۲۶هزار هکتار کشت می شود (از مجموع کل تولیدات گیاهان دارویی در سطح کشور ۱۲۰ هزار هکتار مربوط به زعفران، ۳۰ هزار هکتار گل محمدی و مابقی آنغوزه، باریجه، گون کتیرا، زیره و سایر گیاهان دارویی است). گونه های دیگر مانند گشنیز که عمدتاً مصرف خوراکی نیز دارند در مناطق سبزی کاری نیز کشت می شوند. سطح زیر کشت MAP و تقاضای بالای مواد خام در بازارهای هدف، MAP به عنوان محصولات پایه شناسایی می شوند که می تواند منافع ملی با چشم انداز واقعی برای کشت و بازاری برای محصولات جایگزین باشد. برای توسعه کشت MAP در ایران، دستورالعمل ها و پیشنهاد برنامه ملی برای تولید، فرآوری و کنترل کیفیت گیاهان دارویی و معطر از چند سال پیش تهیه شده بود(۲۲). ردر توسعه سیستم‌های کشاورزی برای تولید تجاری MAP، شرایط محیطی کشور باید در نظر گرفته شود. با توجه به وجود ایران در منطقه گرم و خشک و خکسالی های پی در پی ، بارندگی به طور مساوی در طول دوره رشد محصولات در ایران توزیع نمی شود. بنابراین هر ساله در برخی نقاط کشور با توجه به خصوصیات نگهداری آب در خاک و شکل ظاهری فنوفازهای محصول دچار خشکسالی های جدی می شویم(۲۳). کشاورزی و دامداری، در برخی از مناطق ایران، از جمله منابع مهم آلاینده های زیست محیطی هستند. مشکل سطوح بالای نیترات ها و نیتریت ها را می توان در مناطق توسعه یافته کشاورزی در ایران یافت(۲۴). همچنین مناطقی هستند که در ماه‌های تابستان با کمبود آب بالا مواجه هستند(۲۵).

از سوی دیگر، بر اساس شواهد تجربی، آزمایش‌های صحرایی اغلب برای تخمین روابط بین ژنوتیپ و پارامترهای محیطی در سیستم‌های کشاورزی بسیار خشن به نظر می‌رسند. به همین دلیل است که ارزیابی حساسیت نوادگان ژرم پلاسم MAP به تنش های محیطی (مانند خشکسالی) و ارزیابی دقیقی از تحمل آن‌ها به تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی نیاز است(۲۶-۲۷).

گشنیز به عنوان یکی از گیاهان دارویی پرکاربرد و با تولید، گیاهی از تیره Apiaceae، طایفه Coriandera و جنس Coriandrum است(۲۸-۲۹). گشنیز گیاهی یک ساله از خانواده(Apiaceaeچتر) است. بومی مناطق مدیترانه ای است و در حال حاضر در بسیاری از کشورها کشت می شود. قسمت های مختلف گیاه، از جمله میوه ها و گیاهان سبز نیز برای اهداف دارویی مانند شکایات سوء هاضمه و کاهش اشتها استفاده می شود. مطالعات فارماکولوژیک روی حیوانات نشان داده است که گشنیز دارای اثرات ضد دیابت(۳۱) کاهش چربی خون (۳۲)؛ و اثرات ضد سرطانی(۳۳) است. این گیاه در شرایط کاملا نرمال آبی و خاکی، دارای کاربردهای گفته شده می باشد، لیکن با وجود تعیین سطوح تحمل گشنیز به تنش آبی(۲۸،۳۴) در شرایط خاکی مختلف و با توجه به نوع تغذیه های خاک مورد بررسی قرار نگرفته است(۳۵). از این رو، آزمایشی گلدانی بر روی گشنیز آبیاری شده با تیمارهای مختلف تنش آبی طراحی و اجرا شد تا الف) اثرات تنش آبی بر پارامترهای مختلف گیاه گشنیز، دانه، روغن و کارایی مصرف آب آنها تعیین و ب) تیمار استفاده از کودهای سرباره آهن ج) و در ترکیب با بیوچار و ورمی کمپوست تحمل گشنیز به تنش آبی، و تعیین یک مقدار آستانه برای تنش آبی و کاهش عملکرد در واحد ارزش تنش آبی در شرایط آب و هوایی نیمه خشک مورد بررسی قرار گیرد.

مطالعه حاضر می‌تواند نقطه شروعی برای تحقیقات علمی گسترده در مورد ترکیبات گشنیز برای غربال و معرفی ارقام مقاوم به خشکی در آینده و همچنین استفاده از انواع تیمارهای خاکی برای تقویت آن به منظور تقویت و بهبود غنی سازی خاک بستر کشت این گیاه دارویی و سایر گیاهان باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر سرباره آهن به تنهایی و در ترکیب با بیوچار و ورمی کمپوست در شرایط تنش خشکی روی گیاه گشنیز در شرایط گلخانه ای با فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، رطوبت نسبی ۶۵ تا ۸۰ درصد، حداکثر دما ۲۹ و حداقل دمای ۱۵ درجه سانتی گراد در تهران انجام گرفت. بذرهای گشنیز (تهیه شده از شرکت پاکان بذر) ضد عفونی و در گلدان های ۳ لیتری کشت شدند .

آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتور اول شامل تنش خشکی در ۲ سطح (۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و فاکتور دوم شامل تیمارهای کودی در ۷ سطح شامل شاهد، سرباره آهنی (۳ و ۶ درصد حجمی گلدان)، ورمی‌کمپوست (۱۰ درصد وزنی حجمی گلدان)، بیوچار (۴ درصد حجمی گلدان) و ترکیب سرباره آهن (۳ درصد حجمی) همراه با ورمی کمپوست و بیوچار بود. در کل ۱۰۲ گلدان با اعمال ۱۴ تیمار آزمایشی در ۳ تکرار و ۲ مشاهده انتخاب شد. سرباره آهن از مجتمع فولاد آلیاژی پاسارگاد، بیوچار از شرکت فصل پنجم و ورمی کمپوست از شرکت زیست فناور توران تهیه گردید. مقادیر و خصوصیات عناصر سرباره آهنی که با استفاده از دستگاه (XRF) در سطح اندازه پودری ۳۰۰ میکرون (جدول ۱)، ورمی کمپوست و بیوچار (جدول ۲) ارائه شده است.

[1] Medicinal and Aromatic Plants (MAP)

جدول ۱ - ویژگی‌های شیمیایی سرباره آهنی

پارامتر	مقدار
آهن کل (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۸/۵
اکسید آهن(میلی گرم در کیلوگرم)	۲۱/۳
اکسید کلسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۵/۷
اکسید منیزیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۴/۳
دی اکسید سیلیکون (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۱/۸
اکسید آلومنیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴/۶
اکسید منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۴

جدول ۲- ترکیبات بیوچار و ورمی‌کمپوست

پارامتر	واحد	بیوچار	ورمی کمپوست
ماده آلی	درصد	۹۱/۵	۷۲/۳
کربن آلی	درصد	۷۵/۳	۳۵
نیتروژن	درصد	۰/۴۷	۲/۹۰
نیترات	میلی‌گرم در کیلوگرم	۶۴	۳۱۰۰
سولفور	میلی‌گرم در کیلوگرم	۹۵۰	۵۳۰
سدیم	درصد	۰/۵۲۷	۰/۳۰
پتاسیم	درصد	۱۹	۰/۵۴
فسفر	درصد	۰/۳۹۰	۰/۴۳۶
هدایت الکتریکی	میلی‌زیمنس بر متر	۳۷/۳	۱۷۵
pH	–	۹/۱	۶/۵
خاکستر کل	درصد	۸/۲	۲۷/۱
چگالی ظاهری	گرم بر سانتی‌متر مکعب	۰/۲۰۷	۰/۱۳۱

روش انجام تحقیق

بذرهای گشنیز (تهیه شده از شرکت پاکان بذر) ضد عفونی و در گلدان-های ۳ لیتری حاوی خاک زراعی (جدول ۳) کشت شدند. سرباره آهنی، ورمی کمپوست و بیوچار به‌صورت مخلوط با خاک مزرعه استفاده شد. تنش خشکی براساس ظرفیت زراعی خاک در مرحله ۶ برگی به مدت ۵۰ روز انجام شد. در مرحله گلدهی گیاه (۹۵ روز پس از کشت)، گیاهان برداشت و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند. با استفاده از دستگاه صفحات فشاری درصد وزنی رطوبت خاک در سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تعیین شد و سپس نسبت آن سطوح تنش تعیین شد. در ابتدا وزن خاک خشک و درصد رطوبت مزرعه‌ای به‌دست آمد و وزن نرمالی که هر گلدان در هر سطح رطوبتی باید داشته باشد، به‌دست آمد (۳۶):

$$Vn= (PWp-FC) \times F \times Vp \quad E (1)$$

که در رابطه بالا Vn مقدار آب داده شده (بر حسب متر مکعب) به هر بستر در هر نوبت آبیاری است. Fc رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی است، PWP نقطه پژمردگی دائم (درصد)، Vp حجم گلدان، F ضریب مدیریت آبیاری که در آبیاری مطلوب ۰/۵ است. در پایان دوره رویشی گیاه، صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد نظر اندازه‌گیری شد.

جدول ۳-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها

پارامتر	مقدار
نیتروژن کل (درصد)	۰/۱۱
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۵/۳
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۲۵
کربن آلی (درصد)	۰/۶۷۰
لای (درصد)	۴۷
رس (درصد)	۲۷
شن (درصد)	۲۶
هدایت الکتریکی (میلی‌موس)	۱/۲
pH	۶/۸

متغیرهای مورد بررسی

وزن تر اندام هوایی و ریشه

وزن تر اندام هوایی و ریشه پس از برداشت با ترازوی دیجیتال Digital scale با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. برای اندازه گیری اندام هوایی، گیاه کشت‌شده در هر گلدن از یقه توسط قیچی قطع شد و تمام قسمت-های هوایی گیاه (ساقه، گل و برگ) اندازه گیری شد. برای اندازه‌گیری ریشه، ریشه‌ها به آرامی از خاک جدا شده و با ترازوی دیجیتال وزن شدند.

محتوای کلروفیل برگ

اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل با روش (۳۷) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا ۰/۱ گرم نمونهٔ برگی گیاهان را در هاون چینی با ۳ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً ساییده شد و حجم نهایی عصاره به ۱۵ میلی‌لیتر رسید. سپس عصاره با استفاده از سانتریفیوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت g × ۵۰۰۰ صاف شد. از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) برای اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها استفاده شد. ابتدا دستگاه با استون ۸۰ درصد صفر شده و سپس میزان جذب عصاره استخراج شده در طول‌موج‌های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید. سپس با استفاده از رابطه‌های زیر کلروفیل a ، کلروفیل b و کلروفیل کل محاسبه شد.

سنجش محتوی نسبی آب برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری این پارامتر جوانترین برگ تکامل یافته گیاه جدا و به سرعت با ترازوی دقیق آزمایشگاهی LiBROR AEL مدل 40SM با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن گردید. سپس برگ‌های هر تیمار به طور جداگانه در لوله آزمایش درب دار حاوی آب مقطر برای مدت ۴ تا ۵ ساعت غوطه‌ور گردیدند و برگ‌ها را پس از گذشت این مدت، از لوله آزمایش خارج و با استفاده از کاغذ صافی خشک گردیدند، و مجدداً توزین شدند. تا وزن آنها در حالت تورژسانس کامل به‌دست آید. برای محاسبه وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن گردیدند. محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه شد، که در آن FW، وزن تر برگ؛ DW، وزن خشک برگ و TW وزن اشباع برگ می‌باشد(۳۸):

$$RWC=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times 100 \qquad E\ (2)$$

اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدهید

غلظت مالون‌دی‌آلدئید (MDA) با استفاده از روش هیت و پاکر (۳۹) انجام شد. برای این منظور، ابتدا ۰/۵ گرم بافت برگ تازه آسیاب شد و به آن محلول تری‌کلرواستیک اسید (TCA) اضافه شد. عصاره حاصل، به‌مدت ۱۵ دقیقه، با ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) سانتریفیوژ می‌گردد. پس از آن به ۱۵۰۰ میکرولیتر از محلول رویی، TCA ۲۰ درصد حاوی TBA افزوده شد. سپس در حمام آب جوش قرار داده می‌شود. نمونه‌ها پس از سرد کردن، سانتریفیوژ شد و پس از آن در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. غلظت MDA بر حسب µmol.g FW-1 محاسبه شد.

سنجش میزان نشت یونی

برای سنجش میزان آسیب به غشاء (نشت الکترولیت)، ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه اندام هوایی گیاه را بعد از شستشو با آب مقطر جهت شستشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه، درون لوله آزمایش درب‌دار قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب یون گیری شده به آن اضافه گردید. سپس لوله‌های آزمایش را به مدت ۲ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی گراد قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC1) با استفاده از EC متر مدل (Winlab Data Windaus) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردیده و بعد از خنک شدن محتوی لوله‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC2) مجددا اندازه‌گیری شد و با فرمول زیر درصد نشت یونی محاسبه گردید(۴۰).

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{EC1}{EC2}\times 100 \qquad E\ (3)$$

کلیه داده‌های به‌دست آمده حاصل از اندازه‌گیری متغییرها در تحقیق، ابتدا در Excel ثبت شده و سپس با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹,۳ آنالیز شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۱ یا ۵ درصد با آزمون LSD بررسی شد. نمودارها و شکل‌ها در نرم‌افزار Excel تهیه شدند.

نتایج یافته های تحقیق:

نتایج تجزیه واریانس وزن گیاه و محتوای کلروفیل برگ

نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و منابع مختلف کودی بر وزن تر ریشه و اندام هوایی در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج، اثر تنش خشکی بر وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح ۱ درصد ($P\leq 0.01$) معنی‌دار شد. اثر منابع کودی نیز بر وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار شد ($P\leq 0.01$). اثر متقابل تنش خشکی و منابع کودی بر صفات ذکر شده اثر معنی‌داری نداشت.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و منابع کودی مختلف بر وزن تر اندام هوایی و ریشه و محتوای کلروفیل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
تنش خشکی	۱	۳۰۸/۸ **	۲۶/۹۲ **	۱/۲۶ **	۰/۱۳ **	۲/۲۵ **
کود	۶	۶/۶۸ **	۱/۴۰ **	۰/۰۲۹ **	۰/۰۰۶ **	۰/۰۵۳ **
خشکی × کود	۶	۰/۹۹ ns	۰/۱۵ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۲۷ ns
خطا	۲۶	۰/۴۷	۰/۱۶	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات (٪)	–	۵/۳۴	۷/۰۷	۵/۱۴	۵/۷۳	۴/۲۰

** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns بیانگر عدم معنی‌داری.

نتایج تجزیه واریانس محتوای نسبی آب برگ، مالون دی آلدهید و نشت یونی

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر محتوای نسبی آب برگ، مالونی دی آلدهید و نشت یونی در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد. اثر منابع کودی مختلف بر محتوای نسبی آب برگ، مالونی دی آلدهید و نشت یونی نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). اثر متقابل تنش خشکی و منابع کودی بر محتوای نسبی آب برگ، مالونی دی آلدهید و نشت یونی معنی‌دار شد ($P\leq0.01$).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و منابع کودی بر محتوای نسبی آب برگ، مالون دی آلدهید و نشت یونی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		محتوای نسبی آب برگ	مالون دی آلدهید	نشت یونی
تنش خشکی	۱	۱۳۳۷/۳ **	۱۶۲/۸ **	۴۹۳/۷ **
کود	۶	۵۳/۱۹ **	۴/۵۳ **	۱۳/۶۳ **
خشکی × کود	۶	۱۶/۷۴ **	۰/۵۹ **	۸/۰۴ **
خطا	۲۶	۱/۱۵	۰/۱۳۵	۰/۹۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۱/۲۸	۲/۷۵	۲/۹۷

** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns بیانگر عدم معنی‌داری.

نتایج تجزیه واریانس اسانس و عملکرد اسانس

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر درصد اسانس و عملکرد اسانس در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد. اثر منابع کودی مختلف نیز بر درصد اسانس و عملکرد اسانس معنی‌دار شد ($P\leq0.01$). اثر متقابل تنش خشکی و منابع کودی بر اسانس و عملکرد اسانس معنی‌دار نشد (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و منابع کودی مختلف بر اسانس و عملکرد اسانس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		درصد اسانس	عملکرد اسانس
تنش خشکی	۱	۰/۰۱۸ **	۶۴۰/۱۴ **
کود	۶	۰/۰۰۱۲ **	۱۵/۰۱۹ **
خشکی × کود	۶	۰/۰۰۰۲۵ ns	۱/۵۶ ns
خطا	۲۶	۰/۰۰۰۱۷	۰/۹۴۴
ضریب تغییرات (٪)	–	۳/۴۸	۶/۵۲

** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns بیانگر عدم معنی‌داری.

نتایج تجزیه واریانس عناصر برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی بر فسفر برگ، پتاسیم برگ، منیزیم برگ و آهن برگ در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد. اثر منابع کودی مختلف نیز بر فسفر برگ، پتاسیم برگ، منیزیم برگ و آهن برگ معنی‌دار شد ($P\leq0.01$). اثر متقابل تنش خشکی و منابع کودی پتاسیم برگ، منیزیم و آهن برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد اما بر فسفر برگ معنی‌دار نشد (جدول ۷).

جدول۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و منابع کودی مختلف بر عناصر برگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فسفر برگ	پتاسیم برگ	منیزیم برگ	آهن برگ
تنش خشکی	۱	۳۸/۴۷ **	۴۰۸/۶ **	۱۴/۲۹ **	۱۲۶۱۷۱/۵ **
کود	۶	۰/۵۰ **	۲۳/۸ **	۰/۵۱ **	۲۲۸۲۵/۳ **
خشکی × کود	۶	۰/۰۶ ns	۶/۰۹ **	۰/۱۱۷ **	۲۹۱۹/۰۷ **
خطا	۲۶	۰/۰۴۹	۱/۲۶	۰/۰۱۵	۱۴۴/۹۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۶۷	۳/۶۱	۳/۲۱	۵/۱۴

** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns بیانگر عدم معنی‌داری.

همبستگی بین صفات

نتایج همبستگی بین صفات در جدول ۴-۵ ارائه شده است. براساس نتایج، درصد اسانس با وزن تر اندام هوایی (۰/۸۰)، وزن تر ریشه (۰/۸۸)، کلروفیل (۰/۸۳)، محتوای نسبی آب برگ (۰/۹۲)، فسفر برگ (۰/۸۵)، پتاسیم برگ (۰/۸۵)، منیزیم برگ (۰/۸۹) و آهن برگ (۰/۶۸) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و با صفات مالون دی آلدهید (۰/۸۹-) و نشت یونی (۰/۵۷-) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. عملکرد اسانس نیز با وزن تر اندام هوایی (۰/۹۸)، وزن تر ریشه (۰/۸۷)، کلروفیل (۰/۹۴)، محتوای نسبی آب برگ (۰/۹۱)، فسفر برگ (۰/۹۵)، پتاسیم برگ (۰/۸۶)، منیزیم برگ (۰/۹۲) و آهن برگ (۰/۸۳) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و با صفات مالون دی آلدهید (۰/۹۳-) و نشت یونی (۰/۷۰-) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت.

جدول ۸- نتایج همبستگی بین صفات

	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	کلروفیل	محتوای نسبی آب برگ	مالون دی آلدهید	نشت یونی	درصد اسانس	عملکرد اسانس	فسفر برگ	پتاسیم برگ	منیزیم برگ	آهن برگ
وزن تر اندام هوایی	۱											
وزن تر ریشه	۰,۸۳	۱										
کلروفیل	۰,۹۲	۰,۸۶	۱									
محتوای نسبی آب برگ	۰,۸۹	۰,۸۹	۰,۹۲	۱								
مالون دی آلدهید	-۰,۹۱	۰,۹۰-	-۰,۹۵	-۰,۹۶	۱							
نشت یونی	-۰,۷۱	-۰,۵۰	-۰,۷۰	-۰,۷۱	-۰,۷۲	۱						
درصد اسانس	۰,۸۰	۰,۸۸	۰,۸۳	۰,۹۲	-۰,۸۹	-۰,۵۷	۱					
عملکرد اسانس	۰,۹۸	۰,۸۷	۰,۹۴	۰,۹۱	-۰,۹۳	-۰,۷۰	۰,۸۷	۱				
فسفر برگ	۰,۹۴	۰,۸۶	۰,۹۶	۰,۹۲	-۰,۹۴	-۰,۷۱	۰,۸۶	۰,۹۵	۱			
پتاسیم برگ	۰,۸۴	۰,۸۴	۰,۸۹	۰,۹۱	-۰,۹۲	-۰,۵۹	۰,۸۵	۰,۸۶	۰,۸۸	۱		
منیزیم برگ	۰,۸۹	۰,۸۵	۰,۹۲	۰۹۵	-۰,۹۷	-۰,۷۶	۰,۸۹	۰,۹۲	۰,۹۲	۰,۸۷	۱	
آهن برگ	۰,۸۴	۰,۷۳	۰,۷۶	۰,۷۲	-۰,۷۲	-۰,۵۴	۰,۶۸	۰,۸۳	۰,۷۷	۰,۶۹	۰,۷۰	۱

بحث:

تنش خشکی باعث فعال‌سازی مسیرهای بیوشیمیایی خاص در گیاه می‌شود که به کاهش وزن اندام هوایی و ریشه گیاه منجر می‌شود. تنش خشکی می‌تواند به فعال‌سازی هورمون‌های مختلفی مانند ابسیسیک اسید (ABA) و سیتوکینین‌ها منجر شود. این هورمون‌ها نقش مهمی در تنظیم رشد و گسترش گیاه در شرایط تنش دارند و ممکن است باعث کاهش وزن اندام هوایی و ریشه گیاه شوند. تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش تولید ردوکسین‌ها مانند پروکسید هیدروژن و اکسیژن فعال شود که به تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سلول‌های گیاه منجر می‌شود و این تغییرات ممکن است به کاهش وزن اندام هوایی و ریشه گیاه منجر شود. تنش خشکی می‌تواند باعث تغییرات در متابولیسم ثانویه گیاه شود که می‌تواند به کاهش وزن اندام هوایی و ریشه گیاه منجر شود. به‌عنوان مثال، افزایش تولید متابولیت‌های فنلی و فلاونوئیدها ممکن است به تنظیم رشد و توسعه گیاه در شرایط تنش ارتباط داشته باشد. بنابراین، تأثیر تنش خشکی بر کاهش وزن اندام هوایی و ریشه گیاه از طریق فعال‌سازی و تغییر در مسیرهای بیوشیمیایی گیاهان اتفاق می‌افتد که به تنظیم توسعه گیاه و پاسخ آن به شرایط محیطی کمک می‌کند(۱۰).

استفاده از کودهای معدنی و ارگانیک مانند سرباره آهن، بیوچار و ورمی کمپوست می‌تواند اثرات مثبتی بر رشد و توسعه گیاهان داشته و وزن آن‌ها را افزایش دهد. این کودها حاوی ترکیبات غذایی مورد نیاز گیاهان از جمله مواد معدنی، اسیدها، و آنزیم‌ها هستند که می‌توانند تأثیرات متعددی بر فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاهان داشته باشند. از جمله کودهای آهسته‌تراکم با خصوصیات غنی از مواد معدنی مانند آهن، کلسیم، منگنز، روی و مس هستند. این مواد معدنی اثر مثبتی بر تولید کلروفیل، رشد میکروبی ریشه و جذب عنصرهای غذایی توسط گیاه دارند که منجر به افزایش وزن گیاه می‌شود. همچنین، سرباره آهن می‌تواند به بهبود ساختار خاک و افزایش تنفس گیاه کمک کند(۴۱). بیوچار ترکیبی از کربن آلی است که حاوی ترکیبات اکسایشی، یون‌های آبی برای جذب عنصرهای غذایی و عامل‌های رشد گیاهی مثل آنزیم‌ها و هورمون‌ها است. اثرات بیوچار از طریق فعال‌سازی فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان مانند فعال‌سازی آنزیم‌های مختلف، تنظیم رشد و توسعه گیاهان و افزایش قدرت مقاومتی آن‌ها بر تنش‌های محیطی است که منجر به افزایش وزن گیاه می‌شود. این کود حاوی اجزاء آلی مغذی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و مواد آلی غنی می‌باشد که تأثیرات مثبتی بر رشد و توسعه گیاهان دارد. ورمی کمپوست می‌تواند باعث افزایش فعالیت میکروبی خاک، افزایش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان و تنظیم فعالیت آنزیم‌های بیوشیمیایی گیاه شود که به افزایش وزن گیاه کمک می‌کند. بنابراین، کودهای مذکور مانند سرباره آهنی، بیوچار و ورمی کمپوست از طریق افزایش مواد مغذی، استحکام خاک و فعال‌سازی مسیرهای بیوشیمیایی گیاهان، می‌توانند به افزایش وزن گیاهان کمک کنند(۴۲). در تحقیقی مشابه، افزایش بیوماس گیاه مغربی توسط ورمی‌کمپوست و بیوچار توسط (۴۳) گزارش شد که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

همچنین، گونه‌های فعال اکسیژن پیامد اجتناب‌ناپذیر واکنش گیاه به تنش خشکی هستند. در طول تنش خشکی، پاسخ اولیه گیاه بسته شدن روزنه‌ها برای محدود کردن اتلاف آب از طریق تعرق است. در نتیجه بسته شدن زودهنگام روزنه‌ها، به دلیل غلظت کم CO_2 در برگ، سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد(۴۴). کاهش رشد گیاه در طول تنش خشکی ابتدا با کاهش سرعت رشد سطوح جذبی و به دنبال آن مهار فتوسنتز به وجود می‌آید. کاهش نرخ فتوسنتز در طول تنش خشکی را می‌توان به عوامل روزنه‌ای نسبت داد(۴۵). محدودیت‌های روزنه‌ای فتوسنتز را می‌توان به‌عنوان جذب ناکارآمد CO_2 در برگ‌ها و حفره‌های زیر روزنه‌ای به‌دلیل بسته شدن زودرس روزنه‌ها توصیف کرد. محدودیت‌های فتوسنتز غیرروزنه‌ای زمانی ایجاد می‌شوند که فعالیت آنزیم روبیسکو، فعالیت کلروپلاست، در دسترس بودن ATP، سنتز ریبولوز ۱،۵–بی‌س فسفات، نیتروژن برگ و اختلال در فتوسیستم I و II کاهش یابد(۴۶). کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی به عنوان یک علامت معمولی از فوتو اکسیداسیون رنگدانه و تخریب کلروفیل در نظر گرفته شده است(۴۷).

اکسیژن، آب، نور خورشید و دی‌اکسید کربن از موادی هستند که برای انجام فتوسنتز در گیاهان ضروری هستند. اما برای تولید کلروفیل، نقش مواد غذایی از جمله نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کربن و مواد معدنی مانند آهن، منگنز و مس نیز بسیار حائز اهمیت است. این عناصر مغذی به عنوان کاتالیست‌ها و فعال‌سازهای مسیرهای بیوشیمیایی در فتوسنتز و تولید کلروفیل عمل می‌کنند. به‌طور مثال، آهن نقش اساسی در ساختار کلروفیل دارد و در فرآیند تبدیل نور به انرژی در فتوسنتز جذور حفاظتی کلروپلاست‌ها نقش دارند(۴۸). همچنین، منگنز و کلسیم نیز در فعال‌سازی آنزیم‌هایی که در فتوسنتز نقش دارند، موثر هستند. همچنین، مواد آلی موجود در بیوچار و ورمی کمپوست می‌توانند به عنوان منشأ کربن برای تولید کلروفیل و افزایش کارایی فتوسنتزی گیاهان عمل کنند. بنابراین، استفاده از کودهای مهم مانند سرباره آهنی، بیوچار و ورمی کمپوست که حاوی مواد مغذی مورد نیاز برای تولید کلروفیل و انجام فتوسنتز هستند، می‌تواند با فعال‌سازی مسیرهای بیوشیمیایی گیاهان، به افزایش وزن کلروفیل و بهبود عملکرد فتوسنتزی گیاهان منجر شود(۴۹). (۵۰) در تحقیقی با تاثیر کود ورمی‌کمپوست بر خصوصیات رشد و فیزیولوژیکی نهال‌های یکساله نارنج نشان دادند که تنش خشکی به طور معنی‌داری سبب کاهش محتوای کلروفیلی برگ ولی ورمی‌کمپوست سبب بهبود آن شد. ورمی‌کمپوست و همچنین ازتوباکتر با فراهم نمودن آب و عناصر مغذی برای گیاه نقش مهمی در افزایش فرایند فتوسنتز دارد. در تحقیقی مشابه، افزایش محتوای فتوسنتزی گیاه تحت تاثیر ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر توسط (۵۱) گزارش شده است که همسو با نتایج تحقیق حاضر است. همچنین افزایش محتوای کلروفیل گیاه برنج در شرایط تنش غیرزیستی با کاربرد کودهای حاوی آهن گزارش شد که در راستا تحقیق حاضر است.

محتوای نسبی آب برگ یکی از عوامل مهم در تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی است. کمبود آب باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و بسته شدن روزنه می‌شود که موجب کاهش تورژانس و آسیب سلولی

شده و منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود. محتوای نسبی آب برگ نشاندهنده وضعیت آبی گیاه است و تأثیر زیادی بر عملکرد متابولیک و بازده گیاه دارد. همچنین، کاهش محتوای نسبی آب می‌تواند منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تنش‌های اسمزی شود. تنظیم اسمزی می‌تواند بهبود تحمل به خشکی گیاهان را افزایش دهد و تأثیرات منفی خشکی بر فعالیت‌های داخلی و فوتوسنتز را کاهش دهد. گیاهان می‌توانند با جمع‌آوری املاح و تغییرات در ساختار داخلی سلول‌ها، بتوانند مقاومت خود را در برابر تنش خشکی افزایش دهند(۵۲). در تحقیق خود نشان دادند که کاهش محتوای نسبی آب در اثر تنش خشکی روزنه‌ها را می‌بندند و در نتیجه هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد. تنظیم اسمزی با اجازه دادن به بزرگ شدن سلول، رشد گیاه و روزنه‌ها، تا حدی باز و با حفظ تثبیت CO_2 تحت کمبود شدید آب، تحمل به خشکی را بهبود می‌بخشد. گیاه گندم چندین املاح آلی و غیرآلی را در سیتوزول خود جمع می‌کند تا از توانایی اسمزی خود برای حفظ تورژسانس سلول کم کند. خشکی با تغییر ساختار داخلی کلروپلاست‌ها، میتوکندری‌ها و مقدار کلروفیل و مواد معدنی بر فتوسنتز تأثیر منفی می‌گذارد(۵۳).

استفاده از کودهای سرباره آهن، بیوچار و ورمی کمپوست می‌تواند به افزایش محتوای نسبی آب برگ‌ها و افزایش محتوای نسبی عناصر غذایی از جمله ویتامین آ (فیتوفتوئن) در گیاهان کمک کند. این کودها اثرات مثبتی بر مسیرهای بیوشیمیایی گیاهان دارند که منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ‌ها و بهبود کیفیت و محتوای عناصر غذایی گیاهان می‌شود. سرباره آهن حاوی مقدار زیادی از مواد معدنی مانند آهن، کلسیم، منگنز و مس است که به بهبود ساختار خاک، افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه و بهبود فعالیت آنزیم‌های مختلف در گیاه کمک می‌کند. این عوامل مواد معدنی می‌توانند بهبود تولید و نگهداری ویتامین آ در گیاهان را تسهیل کنند و در نتیجه موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ‌ها می‌شوند(۵۴). بیوچار یک کود ارگانیک با ترکیب غنی از کربن آلی و ترکیبات آلی است که به بهبود ساختار خاک، افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، و فعال‌سازی فرآیندهای متابولیک در گیاهان کمک می‌کند. ورمی کمپوست حاوی مقادیر قابل توجهی از مواد آلی، مواد مغذی و میکروب‌های مفید است که به بهبود ساختار خاک، افزایش ذخیره آب در خاک و جذب عناصر غذایی توسط گیاه کمک می‌کند. هر دو کود می‌توانند به بهبود فرآیندهای متابولیک، تنظیم محتوای ویتامین آ در گیاهان و افزایش محتوای نسبی آبگذاری برگ‌ها کمک کنند(۸). در تحقیقی دیگر، افزایش محتوای فتوسنتزی گیاه تحت تاثیر ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر توسط (۵۱) گزارش شده است که همسو با نتایج تحقیق حاضر است. همچنین افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار در زرشک(۵۳) و آهن در گندم (۵۴) گزارش شد.

تخریب غشای سلولی از اثرات منفی تنش در گیاهان است. در شرایط تنش، مالون دی آلدهید نشان از فشار خارجی وارده به گیاه است که اگر ادامه پیدا کند منجر به مرگ سلولی می‌شود(۵۵). کاربرد کودهای سرباره آهنی، بیوچار و ورمی‌کمپوست سبب تعدیل تنش و کاهش مالون دی آلدهید در شرایط تنش می‌شود. افزایش سطح مالون دی آلدهید می‌تواند نشان‌دهنده آسیب‌های اکسیداتیو در گیاه باشد که توسط استرس خشکی ایجاد شده‌اند. تنش خشکی می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در مقابل استرس اکسیداتیو نقش دارند. این افزایش فعالیت آنزیم‌ها ممکن است منجر به افزایش ساخت و تجزیه H_2O_2 و اکسیژن مولکولی شود. همچنین، تنش خشکی ممکن است باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد شود که می‌توانند با فسفولیپیدها در غشای سلولی و دیگر مولکول‌های بیولوژیکی واکنش داشته و در نهایت منجر به افزایش سطح مالون دی آلدهید شوند. این افزایش مالون دی آلدهید نشانگر خسارت ممکن به غشای سلولی و دیگر اجزای سلولی ناشی از استرس خشکی است(۵۶). بنابراین، افزایش مالون دی آلدهید با افزایش تنش خشکی ممکن است از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تولید رادیکال‌های آزاد و استرس اکسیداتیو در گیاه اتفاق بیافتد. این فرایندها نشان‌دهنده واکنش‌های بیوشیمیایی در گیاه در پاسخ به تنش خشکی است و نشان‌دهنده آسیب‌های احتمالی در سلول‌ها و اجزای گیاه است. ترکیب سرباره آهن، ورمی کمپوست و بیوچار می تواند با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی، تحریک فعالیت ضد اکسیدانی و تقویت ساختار خاک، به کاهش تولید مالون دی آلدهید و مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی کمک کند (۵۷).

نشت یونی از پارامترهای مهم و اساسی در بررسی آسیب غشایی در گیاه می‌باشد. در شرایط تنش آسیب غشایی رخ می‌دهد و گیاه با بحران روبرو می شود. وقتی که شدت تنش زیاد باشد، میزان آسیب غشایی و نشت یونی افزایش و گیاه به سمت نابودی پیش میرود. در تحقیقی افزایش نشت یونی تحت تنش خشکی و کادمیم و کاهش آن با کاربرد نانوذره سیلیکون گزارش داد. استفاده از کودهای ارگانیک مانند سرباره آهن، بیوچار و ورمی کمپوست باعث بهبود سلامت خاک و کاهش نشت یونی عناصر غذایی به محیط می‌شود. این کودها، ارزش غذایی و تغذیه‌ای خاک را افزایش داده و مواد الی و مغذی را فراهم می‌کنند که به جذب و نگهداری بهتر عناصر غذایی توسط گیاه‌ها کمک می‌کند(۵۸). ترکیب سرباره آهن و ورمی کمپوست باعث افزایش فعالیت بیولوژیکی در خاک می‌شود. این فعالیت‌ها شامل تخریب مواد آلی، جذب و آزادسازی عناصر غذایی و بهبود تهویه خاک می‌شود که همگی به کاهش نشت یونی کمک می‌کنند. سرباره آهن، بافت خاک را بهبود بخشیده و میکروب‌های مفید را افزایش داده که هردو به جذب بهتر عناصر غذایی توسط گیاه‌ها و کاهش نشت یونی کمک می‌کند. بیوچار، با جذب و نگهداری عناصر غذایی و کاهش نشت یونی، به بهره‌وری گیاهان کمک می‌کند. ورمی کمپوست نیز با تقویت ساختار خاک، افزایش محتوای مواد آلی و میکروب‌های مفید، به کاهش نشت یونی و بهبود زنجیره تغذیه گیاهان کمک می‌کند(۵۹).

تنش شدید باعث کاهش رشد و کاهش سطح اندام هوایی و مورفولوژیکی می‌شود که ممکن است به دلیل تلاش گیاه برای بقا و رسیدن به رطوبت باشد. متابولیت‌های ثانویه به دلیل تنش شدید کاهش و با کاهش شدت تنش به دلیل افزایش اندام هوایی و افزایش تولید متابولیت بهبود می‌یابند. ورمی کمپوست با جبران تنش خشکی و رهاسازی تدریجی عناصر گیاهی لازم سبب افزایش تولید متابولیت‌های

ثانویه می‌شود(۶۰). بیوچار به‌عنوان تهویه کننده خاک، حاوی مواد مغذی گیاهی است با این حال، بهتر است از بیوچار همراه با مواد مغذی اضافی برای بهبود عملکرد آن استفاده شود. مطالعات دیگر نشان داده است که بیوچار مواد مغذی را در برابر شستشو حفظ می‌کند. که به طور بالقوه باعث بهبود کارایی مواد مغذی به کار رفته در کنار بیوچار می‌شود(۶۱). منبع مواد بیوچار به شدت بر محتوا و در دسترس بودن عناصر غذایی در خاک پس از اصلاح تأثیر می‌گذارد. خواص شیمیایی خاک پس از اصلاح به شدت تحت تأثیر منبع بیوچار اعمال شده قرار خواهد گرفت(۶۲). (۶۳) دریافتند که بیوچار باعث افزایش عملکرد اسانس ریحان شد. از آنجایی که (۶۴) گزارش کرد که خواص فیزیکی و شیمیایی بیوچار تأثیر قابل توجهی بر رشد گیاه ریحان و کاهو دارد.استفاده از ترکیب سرباره آهن می‌تواند به افزایش تولید اسانس در گیاهان کمک کند. ترکیب سرباره آهن خاصیت حاوی فسفر، پتاسیم، آهن و دیگر مواد معدنی مورد نیاز گیاهان را دارد که به رشد و تولید فنول‌ها که از جمله ترکیبات اسانسی در گیاهان هستند، کمک می‌کند. به طور خاص، وجود آهن در ترکیب سرباره آهنی می‌تواند به گیاهان کمک کند تا فنول‌ها را تولید کنند. فنول‌ها گروهی از ترکیبات ارگانیک هستند که علاوه بر اثرات ضد اکسیدانی، خواص آنتی‌میکروبی و ضد التهابی دارند. این فنول‌ها معمولاً به عنوان مواد اسانسی در گیاهان و عصاره‌های آنها حضور دارند. بنابراین، با تقویت و غنی کردن خاک با ترکیب سرباره آهنی، می‌توان قدرت تولید اسانس در گیاهان را افزایش داد. این امر می‌تواند بهبود کیفیت و خواص گیاهان ارگانیک و عرضه شده در بازارهای مصرف کمک کند(۶۵). PH بالای بیوچار یکی از عوامل مؤثر بر بهبود وضعیت خاک است. PH خاک یکی از مهم‌ترین عواملی است که تأثیر مستقیم بر رشد گیاه از طریق تأثیر بر اجتماع میکروبی و چرخه عناصر غذایی دارد. به‌ویژه برای خاک‌های اسیدی، افزایش میزان pH خاک رابطه مثبتی با افزایش میزان بهره‌وری گیاه دارد(۶۶). در تحقیقات دیگر گزارش شده است که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری سبب بهبود ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، محتوی اسانس گیاه مرزه (Satureja hortensis) شد(۶۷).

تنش خشکی می‌تواند به کاهش جذب فسفر، پتاسیم و آهن در برگ‌های گیاهان منجر شود. این امر به دلیل عواملی مانند کاهش توانایی جذب آب توسط گیاهان در شرایط خشکی، کاهش حرکت عناصر غذایی در خاک و کاهش فعالیت ریشه‌ها برای جذب عناصر غذایی است. این اثرات می‌تواند به تنش خشکی نسبت داده شود و باعث کاهش محتوای فسفر، پتاسیم و آهن در برگ‌های گیاهان شود. تنش خشکی باعث می‌شود که فعالیت ریشه‌ها در جذب فسفر از خاک کاهش یابد. کاهش جذب فسفر توسط گیاهان منجر به کمبود این عنصر مهم برای فعالیت فیزیولوژیکی گیاهان شود، که ممکن است باعث کاهش مقدار فسفر در برگ‌ها شود(۶۸). تنش خشکی باعث کاهش جذب پتاسیم توسط گیاهان می‌شود، زیرا کاهش جریان آب در گیاهان باعث کاهش حرکت پتاسیم در گیاه می‌شود. کمبود پتاسیم می‌تواند باعث کاهش خصوصیات رشدی گیاهان و جذب سرمایهای مورد نیاز برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی شود. تنش خشکی باعث می‌شود که pH خاک افزایش یابد که باعث می‌شود آهن موجود در خاک قابل جذب برای گیاهان کاهش یابد. کمبود آهن می‌تواند به کاهش فعالیت آنزیم‌های مهم آهندستی گیاهان و به انتقال عوامل فعالیت آنزیمی که برای تولید اندوفیت‌ها ضروری است منجر شود، که باعث می‌شود مقدار آهن در برگ‌ها کاهش یابد. با توجه به این موارد، تنش خشکی می‌تواند باعث کاهش میزان فسفر، پتاسیم و آهن در برگ‌های گیاهان شود که ممکن است به تنش فیزیولوژیکی و اختلالات در رشد و توسعه گیاهان منجر شود(۶۹).

تاثیر سرباره آهن، بیوچار و ورمی کمپوست در افزایش فسفر، پتاسیم و آهن در برگ‌ها می‌تواند به دلیل ویژگی‌های خاص این مواد آلی و ارگانیک باشد. سرباره آهن یک منبع غنی فسفر، پتاسیم و آهن است که ممکن است شامل فرایندهای شیمیایی و فیزیکی مناسب برای جذب این عناصر به تربتیب باشد. افزایش استفاده از سرباره آهن می‌تواند به تقویت سلامت خاک، افزایش حاصلخیزی خاک و تامین عناصر غذایی برای گیاهان کمک کند و در نتیجه به افزایش میزان فسفر، پتاسیم و آهن در برگ‌ها منجر شود(۷۰). بیوچار یک ماده شبه‌کربنی ارگانیک است که می‌تواند جاذب عناصر غذایی باشد و این عناصر را به ترتیب منتقل کند. به دلیل ساختار خاص بیوچار و قابلیت جذب عناصر غذایی، استفاده از آن می‌تواند به افزایش فسفر، پتاسیم و آهن در برگ‌ها کمک کند. ورمی کمپوست یک نوع کود ارگانیک است که شامل افزودن مواد آلی و مواد غذایی برای گیاهان است(۷۱). ورمی کمپوست، به عنوان یک منبع غنی از فسفر، پتاسیم و آهن، می‌تواند به بهبود حالت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان کمک کند و در نتیجه به افزایش میزان فسفر، پتاسیم و آهن در برگ‌ها منجر شود. بنابراین، استفاده از سرباره آهنی، بیوچار و ورمی کمپوست می‌تواند منجر به افزایش فسفر، پتاسیم و آهن در برگ‌ها شود، به دلیل ویژگی‌های بهبود دهنده خاک و ارگانیک این مواد کوددهی (۷۲).

نتیجه گیری:

نتایج کلی تحقیق حاضر نشان داد که؛ ضمن اینکه تنش خشکی در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی سبب تغییرات معنی‌داری در بسیاری از صفات بیوشیمیایی شده است، همچنین، کاهش معنی‌داری رشد، محتوای فتوسنتزی و آب گیاه در تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد گزارش شد. در آخر، تیمار سرباره آهن به ویژه در ترکیب با ورمی‌کمپوست نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش داشتند. با کاربرد این تیمار می‌توان بخش عظیمی از اثرات منفی تنش در گیاه گشنیز جبران کرد.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان پیشنهاد تجاری سازی این محصول را در ترکیب با کودهای آلی را ارائه داد. همچنین به منظور تعمیم پذیری بیشتر این کود برای سایر محصولات کشاورزی، چند پیشنهاد برای تحقیقات آتی ارائه داده می شود: با توجه به نقش مهم سرباره آهن در ترکیب با ورمی‌کمپوست و بیوچار در تعدیل تنش، اثر سطوح مختلف آن از ۲ تا ۱۰ درصد حجمی در شرایط تنش خشکی بررسی گردد. همچنین با توجه به اثرات ترکیبی مناسب تیمارهای

آزمایش، ترکیب سرباره آهن با سایر کودهای آلی و زیستی مانند کود دامی و ازتوباکتر در گیاهان دارویی بررسی شود.
با توجه به نتایج مهم تیمارهای سرباره آهن در ترکیب با ورمی‌کمپوست و بیوچار در تحقیق حاضر، پیشنهاد می‌گردد در شرایط سایر تنش‌های محیطی دیگر مانند شوری و سرما در گیاه گشنیز بررسی شود.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

جمع آوری داده ها و مطالعات آزمایشگاهی بر روی گیاهان طبق مجوز آزمایشگاهی انجام شد.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط مجتمع فولاد آلیاژی پاسارگاد تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: حسین اصغری شیوایی، سحر ده یوری؛ روش-شناسی و تحلیل داده‌ها: حسین اصغری شیوایی، سحر ده یوری، ابوطالب کاظمی، حمیدر ضا جوادیان ؛ نظارت و نگارش نهایی: سحر ده یوری.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

سپاسگزاری

با قدردانی و تشکر از مجتمع فولاد آلیاژی پاسارگاد که همکاری لازم برای ارسال نمونه سرباره های مورد نیاز تحقیق را فراهم نمودند.

References

1. Camoglu G, Demirel K, Kahriman F, Akcal A, Nar H. 2024. Plant-based monitoring techniques to detect yield and physiological responses in water-stressed pepper. Agricultural Water Management, 291:108628.
2. Zhu K, Zuo Q, Liu F, Qin J, Wang A, Zhang J, et al. 2024. Divergences in leaf CO2 diffusion conductance and water use efficiency of soybean coping with water stress and its interaction with N addition. Environmental and Experimental Botany, 217:105572.
3. Zhang J, et al. 2024. Divergences in leaf CO2 diffusion conductance and water use efficiency of soybean coping with water stress and its interaction with N addition. Environmental and Experimental Botany, 217:105572.
4. Wang C, Zhu K, Bai Y, Li C, Li M, Sun Y. 2024. Response of stomatal conductance to plant water stress in buffalograss seed production: Observation with UAV thermal infrared imagery. Agricultural Water Management, 292:108661.
5. Silva R, Filgueiras L, Santos B, Coelho M, Silva M, Estrada-Bonilla G, et al. 2020. Gluconacetobacter diazotrophicus changes the molecular mechanisms of root development in Oryza sativa L. growing under water stress. International Journal of Molecular Sciences, 21(1):333.
6. Mirzaei M, Ladan Moghadam A, Hakimi L, Danaee E. 2020. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) improve plant growth, antioxidant capacity, and essential oil properties of lemongrass (Cymbopogon citratus) under water stress. Iranian Journal of Plant Physiology, 10(2):3155-66.
7. Yu L, Gao X, Zhao X. 2020. Global synthesis of the impact of droughts on crops' water-use efficiency (WUE): Towards both high WUE and productivity. Agricultural Systems, 177:102723.
8. Bakhtiari M, Mozafari H, Asl KK, Sani B, Mirza M. 2020. Bio-organic and inorganic fertilizers modify leaf nutrients, essential oil properties, and antioxidant capacity in medic savory (Satureja macrantha L.). Journal of Biological Research-Bollettino della Società Italiana di Biologia Sperimentale, 93(1).
9. Feizabadi A, Noormohammadi G, Fatehi F. 2021. Changes in growth, physiology, and fatty acid profile of rapeseed cultivars treated with vermicompost under drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21:200-8.
10. Ali S, Rizwan M, Qayyum MF, Ok YS, Ibrahim M, Riaz M, et al. 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. Environmental Science and Pollution Research, 24:12700- 12.
11. Ali I, Zhao Q, Wu K, Ullah S, Iqbal A, Liang H, et al. 2021. Biochar in combination with nitrogen fertilizer is a technique: To enhance physiological and morphological traits of Rice (Oryza sativa L.) by improving soil

physio-biochemical properties. Journal of Plant Growth Regulation, 1-15.
12. Mansoor S, Kour N, Manhas S, Zahid S, Wani OA, Sharma V, et al. 2021. Biochar as a tool for effective management of drought and heavy metal toxicity. Chemosphere, 271:129458.
13. Herrmann C, Sánchez E, Schultze M, Borja R. 2021. Comparative effect of biochar and activated carbon addition on the mesophilic anaerobic digestion of piggery waste in batch mode. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 56(9):946-52.
14. Mikula K, Skrzypczak D, Izydorczyk G, Baśladyńska S, 2022. Szustakiewicz K, Gorazda K, et al. From hazardous waste to fertilizer: Recovery of high-value metals from smelter slags. Chemosphere, 297:134226.
15. Shu K, Sasaki K. 2022. Occurrence of steel converter slag and its high value-added conversion for environmental restoration in China: A review. Journal of Cleaner Production.133876.
16. Das S, Galgo SJ, Alam MA, Lee JG, Hwang HY, Lee CH, et al. 2020. Recycling of ferrous slag in agriculture: Potentials and challenges. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 52(8):1247-81.
17. Baghaie AH, Aghilizefreei A. 2020. Iron enriched green manure can increase wheat Fe concentration in Pb-polluted soil in the presence of Piriformospora indica (P. indica). Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 29(7):721-43.
18. Gürgan M, Adiloğlu S. 2021. Increasing concentrations of iron fertilizer affect antibacterial activity of basil (Ocimum basilicum L.). Industrial Crops and Products, 170:113768.
19. Shilpa K, Varun K, Lakshmi B. 2010. An alternate method of natural drug production: eliciting secondary metabolite production using plant cell culture. Journal of Plant Sciences, 5(3):222-47
20. Baričevič D, Zupančič A. 2002. The impact of drought stress and/or nitrogen fertilization in some medicinal plants. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 9(2-3):53-64.
21. Ghahremaninejad F, 2016. Nejad Falatoury A. An update on the flora of Iran: Iranian angiosperm orders and families in accordance with APG IV. Nova Biologica Reperta, 3(1):80-107.
22. Reeve, R. 2006. Wildlife Trade, Sanctions and Compliance: Lessons from the CITES Regime. International Affairs (Royal Institute of International Affairs 1944), 82(5), 881–897.
23. Mohammadi H-a, Sajjadi S-E, Noroozi M, Mirhoseini M. 2016. Collection and assessment of traditional medicinal plants used by the indigenous people of Dastena in Iran. Journal of Herbmed Pharmacology, 5(2):54-60.
24. Emadodin I, Reinsch T, Taube F. 2019. Drought and desertification in Iran. Hydrology, 6(3):66.
25. Bahrami M, Zarei AR, Rostami F. 2020. Temporal and spatial assessment of groundwater contamination with nitrate by nitrate pollution index (NPI) and GIS (case study: Fasarud Plain, southern Iran). Environmental geochemistry and health, 42:3119-30.
26. Rahmati O, Samani AN, Mahmoodi N, Mahdavi M. 2015. Assessment of the contribution of N-fertilizers to nitrate pollution of groundwater in western Iran (Case Study: Ghorveh–Dehgelan Aquifer). Water quality, exposure and health, 7:143-51.
27. Mumivand H, Ebrahimi A, Morshedloo MR, Shayganfar A. 2021. Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (Artemisia dracunculus L.). Industrial Crops and Products, 164:113381.
28. Alishah HM, Heidari R, Hassani A, Dizaji AA. 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (Ocimum basilicum).
29. Gholizadeh A, Dehghani H, Khodadadi M. 2019. The effect of different levels of drought stress on some morphological, physiological and phytochemical characteristics of different endemic coriander (Coriandrum sativum L.) genotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12(2):459-70.
30. Romanov D, Shirnin SY, Karlov G, Divashuk M. 2020. Cytogenetic Study of Aegopodium podagraria (Umbelliferae) for Use in

Breeding. Moscow University Biological Sciences Bulletin, 75:65-70.
31. Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., & Di Tommaso, T. 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of Carthamus tinctorius L. and Solanum melongena L. Agricultural water management, 92(1-2), 73-80.
32. Swanston-Flatt S, Day C, Bailey C, Flatt P. 1990. Traditional plant treatments for diabetes. Studies in normal and streptozotocin diabetic mice. Diabetologia, 33:462-4.
33. Chithra V, Leelamma S. 1999. Coriandrum sativum changes the levels of lipid peroxides and activity of antioxidant enzymes in experimental animals.
34. Lovelli S, Perniola M, Ferrara A, Di Tommaso T. 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of Carthamus tinctorius L. and Solanum melongena L. Agricultural water management, 92(1-2):73-80.
35. Ghamarnia H, Daichin S. 2013. Effect of different water stress regimes on different coriander (Coriander sativum L.) parameters in a semi-arid climate. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4(4):822-32.
36. Dyulgerov N, Dyulgerova B. 2018. Morphological and phenological characteristics in accessions of Coriandrum sativum var. microcarpum DC. and Coriandrum sativum var. sativum.
37. Benami A, Ofen A. 1984. Irrigation engineering: sprinkler, trickle, surface irrigation; principles, design and agricultural practices.
38. Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant physiology, 24(1):1.
39. Ritchie JC, McHenry JR. 1990. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: A review. Journal of environmental quality, 19(2):215-33.
40. Heath RL, Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. 1968. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of biochemistry and biophysics, 125(1):189-98.
41. Ben Hamed K, Castagna A, Salem E, Ranieri A, Abdelly C. 2007. Sea fennel (Crithmum maritimum L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation, 53:185-94.
42. Li M, Zhang P, Adeel M, Guo Z, Chetwynd AJ, Ma C, et al. 2021. Physiological impacts of zero valent iron, Fe3O4 and Fe2O3 nanoparticles in rice plants and their potential as Fe fertilizers. Environmental Pollution, 269:116134.
43. Aboelsoud HM, Ahmed AA. 2020. Effect of biochar, vermicompost and polymer on wheat and maize productivity in sandy soils under drought stress. Environment, biodiversity and soil security, 4:85-102.
44. Mohadesi, A., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., & Gholamnezhad, J. 2023. Evaluation of biochar and vermicompost application on some morphophysiological characteristics of Oenothera biennis under drought stress, 33(1).
45. Chiappero J, del Rosario Cappellari L, Alderete LGS, Palermo TB, Banchio E. 2019. Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in Mentha piperita grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. Industrial Crops and Products, 139:111553.
46. Drake JE, Power SA, Duursma RA, Medlyn BE, Aspinwall MJ, Choat B, et al. 2017. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis for four tree species under drought: A comparison of model formulations. Agricultural and Forest Meteorology, 247:454-66.
47. Liu J, Hu T, Fang L, Peng X, Liu F. 2019. CO2 elevation modulates the response of leaf gas exchange to progressive soil drying in tomato plants. Agricultural and Forest Meteorology, 268:181-8.
48. Kausar A, Hussain S, Javed T, Zafar S, Anwar S, Hussain S, et al. 2023. Zinc oxide nanoparticles as potential hallmarks for enhancing drought stress tolerance in wheat

seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 195:341-50.
49. Schmidt J, Garcia M, Brien C, Kalambettu P, Garnett T, Fleury D, et al. 2020. Transcripts of wheat at a target locus on chromosome 6B associated with increased yield, leaf mass and chlorophyll index under combined drought and heat stress. PLoS One, 15(11).
50. Naeemi Golzard M, Ghanbari Jahromi M, Kalateh Jari S. 2023. Effect of biochar and vermicompost on growth parameters and physiological characteristics of feverfew (Tanacetum parthenium L.) under drought stress. Journal of Ornamental Plants, 13(2):109-20.
51. Zeighami Nejad K, Ghasemi M, Shamili M, Damizadeh GR. 2020. Effect of mycorrhiza and vermicompost on drought tolerance of lime seedlings (Citrus aurantifolia cv. Mexican Lime). International Journal of Fruit Science, 20(3):646-57.
52. Darakeh SASS, Weisany W, Tahir NA-R, Schenk PM. 2022. Physiological and biochemical responses of black cumin to vermicompost and plant biostimulants: Arbuscular mycorrhizal and plant growth-promoting rhizobacteria. Industrial Crops and Products, 188:115557.
53. Zadegan K, Monem R, Pazoki A. 2023. Silicon dioxide nanoparticles improved yield, biochemical attributes, and fatty acid profile of cowpea (Vigna unguiculata [L.] Walp) under different irrigation regimes. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 23(3):3197-208.
54. Khosropour E, Weisany W, Tahir NA-r, Hakimi L. 2022. Vermicompost and biochar can alleviate cadmium stress through minimizing its uptake and optimizing biochemical properties in Berberis integerrima bunge. Environmental Science and Pollution Research, 29(12):17476-86.
55. Seyed Sharifi R, Khalilzadeh R, Pirzad A, Anwar S. (2020). Effects of biofertilizers and nano zinc-iron oxide on yield and physicochemical properties of wheat under water deficit conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis.;51(19):2511-24.
56. Xu J, Cai M, Li J, Chen B, Chen Z, Jia W, et al. (2022). Physiological, biochemical and metabolomic mechanisms of mitigation of drought stress-induced tobacco growth inhibition by spermidine. Industrial Crops and Products.;181:114844.
57. Zhang Y, Luan Q, Li Y. 2021. Prediction and utilization of malondialdehyde in exotic pine under drought stress using near-infrared spectroscopy. Frontiers in plant science.;12:735275.
58. Benaffari W, Boutasknit A, Anli M, Ait-El-Mokhtar M, Ait-Rahou Y, Ben-Laouane R, et al. (2022). The native arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of quinoa. Plants, 11(3):393.
59. Ebrahimi M, Souri MK, Mousavi A, Sahebani N. 2021. Biochar and vermicompost improve growth and physiological traits of eggplant (Solanum melongena L.) under deficit irrigation. Chemical and Biolo gical Technologies in Agriculture, 8:1-14.
60. Eliaspour S, Seyed Sharifi R, Shirkhani A, Farzaneh S. 2020. Effects of biofertilizers and iron nano-oxide on maize yield and physiological properties under optimal irrigation and drought stress conditions. Food Science & Nutrition, 8(11):5985-98.
61. Sharifi P, Shorafa M, Mohammadi MH. 2019. Comparison of the effect of cow manure, vermicompost, and azolla on safflower growth in a saline-sodic soil. Communications in soil science and plant analysis, 50(12):1417-24.
62. Agegnehu G, Nelson PN, Bird MI, Van Beek C. 2015. Phosphorus Response and fertilizer recommendations for wheat grown on Nitisols in the central Ethiopian highlands. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46(19):2411-24.
63. Major J, Rondon M, Molina D, Riha SJ, Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and soil, 333:117-28.
64. Pandey V, Patel A, Patra D. 2016. Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in

basil (Ocimum basilicum L.). Ecological Engineering, 90:361-6.
65. Nobile C, Denier J, Houben D. (2020). Linking biochar properties to biomass of basil, lettuce and pansy cultivated in growing media. Scientia Horticulturae.;261:109001.
66. Ostadi M, Paso KG, Rodriguez-Fabia S, Øi LE, Manenti F, Hillestad M. 2020. Process integration of green hydrogen: Decarbonization of chemical industries. Energies, 13(18):4859.
67. Dai Z, Zhang X, Tang C, Muhammad N, Wu J, Brookes PC, et al. 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification-a critical review. Science of the Total Environment, 581:601-11.
68. Rezvani Moghaddam P, Amiri M, Ehyaee H. 2014. Effect of simultaneous application of mycorrhiza with compost, vermicompost and sulfural geranole on some quantitative and qualitative characteristics of sesame (Sesamum indicum L.) in a low input cropping system. Journal of Agroecology, 7(4):563-77.
69. Bhardwaj S, Kapoor D. 2021. Fascinating regulatory mechanism of silicon for alleviating drought stress in plants. Plant Physiology and Biochemistry,166:1044-53.
70. Boshkovski B, Tzerakis C, Doupis G, Zapolska A, Kalaitzidis C, Koubouris G. 2020. Relationships of spectral reflectance with plant tissue mineral elements of common bean (Phaseolus vulgaris L.) under drought and salinity stresses. Communications in Soil Science and Plant Analysis,51(5):675-86.
71. Gao W, Jian S, Li X, Tan H, Li B, Lv Y, et al. 2022. The use of contaminated soil and lithium slag for the production of sustainable lightweight aggregate. Journal of Cleaner Production,348:131361.
72. de Fátima Esteves G, de Souza KRD, Bressanin LA, Andrade PCC, Júnior VV, Dos Reis PE, et al. 2020. Vermicompost improves maize, millet and sorghum growth in iron mine tailings. Journal of environmental management, 264:110468.