Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Investigating the enrichment of chicken manure compost in order to prepare suitable pre-planting fertilizer on the yield of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under drought stress conditions

Zohre Bolhassani [1] | Mohammad Feizian [2]✉ | Leila Sadegh Kasmaei [3] Hassan Etesami [4]

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran. E-mail: z.bolhasani93@yahoo.com
2. Coressponding Aothur, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran. E-mail: feiziam.m@lu.ac.ir
3. Research and Training Center for Agriculture and Natural Resources, Golestan Province, Gorgan, Iran. E-mail: leilasadegh@gmail.com
4. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hassanetesami@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 27, 2024

Revised: May. 23, 2024

Accepted: June. 1, 2024

Published online: Aug. 2024

Keywords:
Biochar,
Essential Oil Yield,
Lemon Balm,
Thiobacillus Thioparus,
Trichoderma Harzianum.

ABSTRACT

This study investigated the impact of different soil amendments on the growth of Lemon balm (Melissa officinalis L.) under water deficit stress conditions. The experiment was conducted using a factorial design with three replicates in 2022 in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Lorestan University. Treatments included three levels of severe water deficit stress, mild water deficit stress, and no water stress, and eleven levels of compost enriched with various amendments (biochar, Trichoderma, Thiobacillus + sulfur, and chemical fertilizer NPK), as well as a control without compost. The results showed that the highest fresh and dry shoot and root, and plant height were observed in the compost enriched with all amendments under no stress conditions. The lowest values of these traits were found in the severe stress and no compost treatment. Ion leakage increased with stress, but the application of treatments reduced ion leakage. Water deficit stress decreased the RWC, with severe stress reducing it by 48.7% compared to the control. Treatments significantly increased the RWC compared to the control. The highest levels of chlorophyll, carotenoids, and the highest essential oil yield were observed in the compost enriched with all amendments under no stress conditions, while the lowest levels of these traits were observed in the control. Overall, compost enriched with organic, biological and chemical treatments can mitigate the adverse effects of water deficit stress on plants and they are beneficial in improving both quantitative and qualitative plant traits. Enrichment of chicken manure compost with the mentioned treatments can be introduced as a suitable pre-planting fertilizer to increase the yield of plants.

Cite this article: Bolhassani, Z., Feizian, M., Sadegh Kasmaei, L., & Etesami, H., (2024) Investigating the enrichment of chicken manure compost in order to prepare suitable pre-planting fertilizer on the yield of lemon balm (Melissa officinalis L.) under drought stress conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (6), 925-943. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375728.669698

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375728.669698

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۵، شماره ۶ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

بررسی غنی‌سازی کمپوست کود مرغی به‌منظور تهیه کود پیش‌کاشت مناسب بر عملکرد بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) در شرایط تنش خشکی

زهره بوالحسنی[۱] | محمد فیضیان[۲]✉ | لیلا صادق کسمائی[۳] | حسن اعتصامی[۴]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. رایانامه: z.bolhasani93@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. رایانامه: feiziam.m@lu.ac.ir

۳. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: leilasadegh@gmail.com

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hassanetesami@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۲

تاریخ انتشار: شهریور ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
بادرنجبویه،
بیوچار،
تریکودرما هارزیانوم،
تیوباسیلوس تیوپاروس،
عملکرد اسانس.

چکیده

این تحقیق به بررسی تأثیر کمپوست غنی‌شده بر رشد بادرنجبویه در شرایط تنش خشکی پرداخت. آزمایش به شیوه فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. تیمارها شامل سه سطح تنش کم آبی شدید، ملایم و بدون تنش و یازده سطح کمپوست غنی‌شده با اصلاح‌کننده‌های مختلف (بیوچار، تریکودرما هارزیانوم، تیوباسیلوس تیوپاروس + گوگرد و کود شیمیایی NPK) و شاهد (بدون کود کمپوست) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه و ارتفاع در گیاه در تیمار کمپوست غنی‌شده با همه اصلاح‌کننده‌ها تحت شرایط بدون تنش مشاهده شد. همچنین، کمترین میزان این صفات در تیمار تنش شدید و عدم کاربرد کود وجود داشت. با افزایش تنش، نشت یونی نیز افزایش یافت ولی کاربرد تیمارها موجب کاهش نشت شد. تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد و اعمال تنش شدید، محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۴۸/۷ درصد کاهش داد. تیمارها سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، بیشترین میزان کلروفیل و کاروتنوئید و بیشترین میزان عملکرد اسانس در تیمار کمپوست غنی‌شده با همه اصلاح کننده‌ها تحت شرایط بدون تنش و کمترین میزان این صفات در تیمار شاهد مشاهده شد. بطور کلی نتایج نشان داد کاربرد کمپوست غنی شده با تیمارهای آلی، زیستی و شیمیایی باعث بهبود صفات کمی و کیفی گیاه در شرایط تنش رطوبتی گردید. بنظر می‌رسد غنی‌سازی کمپوست کود مرغی با تیمارهای ذکر شده می‌تواند به‌عنوان کود پیش‌کاشت مناسب برای افزایش عملکرد گیاهان معرفی شود.

استناد: بوالحسنی؛ زهره، فیضیان؛ محمد، صادق کسمائی؛ لیلا، اعتصامی؛ حسن، (۱۴۰۳) بررسی غنی‌سازی کمپوست کود مرغی به‌منظور تهیه کود پیش‌کاشت مناسب بر عملکرد بادرنجبویه (Melissa officinalis L.) در شرایط تنش خشکی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۶)، ۹۴۳-۹۲۵.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375728.669698

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375728.669698

مقدمه

تنش‌های محیطی از عواملی هستند که از رشد و توسعه مناسب گیاه جلوگیری کرده و عملکرد گیاه را به‌شدت کاهش می‌دهند (Zahedyan *et al*., 2022). تنش خشکی پتانسیل آب برگ را کاهش و منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود و در نتیجه رشد و نمو گیاه را کاهش می‌دهد (Ullah *et al*., 2019). در موارد شدید، تنش خشکی می‌تواند فتوسنتز را متوقف کند و بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تاثیر منفی بگذارد. تنش خشکی باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌گردد (Mahmood *et al*., 2019). همچنین، تنش خشکی روابط آبی و تمام فرآیندهای فیزیولوژیک را که با حلالیت و قابل دسترس بودن عناصرغذایی ارتباط دارند، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Alam, 1999).

کودهای شیمیایی یکی از مهمترین نهاده‌های کشاورزی پیشرفته است و کاربرد آن‌ها در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌عنوان سریعترین رویکرد رفع نیازهای تغذیه‌ای گیاه در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه بسیار متداول و موفقیت‌آمیز بوده است (Al-Taai, 2021). اما افزایش روش‌های غیراصولی و غیراستاندارد حاصلخیزی خاک و مدیریت نادرست آن موجب تشدید مشکلات مربوط به کشت محصولات کشاورزی، ایجاد آلودگی و تخریب محیط‌زیست و خاک شده است (Kumar *et al*., 2020). بنابراین در دهه اخیر، محققین استفاده از تکنولوژی‌های زیستی در کشاورزی را برای افزایش کمیت و کیفیت محصولات با در نظر گرفتن کمبود عنصر و مشکلات محیطی و اقتصادی در زمان استفاده از کودهای شیمیایی جز اولویت‌های خود قرار داده‌اند (Gupta *et al*., 2020). امروزه به منظور کاهش اثرات سوء مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌توان کودهای شیمیایی را با مصرف کودهای آلی و زیستی از جمله کودهای دامی، کمپوست و کود سبز جایگزین کرد (Abd El-Mageed *et al*., 2018). کمپوست‌ها مواد آلی غنی شده‌ای هستند که طی یک فرآیند هوازی از بازیافت مواد ارگانیک به‌دست می‌آیند (Lakhdar *et al*., 2009). کمپوست با تامین مواد آلی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، و زیستی خاک‌های فقیر می‌شود (Almendro-Candel *et al*., 2014). کاربرد کمپوست بر عوامل اقتصادی و محیطی همچون کاهش هزینه انتقال و دفن آن، حمایت از قوانین محیط زیست، کاهش استفاده از کودهای معدنی و بهبود ویژگی‌های خاک‌های زراعی مؤثر است (Hargreaves *et al*., 2008). بیوچار ماده‌ای جامد، سیاه رنگ و سرشار از کربن پایدار است و می‌تواند از طیف وسیعی از زیست‌توده شامل ضایعات محصولات کشاورزی، کود دامی، مواد چوبی و سایر ضایعات آلی (به‌عنوان مثال لجن فاضلاب، در اثر سوزاندن، در شرایط بدون اکسیژن یا با اکسیژن کم، در دماهای متوسط تا زیاد (۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس) تولید شود (Mosa *et al*., 2020). بیوچار به دلیل ویژگی‌های خاص از جمله سطح ویژه بالا و ساختار منافذ غنی، می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خوب برای بهبود رشد محصول با تعدیل شرایط خاک و با حفظ گروه‌های عملکردی خاک مورداستفاده قرار گیرد (Jiang *et al*., 2020). نتایج مطالعات نشان داده افزودن بیوچار به خاک به‌عنوان یک منبع کربن در اراضی کشاورزی می‌تواند در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (Siedt *et al*., 2021)، ویژگی‌های بیوشیمیایی و بیولوژیکی خاک (Karimi *et al*., 2020) و کیفیت و حاصلخیزی خاک موثر باشد (Siedt *et al*., 2021). ارزیابی عملکرد گیاهان در شرایط تنش و استفاده از ریزجانداران مفید خاک به‌عنوان کودهای زیستی جهت کاهش خسارت‌های ناشی از تنش‌های محیطی از راه‌حل‌های نوین در کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود (Masto *et al*., 2006). در دهه‌های اخیر، با افزایش جمعیت دنیا، تقاضای روزافزون مواد غذایی و اهمیت حفظ سلامت محیط زیست سبب شده تا پژوهشگران به استفاده از ریزجانداران برای افزایش محصول در واحد سطح بیش از گذشته توجه کنند. گونه‌های مختلف تریکودرما به‌عنوان جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و ابزار زیستی موفق در زمینه کشاورزی پایدار و مؤثر در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی مطرح می‌باشند. این ریزجانداران به‌دلیل قدرت رقابتی بالای غذایی، استقرار و اسپورزایی فراوان در محیط ریشه اغلب گیاهان و نیز قابلیت القای مقاومت در گیاه، تنظیم هورمون‌های گیاهی و تقویت آنتی‌اکسیدان‌ها برای حذف گونه‌های فعال اکسیژن، به طور موثری از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی محافظت کند، در نتیجه تحمل گیاهان به تنش را بهبود می‌بخشد (Sosa-Hernández *et al*., 2019). علاوه بر این، تریکودرما می‌تواند ناحیه تماس بین ریزوسفر و خاک را افزایش دهد، ترشح آنزیم‌های خارج سلولی مانند فسفاتاز، اوره‌آز، ساکاراز و اسیدهای آلی را برای فعال کردن مواد مغذی موجود در خاک، افزایش جذب مواد مغذی و بهبود عملکرد آن افزایش دهد (Lugo *et al*., 2015).

به منظور بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در شرایط خاک‌های آهکی، پژوهش‌های زیادی در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران در طی سال‌های گذشته انجام گرفته است. استفاده از مواد اسیدی مانند اسید سولفوریک و گوگرد عنصری که pH خاک را حداقل در مقیاس کوچک در اطراف ریشه‌ها بتواند کاهش داده و قابلیت جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن و روی را افزایش دهد، به عنوان یک راه

کار عملی و مؤثر اشاره شده است (بشارتی و همکاران، ۱۳۹۵). بسیاری از بررسی‌ها نشان داده‌اند که اگر گوگرد عنصری در خاک مصرف شود، با فراهم بودن شرایط اکسیداسیون آن، مقادیر قابل توجهی از گوگرد مصرفی در یک فصل زراعی توسط میکروارگانیسم‌های خاکزی (به‌ویژه باکتری‌های جنس تیوباسیلوس) اکسید می‌شود. اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نقاط ریز اطراف ریشه‌ها افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر توسط گیاه و در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاه را سبب می‌شود (Sönmez *et al*., 2016).

گیاهان دارویی بخش ضروری مراقبت‌های بهداشتی هستند و بیشتر مردم در سراسر دنیا از آن‌ها جهت درمان مسائل مربوط به سلامت، تسکین درد بشر بهره می‌برند. تقریبا همه جوامع سطح بالایی از وابستگی نسبت به گیاهان دارویی دارند (Acharya, 2022). بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) گیاهی دارویی و علفی از تیره نعناعیان (Lamiaceae) است (Ribeiro, 2001). منشا اصلی این گیاه در نواحی مدیترانه، بیشتر کشورهای اروپایی و آسیای مرکزی و در ایران در استان‌های تهران، گلستان، آذربایجان، لرستان و کرمانشاه رشد می‌کند (Emam and Talebianpour, 2009). این گیاه علفی و چندساله با گل‌های سفیدرنگ و برگ‌های پهن و تخم‌مرغی شکل است و ارتفاع آن در شرایط معمول بیشتر از ۴۰ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند.کل اندام هوایی بادرنجبویه دارای عطر ویژه (رایحه لیمو) است و کاربردهایی در صنایع داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی دارد. اندام‌های هوایی این گیاه بخصوص برگ‌ها محتوای اسانس هستند (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۳).

با توجه به وجود وقوع خشکسالی و مواجه شدن با کمبود آب در کشور در سال‌های اخیر که مساحت وسیعی از کشور را تحت تأثیر قرار داده است و همچنین استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و به‌دنبال آن آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی، آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، اجرای برنامه‌های عملی برای افزایش بازدهی آب در گیاه و کاهش اثرهای زیانبار کودهای شیمیایی از اولویت‌های مهم پژوهشی است. هدف از اجرای این پژوهش، غنی‌سازی کمپوست کود مرغی با کودهای آلی، زیستی و شیمیایی و تأثیر مثبت کودها در بالا بردن مقاومت گیاه بادرنجبویه به تنش‌های خشکی بوده تا بتوان ضمن افزایش عملکرد کمی و کیفی این محصول، پیامدهای تنش خشکی را نیز تعدیل کرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به‌صورت کشت گلدانی طراحی و اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار در نظر گرفته شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح خشکی D_0: ۱۰۰–۹۵، D_1: ۸۰–۷۵ و: ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و یازده سطح کودی کمپوست کود مرغی غنی‌شده با اصلاح‌کننده‌های مختلف که شامل سطوح F_0: عدم کاربرد کمپوست، F_1: کمپوست کود مرغی، F_2 : کمپوست حاوی ۱۰ درصد وزنی بیوچارکود مرغی، F_3: کمپوست حاوی ۰/۵ درصد وزنی قارچ تریکودرما، F_4: کمپوست حاوی ۰/۵ درصد وزنی تیوباسیلوس و ۲/۵ درصد وزنی گوگرد، F_5: کمپوست + کود شیمیایی NPK که کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب از منابع کودی اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بود و از هر منبع کودی به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد، F_6: کمپوست حاوی ۱۰ درصد وزنی بیوچار + ۰/۵ درصد وزنی قارچ تریکودرما، F_7: کمپوست حاوی ۱۰ درصد وزنی بیوچار + ۰/۵ درصد وزنی تیوباسیلوس + ۲/۵ درصد وزنی گوگرد، F_8: کمپوست حاوی ۱۰ درصد وزنی بیوچار + کود شیمیایی NPK، F_9: کمپوست حاوی ۱۰ درصد وزنی بیوچار + ۰/۵ درصد وزنی قارچ تریکودرما + ۰/۵ درصد وزنی تیوباسیلوس + ۲/۵ درصد وزنی گوگرد و F_{10}: کمپوست حاوی ۱۰ درصد وزنی بیوچار + ۰/۵ درصد وزنی قارچ تریکودرما + ۰/۵ درصد وزنی تیوباسیلوس + ۲/۵ درصد وزنی گوگرد + کود شیمیایی NPK بودند. برای انجام پژوهش، مقدار کافی خاک از افق سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) در ایستگاه زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان برداشته و در معرض هوا خشک شد. نمونه‌های خشک شده از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه با استفاده از روش‌های استاندارد معمول اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). مقدار کافی کود مرغی از مجتمع‌های تولید و پرورش مرغ گوشتی شهرستان خرم آباد تهیه شد. کمپوست طی مرحله هوازی تهیه شد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۷). برای تهیه بیوچار کود مرغی با استفاده از کوره الکتریکی دما با روند افزایش ۱۵ درجه سلسیوس در دقیقه افزایش یافت و به مدت چهار ساعت در دمای ثابت ۳۰۰ درجه سلسیوس و در شرایط عدم وجود اکسیژن آزاد، حرارت داده شد. دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس به عنوان دمای مناسب با توجه به نتایج گزارش سایر پژوهشگران (Zolfi-Bavariani *et al*., 2016) انتخاب گردید. برخی از ویژگی‌های کمپوست و بیوچار در جدول ۲ ارائه شده است. قارچ تریکودرما هارزیانوم (۱×۱۰^{۷} میلی‌لیتر/ اسپور) از گروه گیاهپزشکی

دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان و باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Fe ($mg.kg^{-1}$)	Mn ($mg.kg^{-1}$)	Zn ($mg.kg^{-1}$)	Cu ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	N %	OC %	EC $dS.m^{-1}$	pH	بافت
۵/۱	۷/۱۷	۱/۰۳	۱/۴۶	۲۵۰	۱۷/۵	۰/۰۸	۰/۸	۰/۶۲	۷/۶	Clay Loam

جدول ۲. برخی ویژگی‌های کمپوست و بیوچار

Fe ($mg.kg^{-1}$)	Mn ($mg.kg^{-1}$)	Zn ($mg.kg^{-1}$)	Cu ($mg.kg^{-1}$)	K (%)	P (%)	C/N	N %	OC %	EC $dS.m^{-1}$	pH	
۱۶۸۸	۴۸۷	۳۴۰	۳۴/۵	۲/۸	۲/۳	۱۰/۹۳	۳/۱	۳۳/۸	۵/۸	۷/۲	کمپوست
۱۹۱۵	۵۸۸	۴۳۵	۴۷/۸	۳/۱	۲/۸	۱۲/۹۱	۳/۶	۴۶/۵	۷/۵۲	۷/۱۲	بیوچار

در ابتدا به‌منظور جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر غذایی و بر اساس نتایج آزمون خاک، عناصر نیتروژن، روی، مس و آهن به ترتیب به مقدار ۱۵۰، ۱، ۲ و ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و از منابع اوره، سولفات روی، سولفات مس و سکوسترین آهن به‌صورت محلول به خاک اضافه شد. کود نیتروژن به‌صورت دو قسط (۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم قبل کشت و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در طول فصل رشد) به خاک اضافه شد. برای اجرای آزمایش تیمارهای اصلاح‌کننده کودی هر کدام به مقدار ۰/۵ درصد وزنی (معادل ۲۰ تن در هکتار) به خاک گلدان‌های چهار کیلوگرمی (گلدان‌ها از جنس پلاستیکی با وزن خالی هر گلدان ۱۰ ±۲۱۰ گرم با قطر ۱۵/۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر) اضافه شدند و کاملا مخلوط گردید. خاک‌های تیمار شده جهت انکوباسیون و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و در رطوبت ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و به صورت کوتاه‌مدت (۲۰ روز) نگهداری شدند. در مدت انکوباسیون، هر دو روز یکبار، تیمارهای آزمایشی وزن شدند و کاهش وزن حاصل از تبخیر آب با افزودن آب جبران گردید. بعد از گذشت سه هفته، در هر گلدان یک نشا بادرنجبویه با خصوصیات یکسان مورفولوژیکی مانند ارتفاع و تعداد برگ و سلامت ظاهری کشت شد و قبل از اعمال تنش آبی، رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. در طول فصل رشد (پس از استقرار کامل گیاه و در زمان شروع تنش)، آبیاری به صورت روزانه با رساندن رطوبت به مقادیر ذکر شده، انجام شد. در مرحله ۶ برگی تنش خشکی اعمال گردید. برای سنجش ظرفیت زراعی و محاسبه مقدار آب لازم برای آبیاری گلدان‌های تحت تنش خشکی، ابتدا نمونه‌ای از خاک مورد کشت با جرم مشخص را در آون ۱۲۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار داده و با ترازو ، وزن خشک خاک به دست آمد. نمونه خاک را در گلدانی با وزن مشخص و دارای زهکش مناسب ریخته و درحد اشباع آبیاری شد. ۴۸ ساعت بعد که آب اضافه از خاک خارج شده بود ، خاک را وزن کرده و مقدار ظرفیت زراعی خاک به دست آمد و بر اساس محاسبات، نحوه اعمال تنش خشکی مشخص شد. بدین صورت که هر روز وزن تمام گلدان‌ها با ترازوی دیجیتال بر حسب کیلوگرم اندازه‌گیری شد و با مقایسه وزن اولیه هر گلدان (وزن روز آبیاری) با وزن روزانه آن مقدار رطوبت موجود محاسبه گردید و جهت جبران کمبود آب خاک، آبیاری (براساس تیمارها) انجام شد. عملیات داشت مانند مبارزه با آفات و بیماری‌ها به صورت روزمره انجام گردید. در زمان دو هفته قبل برداشت، نمونه‌برداری از گیاه جهت سنجش برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی انجام شد. بدین صورت که تعدادی برگ از هر تیمار با نیتروژن مایع فریز شده و تا زمان استخراج در فریزر منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در پایان دوره رشد پس از برداشت، ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه از ترازوی دیجیتالی استفاده شد.

جهت تعیین میزان نشت الکترولیت سلول‌های برگ، دیسک‌های یک اندازه جدا و با آب مقطر شستشو شد، سپس نمونه‌ها در لوله‌های شیشه‌ای حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی محلول با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی تعیین شد (EC_1). سپس ظروف حاوی نمونـه در دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت (به مدت ۲۰ دقیقه) و پس از کاهش دما، مجددا هدایت الکتریکی آن اندازه گیری شد (EC_2). درصد نشت الکترولیت از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Luttse *et al*., 1996):

$$EC\ (\%) = (EC1/\ EC2) \times 100$$

رابطه ۱)

جهت اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ، از برگ‌های جوان توسعه یافته، نمونه‌ای انتخاب و بعد از اندازه‌گیری وزن تر (FW)، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شد، سپس وزن تورژسانس (TW) آن اندازه‌گیری و جهت اندازه‌گیری وزن خشک (DW)، نمونه به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۸۰ درجه قرار داده شد، در نهایت محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه (۲) محاسبه گردید

(Ritchie *et al*., 1990):

رابطه ۲) RWC (%) = (FW- DW/ TW- DW)

استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر و به‌صورت وزنی از ۱۰۰ گرم ماده خشک آسیاب شده، انجام شد. به‌منظور محاسبه درصد اسانس (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2021) و عملکرد اسانس (Tohidi *et al*., 2017) از روابط (۳) و (۴) استفاده شد:

رابطه ۳) [وزن خشک سرشاخه /وزن اسانس استخراج شده (میلی‌گرم)]×۱۰۰=درصد اسانس

رابطه ۴) وزن خشک برگ در گلدان× (درصد اسانس)= عملکرد اسانس

کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، به ترتیب از طریق روابط (۵)، (۶)، (۷) و (۸) محاسبه شدند (Lichtenthaler, 1987):

رابطه ۵) $C_A = 11/24 \times A_{662} - 2/04 \times A_{645}$

رابطه ۶) $C_B = 20/13 \times A_{645} - 4/19 \times A_{662}$

رابطه ۷) $C_{(A+B)} = 7/05 \times A_{662} + 18/9 \times A_{645}$

رابطه ۸) $C_{(X+C)} = 1000 \times (A_{470} - 1/90\ C_A - 63/14\ C_B) / 214$

پس از به‌دست آوردن نتایج گلخانه‌ای و آزمایشگاهی، تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد و میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون دانکن و در سطح آماری پنج درصد با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج

وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی و تیمار کودی و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر اندام هوایی و ارتفاع گیاه به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار گردید. همچنین اثرات اصلی و متقابل تنش خشکی و اصلاح‌کننده کودی بر وزن خشک اندام هوایی و همچنین وزن تر و خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول۳. تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و کود بر صفات بادرنجبویه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع	نشت یونی	محتوای نسبی آب برگ
تنش خشکی	۲	۵۳۶۶/۵**	۳۷۷/۸۰**	۳۹۹۹/۳۱**	۳۷۰/۹۹**	۱۵۶/۱۳**	۷۷/۲۹**	۳۰۲/۹**
اصلاح‌کننده کودی	۱۰	۹۲۲۳/۰۸**	۲۰۳۷/۶**	۳۴۶۷/۱۴**	۸۷۷/۸۶**	۳۱۱/۶۲**	۱۷۳/۵**	۱۱۴/۹**
تنش خشکی*اصلاح‌کننده کودی	۲۰	۱۰۳/۹۰*	۶/۶۸**	۴۸/۷۶**	۱۲/۷۴۰**	۱/۸۱۸*	۱/۱۳۶ns	۳/۷۵۳ns
خطا	۶۶	۵۸/۵۶	۲/۸۱۰	۲۰/۲۴	۲/۶۷۵	۱/۱۰۷	۱/۱۷۳	۲/۷۹۵
ضریب تغییرات	–	۵/۶	۴/۰۲	۴/۷	۴/۷	۴/۱	۲/۰۷	۲/۱

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، با افزایش شدت تنش خشکی وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه کاهش یافت. کاربرد تیمارهای کودی در همه سطوح تنش خشکی سبب بهبود وزن تر و خشک اندام هوایی شدند. به‌طوری‌که در هر سه سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵، ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه، بیشترین تاثیر مربوط به تیمار کودی F_{10} بود که میزان وزن تر اندام هوایی گیاه را در مقایسه با سطح عدم کاربرد کود در همین سطوح تنش به‌ترتیب به‌میزان ۲/۱۸، ۲/۲۸ و ۲/۲۱ برابر افزایش داد. بالاترین میزان وزن تر اندام هوایی در گیاه بادرنجبویه در شرایط عدم تنش خشکی و سطح کودی F_{10} به میزان ۲۰۲ گرم در گلدان مشاهده شد که از نظر آماری با سطح کودی F_9 در شرایط عدم تنش و تنش ۸۰–۷۵ درصد ظرفیت مزرعه تفاوت معنی‌داری نداشت. در حالیکه کمترین وزن تر اندام هوایی در سطح تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کاربرد کود به میزان ۸۰/۶۳ گرم در گلدان وجود داشت که از نظر آماری با برخی تیمارها

تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در رابطه با وزن خشک اندام هوایی می‌توان بیان کرد که در هر سه سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵، ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه، بیشترین تاثیر مربوط به تیمار کودی F_{10} بود و میزان وزن خشک اندام هوایی گیاه را در مقایسه با سطح عدم کاربرد کود در همین سطوح رطوبتی به‌ترتیب به‌میزان ۲/۷۶، ۲/۷۲ و ۲/۷۱ برابر افزایش داد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط عدم تنش و سطح کودی F_{10} به میزان ۷۶/۶ گرم در گلدان مشاهده شد در حالیکه کمترین میزان این صفت در تیمار تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم استفاده از تیمار کودی به میزان ۲۴/۷۳ گرم در گلدان مشاهده شد که با برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

جدول ٤. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و تیمار اصلاح‌کننده کودی بر صفات مورفولوژیکی بادرنجبویه

تیمار	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع
	g.pot^{-1}	g.pot^{-1}	g.pot^{-1}	g.pot^{-1}	cm
F_0D_0	۹۲/۴۶mno	۲۷/۷۰no	۵۷/۲۶o	۲۱/۸۰pq	۲۰/۱۰nop
F_0D_1	۸۵/۶۶no	۳۶/۳۰opq	۴۸/۵۰p	۱۹/۵۰qr	۱۸/۶۶pq
F_0D_2	۸۰/۶۳o	۲۴/۷۳q	۴۲/۶۶p	۱۷/۴۳r	۱۷q
F_1D_0	۱۰۰/۶m	۲۸/۷۶no	۸۰/۳۳l	۲۳/۹۰op	۲۳/۴۶i-l
F_1D_1	۱۰۱/۹lm	۲۷/۶۰nop	۶۶/۹۰n	۲۲pq	۲۰/۸۳mno
F_1D_2	۹۲/۳۰mno	۲۴/۹۰pq	۵۸/۲۶o	۲۰/۱۶q	۱۹/۵۶op
F_2D_0	۱۳۰/۸i	۳۲/۲۳l	۹۶/۱۶ijk	۲۶/۶۰mn	۲۲/۴۶klm
F_2D_1	۱۲۷ij	۳۲/۳۳lm	۹۰/۶۶k	۲۵/۸۳mno	۱۹/۵۰op
F_2D_2	۹۷/۹۶mn	۲۷/۳۶opq	۷۲/۹۶mn	۲۳/۱۶p	۱۹/۱۳op
F_3D_0	۱۳۳/۴hi	۳۴/۳۰kl	۱۰۶/۲def	۳۳/۸۳k	۲۳/۴۶i-l
F_3D_1	۱۲۵/۹ijk	۳۳/۱۳l	۱۰۶/۶fgh	۳۰/۴۰l	۱۹/۵۰op
F_3D_2	۹۸/۹۶m	۲۷/۴۶op	۸۰/۱۳lm	۲۴/۰۶nop	۱۸/۷۶p
F_4D_0	۱۳۷/۹hi	۳۷/۳۳ij	۱۱۲/۵c-f	۳۴/۹۰k	۲۴h-k
F_4D_1	۱۳۱/۲i	۳۴/۰۶kl	۹۸/۶۶ij	۳۰/۴۰l	۲۱/۴۰mn
F_4D_2	۱۱۴/۲kl	۳۳/۶۶l	۹۰/۶۶k	۲۶/۹۶m	۱۹/۲۳op
F_5D_0	۱۳۶/۷hi	۳۶/۶۶ijk	۱۱۴/۳b-e	۴۱/۴۳f-i	۲۵hi
F_5D_1	۱۲۹/۶i	۳۴/۰۶kl	۹۹/۶۶hij	۳۹/۶۰hij	۲۳/۱۳jkl
F_5D_2	۱۱۵/۷jk	۳۰/۲۶mn	۹۵/۶۹ijk	۲۵/۹۶mno	۲۰/۷۶mno
F_6D_0	۱۵۱/۶fg	۴۲/۶۰h	۱۱۶/۱a-d	۴۰/۲۳g-i	۲۹/۵۶e
F_6D_1	۱۴۳/۹gh	۳۸/۹۰i	۱۰۱/۸ghi	۳۸/۱۳j	۲۵/۵۶gh
F_6D_2	۱۳۲/۶hi	۳۴/۶۶jkl	۹۴/۳۳jk	۱۱۲/۲c-f	۲۲/۰۶lm
F_7D_0	۱۶۷/۶de	۵۸/۶۰e	۱۱۲/۲c-f	۴۴/۶۰cde	۲۹/۹۰e
F_7D_1	۱۵۷/۹ef	۵۱/۶۰f	۱۰۷/۹efg	۴۲/۴۰efg	۲۶/۶۶fg
F_7D_2	۱۳۲hi	۴۸g	۹۲/۸۳jk	۳۸/۹۰ij	۲۴/۵۰hij
F_8D_0	۱۵۵/۹efg	۵۱/۱۳f	۱۱۴/۹b-e	۴۷/۲۳bc	۲۹/۵۰e
F_8D_1	۱۵۷/۸ef	۴۹/۲۶fg	۱۱۶/۶abc	۴۶/۱۶bcd	۲۷/۶f
F_8D_2	۱۳۰/۲i	۴۳/۸۶h	۹۳/۱۶jk	۴۲/۶۶efg	۲۵/۰۶ghi
F_9D_0	۱۹۶ab	۶۶/۳۳c	۱۲۱/۲ab	۴۸/۶۰ab	۳۶b
F_9D_1	۱۹۴/۷ab	۶۲/۲۰d	۱۱۴/۹b-e	۴۴/۸۶acd	۳۵/۱۶bc
F_9D_2	۱۶۳/۳ef	۵۶/۴۰e	۹۷/۲۰ijk	۴۱/۶۳fgh	۳۳/۴۰d
$F_{10}D_0$	۲۰۲a	۷۶/۶۰a	۱۲۳a	۵۰/۵۰a	۳۸a
$F_{10}D_1$	۱۸۶/۳bc	۷۱/۷۶b	۱۱۳/۵c-f	۴۶/۱۶bcd	۳۶/۵۶ab
$F_{10}D_2$	۱۷۸/۵cd	۶۷/۷۰c	۹۹/۵۶hij	۴۳/۷۶def	۳۴/۲۳cd

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

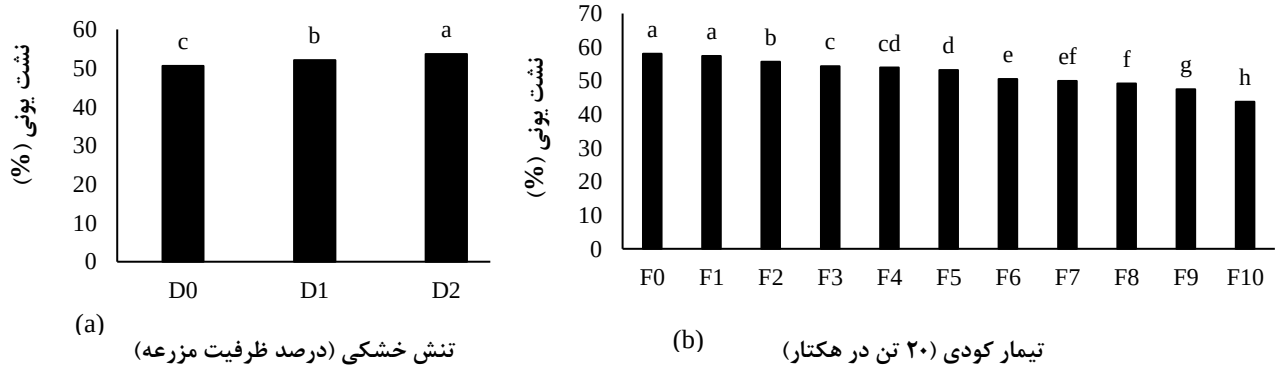
در نتایج مقایسه میانگین تنش و کود بر وزن تر و خشک ریشه مشاهده شد که با افزایش شدت تنش خشکی وزن تر و خشک ریشه گیاه کاهش یافته است، اما کاربرد تیمارهای کودی در همه سطوح تنش سبب بهبود وزن تر و خشک ریشه شد. سطح کودی F_{10} بیشترین

تاثیر مثبت را در همه سطوح تنش بر میزان وزن تر و خشک ریشه داشت. به‌طوری‌که وزن تر ریشه در هر سه سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵، ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه به‌ترتیب افزایش ۲/۱۱، ۲/۴۰ و ۲/۳۳ برابری در مقایسه با سطح عدم کاربرد کود در همین سطوح رطوبتی داشت. همچنین وزن خشک اندام هوایی نیز در هر سه سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵، ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه به‌ترتیب افزایش ۲/۳۱، ۲/۳۶ و ۲/۵۱ برابری در مقایسه با سطح عدم کاربرد کود در همین سطوح رطوبتی داشت. بیشترین وزن تر و خشک ریشه در سطح عدم تنش (۱۰۰–۹۵ درصد ظرفیت مزرعه) و کاربرد تیمار کودی F_{10} (اصلاح‌کننده آلی، زیستی و شیمیایی) مشاهده شد که به‌ترتیب به میزان ۱۲۳ و ۵۰/۵ گرم در گلدان بودند. هر چند از نظر آماری با سطح کودی F_9 (اصلاح‌کننده آلی و زیستی) در همین سطح رطوبتی (۱۰۰–۹۵ درصد ظرفیت مزرعه) تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۴). کمترین میزان وزن تر و خشک ریشه در سطح تنش ۵۵–۶۰ درصد ظرفیت مزرعه و عدم استفاده از تیمار کودی مشاهده شد که به‌ترتیب به میزان ۴۲/۶۶ و ۱۷/۴۳ گرم در گلدان بودند. هر چند با سطح تنش ۸۰–۷۵ درصد ظرفیت مزرعه و در همین سطح کودی، اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴).

با توجه به جدول مقایسه میانگین، با افزایش سطح تنش خشکی، از میزان ارتفاع گیاه کاسته شد. اما کاربرد تیمارهای اصلاح‌کننده کودی توانست اثر منفی تنش خشکی بر ارتفاع گیاه را بهبود بخشد (جدول ۴). به‌طوری‌که در هر سه سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵، ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه، بیشترین تاثیر مربوط به تیمار کودی F_{10} بود. در شرایط تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه، بیشترین میزان ارتفاع گیاه در سطح کودی F_{10} وجود داشت که در مقایسه با همین سطح تنش و عدم کاربرد کود، میزان ارتفاع، ۲ برابر افزایش پیدا کرد. برهمکنش تنش خشکی و تیمار اصلاح‌کننده نشان داد بیشترین ارتفاع گیاه بادرنجبویه در سطح عدم تنش خشکی و سطح کودی F_{10} به میزان ۳۸ سانتی‌متر مشاهده شد و کمترین میزان ارتفاع گیاه در سطح تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کاربرد کود به میزان ۱۷ سانتی‌متر در مشاهده شد (جدول ۴).

نشت یونی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثرات اصلی تنش خشکی و تیمار اصلاح‌کننده کودی بر میزان نشت یونی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. در حالیکه اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد. با اعمال تنش خشکی، نشت یونی افزایش یافت. اعمال تنش ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه، نشت یونی را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب به میزان ۳ و ۴/۰۶ درصد افزایش داد (شکل ۱). تیمار اصلاح‌کننده کودی سبب کاهش میزان نشت یونی در گیاه گردید. به‌طوریکه سطح کودی F_{10}، نشت یونی را نسبت به تیمار شاهد ۲۴/۷۸ درصد کاهش معنی‌دار داد.

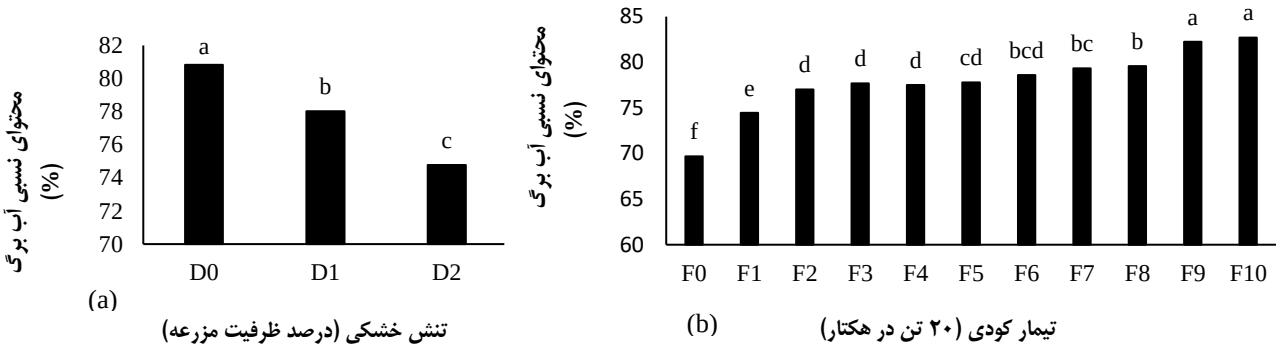


شکل ۱. مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی (a) و کود (b) بر نشت یونی (درصد)

محتوای نسبی آب

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی و تیمار اصلاح‌کننده کودی بر میزان محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. در حالیکه اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد. با اعمال تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. اعمال تنش ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه، محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب به میزان ۳/۴۳ و ۷/۴۸ درصد کاهش معنی‌دار داد (شکل ۲). کاربرد اصلاح‌کننده (کمپوست غنی شده) سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد. به‌طوریکه بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در تیمار کودی F_{10} وجود داشت که نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) ۱۸/۶۵

درصد محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. با توجه به شکل، از نظر آماری بین سطح F_{10} (اصلاح‌کننده آلی، زیستی و شیمیایی) با سطح F_9 (اصلاح‌کننده آلی و زیستی) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی (a) و کود (b) بر محتوای نسبی آب برگ (درصد)

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی و تیمار اصلاح‌کننده کودی بر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین اثرات متقابل تنش و اصلاح‌کننده بر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح یک درصد و بر کلروفیل کل در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵).

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و کود بر صفات بادرنجبویه

		میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تنش خشکی	۲	۱۰/۶۹۶**	۱/۰۰۸**	۱۸/۱۰۳**	۱/۳۱۸۱۰**	۰/۰۲۳۵۸۷**	۰/۰۳۳۸۵۴**
اصلاح‌کننده کودی	۱۰	۷/۴۳۷**	۰/۳۴۹۶**	۱۱/۰۰۶**	۰/۹۷۹۱۶**	۰/۰۰۷۳۰۷**	۰/۰۰۰۰۹۹*
تنش خشکی*اصلاح‌کننده کودی	۲۰	۰/۱۴۸۳**	۰/۰۲۷۰**	۰/۱۶۹۲*	۰/۰۴۸۷۱**	۰/۰۰۰۱۹۶*	۰/۰۰۰۰۵۶*
خطا	۶۶	۰/۰۶۷۵	۰/۰۰۵۱	۰/۰۸۵۱	۰/۰۱۵۸۸	۰/۰۰۰۱۱۲	۰/۰۰۰۰۳۱
ضریب تغییرات	–	۳/۲۹	۱/۳۷	۲/۲۳	۵/۱۳	۴/۷۶	۵/۶۲

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد.

با اعمال تنش خشکی، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش پیدا کرد. در حالیکه کاربرد اصلاح‌کننده‌ها، سبب بهبود این صفات در همه سطوح تنش گردید. به‌طوری‌که در هر سه سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵، ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه، بیشترین تاثیر مربوط به تیمار کودی F_{10} بود. در شرایط تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و در سطح کودی F_{10} ، میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در مقایسه با همین سطح تنش و عدم کاربرد کود، به‌ترتیب ۵۸، ۳۱/۶۹، ۴۶/۷۹ و ۷۵/۵۲ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۶). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶)، بیشترین محتوی کلروفیل a، در سطح عدم تنش خشکی (۱۰۰–۹۵ درصد ظرفیت مزرعه) و سطح کودی F_{10} (اصلاح‌کننده آلی، زیستی و شیمیایی) به مقدار ۱۰/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد (F_0D_0)، ۵۲/۴۱ درصد افزایش معنی‌دار داشت. هر چند با سطح کودی F_9 (اصلاح‌کننده آلی و زیستی) در این سطح رطوبتی، تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین محتوای این صفت در سطح تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کاربرد تیمار کودی به مقدار ۵/۶۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد که با سطح کودی F_2 در سطح تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین محتوی کلروفیل b در سطح عدم تنش خشکی و سطح کودی F_{10} به مقدار ۵/۹۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد، که نسبت به تیمار شاهد (F_0D_0)، ۲۳/۹۸ درصد افزایش معنی‌دار داشت. در حالیکه کمترین محتوی این صفت در سطح تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کاربرد تیمار کودی به مقدار ۴/۲۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۶). بیشترین محتوی کلروفیل کل در سطح عدم تنش خشکی (۱۰۰–۹۵ درصد ظرفیت مزرعه) و سطح کودی F_{10} (اصلاح‌کننده آلی، زیستی و شیمیایی) به مقدار۱۶/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد، که نسبت به تیمار شاهد (F_0D_0)، ۴۰/۴۸ درصد افزایش معنی‌دار داشت. هر چند

با سطح کودی F_9 (اصلاح‌کننده آلی و زیستی) در این سطح رطوبتی، تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین محتوی کلروفیل کل در سطح تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کاربرد تیمار کودی به مقدار ۹/۹۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۶). در بین تیمارها، بیشترین میزان کاروتنوئید در سطح عدم تنش و سطح کودی F_{10} به میزان ۳/۱۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ وجود داشت که نسبت به تیمار شاهد (F_0D_0)، ۷۷/۵۴ درصد افزایش معنی‌دار داشت. که این تیمار با سطح کودی F_9 و F_8 در سطح عدم تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان کاروتنوئید نیز در سطح تنش ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کاربرد تیمار کودی (۱/۴۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) وجود داشت که هر چند با سطح کودی F_9 (اصلاح‌کننده آلی و زیستی) در این سطح رطوبتی، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

جدول ٦. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و تیمار اصلاح‌کننده کودی بر صفات بادرنجبویه

تیمار	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	درصد اسانس	عملکرد اسانس
	(mg.g^{-1} FW)	(mg.g^{-1} FW)	(mg.g^{-1} FW)	(mg.g^{-1} FW)	%	(g.pot^{-1})
F_0D_0	۶/۶۵۳ op	۴/۸۰۸p	۱۱/۴۶qrs	۱/۷۵۰ k	۰/۱۵۲s	۰/۰۴۲o
F_0D_1	۶/۲۹۸ pq	۴/۷۰۷p	۱۱st	۱/۶۸۰ kl	۰/۱۶۳rs	۰/۰۴۳o
F_0D_2	۵/۶۹۶ r	۴/۲۵۰ q	۹/۹۴۶ u	۱/۴۶۷m	۰/۱۷۲pqr	۰/۰۴۲o
F_1D_0	۶/۸۷۳no	۴/۷۹۰ i-l	۱۱/۶۶qr	۲/۲۵۶ ij	۰/۱۷۲qr	۰/۰۴۹no
F_1D_1	۶/۴۸۶ op	۴/۷۰۹ l-o	۱۱/۱۹rs	۲/۰۶۵ j	۰/۱۸۱n-q	۰/۰۵1no
F_1D_2	۵/۹۷۳ qr	۴/۷۱۲o	۱۰/۶۸t	۱/۴۹۱ lm	۰/۱۹۸k-n	۰/۰۴۹no
F_2D_0	۷/۵۳۱ j-m	۵/۱۷۶ i-l	۱۲/۷۰ k-o	۲/۳۴۳ hi	۰/۱۹۷o-r	۰/۰۵۹klm
F_2D_1	۷/۴۹۸j-m	۵/۰۷۴ l-o	۱۲/۵۷m-p	۲/۳۴۷ hi	۰/۱۹۵l-o	۰/۰۶۲j-m
F_2D_2	۷/۲۲۹ mn	۴/۹۹۰ o	۱۲/۲۱p	۲/۳۴۶ hi	۰/۱۹۹j-m	۰/۰۵۴mn
F_3D_0	۷/۸۸۰g-j	۵/۲۰۲ h-k	۱۳/۰۸jkl	۲/۴۴۸ ghi	۰/۱۷۷pqr	۰/۰۶۰klm
F_3D_1	۷/۶۷۴ i-l	۵/۰۳۶mno	۱۲/۷۱k-o	۲/۴۴۹ghi	۰/۱۸۸m-q	۰/۰۶۲j-m
F_3D_2	۷/۴۳۰klm	۵/۰۷۲ l-o	۱۲/۵۰nop	۲/۳۸۹ ghi	۰/۲۰۷h-l	۰/۰۵۶lmn
F_4D_0	۸/۱۱۴ fgh	۵/۱۴۹ j-m	۱۳/۲۶hij	۲/۶۹۹cde	۰/۱۷۶pqr	۰/۰۶۵jkl
F_4D_1	۷/۵۰۹ j-m	۵/۰۲۹ no	۱۲/۵۳m-p	۲/۵۴۳ d-h	۰/۱۸۹m-p	۰/۰۶۴jkl
F_4D_2	۶/۶۰۰ op	۵/۱۰۷ k-n	۱۱/۷۰q	۲/۴۰۹ ghi	۰/۲۰۳i-m	۰/۰۶۸ijk
F_5D_0	۷/۹۹۰ ghi	۵/۲۳۵ g-j	۱۳/۲۲ij	۲/۷۴۴ cd	۰/۱۸۷m-q	۰/۰۶۸ijk
F_5D_1	۷/۷۸۸ h-k	۵/۱۴۴ j-n	۱۲/۹۳j-n	۲/۵۵۲d-g	۰/۲۰۷h-l	۰/۰۷۰ij
F_5D_2	۷/۳۰۰ lm	۴/۹۵۸ o	۱۲/۲۵ op	۲/۴۰۶ ghi	۰/۲۱۶ ghi	۰/۰۶۵jkl
F_6D_0	۸/۴۳۰ef	۵/۳۳۳fg	۱۳/۷۶fg	۲/۷۰۱ cde	۰/۲۰۴ i-m	۰/۰۸۷g
F_6D_1	۷/۶۸۰ i-l	۵/۳۰۰fgh	۱۲/۹۸ j-m	۲/۴۵۸ ghi	۰/۲۱۳g-k	۰/۰۸۳gh
F_6D_2	۷/۳۳۷ lm	۵/۲۷۸f-i	۱۲/۶۱l-p	۲/۳۹۶ ghi	۰/۲۲۲fgh	۰/۰۷۷hi
F_7D_0	۸/۴۳۱ ef	۵/۳۰۶fgh	۱۳/۷۳fgh	۲/۸۰۸ bc	۰/۲۲۳fgh	۰/۱۳۰d
F_7D_1	۸/۲۹۳ fg	۵/۳۰۷ fgh	۱۳/۶۰ghi	۲/۵۲۹e-h	۰/۲۳۶f	۰/۱۲۱e
F_7D_2	۷/۶۶۶ i-l	۵/۲۷۳ f-i	۱۲/۹۴j-n	۲/۴۸۰ fgh	۰/۲۵۵e	۰/۱۲۲de
F_8D_0	۹/۵۴۶ b	۵/۴۵۸e	۱۵c	۳/۰۴۱a	۰/۲۱۷ghi	۰/۱۱۰f
F_8D_1	۸/۷۴۰ de	۵/۳۸۰ ef	۱۴/۱۲ef	۲/۵۱۵e-h	۰/۲۲۵fg	۰/۱۱۰f
F_8D_2	۷/۸۷۱ g-j	۵/۲۷۷ f-i	۱۳/۱۴ijk	۲/۴۱۰ghi	۰/۲۸۰d	۰/۱۲۲de
F_9D_0	۱۰/۰۴ a	۵/۷۰۷ bc	۱۵/۷۵ab	۳/۰۴۴ a	۰/۲۷۸6d	۰/۱۹۰b
F_9D_1	۹/۳۶۶ bc	۵/۵۸۴ d	۱۴/۹۵c	۲/۷۸۷bc	۰/۳۱۵bc	۰/۱۹۵b
F_9D_2	۹/۱۱۴ cd	۵/۳۴۶ efg	۱۴/۴۶de	۲/۶۸۱ c-f	۰/۳۱۸bc	۰/۱۷۹c
$F_{10}D_0$	۱۰/۱۴ a	۵/۹۶۱a	۱۶/۱۰a	۲/۱۰۷a	۰/۳۰۵c	۰/۲۳۳a
$F_{10}D_1$	۹/۷۸۸ ab	۵/۷۵۲b	۱۵/۵۴b	۲/۹۵۴ab	۰/۳۲۵ab	۰/۲۳۳a
$F_{10}D_2$	۹/۰۰۳ cd	۵/۵۹۷ cd	۱۴/۶۰cd	۲/۵۷۵ bc	۰/۳۳۶a	۰/۲۲۷a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

درصد و عملکرد اسانس

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی تنش خشکی و تیمار اصلاح‌کننده و اثر متقابل آن‌ها به ترتیب بر درصد اسانس گیاه، در سطح

یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). با اعمال تنش خشکی و کاربرد تیمارهای کودی، میزان درصد اسانس گیاه افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان درصد اسانس، در سطح تنش خشکی (۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه) و سطح کودی F_{10} (۰/۳۳۶ درصد) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد (F_0D_0)، ۲/۲ برابر افزایش معنی‌دار داشت. هر چند با سطح رطوبتی ۸۰–۷۵ درصد ظرفیت مزرعه و سطح کودی F_9 تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان درصد اسانس در شرایط عدم تنش خشکی و عدم کاربرد تیمار کودی (۰/۱۵۲ درصد) مشاهده شد که با سطح تنش ۸۰–۷۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کود تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). نتاج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی تنش خشکی بر عملکرد اسانس در سطح یک درصد و اثر اصلی تیمار اصلاح‌کننده کودی و اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد اسانس در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). با افزایش تنش خشکی، از میزان عملکرد اسانس کاسته شد در حالیکه کاربرد تیمار اصلاح‌کننده کودی سبب افزایش این صفت گردید. بیشترین میزان عملکرد اسانس، در سطح عدم تنش و سطح کودی F_{10} (۰/۲۳۳ گرم در گلدان) مشاهده شد، که نسبت به تیمار شاهد (F_0D_0)، ۵/۵ برابر افزایش معنی‌دار داشت. هر چند با سطح رطوبتی ۸۰–۷۵ و ۶۰–۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و سطح کودی F_{10} تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان عملکرد اسانس در شرایط عدم تنش خشکی و عدم کاربرد تیمار کودی (۰/۰۴۲ گرم در گلدان) مشاهده شد که از نظر آماری با برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

بحث

در این مطالعه تاثیر تنش خشکی و تیمار اصلاح‌کننده کمپوست غنی شده بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه بادرنجبویه بررسی گردید. با شدت تنش خشکی، ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه کاهش پیدا کردند. علت بالاتر بودن عملکرد گیاه در شرایط عدم تنش خشکی نسبت به سایر سطوح تنشی وجود آب کافی در خاک می‌باشد که سبب شده گیاه بتواند به‌خوبی آب و مواد غذایی خود را جذب کند و به تبع آن عملکرد بیشتری داشته باشد. رشد رویشی گیاهان بر اثر تقسیم سلولی، بلند شدن سلول‌ها و تمایز سلولی اتفاق میافتد که این فرآیندها خود تحت کنترل عوامل مختلف از جمله دسترسی به آب، قرار دارند. تنش خشکی با کاهش سطح فتوسنتز کننده، بستن روزنه‌ها به‌دلیل تولید اسید آبسیزیک در ریشه، کاهش فتوسنتز بواسطه آن، کاهش سنتز و انتقال مواد فتوسنتزی، در نهایت سبب کاهش رشد رویشی گیاه می‌گردد (Kour and Yadav, 2022). کاهش میزان عملکرد و ارتفاع گیاه در شرایط کم‌آبی در تحقیقاتی روی گیاه سیاهدانه (سلطانیه و همکاران، ۱۴۰۲)، بادرنجبویه (Shamizi *et al*., 2022)، ریحان شیرین (Zulfiqar *et al*., 2021) گزارش شده است. کاربرد کمپوست کود مرغی غنی شده، سبب بهبود عملکرد گیاه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش گردید. بالاتر بودن عملکرد در گیاه تحت کمپوست کود مرغی غنی‌شده با تیمارهای آلی، زیستی و شیمیایی می‌تواند به تغذیه مناسب گیاه توسط این ترکیب کودی مربوط باشد. وجود مواد آلی در بستر کشت باعث افزایش باروری خاک، ظرفیت نگهداری خاک و نیز افزایش خلل و فرج خاک می‌گردد. این مواد عناصر غذایی خود را به مرور زمان آزاد و در اختیار گیاه قرار می‌دهند. بنابراین به نظر می‌رسد کودهای آلی ضمن فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، باعث افزایش آب در دسترس گیاه شده و سبب افزایش رشد پیکره رویشی و تولید بیوماس می‌گردد (Singer *et al*., 2017). مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد کمپوست و بیوچار استفاده از آب آبیاری را کاهش می‌دهند زیرا مقدار زیادی آب آبیاری را برای مدت طولانی در خود نگه می‌دارد و گروه بزرگی از باکتری‌ها را در اختیار خاک قرار می‌دهد که عملکردهای مهم متعددی برای گیاه دارند. به طور دقیق‌تر، کمپوست و بیوچار مواد مغذی و تنظیم کننده‌های رشد را برای خاک فراهم می‌کند و همچنین به افزایش حاصلخیزی خاک و در دسترس بودن مواد غذایی کمک می‌کند (Hussein *et al*., 2022). افزایش وِیژگی‌های رشدی گیاه مانند وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در اثر کاربرد کمپوست و بیوچار کود مرغی می‌تواند به‌دلیل اثرات مستقیم (عناصر غذایی موجود در زیست‌توده) و غیرمستقیم (بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) آن باشد (Karimi *et al*., 2020). در همین رابطه نیز گزارش شده که عناصر ضروری موجود در کودهای دامی در سطوح کافی برای تکمیل چرخه رشد گیاهان مورد نیاز بوده و باعث بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌گردد. که با نتایج Zahra *et al*., 2021 و عبدالهی و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد. همانطور که در نتایج مشخص است استفاده از باکتری تیوباسیلوس و گوگرد توانست به بهبود صفات رشدی گیاه کمک کند. گوگرد علاوه بر اینکه نقش مستقیمی در تغذیه گیاه دارد، می‌تواند همراه با باکتری تیوباسیلوس سبب کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه شود که به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک‌های آهکی و به افزایش جذب عناصر توسط گیاه کمک کند و در نهایت باعث بهبود عملکرد گیاه شود (Rahimzadeh *et al*., 2016). همچنین قارچ تریکودرما با ترشح اسید در محیط ریشه، واکنش خاک را کاهش داده و در نتیجه جذب عناصر غذایی به‌خصوص فسفر و عناصر کم‌مصرف مانند آهن را بالا برده و از آن‌جایی که این عناصر در چرخه فتوسنتز گیاه نقش دارند و در نهایت بهبود عملکرد گیاه را به‌دنبال دارد (Van

Duijnen *et al*., 2021). امانی و همکاران (۱۴۰۲) گزارش کردند قارچ تریکودرما در شرایط تنش خشکی توانست ویژگی‌های رشدی گیاه ریحان را تعدیل بخشد. در تحقیق دیگری، نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی، کاربرد تریکودرما توانست عملکرد گوجه فرنگی را بهبود بخشد (Khoshmanzar *et al*., 2020). قادری و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که کاربرد باکتری تیوباسیلوس سبب افزایش عملکرد گیاه مرزه تابستانی گردید. به‌طور کلی کاربرد کودهای آلی، زیستی و شیمیایی از طریق افزایش راندمان مصرف آب، بهبود خواص فیزیکی خاک و بهبود جذب و دسترسی به عناصر غذایی موجب افزایش زیست‌توده می‌شود (Kusvuran *et al*., 2021).

نفوذپذیری غشاء معمولا با عنوان نشت الکترولیت غشایی ارزیابی می‌شود و یک شاخص کلیدی در سلامت غشای سلولی گیاهان در شرایط تنش است. تنش‌های غیر زیستی از جمله خشکی منجر به از هم گسیختگی لیپیدها و پروتئین‌های غشایی و در نهایت تغییر در فعالیت‌های آنزیمی می‌شوند. پایداری غشای سلولی یکی از مهم‌ترین پارامترها در پاسخ سلول‌های گیاهی و تحمل گونه‌های زراعی در تنش غیر زیستی است. در شرایط تنش خشکی انواع اکسیژن فعال می‌توانند با DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها واکنش دهند که در صورت عدم وجود مکانیسم محافظتی، این رادیکال‌های آزاد می‌توانند به دیواره سلولی آسیب برسانند و در نتیجه نشت سلولی و اختلال در عملکرد گیاه افزایش یابد (Kamali and Mehraban, 2020). کمپوست و بیوچار با دارا بودن هورمون‌های گیاهی از جمله جیبرلین‌ها و دارا بودن مقادیر زیادی مواد معدنی از جمله کلسیم، می‌تواند نشت الکترولیت‌ها را کاهش دهد و پایداری غشای سلول‌های برگ را بهبود بخشد. همچنین کاربرد این کودها تاثیرات مثبتی بر نگهداری آب خاک و آب قابل استفاده برای گیاه دارند که می‌توانند منجر به کاهش نشت یونی در گیاه شوند (Hernández *et al*., 2016). در اثر همزیستی تریکودرما با ریشه گیاه، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت افزایش می‌یابد و این آنزیم‌ها با حذف رادیکال‌های آزاد و سوپراکسیدها باعث پایداری غشای سلول می‌گردد (Harman, 2006).

محتوای نسبی آب گیاه، به وضعیت میزان آب در سلول های گیاهی بویژه در شرایط تنش اشاره دارد. محتوای نسبی آب برگ در گیاهان به حجم سلول‌های گیاهی و تعادل بین میزان آب جذب شده توسط ریشه و میزان آب تعرق یافته توسط گیاه بستگی دارد (Akhtar *et al*., 2021). بنابراین، کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ با افزایش سطح تنش خشکی را می‌توان به کاهش جذب آب توسط ریشه و از طرفی افزایش تعرق گیاه نسبت داد (Kamanga *et al*., 2018). بررسی نتایج این مطالعه نشان داد که ترکیب کودی کمپوست و بیوچار کود مرغی سبب کاهش اثرهای تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد شده است. زیرا مصرف کمپوست و بیوچار از طریق بهبود خواص فیزیکی خاک، اصلاح و دانه‌بندی خاک به‌دلیل برقراری پیوند با مولکول‌های آب برای ممانعت از تبخیر آن، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه در تنش خشکی می‌شود (El Nahhas *et al*., 2021). ترکیبات کودی زیستی، تولید متابولیت‌های ثانویه سازگار در گیاه را ترغیب نموده و در نتیجه با کاهش پتانسیل اسمزی در داخل گیاه، شرایط را برای افزایش جذب آب و عناصر غذایی و همچنین گسترش ریشه‌ها و به‌دنبال آن افزایش محتوی نسبی آب برگ را فراهم می‌کند (آروین و همکاران، ۱۳۹۶).

همانطور که انتظار می‌رفت تنش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل گردید که احتمالا به دلیل ممانعت از فعالیت آنزیم‌های سنتز کننده کلروفیل، فعال شدن کلروفیلاز و تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن است. رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث پراکسیداسیون لیپیدی غشاء و در نتیجه تجزیه کلروفیل، آسیب غشای تیلاکوئید و اختلال متابولیک در گیاه می‌شوند (Hafez *et al*., 2020). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی، میزان کاروتنوئید گیاه کاهش یافته و این رنگیزه نتوانسته است نقش حفاظتی خود را به‌خوبی ایفا کند. کاهش محتوای کاروتنوئید می‌تواند به‌دلیل اکسید شدن این رنگیزه توسط گونه‌های اکسیژن فعال باشد (Omara *et al*., 2019). پژوهشگران متعددی مانند (Shamizi *et al*., 2022) در گیاه بادرنجبویه و (خالق‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۱) در گیاه بادرشبو، کاهش محتوای کلروفیل را در نتیجه تنش خشکی مشابه با نتایج این تحقیق گزارش کردند. کاربرد تیمارهای کودی، محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی را در شرایط تنش خشکی بهبود بخشید. می‌توان اثر مثبت استفاده از کمپوست و بیوچار کود مرغی روی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ را این‌گونه استنباط کرد که عمده ترکیبات رنگدانه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند، همچنین نیتروژن ساختار اصلی تمامی آمینواسیدها در پروتئین‌ها و چربی‌ها می‌باشد که به‌عنوان ترکیبات ساختاری کلروپلاست فعالیت می‌کنند و در نهایت باعث افزایش میزان کلروفیل در گیاه می‌گردد و از آن‌جایی‌که با توجه به تجزیه کودی کمپوست و بیوچار کود مرغی، مقدار نیتروژن و فسفر در این منابع بالا می‌باشد می‌توان به نقش بسزای این منابع در افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی پی برد. همچنین مصرف مقادیر مناسب کودهای آلی (کمپوست و بیوچار) از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه توسط ریزجانداران خاک و نیز آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مؤثر در سنتز کلروفیل مانند نیتروژن، آهن و منیزیم و همچنین افزایش نور جذب شده توسط گیاه موجب افزایش میزان کلروفیل برگ شده است. از طرفی محتوای کلروفیل با مقدار عناصر تغذیه‌ای جذب شده توسط گیاه از خاک ارتباط دارد و ازآن‌جایی‌که

کمپوست کود مرغی و بیوچار آن شامل عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف می‌باشد، به همین دلیل اثر مثبتی بر تغذیه گیاهی، فتوسنتز و کلروفیل برگ و میزان عناصر قسمت‌های مختلف گیاه دارد. در مطالعات انجام شده بهبود غلظت کلروفیل با کاربرد بیوچار به‌دلیل افزایش محتوای کربن خاک، افزایش نیتروژن خاک در اثر افزایش جمعیت میکروبی خاک و بهبود نگهداری آب در خاک است که درنتیجه محتوای نسبی آب برگ افزایش می‌یابد و منجر به جلوگیری از وقوع تنش خشکی یا جبران اثرات منفی آن می‌شود (Wei *et al*., 2020). همچنین ترکیب کمپوست کود مرغی با بیوچار موجب افزایش محتوی کلروفیل، به‌دلیل تاثیر مستقیم آن در جذب منیزیم می‌باشد که جزء مهمی از رنگدانه کلروفیل است. آهن و منیزیم دو عنصر مهم و اساسی در تشکیل و ساخت کلروفیل به‌شمار می‌روند و افزایش مقدار کلروفیل برگ در اثر افزودن ماده آلی به خاک می‌تواند به میزان بالای آهن و منیزیم در ماده آلی کاربردی مربوط باشد (Adejumo *et al*., 2016). محققین گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش محتوی کلروفیل و کاروتنوئید شده اما استفاده از بیوچار باعث بهبود محتوای این رنگیزه‌ها گردید (Hafez *et al*., 2020). نتایج این تحقیق با مطالعات نجارزاده و همکاران (۱۴۰۲) و Danish *et al*., 2024 همخوانی داشت. وجود تریکودرما در همزیستی با ریشه گیاه باعث می‌شود که حلالیت عناصری چون آهن، روی و منگنز در محیط ریشه افزایش یابد و جذب بیشتری روی دهد. همچنین تریکودرما با تولید مواد کلات‌کننده می‌تواند به‌وسیله ترکیب با یون‌های آهن، جذب این عنصر را افزایش دهد که نتیجه آن افزایش کلروفیل می‌باشد (Mergawy *et al*., 2022). از آن‌جا که گوگرد در تولید اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین، تولید پروتئین و کلروفیل، فعال کردن برخی آنزیم‌ها و کمک به تولید بعضی از ترکیبات فتوسنتزی (مانند دی آسیل گلیسرول کوئینوزیل که یک نوع لیپید در ساختار کلروپلاست است) نقش دارد، این عنصر قابلیت افزایش محتوی کلروفیل را دارد (Jamal *et al*., 2010). کودهای زیستی با تامین نیازهای غذایی ریزجانداران خاک، سبب افزایش جمعیت میکروبی شده و در نتیجه به کاهش pH خاک می‌انجامد و بر میزان جذب عناصر غذایی از جمله آهن، منگنز و منیزیم که در سنتز کلروفیل نقش مهمی ایفا می‌کنند، می‌افزایند و سرانجام سبب می‌شود که سنتز کلروفیل افزایش یابد. تنش خشکی درصد اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه را افزایش داد زیرا گیاه در مواجه با تنش خشکی محتوای متابولیت‌های خود را به منظور جلوگیری از عمل اکسیداسیون درون سلول‌ها افزایش می‌دهد (Saeidnia *et al*., 2023). در همین راستاAslani *et al*., 2023 نیز دریافت که با افزایش خشکی درصد اسانس در گیاه مریم گلی افزایش و عملکرد اسانس کاهش می‌یابد. در گیاه بادرنجبویه با وجود درصد افزایش اسانس تحت تنش خشکی، عملکرد اسانس کاهش یافت. درصد اسانس و وزن خشک اندام هوایی دو عامل مهم و تعیین کننده در عملکرد اسانس گیاه می‌باشند. با تشدید تنش، هرچند درصد اسانس افزایش یافت اما به‌دلیل افت عملکرد اندام هوایی در این شرایط، عملکرد اسانس کاهش یافت. ترکیب کودی کمپوست غنی شده با بیوچار و همچنین تیمارهای زیستی (قارچ تریکودرما و باکتری تیوباسیلوس همراه با گوگرد)، محیط مناسبی را برای جذب عناصر غذایی ایجاد کرده و میزان تولید ماده خشک و نیز اسانس را در گیاه بادرنجبویه افزایش می‌دهد. قارچ‌های تریکودرما، با اثرگذاری بیشتر، از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و همچنین تولید برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و توانایی زنده ماندن در شرایط بسیار نامطلوب، بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه تاثیر گذاشته و موجب افزایش فرآیند فتوسنتز و افزایش محتوی کلروفیل در برگ، میزان اسانس و به تبع آن باعث افزایش درصد اسانس در گیاه می‌گردد (هاتف هریس، ۱۴۰۱). در ارتباط با نقش باکتری تیوباسیلوس می‌توان بیان کرد که باکتری تیوباسیلوس از طریق کاهش اسیدیته خاک و فراهم نمودن شرایط مناسب جذب عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن، فسفر و عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) سبب افزایش اسانس در گیاهان دارویی می‌شود.

نتیجه‌گیری

حاصلخیزی خاک در زمان تنش خشکی، عامل اصلی محدودکننده عملکرد است، بنابراین دسترسی به عناصر غذایی، یکی از اقدامات مهمی است که سبب افزایش حاصلخیزی خاک می‌گردد. نتایج این مطالعه نشان داد تنش خشکی سبب کاهش عملکرد، محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوی نسبی آب برگ و عملکرد اسانس گردید. اثر کمپوست غنی شده با بیوچار کود مرغی، قارچ تریکودرما هارزیانوم، باکتری تیوباسیلوس تیوپاروس و کودهای شیمیایی گوگرد و NPK بر صفات کمی و کیفی گیاه تحت تنش خشکی قابل توجه است. کاربرد کمپوست غنی‌شده رشد گیاه و فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را به‌ویژه در شرایط تنش رطوبتی افزایش می‌دهد. استفاده از کمپوست غنی‌شده، به ویژه هنگامی که با تیمارهای آلی و زیستی همراه باشد، منجر به افزایش هم افزایی فرآیندهای فیزیولوژیکی، هدایت هیدرولیکی ریشه و متابولیسم کربوهیدرات می‌شود که در نهایت به رشد و نمو گیاه در شرایط نامطلوب مانند تنش خشکی کمک می‌کند. در سال‌های اخیر به دلیل توجه هر چه بیشتر به تولید محصولات سالم، استفاده از کودهای زیستی و مواد آلی به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و

افزایش کیفیت محصولات و نیز حفظ پایداری و حاصلخیزی خاک بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین مصرف بیش از حد و نامتعادل کودهای شیمیایی در دراز مدت، باعث کاهش عملکرد گیاهان، فعالیت‌های زیستی و ویژگی‌های فیزیکی خاک، تجمع نیترات و عناصر سنگین و در نهایت پیامدهای زیست محیطی و افزایش هزینه‌های تولید شده است. به‌نظر می‌رسد غنی‌سازی کمپوست کود مرغی با تیمارهای ذکر شده می‌تواند به‌عنوان کود پیش‌کاشت مناسب برای افزایش عملکرد گیاهان معرفی شود. پیش از هرگونه توصیه کودی بهتر است نتایج این پژوهش در شرایط مزرعه مورد ارزیابی و تأیید قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگن وجود ندارد"

منابع

ابراهیمی، اصغر، شهسواری، علی، صالحی، اعظم، پورعلاقه‌بندان، حمیدرضا وخزائلی، شهاب (۱۳۸۷). اولین مرجع کامل مدیریت کیفیت تولید کود آلی. موسسه علمی دانش پژوهان برین. ۵۴۴ صفحه.

آروین، پویا؛ وفابخش، جواد و مظاهری، داریوش (۱۳۹۶). بررسی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهی و تنش خشکی بروی صفات فیزیولوژیک و عملکرد نهایی در ارقام کلزا (Brassica spp. L). *بوم شناسی کشاورزی*. ۹ (۴)، ۱۲۰۸-۱۲۲۶.

امانی، مینا؛ علیزاده، علیزاده سالطه، سعیده؛ سبزی نوجه ده، محسن و یونسی حمزه خانلو، مهدی (۱۴۰۲). اثر قارچ تریکودرما بر برخی خواص بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری. *به زراعی کشاورزی*. ۲۵(۳)، ۷۱۹-۷۳۵.

بشارتی، ح؛ خسروی، ح؛ مستشاری، م؛ میرزاشاهی، ک؛ قادری، ج و ذبیحی، ح.ر ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تیوباسیلوس، گوگرد و فسفر بر شاخص‌های رشد ذرت (*Zea mays* L.) در برخی از مناطق ایران .*تحقیقات کاربردی خاک*، ۴ (۱)، ۱۰۳-۱۱۳.

خالق‌نژاد، وحیده؛ یوسفی، علیرضا؛ توکلی، افشین و فرجمند، بهمن (۱۴۰۱). تغییر محتوای فنول کل، رنگدانه‌های فتوسنتزی و تبادلات گازی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)در پاسخ به غلظت‌های مختلف هورمون آبسیزیک اسید در سه رژیم رطوبتی .*علوم گیاهان زراعی ایران*. ۵۳ (۱). ۲۰۱-۲۱۷.

سلطانیه، میلاد؛ طالعی، داریوش و نجات خواه، پریسا (۱۴۰۲). بررسی تاثیر نیتروژن و متانول بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa*.) تحت تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۱۶(۳).۵۸۷-۶۰۱.

عبدالهی، فرزین؛ جعفری، لیلا و رحیمی، افسانه (۱۴۰۱). اثر کاربرد کودهای آلی بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی، کمی و کیفی ترب سفید (Rhaphanus sativus) رقم لانگیپیناتوس در شرایط تنش خشکی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*. ۱۱ (۴۸)، ۱-۱۸

قادری، علی؛ نوعی، علی؛ احمدی، خدیجه و صبوری‌فرد، حسین. ۱۳۹۹. بررسی اثر کود بیولوژیک تیوباسیلوس و کود شیمیایی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی اسانس گیاه دارویی *Satureja hortensis* L. *اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۸ (۲)، ۱۳-۲۹.

نجارزاده، اسماء؛ فرحبخش، حسن؛ ناصر علوی، مهدی؛ مرادی، روح اله و نقی زاده، مهدی (۱۴۰۲). تأثیر سطوح مختلف بیوچار تفاله گل محمدی، پوست سبز گردو و کود گاوی بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه دارویی گاوزبان اروپایی .*علوم باغبانی*. ۳۷ (۳)، ۸۷۳-۸۸۶.

هاتف هریس، حسین؛ زهتاب سلماسی، سعید و ارزنلو، مهدی (۱۴۰۱). تاثیر چند گونه قارچ تریکودرما و مایکوریز بر محتوای کلروفیل و تولید اسانس گیاه شوید (Anethum graveolens L.) در شرایط گلخانه‌ای .*علوم گیاهان زراعی ایران*. ۵۳ (۲)، ۲۰۵-۲۱۹.

یزدانی، داراب؛ شهنازی، سحر و سیفی، حامد (۱۳۸۳). کشت گیاهان دارویی. انتشارات مرکزی تحقیقات گیاهان دارویی. ۱۶۹ صفحه.

REFERENCES

Abd El-Mageed, T. A., El-Samnoudi, I. M., Ibrahim, A. E. A. M., & Abd El Tawwab, A. R. (2018). Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use efficiency in sorghum (bicolor L. Moench) under low moisture regime. *Agricultural Water Management*, *208*, 431-439. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042 .

Abdollahi ,F., Jafari, L. and Rahimi A., 2022. Effect of organic fertilizer on some biochemical, quantitative and qualitative characteristics of white radish (*Rhaphanus sativus var. longipinnatus*) under drought stress conditions. Plant Process and Function. 11 (48): 1-18. https://doi.org/ 20.1001.1.23222727.1401.11.48.1.2 (In Persian with English abstract).

Acharya, S., Sigdel, S., Kandel, G., & Adhikari, P. (2022). Climate change: Threats on the medicinal plants in Nepal. *Asian Journal of Pharmacognosy*, *1*(4), 41-48.

Adejumo, S. A., Owolabi, M. O., & Odesola, I. F. (2016). Agro-physiologic effects of compost and biochar

produced at different temperatures on growth, photosynthetic pigment and micronutrients uptake of maize crop. *African Journal of Agricultural Research*, *11*(8), 661-673. https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9895.

Akhtar, N., Ilyas, N., Hayat, R., Yasmin, H., Noureldeen, A., & Ahmad, P. (2021). Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nano-particles for amelioration of drought stress in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, *166*, 160-176. https://doi.org/ 10.1016/j.plaphy.2021.05.039.

Alam, S. M. (1999). Nutrient uptake by plants under stress conditions. *Handbook of plant and crop stress*, *2*, 285-313.

Almendro-Candel, M. B., Navarro-Pedreño, J., Jordán, M. M., Gómez, I., & Meléndez-Pastor, I. (2014). Use of municipal solid waste compost to reclaim limestone quarries mine spoils as soil amendments: Effects on Cd and Ni. *Journal of Geochemical Exploration*, *144*, 363-366. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.11.002.

Al-Taai, S. H. H. (2021). The effect of fertilizer uses on environmental pollution: A Review. *rigeo*, *11*(5).

Amani, M., Alizadeh-Salteh, S., Sabzi nojadeh, M. and Younessi Hamzekhanlu, M., 2023. The effect of Trichoderma harzianum on the antioxidative traits of Ocimum basilicum L. under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement*, *25*(3): 719-735. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.345935.2730. (In Persian with English abstract).

Arvin, P., Vafabakhsh, J. and Mazaheri, D., 2018. Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and final yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica spp*. L.). *Journal of Agroecology*, 9(4): 1208-1226. https://doi.org/10.22067/JAG.V9I4.61808. (In Persian with English abstract).

Aslani, Z., Hassani, A., Mandoulakani, B. A., Barin, M., & Maleki, R. (2023). Effect of drought stress and inoculation treatments on nutrient uptake, essential oil and expression of genes related to monoterpenes in sage (Salvia officinalis). *Scientia Horticulturae*, *309*, 111610. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111610

Besharati, H., Khosravi, H., Mostashari, M., Mirzashahi, K., Ghaderi, J., & Zabihi, H. R. (2016). Evaluation of effects of Thiobacillus, sulfur and phosphorous on corn (*Zea mays* L.) growth indices in some regions of Iran. *Applied Soil Research*, *4*(1), 103-113. https://doi.org /10.22092/IJSR.2021.354082.595 (In Persian with English abstract).

Danish, M., Pradhan, S., McKay, G., Al-Ansari, T., Mansour, S., & Mackey, H. R. (2024). Effect of Biochar, Potting Mixture and their Blends to Improve Ocimum basilicum Growth in Sandy Soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s42729-024-01670-8.

Ebrahimie, A., PuerAlageBandan, H., Khazaeelie Sh, S. A., & Salehi, A. (2008). The first full authority quality management high fertilizer production. (In Persian).

El Nahhas, N., AlKahtani, M. D., Abdelaal, K. A., Al Husnain, L., AlGwaiz, H. I., Hafez, Y. M., ... & Elkelish, A. (2021). Biochar and jasmonic acid application attenuates antioxidative systems and improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water. *Plant Physiology and Biochemistry*, *166*, 807-817. https://doi.org / 10.1016/j.plaphy.2021.06.033 .

Emam & Talebianpour, M. S. (2009). Antidepressant effect of Melissa officinalis in the forced swimming test.

Ghaderi, A., Noee, A., Ahmadi, K., & Saborifard, H. (2020). Evaluation the effects of Thiobacillus biological and chemical fertilizers on morphological and phytochemical characteristics of Satureja hortensis L. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *8*(2), 13-29. (In Persian with English abstract).

Gupta, A., Singh, S. K., Singh, M. K., Singh, V. K., Modi, A., Singh, P. K., & Kumar, A. (2020). Plant growth–promoting rhizobacteria and their functional role in salinity stress management. In *Abatement of environmental pollutants* (pp. 151-160). Elsevier. http://dx.doi.org/10.4172/1948-5948.1000188.

Hafez, E. M., Kheir, A. M., Badawy, S. A., Rashwan, E., Farig, M., & Osman, H. S. (2020). Differences in physiological and biochemical attributes of wheat in response to single and combined salicylic acid and biochar subjected to limited water irrigation in saline sodic soil. *Plants*, *9*(10), 1346. https://doi.org /10.3390/plants9101346.

Hargreaves, J. C., Adl, M. S., & Warman, P. R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, ecosystems & environment*, *123*(1-3), 1-14. https://doi.org /10.1016/j.agee.2007.07.004.

Harman, G. E. (2006). Overview of Mechanisms and Uses of Trichoderma spp. *Phytopathology*, *96*(2), 190-194. https://doi.org /10.1094/PHYTO-96-0190.

Hatef Heris, H., Zehtab Salmasi, S., & Arzanlou, M. (2022). Effect of some Trichoderma and Mycorrhizal fungal species on chlorophyll content and essential oil production of dill (*Anethum graveolens* L.) under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(2), 205-219. https://doi.org/ 10.22059/IJFCS.2021. 318338.654801. (In Persian with English abstract).

Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. L., & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops—Effects on soil and plant. *Soil and Tillage Research*, *160*, 14-22. https://doi.org /10.1016/J.STILL.2016.02.005.

Hussein, M., Ali, M., Abbas, M. H., & Bassouny, M. A. (2022). Composting animal and plant residues for improving the characteristics of a clayey soil and enhancing the productivity of wheat plant grown thereon. *Egyptian Journal of Soil Science*, *62*(3), 195-208. https://doi.org / 10.21608/EJSS.2019.6778.1566.

Jamal, A., Moon, Y. S., & Zainul Abdin, M. (2010). Enzyme activity assessment of peanut (*Arachis hypogea* L.) under slow-release sulphur fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, *4*(3), 169-174.

Jiang, Z., Lian, F., Wang, Z., & Xing, B. (2020). The role of biochars in sustainable crop production and soil resiliency. *Journal of experimental botany*, *71*(2), 520-542. https://doi.org / 10.1093/jxb/erz301.

Kamali, S., & Mehraban, A. (2020). Effects of Nitroxin and arbuscular mycorrhizal fungi on the agro-physiological traits and grain yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under drought stress conditions. *Plos one*, *15*(12), e0243824. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243824.

Kamanga, R., Mbega, E., & Ndakidemi, P. (2018). Drought tolerance mechanisms in plants: physiological responses associated with water deficit stress in Solanum lycopersicum. https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000362

Karimi, A., Moezzi, A., Chorom, M., & Enayatizamir, N. (2020). Application of biochar changed the status of nutrients and biological activity in a calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*, 450-459. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00129-5.

Khaleghnezhad, V., Yousefi, A., Tavakoli, A., & Farajmand, B. (2022). Changes in total phenol content, photosynthetic pigments and gas exchange of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in response to different concentrations of abscisic acid and three moisture regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(1), 201-217. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.299180.654699. (In Persian with English abstract).

Khoshmanzar, E., Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M. R., Khoshru, B., Arzanlou, M., & Asgari Lajayer, B. (2020). Effects of Trichoderma isolates on tomato growth and inducing its tolerance to water-deficit stress. *International journal of environmental science and technology*, *17*, 869-878. https://doi.org/10.1007/s13762-019-02405-4.

Kour, D., & Yadav, A. N. (2022). Bacterial mitigation of drought stress in plants: Current perspectives and future challenges. *Current Microbiology*, *79*(9), 248. https://doi.org/ 10.1007/s00284-022-02939-w.

Kumar, A., Kumar, A., Bihari, B., & Qasmi, M. (2020). Soil fertility and mineral nutrition of plants. *Current Research in Soil Fertility*, *65*, 23-35.

Kusvuran, A., Bilgici, M., Kusvuran, S., & Nazli, R. I. (2021). The effect of different organic matters on plant growth regulation and nutritional components under salt stress in sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.]. https://www.researchgate.net/publication/351480931

Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2009). Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of hazardous materials*, *171*(1-3), 29-37. https://doi.org/ 10.1016/j.jhazmat.2009.05.132.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.

Lugo, M. A., Reinhart, K. O., Menoyo, E., Crespo, E. M., & Urcelay, C. (2015). Plant functional traits and phylogenetic relatedness explain variation in associations with root fungal endophytes in an extreme arid environment. *Mycorrhiza*, *25*, 85-95. https://doi.org/ 10.1007/s00572-014-0592-5.

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of botany*, *78*(3), 389-398.

Mahmood, T., Khalid, S., Abdullah, M., Ahmed, Z., Shah, M. K. N., Ghafoor, A., & Du, X. (2019). Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*, *9*(1), 105. http://dx.doi.org/10.3390/cells9010105.

Masto, R. E., Chhonkar, P. K., Singh, D., & Patra, A. K. (2006). Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol. *Soil biology and Biochemistry*, *38*(7),

1577-1582. https://doi.org/ 10.1016/j.soilbio.2005.11.012.

Mergawy, M. M., Metwaly, H. A., & Shoeip, A. M. (2022). Evaluation of the efficacy of some bioagents accompanied with Bio-and Mineral Fertilizers in controlling early blight of tomato and improvement yield. *Egyptian Journal of Phytopathology*, *50*(1), 31-50. https://doi.org/ 10.21608/ejp.2022.133129.1059.

Mosa, A., El-Ghamry, A., & Tolba, M. (2020). Biochar-supported natural zeolite composite for recovery and reuse of aqueous phosphate and humate: batch sorption–desorption and bioassay investigations. *Environmental Technology & Innovation*, *19*, 100807. https://doi.org/ 10.1016/j.eti.2020.100807.

Najarzadeh, A., Farahbakhsh, H., Naser Alavi, M., Moradi, R., & Naghizadeh, M. (2023). The Effect of Different levels of Damask Rose Waste (DRW), Walnut Green Skin Waste (WGW) and Cow Manure Biochars on Biochemical, Physiological and functional Characteristics of European Borage (*Borago officinalis* L.). *Journal Of Horticultural Science*, *37*(3), 873-886. doi: 10.22067/jhs.2023.79955.1218. (In Persian with English abstract).

Omara, R. I., El-Kot, G. A., Fadel, F. M., Abdelaal, K. A., & Saleh, E. M. (2019). Efficacy of certain bioagents on patho-physiological characters of wheat plants under wheat leaf rust stress. *Physiological and molecular plant pathology*, *106*, 102-108. https://doi.org/ 10.1016/J.PMPP.2018.12.010

Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, G., Pirzad, A., & Golezani, K. G. (2016). Effect of bio-fertilizers on the essential oil yield and components isolated from Dracocephalum moldavica L. using nanoscale injection method. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *19*(3), 529-541. https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.935057.

Rezaei-Chiyaneh, E., Mahdavikia, H., Hadi, H., Alipour, H., Kulak, M., Caruso, G., & Siddique, K. H. (2021). The effect of exogenously applied plant growth regulators and zinc on some physiological characteristics and essential oil constituents of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under water stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *27*, 2201-2214. https://doi.org 10.1007/s12298-021-01084-1

Ribeiro, M. A., Bernardo-Gil, M. G., & Esquıvel, M. M. (2001). Melissa officinalis, L.: study of antioxidant activity in supercritical residues. *The Journal of Supercritical Fluids*, *21*(1), 51-60. https://doi.org/ 10.1016/S0896-8446(01)00078-X

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, *30*(1), 105-111.DOI: https://doi.org/10.2135/CROPSCI1990.0011183X003000010025X.

Saeidnia, F., Majidi, M. M., & Hosseini, E. (2023). Simultaneous effect of water deficit and mating systems in fennel (Foeniculum vulgare mill.): Genetics of phytochemical compositions and drought tolerance. *Agricultural Water Management*, *277*, 108122. https://doi.org/ 10.1016/j.agwat.2022.108122.

Shamizi, N., Yarnia, M., Mohebalipour, N., Faramarzi, A., & Ajalli, J. (2022). The effect of mycorrhizal species on the growth, essential oils, yield and morpho-physiological parameters of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) under water-deficit conditions in Tabriz region. *Plant Science Today*, *9*(2), 228-235. https://doi.org/10.14719/pst.1338.

Siedt, M., Schäffer, A., Smith, K. E., Nabel, M., Roß-Nickoll, M., & Van Dongen, J. T. (2021). Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. *Science of the Total Environment*, *751*, 141607. https://doi.org/ 10.1016/j.scitotenv.2020.141607.

Singer, W.J., Sally, S.D., & Meek, D.W. (2017). Tillage and compost effects on corn growth, nutrient accumulation, and grain yield. *Agronomy Journal*, 99, 80-87. https://doi.org/10.2134/agronj2006.0118.

Soltanieh, M., Talei, D., & Nejatkhah, P. (2023). Evaluation of growth, yield and yield components responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to nitrogen and methanol under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *16*(3), 587-601. https://doi.org/ 10.22077/escs.2023.4822.2077. . (In Persian with English abstract).

Sönmez, O. S. M. A. N., Turan, V., & Kaya, C. (2016). The effects of sulfur, cattle, and poultry manure addition on soil phosphorus. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *40*(4), 536-541. https://doi.org/10.3906/tar-1601-41.

Sosa-Hernández, M. A., Leifheit, E. F., Ingraffia, R., & Rillig, M. C. (2019). Subsoil arbuscular mycorrhizal fungi for sustainability and climate-smart agriculture: a solution right under our feet?. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 433694. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00744.

Tohidi, B., Rahimmalek, M., & Arzani, A. (2017). Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of Thymus species collected from different regions of Iran. *Food chemistry*, *220*, 153-161. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.203.

Ullah, A., Nisar, M., Ali, H., Hazrat, A., Hayat, K., Keerio, A. A. & Yang, X. (2019). Drought tolerance improvement in plants: an endophytic bacterial approach. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *103*, 7385-7397. https://doi.org/10.1007/s00253-019-10045-4.

van Duijnen, R., Uther, H., Härdtle, W., Temperton, V. M., & Kumar, A. (2021). Timing matters: Distinct effects of nitrogen and phosphorus fertilizer application timing on root system architecture responses. *Plant-Environment Interactions*, *2*(4), 194-205. https://doi.org/ 10.1002/pei3.10057.

Wei, W., Yang, H., Fan, M., Chen, H., Guo, D., Cao, J., & Kuzyakov, Y. (2020). Biochar effects on crop yields and nitrogen loss depending on fertilization. *Science of the Total Environment*, *702*, 134423. https://doi.org/ 10.1016/j.scitotenv.2019.134423.

Yazdani, D., Shahnazi, S., Seyfi, H., 2004. Medicinal Plant Cultivation. Medicinal Plants Central Research Publication. 169p. [In Persian].

Zahedyan, A., Jahromi, A. A., Zakerin, A., Abdossi, V., & Torkashvand, A. M. (2022). Nitroxin bio-fertilizer improves growth parameters, physiological and biochemical attributes of cantaloupe (*Cucumis melo* L.) under water stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *21*(1), 8-20. https://doi.org/ 10.1016/j.jssas.2021.06.017.

Zahra, M. B., Aftab, Z. E. H., Akhter, A., & Haider, M. S. (2021). Cumulative effect of biochar and compost on nutritional profile of soil and maize productivity. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(11), 1664-1676. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871743.

Zolfi-Bavariani, M., Ronaghi, A., Ghasemi-Fasaei, R., & Yasrebi, J. (2016). Influence of poultry manure–derived biochars on nutrients bioavailability and chemical properties of a calcareous soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *62*(11), 1578-1591. http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2016.1151976.

Zulfiqar, F., Chen, J., Finnegan, P. M., Younis, A., Nafees, M., Zorrig, W., & Hamed, K. B. (2021). Application of trehalose and salicylic acid mitigates drought stress in sweet basil and improves plant growth. *Plants*, *10*(6), 1078. https://doi.org/10.3390/plants10061078.

Investigating the enrichment of chicken manure compost in order to prepare suitable pre-planting fertilizer on the yield of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under drought stress conditions

EXTRACTED ABSTRACT

Background and Objectives:

Lemon balm, also known as Melissa officinalis L., is a perennial herbaceous plant from the Lamiaceae family. It is rich in essential oils and is widely used in treating sleep disorders, nervous diseases, depression, stomach upset, anorexia, cough, and nervous tremors. Due to the limited availability of water resources and the need to preserve the environment by using organic and biological fertilizers, it is important to maximize the efficiency of medicinal plant inputs. In this study, we aimed to investigate the impact of different types of soil conditioners (organic, biological, and chemical) on the performance of lemongrass under drought stress conditions.

Methodology:

This study aimed to assess the effects of different soil amendments on the growth of Lemon balm (Melissa officinalis L.) under conditions of water deficit stress. The experiment followed a factorial design with three replicates, where the treatments included three levels of water deficit stress (severe water deficit stress, mild water deficit stress, and no water stress) and eleven levels of compost enriched with various amendments (biochar, *Trichoderma harzianum*, *Thiobacillus thioparus* + sulfur, and chemical fertilizer NPK), as well as a control without compost. To carry out the experiment, each of the 0.5% w (equivalent to 20 tons.ha-1) fertilizer treatments were added to the soil of four-kilogram pots and mixed thoroughly. One seedling was grown in each pot, and water stress treatments were applied after 20 days. After the growing period of the plant, the height, fresh and dry weight of shoots and roots, ion leakage, relative content of leaf water, content of photosynthetic pigments, and percentage and yield of essential oil were determined by conventional methods.

Results:

The study investigated the effect of different treatments on the growth and yield of lemongrass plants under drought stress. The results showed that the best growth and yield were observed in plants that were not exposed to drought stress and were treated with F10 (compost + biochar + trichoderma + thiobacillus + sulfur + NPK chemical fertilizer). In contrast, the worst growth and yield were observed in plants that were exposed to 55-60% field capacity drought stress and received no fertilizer. Drought stress resulted in increased ion leakage from the plants. However, the application of corrective treatments reduced the amount of ion leakage in the plant. Moreover, drought stress decreased the relative water content of the leaves, with a 7.48% decrease observed in plants exposed to 55-60% field capacity drought stress compared to the control treatment. Nevertheless, the application of corrective treatments led to a significant increase in the relative water content of the leaves compared to the control treatment. The highest relative leaf water content was observed in the F10 treatment, which increased the relative leaf water content by 18.65% compared to the control (no fertilizer use). The highest amount of chlorophyll a, b, and total, as well as carotenoid, were observed in plants that were not exposed to drought stress and were treated with F10. The lowest amount of these traits was observed in plants that were exposed to 55-60% field capacity drought stress and received no corrective treatment. Additionally, the highest essential oil yield was observed in plants that were not exposed to drought stress and were treated with F10, while the lowest yield was observed in plants that were exposed to 55-60% field capacity drought stress and received no corrective treatment. Interestingly, the highest percentage of essential oil was observed in plants that were exposed to 55-60% field capacity drought stress and treated with F10, while the lowest percentage was observed in plants that were not exposed to drought stress and received no corrective treatment

Conclusion:

The use of chicken manure compost, combined with organic, biological, and chemical compounds, can help reduce the negative effects of moisture stress on plants. It can also improve the quality and quantity of plant growth. The results of this research can be applied to the development of innovative agricultural fertilizers and nutritional management techniques. This approach reduces the need for chemical fertilizers and therefore minimizes the risk of environmental pollution and depletion of soil and water resources. It also increases the biological population of soil in agricultural land, thereby improving the soil's quality and health. As a result, plants can absorb more nutrients and secondary metabolites from soil microorganisms, resulting in better and more stable performance in agricultural lands.

Keywords: Biochar, Essential Oil Yield, Lemon Balm, Thiobacillus Thioparus, Trichoderma Harzianum.