



Effect of Animal Manure and Biochar on Some Morphophysiological and Biochemical Characteristics of *Pelargonium graveolens* L. Under Water Deficit Stress

Reza Pourveiseh¹, Abdolhossein Rezaei Nejad^{2✉}, Sadegh Mousavi-Fard³

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: rezapourveiseh@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: rezaeinejad.h@lu.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal Bakhtiari, Iran. E-mail: Mousavifard.S@sku.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	In order to investigate the effect of animal manure and biochar on the improvement of tolerance to water deficit stress in sweet scented geranium, <i>Pelargonium graveolens</i> , a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with four replications in the research greenhouses of the Faculty of Agriculture of Lorestan University in 2021. The first factor included water deficit stress at three levels of 80, 50 and 20% available water in the soil, and the second factor was six levels of planting substrate: control (Sand and agricultural soil in a volume ratio of 1:1), animal manure substrate (soil, sand, animal manure 25% by volume), biochar 5 g kg ⁻¹ control bed, biochar 10 g kg ⁻¹ control substrate, biochar 5 g kg ⁻¹ of manure substrate, and biochar 10 g kg ⁻¹ of manure substrate. The results showed that water deficit stress of 20% of available water caused a decrease in the number of leaves, fresh and dry weight of shoot, and dry weight of root (73, 48.9, 55.2, and 46.8%, respectively, compared to the control treatment), the amount of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids decreased to 14.2, 35.7, and 25.6%, respectively compared to the control treatment) and essential oil yield (50% reduction compared to the control treatment). Meanwhile, the content of malondialdehyde, proline, ion leakage, and essential oil percentage increased by 49.3, 188, 222 and 26.3%, respectively, compared to the control treatment. According to the results, the application of animal manure and biochar (5 and 10 g kg ⁻¹) reduced the negative effects of water deficit stress and increased the morphophysiological characteristics of the plant under both stress and non-stress conditions. It also reduced the amount of malondialdehyde, proline, and ion leakage, resulting in the improvement in the growth of sweet-scented geranium. Therefore, a combination of animal manure and biochar can be suggested as a suitable substrate for cultivation of sweet-scented geranium.
Article history: Received: 30 October 2023 Received in revised form: 11 March 2024 Accepted: 20 April 2024 Published online: Summer 2024	
Keywords: <i>Drought,</i> <i>Organic modifier,</i> <i>Photosynthetic pigments,</i> <i>Proline.</i>	

Cite this article: Pourveiseh, R., Rezaei Nejad, A. & Mousavi-Fard, S. (2024). Effect of Animal Manure and Biochar on Some Morphophysiological and Biochemical Characteristics of *Pelargonium graveolens* L. Under Water Deficit Stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (2), 349-370. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.367288.2128>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.367288.2128>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

The sweet-scented geranium (*Pelargonium graveolens* L.) is a medicinal-ornamental plant belonging to the Geraniaceae. It has many uses in the perfumery and pharmaceutical industries due to the presence of essential oils. Water is one of the most important environmental factors in the production of ornamental and medicinal plants, both from an ecological and physiological point of view, because it is involved in most of the internal processes of the plant and affects most of the metabolic activities of plant cells. The change of morphological, physiological and biochemical traits is one of the most important adaptation mechanisms of plants to drought stress conditions. Currently, it is a common method to use different types of animal manures in the soil to increase soil fertility. On the other hand, biochar increases soil fertility and resistance

to environmental stresses due to its high ability to absorb and store nutrients and prevent their leaching. Even today, due to the decrease in the level of water resources and the problem of drought stress, one of the most important measures in agriculture is the production of drought-resistant ornamental plants and identifying the most important combination of planting substrates to increase drought resistance in different plants. Therefore, in this research, the effect of organic fertilizers on some morphophysiological and biochemical characteristics of the sweet-scented geranium, a medicinal plant, under water deficit stress conditions was investigated.

Materials and Methods

The current research was conducted in a factorial experiment, in a completely randomized design with two factors and four replications in 2022 in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Lorestan University. The first factor included water stress at three levels of 20, 50 and 80% available water in the soil, and the second factor was six levels of planting substrate: control (a mixture of sand and agricultural soil in a ratio of 1:1), animal manure substrate (soil, sand, animal manure 25% by volume), biochar 5 g kg⁻¹ of control bed, biochar 10 g kg⁻¹ of control substrate, biochar 5 g kg⁻¹ of manure substrate, and biochar 10 g kg⁻¹ of manure substrate. For the preparation of biochar, the animal manure was packed in aluminum sheets and placed inside the electric furnace for 4 hours at a temperature of 500 °C so that the pyrolysis process took place. *Pelargonium graveolens* cuttings were prepared from the main branch of mother plants from the greenhouse of the Faculty of Agriculture and after rooting, they were planted in pots containing the desired substrate. After the establishment of the cuttings, the treatments of water deficit stress were applied, based on the calculating available water in the soil with the help of pressure plates and weight methods. Three months after the application of water deficit stress, the morphophysiological and phytochemical characteristics were measured.

Results and Discussion

The results showed that water deficit stress caused a decrease in the number of leaves, fresh and dry weight of aerial parts, dry weight of roots, photosynthetic pigments and essential oil yield, while root length and content of malondialdehyde, proline, ion leakage and essential oil percentage increased. The use of manure and biochar planting beds in stress conditions improved the growth characteristics and reduced the effects of water deficit stress, on the other hand, it decreased proline, electrolyte leakage, and malondialdehyde content. So, the lowest level of catalase enzyme activity, proline level, electrolyte leakage and malondialdehyde was obtained with the application of animal manure + 5 g kg⁻¹ of biochar, but it increased the percentage and yield of the essential oil. Drought stress reduces plant growth through stomatal and non-stomatal limitations and production of reactive oxygen species (ROS). The application of animal manure and biochar reduces the negative effects of drought stress and increases plant growth by increasing soil porosity, absorbing nutrients, stimulating growth hormones and maintaining soil moisture.

Conclusions

The results showed that water deficit stress condition caused an increase in electrolyte leakage, malondialdehyde concentration and essential oil percentage and a decrease in photosynthetic pigments, growth components (number of lateral branches and leaves, fresh and dry weight of shoots and roots) and essential oil yield of sweet-scented geranium plant. The use of planting beds containing animal manure and biochar in water deficit conditions caused a decrease in electrolyte leakage and malondialdehyde content, as well as an increase in the concentration of photosynthetic pigments and improved the growth characteristics of sweet-scented geranium. Also, the percentage and yield of essential oil increased. Hence this study suggests that better growth can be gained by application of animal manure and 5 g kg⁻¹ biochar as a suitable substrate in *Geranium graveolens* pot cultivation.



اثر کود دامی و بیوجار بر برخی خصوصیات مورفو فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) تحت تنش کم آبیاری

رضا پورویسه^۱ | عبدالحسین رضایی نژاد^۲ | صادق موسوی فرد^۳

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: rezapourveiseh@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: rezaeinejad.h@lu.ac.ir
۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال بختیاری، ایران. رایانامه: Mousavifard.S@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	به منظور بررسی اثر کود دامی و بیوجار بر بهبود تحمل به تنش کم آبیاری در گیاهان شمعدانی معطر، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. فاکتور اول شامل تنش کم آبیاری (۸۰، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس در خاک) و فاکتور دوم شش سطح بستر کاشت شامل: شاهد (ماسه) و خاک زراعی به نسبت حجمی (۱:۱)، کود دامی (خاک، ماسه، کود دامی ۲۵ درصد حجمی)، بیوجار به مقدار ۵ گرم در یک کیلوگرم بستر شاهد، بیوجار به مقدار ۱۰ گرم در یک کیلوگرم بستر شاهد، بیوجار به مقدار ۵ گرم در یک کیلوگرم بستر کود دامی و بیوجار به مقدار ۱۰ گرم در یک کیلوگرم بستر کود دامی بود. نتایج نشان داد که تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس، سبب کاهش تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه (به ترتیب ۷۳، ۴۸/۹، ۵۵/۲ و ۴۶/۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد)، مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید (به ترتیب ۱۴/۲، ۳۵/۷ و ۲۵/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد) و عملکرد اسانس (۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد) شد. درحالیکه، محتوای مالون دی‌آلدئید، پرولین، نشت یونی و درصد اسانس را به ترتیب ۴۹/۳، ۱۸۸، ۲۲۲ و ۲۶/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. براساس نتایج، کاربرد کود دامی و بیوجار (۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم) باعث کاهش اثرات منفی تنش کم آبی گردید، به طوری که با افزایش خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش و کاهش مقادیر مالون دی-آلدئید، پرولین و نشت یونی سبب افزایش رشد گیاه شمعدانی معطر شد. بنابراین، ترکیب کود دامی و بیوجار می‌تواند به عنوان بستری مناسب برای کشت گیاه شمعدانی معطر پیشنهاد گردد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱ تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۳	
کلیدواژه‌ها: اصلاح کننده آلی، پرولین، خشکی، رنگدانه‌های فتوسنتزی.	

استناد: پورویسه، رضا؛ رضایی نژاد، عبدالحسین و موسوی فرد، صادق (۱۴۰۳). اثر کود دامی و بیوجار بر برخی خصوصیات مورفو فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) تحت تنش کم آبیاری. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۵ (۲)، ۳۴۹-۳۷۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.367288.2128>



مقدمه

شمعدانی معطر گیاهی دارویی- زینتی متعلق به تیره شمعدانی است. گیاهی همیشه سبز به ارتفاع ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی متر، پایا، علفی، دارای ساقه‌های گوشتی و پوشیده از کرک است (Rezaei Nejad et al., 2020). موطن اصلی شمعدانی، مناطق آفریقای جنوبی، استرالیا و جنوب اقیانوس اطلس است و اکثر شمعدانی‌ها در اروپا و شمال آمریکا کاشته می‌شوند (Rezaei Nejad et al., 2013). شرایط آب و هوایی مطلوب برای رشد و نمو این گیاه، آب و هوای معتدل مدیترانه‌ای است. از نظر طول روز گیاهی روزخنی است و سرعت نمو آن وابسته به انرژی نوری دریافت شده (شدت نور و طول روشنایی) در دمای مناسب می‌باشد. اسیدپتیه مناسب بستر حدود ۶-۵/۶ است. گیاه شمعدانی معطر در مزرعه و گلخانه کشت و کار شده و در منازل نیز نگهداری می‌شود. با این حال، آمار دقیقی از سطح زیرکشت آن در جهان و ایران در دسترس نیست (Rezaei Nejad et al., 2020). شمعدانی معطر به دلیل وجود اسانس موجود در آن کشت می‌شود و کاربردهای متعددی در صنایع عطرسازی و دارویی دارد. همچنین اسانس حاصل از این گیاه دارای خاصیت ضد باکتری می‌باشد (Boukhatem et al., 2013). تولید جهانی روغن شمعدانی معطر بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ تن در سال تخمین زده می‌شود، در حالی که تقاضای سالانه بیش از ۵۰۰ تن است که گویای ضرورت ارزیابی روش‌های مختلف به منظور بهبود رشد و عملکرد اسانس شمعدانی می‌باشد (Verma et al., 2013). هرچند، در کشور ما از این گیاه بیشتر به عنوان یک گیاه زینتی آپارتمانی استفاده می‌شود (Rezaei Nejad et al., 2013).

آب یکی از مهمترین عوامل محیطی در تولید گیاهان زینتی و دارویی است و از لحاظ اکولوژیک و فیزیولوژیک اهمیت زیادی دارد. آب در بیشتر فرآیندهای داخلی گیاه دخالت داشته و اکثر فعالیت‌های متابولیکی سلول‌های گیاهی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Ahmadzadeh, 2013). تحت شرایط تنش آبی فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه به صورت مستقیم یا غیر مستقیم دچار اختلال می‌گردد. از آنجایی که وجود فشار تورژسانس بالای سلولی برای انجام فعالیت‌های فیزیولوژیک از جمله رشد سلول‌ها و حرکات روزنه‌ای ضروری است، گیاهان با استفاده از سازوکارهایی متفاوت، فشار تورژسانس سلول‌های خود را حفظ می‌کنند. تغییر صفات فیزیولوژیک از مهمترین سازوکارهای سازگاری گیاه به شرایط تنش خشکی است (Anjum et al., 2011).

در حال حاضر استفاده از انواع کودهای دامی یا آلی در خاک برای افزایش حاصلخیزی خاک یک روش معمول است (Aslam et al., 2014). ایده جدید برای افزایش مواد آلی و ذخیره طولانی مدت کربن در خاک استفاده از بیوجار (یک ماده زیستی گرماکافت شده) است که حاصل فرآیند سوختن مواد آلی در حضور اکسیژن کم یا شرایط بدون اکسیژن است که منجر به تشکیل زغال غنی از کربن بسیار مقاوم به تجزیه می‌شود (Azeem et al., 2016). مقاومت بیوجار در برابر تجزیه مربوط به تغییر در ساختار شیمیایی سلولز، همی سلولز و لیگنین در دمای بالای ۳۰۰ درجه سلسیوس است، به طوری که ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر مقاوم‌تر از سایر مواد آلی موجود در خاک است (Aslam et al., 2014; Azeem et al., 2016). بیوجار از دامنه وسیعی از مواد اولیه نظیر چوب، بقایای محصولات کشاورزی و کود دامی قابل تهیه است (Berek et al., 2011; Zhu et al., 2014). توانایی بالای این ماده در جذب و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آنها، جذب فلزات سمی و کودهای شیمیایی و کاهش آزادسازی گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (Berek et al., 2011) و می‌تواند جایگزین کودهای شیمیایی (نیترژن، کلسیم، منیزیم و گوگرد) شده و مقاومت گیاهان به تنش‌های خشکی را افزایش دهد (Blanco-Canqui, 2017). در سال‌های اخیر آزمایش‌های گسترده‌ای در ارتباط با تاثیر بیوجار بر رشد گیاهان و حاصلخیزی خاک انجام شده است ولی اغلب این مطالعات روی گیاهان زراعی بوده و در رابطه با تاثیر بیوجار بر گیاهان زینتی اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. بنابراین، با توجه به اهمیت گیاه شمعدانی معطر و مدیریت منابع آبی، تحقیقی به منظور بررسی اثر کود

دامی و بیوجار حاصل از آن بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر به عنوان گیاه زینتی تحت شرایط غیر تنش و تنش کم آبیاری انجام شد.

پیشینه پژوهش

تحقیقات زیادی گزارش کردند که تنش خشکی با تاثیر بر وضعیت آبی گیاهان باعث تغییرات مورفوفیزیولوژیک (کاهش تبدلات گازی و شاخص‌های رشد) و بیوشیمیایی (افزایش مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی) زیادی می‌شود که در نهایت کاهش رشد و عملکرد را به همراه دارد (Zomorodi *et al.*, 2022; Kadhim *et al.*, 2021; Sajwan *et al.*, 2020). در یک بررسی اعمال تنش کم آبیاری (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) در شمعدانی معطر سبب کاهش در ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، عملکرد ماده تر و خشک گردید و کم‌ترین عملکرد ماده خشک در سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (Rezaei Nejad *et al.*, 2013).

مطالعات روی گیاهان مختلف از جمله ریحان، زوفای بزرگ معطر، گشنیز، درمنه خزری و مرزه^۱ نشان داده است که کود دامی با افزایش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای (Moghaddam *et al.*, 2015) و فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) و غیر آنزیمی (ترکیبات فنلی، پرولین) می‌تواند باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان شود (Kadhim *et al.*, 2021; Fakhraabadi & Khoshsimaaie, 2021; Sajwan *et al.*, 2020; Saki *et al.*, 2019). استفاده از انواع کودهای آلی و دامی به خصوص در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر جهت حفظ کیفیت خاک است. کود دامی با افزایش مواد آلی خاک سبب افزایش درصد خلل و فرج خاک و در نهایت رشد و گسترش بیشتر ریشه گیاه در خاک شده که باعث بهبود جذب آب توسط گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش کم آبی می‌شود (Shadkam & Mohajeri, 2019).

بررسی اثر کاربرد کود دامی و دور آبیاری بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی شمعدانی معطر نشان داد که با افزایش دور آبیاری، شاخص‌های رشدی، غلظت مالون دی‌آلدئید، محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز افزایش می‌یابند. کود دامی در بهبود رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه در شرایط کم آبیاری موثر بود، به طوری که در اکثر صفات از جمله سطح برگ، وزن تر و خشک گیاه، بستر حاوی کود دامی با دور آبیاری ۷ روز یکبار با تیمار شاهد (دور آبیاری ۳ روز یکبار) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Jafari *et al.*, 2016). به طور مشابه در گیاه گشنیز کاربرد کود دامی در شرایط تنش آبی سبب افزایش وزن تر و خشک بوته، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع بوته، میزان کلروفیل، قندهای محلول، فنول، درصد و عملکرد اسانس و در نتیجه بهبود رشد گیاه گردیده است (Kadhim, 2021).

تحقیقات نشان داده است که کودهای دامی با تامین ماده آلی خاک که از عوامل اصلی موثر بر ساختمان خاک است می‌توانند کیفیت فیزیکی خاک را بهبود بخشند. هرچند به دلیل سرعت بالای تجزیه آنها در خاک با مرور زمان از تاثیرشان بر ویژگی‌های خاک کاسته می‌شود. با تبدیل کودهای دامی به بیوجار، از برخی مشکلات کودهای دامی مانند حجم و وزن زیاد و نفوذ شیرابه آنها به آب‌های زیرزمینی و رها شدن گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر کاسته می‌شود (Nahidan *et al.*, 2020). همچنین بررسی‌ها نشان داده است که کربن بیوجار دارای اشکال آروماتیک بوده که در مقایسه با کربن موجود در ماده اولیه

- 1 *Ocimum basilicum*
- 2 *Agastache foeniculum*
- 3 *Coriandrum sativum*
- 4 *Artemisia annua*
- 5 *Satureja Mutica*

آن تجزیه پذیری کمتری دارد. بنابراین افزودن بیوپچار به خاک می‌تواند مخزن بالقوه‌ای از کربن در خاک را فراهم کند (Yadav et al., 2020).

در شرایط تنش خشکی، استفاده از بیوپچار با افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و پتاسیم باعث بهبود مولفه‌های رشد گیاه می‌شود (Egamberdieva et al., 2020; Ebrahimi et al., 2021). در واقع توانایی بالای بیوپچار در جذب و نگهداری عناصر غذایی و همچنین جلوگیری از آبشویی آن‌ها، جذب فلزات سمی و کودهای شیمیایی و کاهش آزادسازی گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود که در نتیجه افزایش رشد گیاهان را به دنبال دارد (Yadav et al., 2020).

تحقیقات روی گیاه سیاهدانه تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که کاربرد بیوپچار در مناطق خشک و نیمه خشک علاوه بر بهبود خصوصیات خاک، جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش می‌دهد و با تاثیر بهینه بر عملکرد، میزان آب مصرفی را کاهش و باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود (Abbaspour et al., 2019). در بررسی مزایای بیوپچار نسبت به سایر اصلاحات آلی بر بهره‌وری گیاه شمعدانی معطر از نیتروژن و فسفر، نشان داده شد که تبدیل زباله‌های آلی به بیوپچار می‌تواند گزینه امیدوارکننده‌تری جهت کاهش اتلاف مواد مغذی و هزینه‌ها و در نتیجه گسترش کشاورزی پایدار باشد (Yadav et al., 2020).

در یک بررسی با کاربرد بیوپچار در گیاه بادنجان تحت تنش کم آبیاری نشان داده شد که بیش‌ترین مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ، وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع بوته، کلروفیل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کارایی مصرف آب در تیمار بیوپچار مشاهده شد و کاربرد بیوپچار در شرایط تنش موجب کاهش نشت الکترولیت، مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز شد (Ebrahimi et al., 2021).

روش‌شناسی پژوهش

آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل و چهار تکرار در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی لرستان (دمای روزانه ۲۸-۲۰ و شبانه ۲۰-۱۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و شدت نور ۴۰۰-۵۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) در بهار و تابستان ۱۴۰۰ انجام شد. عامل اول شامل سطوح آبیاری در سه سطح (۲۰، ۵۰، ۸۰ درصد آب قابل دسترس در خاک) و عامل دوم شامل بستر کاشت در شش سطح شامل شاهد (یک قسمت ماسه، یک قسمت خاک زراعی)، بستر کود دامی (خاک و ماسه به نسبت مساوی و کود دامی ۲۵ درصد حجمی)، بیوپچار به مقدار ۵ گرم در یک کیلوگرم + بستر شاهد، بیوپچار به مقدار ۱۰ گرم در یک کیلوگرم + بستر شاهد، بیوپچار به مقدار ۵ گرم در یک کیلوگرم + بستر کود دامی و بیوپچار به مقدار ۱۰ گرم در یک کیلوگرم + بستر کود دامی بود. کود دامی پوسیده مورد نیاز برای تهیه بیوپچار از ایستگاه دامپروری دانشکده کشاورزی لرستان تهیه شد و در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت چهار ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در داخل کوره الکتریکی قرار داده شد تا فرآیند گرماکافت صورت گیرد. قلمه‌های شمعدانی معطر در بهار از سرشاخه گیاهان مادری از گلخانه دانشکده کشاورزی لرستان تهیه و یک ماه بعد از قلمه‌زنی و ریشه‌دار شدن در گلدان‌های ۱/۵ کیلوگرمی حاوی بستر مورد نظر کشت شد. پس از استقرار گیاهان، تیمار تنش کم آبیاری با کمک دستگاه صفحات فشاری و روش وزنی محاسبه و اعمال شد. سه ماه بعد از اعمال تنش کم آبیاری، ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک شامل تعداد برگ، تعداد گره ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، طول ریشه

1. *Nigella sativa* L.

۲. Available water content (AWC) یعنی میزان آب خاک در حالت ظرفیت مزرعه معادل صد در صد آب قابل دسترس است. در این تحقیق وقتی میزان آب خاک به ۵۰، ۸۰ و ۲۰ رسیده است آبیاری انجام شده است که آبیاری در ۸۰ درصد به عنوان شاهد و ۵۰ درصد به عنوان تنش متوسط و ۲۰ درصد به عنوان تنش شدید در نظر گرفته شده است.

(طولیل ترین طول ریشه (بیانگر عمق توسعه ریشه)) و وزن تر و خشک ریشه، رنگیزه‌های فتوستنتزی (Lichtenthaler, 1987)، محتوای مالون دی‌آلدئید (Wang et al., 2009) و پرولین (Bates, 1973) و همچنین درصد نشت الکترولیت (Lutts et al., 1996) اندازه‌گیری شدند. برای استخراج اسانس گیاه شمعدانی معطر از روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر استفاده شد. در نهایت درصد و عملکرد اسانس محاسبه شدند (Amani Machiani et al., 2018). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد. رسم نمودار با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیوشیمیایی خاک گلدان‌ها

بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	بی‌اچ	ظرفیت مزرعه‌ای (درصد)	نقطه پژمردگی دائم (درصد)
لومی رسی-شنی	۲۴/۲	۴/۰۸	۷۱/۷۱	۰/۴	۸/۱۸	۲۳/۲۲	۱۷/۶۶

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی خاک گلدان‌ها

مس	منیزیم	روی	آهن	کلسیم	منگنز	پتاسیم	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	ماده آلی (درصد)
۱/۳۳۴	۴۵۲/۰۷۸	۰/۵۴۲۲	۲/۲۸۲	۲۰۳۷۰/۹۴	۴/۸۹۲	۲۲۰/۹۶	۰/۰۸۳	۰/۷۴۱	۱/۲۷۷

(میکروگرم بر گرم)

یافته‌های پژوهش

تعداد گره و ساقه جانبی

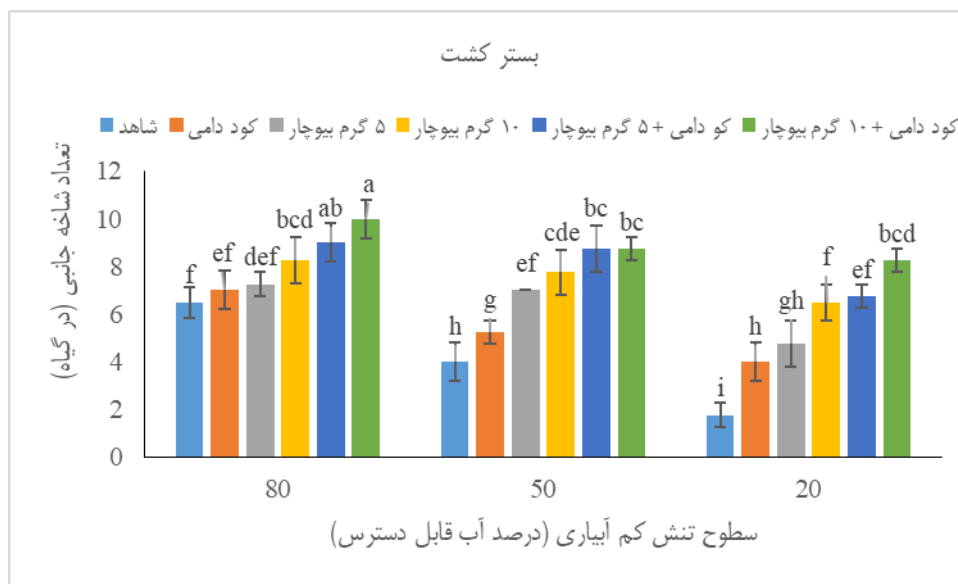
نتایج تجزیه واریانس اثر بستر کشت در شرایط تنش کم آبی بر برخی ویژگی‌های رشدی مانند تعداد شاخه جانبی و تعداد گره نشان داد که اثر متقابل تنش کم آبیاری و بستر کشت بر تعداد گره و شاخه جانبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تعداد گره تحت تاثیر تنش کم آبیاری کاهش یافت و در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس ۴۱/۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌دار داشت، هر چند در این ویژگی اختلاف معنی‌داری در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس مشاهده نشد. کاربرد کود دامی پوسیده نیز در سطح غیر تنش و تنش منجر به کاهش تعداد گره شد. استفاده از بیوجار نیز در دو غلظت ۵ و ۱۰ گرم با افزایش سطح تنش کم آبیاری منجر به کاهش تعداد گره شد (بجز سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس با غلظت ۱۰ گرم بیوجار)، به طوری که بیشترین تعداد گره (۱۸ عدد) در تیمار شاهد (بدون تنش کم آبیاری، در هر دو حالت دارای کود دامی و بیوجار) مشاهده شد. همچنین تیمار ۱۰ گرم بیوجار همراه با کود دامی در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس نیز کمترین تعداد گره (۷/۷۵ عدد) را ایجاد نمود (جدول ۴). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش تعداد شاخه جانبی شد، به طوری که در مقایسه با تیمار شاهد (سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس) در سطوح ۲۰ و ۵۰ درصد آب قابل دسترس به ترتیب ۷۳/۰۷ و ۳۸/۴۶ درصد کاهش داشت. استفاده از کود دامی پوسیده و بیوجار (در هر دو غلظت ۵ و ۱۰ گرم) به صورت جداگانه باعث افزایش تعداد ساقه جانبی در مقایسه با تیمارهای شاهد همان سطوح تنش (تیمار ۸۰، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون بیوجار و کود دامی پوسیده) شد. بررسی اثر متقابل تنش کم آبیاری در ترکیب با بسترهای کشت نشان داد کاربرد ترکیبی کود

دامی پوسیده همراه با بیوچار در غلظت‌های مختلف نیز باعث افزایش تعداد شاخه جانبی در سطوح مختلف تنش کم آبیاری شد و در بین تیمارهای مختلف ترکیب ۱۰ گرم بیوچار با کود دامی پوسیده عملکرد بهتری در افزایش تعداد شاخه جانبی نشان داد. در مجموع، تیمار کوددامی پوسیده با ۱۰ گرم بیوچار بیشترین تعداد ساقه جانبی (۵۳/۸ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) را نشان داد. تیمار تنش شدید بدون کوددامی پوسیده و بیوچار نیز کمترین مقدار شاخص فوق را نشان داد (شکل ۱).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر نوع بستر کشت بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد شاخه جانبی	تعداد گره	تعداد برگ	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
تنش کم آبیاری	۲	**۴۳/۰۱	**۳۲۳/۲۶	**۴۲۵۳/۸۵	**۲۲۷۴/۶	**۳۶/۷۹	ns۹/۸۸	**۷۴۸/۲۲	**۱۴/۰۷
بستر کشت	۵	**۴/۶۱	**۶/۰۲	**۲۲۸/۱۱	**۹۱/۰	**۱/۰۸	**۶۸/۱۴	**۶۴/۳۷	**۵/۳۲
تنش کم آبیاری × بستر کشت	۱۰	ns۱/۱۸	**۴/۶۳	**۱۶۶/۸۰	**۱۰/۴۱	**۰/۱۳	**۲۱/۰۲	ns۲/۴۲	**۰/۲۷
خطای آزمایشی	۵۴	۱/۴۵	۱/۲۱	۵/۸۱	۲/۳۵	۰/۰۲۷	۷/۱۵	۲/۲۷۱	۰/۰۱۷۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۷/۹۲	۸/۹۷	۵/۷	۸/۰۶	۵/۹۷	۹/۰۷	۱۲/۷۴	۳/۹۸

ns، *، **، ***: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.



شکل ۱. اثر تنش کم آبیاری و بستر کشت بر میانگین تعداد شاخه جانبی گیاه شمعدانی معطر

تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش کم آبیاری در ترکیب با بستر کشت بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه شمعدانی معطر مانند تعداد برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش کم آبیاری از تعداد برگ کاسته شد، در حالی که کاربرد بیوجار و ترکیب توام کود دامی و بیوجار موجب افزایش آن شد و بیشترین تعداد برگ (۶۷/۲۵ عدد) در تیمار ۸۰ درصد آب قابل دسترس و کاربرد ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوجار+ کود دامی مشاهده شد. اما در سطوح تنش کم آبیاری ۲۰ و ۵۰ درصد آب قابل دسترس، استفاده از بیوجار+ کود دامی تعداد برگ را کاهش داد و کمترین تعداد برگ (۲۷/۵ عدد) در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس و کاربرد ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوجار+ کود دامی مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف تنش کم آبیاری و بستر کاشت بر برخی خصوصیات مورفولوژیک گیاه شمعدانی معطر

بستر کشت	تنش کم آبیاری (آب قابل دسترس در خاک)	تعداد گره (عدد)	تعداد برگ (عدد)	وزن تر اندام هوایی		طول طویل‌ترین ریشه (سانتی متر)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)
				وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی		
شاهد	۸۰	a ۱۸/۰	c ۵۵/۷	b ۳۵/۸۳	b ۴/۰۷	a c ۳۲/۲۵	f ۳/۰۵
	۵۰	f h ۱۱/۲	f g ۳۴/۵	f g ۲۲/۲۶	f g ۲/۴۷	a b ۳۳/۷۵	e ۲/۷۱
	۲۰	h i ۱۰/۵	h ۲۷/۷	h ۱۸/۲۹	i ۱/۸۲	a c ۳۲/۲۵	i ۱/۶۲
کود دامی	۸۰	a b ۱۷/۲	d ۴۶/۲	b ۳۶/۴۸	b ۴/۱۴	e g ۲۹/۰	c ۳/۹۶
	۵۰	g i ۱۱/۰	f ۳۶/۵	e f g ۳۳/۷۵	e f g ۲/۶۳	c e ۲۸/۵۰	f ۳/۰۷
	۲۰	i j ۹/۵	e ۳۲	g h ۲۰/۸۳	h i ۲/۰۸	b f ۳۰/۵۰	h ۲/۵۱
شاهد ۵+ گرم بیوجار	۸۰	a-c ۱۶/۵	b ۶۰/۲	a ۴۳/۶۵	a ۴/۹۷	e g ۲۵/۲۵	f ۳/۹۶
	۵۰	f b ۱۱/۲	b c ۵۷/۲	c ۲۹/۹۸	c ۳/۳۳	d e ۲۷/۵۰	f ۲/۹۵
	۲۰	j k ۸/۷	e ۳۲/۵	f g ۲۲/۲۵	g h i ۲/۲۲	d e ۲۸/۰	i ۱/۷۶
شاهد و ۱۰ گرم بیوجار	۸۰	b c ۱۶/۲	c ۵۵/۷	a ۴۳/۷۶	a ۴/۷۴	b c ۳۱/۲۵	a ۴/۷۱
	۵۰	e f ۱۲/۷	e ۴۲/۰	c d e ۲۶/۴۷	c d e ۲/۹۴	b d ۳۱/۵۰	b ۴/۳۸
	۲۰	j k ۸/۷	f g ۳۴/۵	e f g ۲۴/۴۹	f g h ۲/۴۴	e ۲۵/۳۷	f ۲/۹۶
کود دامی و ۵ گرم بیوجار	۸۰	c d ۱۵/۲	c ۵۴/۵	a ۴۱/۷۸	a ۴/۹۶	b-f ۳۰/۷۵	a ۴/۷۳
	۵۰	e g ۱۲/۵	f ۳۶/۵	d e f ۲۵/۷۰	d e f ۲/۸۵	c f ۲۹/۵۰	d ۳/۷۵
	۲۰	j k ۸/۰	h ۲۷/۷	d e f ۲۵/۴۰	e f g ۲/۵۴	e ۲۵/۵۰	e ۳/۴۹
کود دامی و ۱۰ گرم بیوجار	۸۰	d e ۱۳/۷	a ۶۷/۲	a ۴۲/۹۶	a ۴/۸۸	b-f ۳۰/۲۵	a ۴/۵۹
	۵۰	f ۱۲/۰	e ۳۲/۲	c d ۲۸/۵۴	c d ۳/۱۷	c-f ۲۸/۷۵	e ۳/۳۹
	۲۰	h ۷/۷	h ۲۷/۵	f g ۲۲/۴۶	g h i ۲/۲۴	f g ۲۷/۱۲	g h ۲/۶۷

مقادیر میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) می‌باشند.

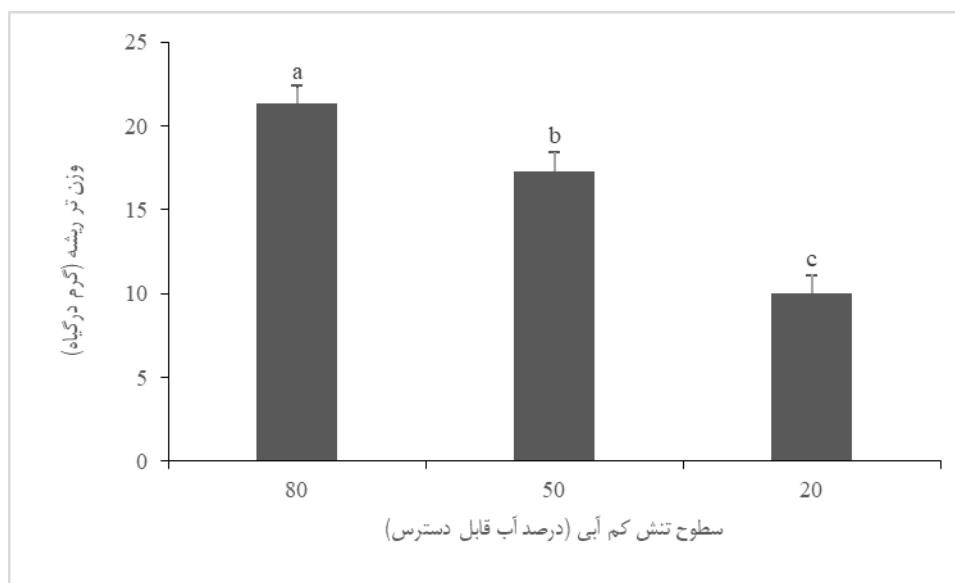
بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش کم آبیاری، وزن تر اندام هوایی را کاهش داد، در حالی که کاربرد ترکیب کود دامی و بیوجار موجب افزایش شاخص مذکور شد، به طوری که بیشترین وزن تر بوته (۴۳/۷۳ گرم) در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس با کاربرد ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوجار مشاهده شد. کمترین مقدار وزن تر اندام هوایی یک بوته (۱۸/۲۹ گرم) نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم کاربرد بیوجار و کود دامی (شاهد) ثبت شد (جدول ۳). کاربرد توام بیوجار و کود دامی به طور معنی‌داری سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه شد و بیشترین وزن خشک اندام هوایی یک بوته (۴/۹۷)

گرم) در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس و تیمار ۵ گرم بیوچار دیده شد. همچنین، کمترین مقدار آن با ۱/۸۲ گرم در بوته نیز در تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم کاربرد کود دامی مشاهده گردید (جدول ۴).

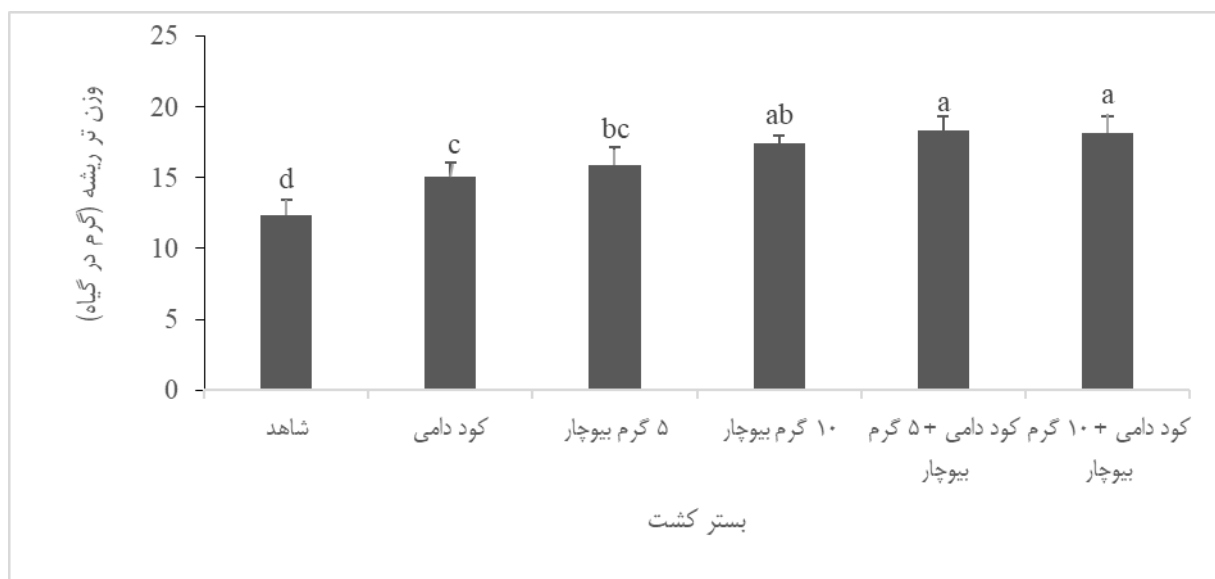
ویژگی‌های ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بستر کشت و کم آبیاری بر طول طویل‌ترین ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد طول طویل‌ترین ریشه در سطح تنش ۵۰ درصد آب قابل دسترس افزایش نسبی داشت، اما با افزایش شدت تنش کاهش پیدا کرد، هرچند اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش کم آبیاری مشاهده نشد. با این وجود، کاربرد کود دامی و بیوچار و ترکیب آن‌ها در شرایط تنش، اثرات متفاوتی روی طول طویل‌ترین ریشه داشت. به طوری که در تیمار شاهد و تیمار کود دامی و بیوچار پنج گرم بر کیلوگرم، با کاهش سطح آبیاری، طول طویل‌ترین ریشه افزایش نسبی یافت به طوری که اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد، اما در تیمارهای ۱۰ گرم بیوچار و ترکیب بیوچار با کود دامی در هر دو غلظت با کاهش سطح آبیاری، کاهش طول ریشه مشاهده شد. در مجموع، بیشترین طول ریشه (۳۵/۹۸ سانتی‌متر) در رطوبت ۵۰ درصد آب قابل دسترس بدون بیوچار و کود دامی به دست آمد. کمترین طول طویل‌ترین ریشه (۲۵/۲۵ سانتی‌متر) نیز در رطوبت ۵۰ درصد آب قابل دسترس در ترکیب با پنج گرم بر کیلوگرم بیوچار مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بستر کشت و کم آبیاری بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، اثرات ساده تنش کم آبیاری و بستر کشت روی وزن تر ریشه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که وزن تر ریشه تحت تاثیر تنش کم آبیاری کاهش پیدا کرد و در سطوح ۲۰ و ۵۰ درصد آب قابل دسترس نسبت به سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس به ترتیب ۵۵/۱۱ و ۲۳/۱۵ درصد کاهش نشان داد (شکل ۲). کاربرد کود دامی و بیوچار باعث افزایش وزن تر ریشه شد، به طوری که وزن تر ریشه در تیمارهای آزمایشی شامل کود دامی، شاهد + پنج گرم بیوچار، شاهد + ۱۰ گرم بیوچار، کود دامی + پنج گرم بیوچار و کود دامی + ۱۰ گرم بیوچار نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۳/۸۹، ۲۹/۲۷، ۳۳/۴۶، ۴۰/۶۵ و ۳۷/۶۵ درصد افزایش نشان داد، هرچند بین تیمارهای کود دامی در ترکیب با پنج و ۱۰ گرم بیوچار و همچنین ۱۰ گرم بیوچار به تنهایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. غلظت‌های پنج و ۱۰ گرم بیوچار نیز از نظر وزن تر ریشه اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۳). وزن خشک ریشه نیز متاثر از تنش کم آبیاری کاهش یافت و در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس کمترین مقدار (۱/۶۲ گرم در بوته) را ثبت کرد. اما کاربرد کود دامی و بیوچار در سطوح مختلف تنش کم آبیاری منجر به افزایش وزن خشک ریشه شد و بیش‌ترین وزن خشک ریشه (۴/۷۳ گرم در بوته)، در تیمار ۵ گرم بیوچار و کود دامی در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس مشاهده شد. هرچند با تیمارهای کود دامی، ۱۰ گرم بیوچار + شاهد و ۱۰ گرم بیوچار در رطوبت ۸۰ درصد آب قابل دسترس تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).



شکل ۲. تاثیر تنش کم آبیاری بر میانگین وزن تر ریشه گیاه شمعدانی معطر



شکل ۳. تاثیر نوع بستر کشت بر میانگین وزن تر ریشه گیاه شمعدانی معطر

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بستر کشت و کم آبیاری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها) گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی شد. کمترین مقدار کلروفیل a ($4/63$ میلی گرم در گرم وزن تر)، کلروفیل b ($2/3$ میلی گرم در گرم وزن تر) و کاروتنوئیدها ($1/100$ میلی گرم بر گرم وزن تر) در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس و با اختلاف آماری معنی‌دار نسبت به سایر سطوح آبیاری مشاهده شد. کاربرد بسترهای کود دامی و بیوجار در هر دو غلظت در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی را افزایش داد، هر چند با

کاهش مقدار آب از غلظت آن‌ها کاسته شد. بررسی اثر متقابل تنش کم آبیاری و تیمارهای کودی نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل a (۸/۵۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، کلروفیل b (۵/۴۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کاروتنوئیدها (۲/۷۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار ۱۰ گرم بیوچار + کود دامی در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس به‌دست آمد (جدول ۶).

نشت الکترولیت و محتوای مالون دی‌آلدئید و پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بستر کشت و کم آبیاری بر درصد نشت الکترولیت، و مقادیر پرولین و مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش تنش کم آبیاری، نشت الکترولیت بیشتر شد، به‌طوری‌که در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس در خاک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۲۲۲ درصدی نشان داد. با این حال، کاربرد کود دامی و بیوچار در هر دو غلظت تحت شرایط غیرتنش و سطوح مختلف تنش کم آبیاری باعث کاهش نشت الکترولیت شد. همچنین، ترکیب کوددامی و بیوچار تاثیر بهتری در کاهش نشت الکترولیت داشت، به‌طوری‌که کمترین نشت الکترولیت (۲۷ درصد کاهش در مقایسه با تیمار شاهد) در تیمار ترکیبی کوددامی و ۱۰ گرم بیوچار مشاهده شد. تیمار تنش شدید بدون کوددامی و بیوچار نیز کمترین درصد نشت الکترولیت را نشان داد که با تیمار کود دامی + ۵ گرم بیوچار در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس، اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۶).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر بستر کشت بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئیدها	نشت الکترولیت	مالون دی‌آلدئید	پرولین	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تنش کم آبیاری	۲	**۱۳/۵۰	**۱۷/۳۹۶	**۲/۸۵۹	**۷۳۹۳/۱	**۱۲/۵۸	**۸۸/۸۷	۰/۱۰۰**	۰/۰۰۸۱**
بستر کشت	۵	**۱۳/۴۱۵	**۴/۶۷۰	**۱/۹۳۴	**۵۴۱/۵	**۲/۶۱	**۵/۷۴	۰/۰۵۵**	۰/۰۰۱۱**
تنش کم آبیاری × بستر کشت	۱۰	**۰/۳۲۵	**۰/۱۳۸	**۰/۰۵۲	**۷۵/۶	**۰/۷۹	**۰/۹۲	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۰۱**
خطای آزمایشی	۵۴	۰/۰۵۱	۰/۰۳۸	۰/۰۰۹	۵/۶	۰/۲۴	۰/۸۰	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۴۸	۵/۳۸	۵/۴۹	۷/۵۳	۶/۶۲	۷/۵۷	۱/۰۹	۳/۲۳

*, **, NS: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

بررسی اثر متقابل عامل‌ها (بستر کشت و کم آبیاری) بر محتوای مالون دی‌آلدئید نشان داد که تنش کم آبیاری باعث افزایش ۱۸۸ درصدی مقدار این شاخص شد، در حالی‌که تیمارهای کودی سبب کاهش مقدار آن شدند. در مجموع بیشترین مقدار مالون دی‌آلدئید (۳/۴۲ میکروگرم بر گرم وزن تر) در رطوبت ۲۰ درصد آب قابل دسترس و در تیمار شاهد فاقد کوددامی و بیوچار مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار مالون دی‌آلدئید (۰/۹۱ میکروگرم بر گرم وزن تر) در تیمار ۱۰ گرم بیوچار + کود دامی در رطوبت ۸۰ درصد آب قابل دسترس به‌دست آمد. اگرچه با تیمار ۱۰ گرم بیوچار + کود دامی در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس، اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶).

بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح تنش کم آبیاری، میزان پرولین نیز بیشتر شد و در سطح تنش ۲۰ درصد آب قابل دسترس ۱۸۸ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد. در حالی‌که، کاربرد تیمارهای کود دامی و بیوچار محتوای پرولین گیاه را کاهش دادند. به‌طوری‌که کمترین (۱/۴۹ میکروگرم بر گرم وزن تر) مقدار آن در تیمار

۱۰ گرم در کیلوگرم بیوجار و کود دامی در سطح رطوبت ۸۰ درصد آب قابل دسترس مشاهده شد. با این حال، اختلاف معنی داری با تیمارهای کود دامی + پنج گرم بیوجار، و غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم بیوجار در سطح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نشان نداد (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر تنش کم آبیاری و بستر کاشت بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه شمعدانی معطر

پرولین (میکروگرم در گرم وزن تر)	مالون دی‌آلدئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	نشست الکترولیت (درصد)	کاروتنوئیدها			تنش کم آبیاری (درصد آب قابل دسترس)	بستر کشت
			کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئیدها (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		
f _{۲/۵۰}	ef _{۲/۲۹}	i _{۲۲}	g _{۱/۴۸}	fg _{۲/۵۸}	h _{۵/۴۰}	۸۰	شاهد
d _{۴/۱۴}	cd _{۲/۶۱}	b _{۶۰}	h _{۱/۱۹}	i _{۲/۴۴}	i _{۴/۷۲}	۵۰	
a _{۷/۲۰}	a _{۳/۴۲}	a _{۷۱}	h _{۱/۱۰}	i _{۲/۳۰}	i _{۴/۶۳}	۲۰	
fg _{۲/۱۱}	i _{۲/۰۳}	ij _{۲۰}	f _{۱/۶۹}	de _{۴/۰۸}	ef _{۶/۶۲}	۸۰	کود دامی
cd _{۴/۲۲}	h _{۲/۲۷}	ef _{۴۲}	g _{۱/۴۱}	de _{۳/۰۲}	h _{۵/۳۴}	۵۰	
a _{۶/۹۰}	b _{۳/۳۲}	d _{۵۱}	h _{۱/۱۹}	i _{۲/۵۲}	i _{۴/۷۶}	۲۰	
gh _{۱/۸۴}	j _{۱/۴۳}	ij _{۲۰}	de _{۲/۰۸}	cd _{۴/۲۰}	d _{۶/۹۳}	۸۰	شاهد ۵ گرم بیوجار
d _{۳/۹۱}	i _{۱/۹۳}	e _{۴۴}	f _{۱/۷۶}	cd _{۳/۳۹}	ef _{۶/۴۱}	۵۰	
b _{۵/۸۹}	c _{۳/۱۹}	c _{۵۵}	g _{۱/۴۲}	i _{۲/۵۵}	h _{۵/۲۸}	۲۰	
gh _{۱/۷۷}	j _{۱/۱۴}	ij _{۱۹}	c _{۲/۳۲}	b _{۴/۶۳}	c _{۷/۳۵}	۸۰	شاهد ۱۰ گرم بیوجار
e _{۳/۱۹}	i _{۱/۵۵}	fg _{۳۹}	e _{۱/۹۷}	b _{۳/۸۵}	c _{۷/۱۵}	۵۰	
b _{۵/۶۴}	c _{۲/۶۶}	d _{۵۰}	g _{۱/۵۵}	i _{۲/۹۰}	g _{۶/۰۷}	۲۰	
h _{۱/۶۲}	j _{۱/۱۹}	jk _{۱۸}	b _{۲/۵۷}	a _{۵/۱۳}	b _{۸/۱۰}	۸۰	کود دامی + ۵ گرم بیوجار
e _{۳/۱۸}	j _{۱/۱۴}	gh _{۳۸}	d _{۲/۱۲}	cd _{۴/۲۳}	c _{۷/۴۱}	۵۰	
c _{۴/۵۶}	de _{۲/۴۳}	d _{۴۹}	f _{۱/۷۱}	hi _{۳/۱۶}	fg _{۶/۳۵}	۲۰	
h _{۱/۴۹}	k _{۰/۹۱}	k _{۱۶}	a _{۲/۷۵}	a _{۵/۴۰}	a _{۸/۵۷}	۸۰	کود دامی + ۱۰ گرم بیوجار
e _{۲/۹۶}	jk _{۱/۱۰}	h _{۳۶}	c _{۱/۳۲}	bc _{۴/۴۴}	c _{۷/۶۰}	۵۰	
cd _{۴/۱۹}	fg _{۲/۱۶}	ef _{۴۳}	f _{۱/۷۹}	g _{۳/۴۷}	de _{۶/۷۱}	۲۰	

مقادیر میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) می‌باشند.

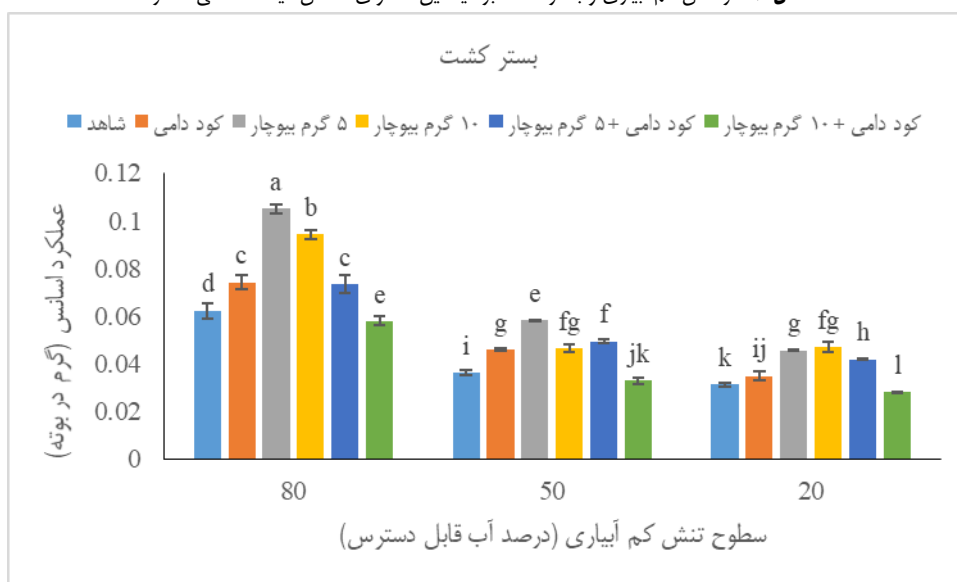
درصد (محتوا) و عملکرد اسانس

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بستر کشت و کم آبیاری بر درصد اسانس و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزایش تنش کم آبیاری تا ۲۰ درصد آب قابل دسترس منجر به افزایش ۲۶/۳ درصدی در محتوای اسانس در گیاه شمعدانی معطر شد. کاربرد بیوجار (هر دو غلظت ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم) و کود دامی باعث افزایش محتوای اسانس شد. در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، ترکیب ۵ گرم در کیلوگرم بیوجار با کود دامی باعث افزایش در محتوای اسانس شد، اما سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوجار در ترکیب با کود دامی در تمام سطوح آبیاری (۸۰، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس) باعث کاهش درصد اسانس شد. به طوری که در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس کمترین (۲۱ درصد کاهش در مقایسه با تیمار شاهد) میزان اسانس را در بین تیمارهای مختلف نشان داد. با این حال، ترکیب ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوجار در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس نیز بیشترین مقدار اسانس (۷۱ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) را داشت (شکل ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین

داده‌ها، عملکرد اسانس با افزایش سطح تنش کم آبیاری در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس کاهش ۵۰ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد. اما استفاده از کود دامی و بیوجار (هر دو غلظت) در تمام سطوح تنش آبیاری باعث افزایش در عملکرد اسانس شد. ترکیب کود دامی با غلظت ۵ گرم در کیلوگرم بیوجار نیز سبب افزایش در عملکرد اسانس شد. اما ترکیب ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوجار با کود دامی باعث کاهش عملکرد اسانس شد و در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس کمترین میزان عملکرد (۵۶/۴ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد) به دست آمد. در مجموع، غلظت ۵ گرم در کیلوگرم بیوجار در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس بیشترین عملکرد (۶۷/۷ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) را نشان داد (شکل ۵).



شکل ۴. اثر تنش کم آبیاری و بستر کشت بر میانگین محتوای اسانس گیاه شمعدانی معطر



شکل ۵. اثر تنش کم آبیاری و بستر کشت بر میانگین عملکرد اسانس گیاه شمعدانی معطر

بحث

طول ساقه و میانگره، تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش تنش کم آبیاری از تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ کاسته شد. کاربرد کود دامی و بیوجار در شرایط غیر تنش تاثیر مثبتی نشان نداد. اما در شرایط تنش کم آبیاری به خصوص در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس باعث افزایش قابل توجهی در شاخص‌های فوق شد. تحت شرایط تنش خشکی، از یک طرف فشار تورژانس در سلول‌های در حال ازدیاد گره ساقه (ساقه در حال رشد) کاهش یافته و از طرفی دیگر تولید مواد فتوسنتزی نیز کم می‌شود، لذا طول ساقه و میانگره تحت تاثیر تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند (Kadhim et al., 2022; Zomorodi et al., 2021). همچنین، تنش خشکی از طریق آسیب‌های اکسیداتیو، کاهش جذب عناصر غذایی توسط ریشه و اختلال در تغذیه گیاه منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Lopez et al., 2020; Sajwan et al., 2020; Safei Charikar et al., 2020). بیوجار و کود دامی از طریق افزایش محتوای عناصر غذایی (مانند نیتروژن و فسفر) و کربن خاک، شاخص‌های مورفولوژیک گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهند، همچنین بیوجار موجب افزایش تخلخل خاک و حفظ رطوبت در خاک می‌شود، در نتیجه اثرات منفی تنش کاهش یافته و رشد گیاه افزایش می‌یابد (Chen et al., 2014). با بررسی اثر بیوجار بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه مریم گلی تحت تنش خشکی، بهبود برخی خصوصیات مورفولوژیک گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و قطر ساقه گزارش شد، هرچند اثر متقابل بیوجار و تنش خشکی روی سطح برگ گیاه مریم گلی معنی‌دار نبود (Ghiyas et al., 2022).

وزن تر و خشک اندام هوایی

تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی از طریق محدودیت‌های روزنه‌ای (انسداد روزنه‌ها، تعداد و سطح روزنه) و غیر روزنه‌ای (کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی)، تولید ماده خشک اندام هوایی را کاهش می‌دهد (Anjum et al., 2011). از دیگر عوامل موثر بر کاهش عملکرد گیاه تحت شرایط کمبود آب، منفی‌تر شدن پتانسیل ماتریک خاک (Taiz & Zeiger, 2006) و اختلال در جذب مواد غذایی است (Kramer & Boyer, 1995). در پژوهش حاضر نیز وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تاثیر تنش خشکی به شدت کاهش پیدا کرد، اما کاربرد کود دامی و بیوجار در شرایط تنش و غیرتنش باعث افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی شد. کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاهان مختلف از جمله شمعدانی معطر (Rezaei Nejad et al., 2013)، گشنیز (Kadhim et al., 2021)، ریحان (Zarei et al., 2019; Fakhrabadi & Khoshsimaie, 2021) و پروانش (Zomorodi et al., 2022) تحت شرایط مختلف تنش خشکی گزارش شده است که با داده‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. کود دامی به دلیل تامین عناصر غذایی از جمله نیتروژن و افزایش خلل و فرج خاک، رشد و توسعه ریشه و در نتیجه جذب آب در گیاهان را نیز افزایش می‌دهد که بهبود رشد و نمو گیاهان را به همراه دارد (Shadkam & Mohajeri, 2019; Moradi-Ghahderijani et al., 2017). گزارش‌های مختلفی از افزایش وزن تر و خشک گیاه در نتیجه کاربرد بیوجار نیز تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد (Ghiyas et al., 2022; Fakhrabadi & Khoshsimaie, 2021; Yadav et al., 2020) که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

ویژگی‌های ریشه

رفتار ریشه گیاه متأثر از تنش رطوبتی خاک بوده و با افزایش تنش خشکی به‌عنوان یک عامل محدودکننده، در اعماق خاک به دنبال رطوبت نفوذ کرده و در نتیجه توسعه بیشتری خواهد یافت. با این حال، دیواره سلول‌های ریشه به تنش خشکی حساسیت کمتری داشته و ممکن است زمانی که رشد اندام‌های هوایی متوقف شود، رشد آن هنوز ادامه داشته باشد (Mohammadi et al., 2020). نتایج پژوهش حاضر نشان داد طول ریشه تحت تاثیر تنش ۵۰ درصد آب قابل دسترس در

خاک افزایش کمی داشت اما با شدت تنش کاهش یافت. وزن تر و خشک ریشه نیز با اعمال تنش خشکی به شدت کاهش نشان دادند. کاهش وزن تر و خشک ریشه در اثر تنش خشکی به علت تاثیرپذیری ریشه به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای گیاه در اثر این پدیده است. در واقع با پیشرفت خشکی همچنان که فتوستنز برگ کاهش می‌یابد احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی افزایش یافته و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌گردد (Mohammadi et al., 2020). همچنین، کاهش رشد ریشه در شرایط تنش خشکی، می‌تواند به علت کاهش جذب آب، ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها باشد. در شرایط تنش، مقدار پروتئین‌های دیواره سلولی که در طول شدن و رشد سلول نقش دارند کاهش یافته و در نتیجه سبب کاهش طول ریشه‌چه و اندام هوایی می‌گردد (Zhang et al., 2014). نتایج تحقیق Fakhrabadi & Khoshsimai (2021) نشان داد که تنش کم آبیاری سبب کاهش وزن تر و خشک ریشه ریحان شد و با کاربرد بیوپار اثر تنش کم آبیاری کاهش یافت و سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه شد، که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. بیوپار نسبت به سایر مواد آلی خاک دارای سطح ویژه و بار منفی بیشتری می‌باشد که منجر به ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد و توانایی آن در جذب و نگهداری انواع ترکیبات آلی و معدنی می‌شود (Yadav et al., 2020)، علاوه بر این با افزایش تخلخل، کربن آلی و بهبود فعالیت میکروبی خاک، می‌تواند خاکدانه‌سازی خاک را تحت تاثیر قرار داده و ساختمان خاک را بهبود بخشد و از این طریق باعث افزایش رشد گیاه شود (Abbaspour et al., 2019). از طرف دیگر، کود دامی با افزایش خلل و فرج خاک و جذب آب و عناصر غذایی، رشد و گسترش ریشه گیاهان در خاک را افزایش می‌دهد و به دنبال تامین عناصر و بهبود تغذیه، میزان فتوستنز نیز افزایش یافته و در نهایت عملکرد کمی و کیفی گیاه را بهبود می‌بخشد. مجموع این عوامل می‌تواند حجم ریشه را افزایش دهد، اما طول ریشه که مکانیسمی جهت جذب آب از اعماق خاک یا بستر است را کاهش دهد، زیرا کود دامی و بیوپار باعث افزایش حفظ آب در بستر کشت می‌شوند (Shadkam & Mohajeri, 2019)، نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که با کاربرد کود دامی و بیوپار در شرایط تنش و غیرتنش از طول ریشه کاسته شد اما وزن تر و خشک آن افزایش یافت.

رنگیزه‌های فتوستنزی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مقدار رنگدانه‌های فتوستنزی (کلروفیل a و b، کاروتنوئیدها و کلروفیل کل) تحت تاثیر تنش کم آبیاری به شدت کاهش یافت. کاربرد کود دامی و بیوپار در شرایط تنش و غیر تنش باعث افزایش چشمگیری در مقادیر شاخص‌های مذکور شد و در تیمارهایی که ترکیب کود دامی و بیوپار با هم استفاده شدند تاثیر به مراتب بیشتری مشاهده شد. در راستای نتایج این پژوهش، تاثیر تنش خشکی در کاهش رنگیزه‌های فتوستنزی در گیاهان مختلف از جمله پروانش (Zomorodi et al., 2022)، گلرنگ (Arab-Bafrani et al., 2021) و شمعدانی معطر (Rezaei Nejad et al., 2013) نیز گزارش شده است. کاهش کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل افزایش فعالیت کلروفیلاز و تغییر در ساختار مولکولی کلروفیل و کمپلکس لیپید و پروتئین در غشا سلولی باشد. به علاوه، کاهش رنگدانه‌های موثر در فتوسیستم II و غیر فعال شدن آنزیم‌های مهم در چرخه کلون می‌تواند با بروز تنش خشکی رخ دهد (Ahmadzadeh, 2013). با این وجود، کاربرد بیوپار سبب کاهش اثرات منفی تنش کم آبی بر رنگدانه‌های فتوستنزی شد. به احتمال زیاد بیوپار به طور غیر مستقیم از طریق ترکیباتی مانند اسیدهای آلی، فراهم‌سازی عناصر را افزایش داده که برآیند کلی این مکانیسم در نهایت منجر به افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوستنزی می‌گردد (Arab-Bafrani et al., 2021). کود دامی نیز با افزایش حفظ رطوبت خاک، توانایی جذب آب توسط گیاه را افزایش داده و با کاهش سرعت اتلاف آماس و تنظیم اسمزی موجب کاهش پلاسمولیز می‌شود (Rezaei & Rafieolhossaini, 2017).

نشت الکترولیت، محتوای مالون دی آلدئید و پرولین

نشت یونی مبین پایداری غشای سیتوپلاسمی است. زمانی که سلول‌ها تحت شرایط تنش خشکی، آب خود را از دست می‌دهند پروتوپلاست چروکیده، فسفولیپیدهای غشا کروی شکل و غشا منفذدار می‌شود و نشت مواد اتفاق می‌افتد (Safahani & Noora, 2018). مالون دی آلدئید نیز یک فرآورده سیتوتوکسیک پراکسیداسیون لیپیدی و شاخص تولید رادیکال آزاد و میزان آسیب به بافت است. پراکسید هیدروژن با رادیکال سوپراکسید واکنش داده و باعث تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شوند که این رادیکال از طریق واکنش با گروه‌های متیلن اسیدهای چرب غیر اشباع (جزء ترکیبات اصلی لیپیدهای غشا) باعث پراکسیداسیون لیپیدی غشا شده و در نتیجه میزان مالون دی آلدئید افزایش می‌یابد (Kiani et al., 2022; Safahani & Noora, 2018). نتایج نشان داد که در پژوهش حاضر با اعمال تنش خشکی، نشت الکترولیت و غلظت مالون دی آلدئید و پرولین افزایش یافت و کاربرد کود دامی و بیوجار به خصوص در شرایط تنش کم آبیاری باعث کاهش نشت الکترولیت، محتوای مالون دی آلدئید و غلظت پرولین شد. تاثیر تنش خشکی در افزایش کاهش نشت الکترولیت و محتوای مالون دی آلدئید و پرولین در گیاهان مختلف گزارش شده است (Zomorodi et al., 2022; Kiani et al., 2022; Ebrahimi et al., 2021; Abbaspour et al., 2019). استفاده از بیوجار در خاک به دلیل ظرفیت جذب بالا و ساختار متخلخل آن باعث افزایش میزان نگهداشت آب شده و در نتیجه به طور قابل ملاحظه‌ای وضعیت آبی گیاه را افزایش می‌دهد که از این طریق سبب تقلیل اثر منفی تنش خشکی می‌گردد (Kiani et al., 2022; Ebrahimi et al., 2021). در تیمارهای کاربرد بیوجار نسبت به عدم کاربرد آن، تجمع پرولین، نشت یونی و محتوای مالون دی آلدئید کمتر بود. در این ارتباط Safahani & Noora (2018) نیز کاهش تجمع پرولین در کدو تنبل تحت شرایط تنش خشکی و با کاربرد بیوجار را نسبت به عدم کاربرد آن گزارش نمودند و بیان کردند که بیوجار با افزایش حفظ رطوبت خاک از طریق افزایش خلل و فرج خاک سبب کاهش تاثیر منفی تنش خشکی می‌گردد. همچنین، کاهش محتوای مالون دی آلدئید در سیاهدانه تحت شرایط تنش خشکی با کاربرد بیوجار و به دلیل کاهش هدررفت آب توسط بیوجار گزارش شده است (Kiani et al., 2022).

درصد و عملکرد اسانس

در پژوهش حاضر تنش کم آبیاری باعث افزایش درصد اسانس و کاهش در عملکرد اسانس شد، اما استفاده از کود دامی پوسیده و بیوجار و همچنین ترکیب پنج گرم در کیلوگرم بیوجار با کود دامی باعث افزایش درصد اسانس و عملکرد اسانس شد. افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد اسانس شمعدانی معطر تحت تاثیر تنش خشکی در پژوهش‌های گذشته گزارش شده است (Jafari et al., 2016; Rezaei Nejad et al., 2013). در یک بررسی تاثیر تنش کم آبی (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) بر میزان و ترکیبات اسانس شمعدانی معطر مورد ارزیابی قرار گرفت و کمترین مقادیر عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس در سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی گزارش شد (Rezaei Nejad et al., 2013). در شرایط تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش جذب دی‌اکسید کربن و سرعت فتوسنتز در گیاهان می‌شود و غلظت $NADPH+H^+$ به طور قابل توجهی در سلول‌های گیاهی در مقایسه با $NADP^+$ افزایش می‌یابد که می‌تواند به عنوان یک بازدارنده فتوسنتز عمل کند. در این حالت، شرایط تولید اجزا اسانس از طریق استفاده از $NADPH+H^+$ ، کارایی گیاهان تحت تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Amani Machiani et al., 2021). اعمال تنش کم آبی ملایم و متوسط در نوعی نعنا Grapefruit mint (*Mentha suaveolens* × *M. piperita*) سبب افزایش محتوای اسانس گیاه شد که می‌تواند به دلیل کاهش سطح برگ و به دنبال آن افزایش تراکم کرک‌های غده‌ای باشد، اگرچه عملکرد اسانس به شدت کاهش یافت (Akbarzadeh et al., 2023). در واقع، برگ و بلوغ غدد روغن (اسانس) و دامنه شرایط تنش، محتوای کل ترکیبات منوترپن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Islam et al., 2020).

تحقیقات گذشته تاثیر مثبت کاربرد بیوچار و کود دامی پوسیده بر افزایش درصد و عملکرد اسانس شمعدانی معطر (Jafari et al., 2016)، بادرشبو (Abbasi Dehkordi et al., 2022) و نعنا فلفلی (Zaefarian et al., 2022) را نشان داده است. (Jafari et al., 2016). در بررسی اثر کود دامی و دور آبیاری بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر نشان داده شد که با افزایش فاصله آبیاری، پارامترهای رشدی و عملکرد اسانس شمعدانی معطر کاهش و میزان اسانس آن افزایش یافت. کود دامی در بهبود رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه در شرایط کم آبیاری موثر بود، به طوری که در اکثر صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد اسانس، اثر تیمار کود دامی با دور آبیاری هفت روز یکبار مشابه تیمار شاهد با دور آبیاری سه روز یکبار بود. اسانس‌ها، ترکیبات پیچیده ترپنوییدی هستند که واحدهای ایزوپنتینیل پیروفسفات و دی متیل آلایل پیروفسفات نیاز به ATP و NADPH و عناصری از جمله نیتروژن، آهن، منیزیم و فسفر دارند و بیوچار با افزایش دسترسی گیاه به این عناصر، موجب افزایش غدد ترشح کننده اسانس و در نهایت منجر به افزایش ترکیبات تشکیل دهنده اسانس می‌شود. نیتروژن، پتاسیم و فسفر موجود در بیوچار، با افزایش توسعه و تقسیم سلول‌های حاوی اسانس درصد و عملکرد اسانس و بیوستنز مواد موثره را در گیاهان دارویی افزایش می‌دهند (Omidbeigi, 2005). همچنین کود دامی به دلیل ظرفیت نگهداری آب در خاک، باعث افزایش رشد، عملکرد، کیفیت و میزان اسانس در گیاهان دارویی می‌شود. از طرفی، کود گاوی به دلیل داشتن مواد غذایی مقوی می‌تواند میزان اسانس گیاه را از طریق رشد رویشی افزایش دهد. همچنین، به نظر می‌رسد که کود دامی به دلیل داشتن عناصر مغذی که ممکن است به تدریج و در اواخر رشد آزاد شوند، باعث افزایش میزان عملکرد اسانس شود. البته این کود نیز در اوایل رشد گیاه، شرایط مساعدی از نظر نگهداری آب در اطراف محیط ریشه و بهتر کردن شرایط خاک جهت نفوذ ریشه به اعماق و اطراف را فراهم می‌کند که در رشد بسیار مؤثر است (Abbasi Dehkordi et al., 2022).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش کم آبیاری باعث افزایش نشت الکترولیت، غلظت مالون دی‌آلدئید و درصد اسانس و کاهش در رنگیزه‌های فتوستنتزی، مولفه‌های رشد گیاه شمعدانی معطر (تعداد شاخه جانبی و برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه) و عملکرد اسانس شد. کاربرد بسترهای کاشت حاوی کود دامی و بیوچار در شرایط تنش سبب کاهش نشت الکترولیت و محتوای مالون دی‌آلدئید و همچنین افزایش در غلظت رنگیزه‌های فتوستنتزی، درصد و عملکرد اسانس و بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه شمعدانی معطر شد. در بین تیمارهای مورد استفاده نیز کود دامی و بیوچار (پنج گرم در کیلوگرم) تاثیر بهتری بر رشد، درصد اسانس و عملکرد اسانس گیاهان به همراه داشت. لذا، توصیه می‌شود که تحت شرایط تنش کم آبیاری و غیرتنش از ترکیب فوق در گلدان‌های کشت گیاه شمعدانی معطر استفاده شود تا اثرات منفی تنش را کاهش و رشد گیاه را افزایش دهد.

منابع

- امید بیگی، رضا (۱۳۷۹). *رھیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی* (جلد سوم). انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۴۴۰ صفحه.
- جعفری، مریم؛ رضایی نژاد، عبدالحسین و فیضیان، محمد (۱۳۹۵). تاثیر سوپر جاذب، کود دامی و دور آبیاری بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر. *نشریه به زراعی کشاورزی*، ۱۸ (۲)، ۴۷۰-۴۶۸.
- رضایی نژاد، عبدالحسین؛ فیضیان، محمد و سپهوند، کبری (۱۳۹۲). تاثیر تنش کم‌آبی بر رشد، عملکرد، میزان و ترکیب‌های اسانس شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.)، *دو فصلنامه فناوری تولیدات گیاهی*، ۵ (۱)، ۸۳-۹۴.
- رضایی، زهرا و رفیعی الحسینی، محمد (۱۳۹۶). پاسخ فیزیولوژیکی گیاه رازیانه به کود دامی و پلیمر سوپر جاذب در شرایط تنش خشکی. *نشریه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی*، ۳ (۴۳)، ۵۶۴-۵۴۷.

زغفریان، فائزه؛ اکبرپور، وحید؛ کاوه، محمد و حبیبی، مریم (۱۴۰۱). ارزیابی کاربرد بیوجار به همراه کودهای آلی و زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه نعنا فلفلی در کشاورزی اکولوژیک. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱۴ (۳)، ۵۶۱-۵۷۸.

شادکام، زهرا و مهاجر، فرهاد. (۱۳۹۷). اثر دور آبیاری، کود دامی و ورمی کمپوست بر ویژگی‌های رویشی و عملکرد به لیمو. *دو فصلنامه علوم به زراعی گیاهی*، ۹ (۱)، ۸۲-۶۷.

صفاهانی، علیرضا، و نورا، رضا (۱۳۹۷). اثر سطوح مختلف بیوجار بر صفات فیزیولوژیک کدو (*Cucurbita pepo* L.) تحت تنش کمبود آب. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۱۳ (۴۹)، ۳۲-۱۳.

عباس‌پور، فاطمه؛ اصغری، حمید؛ رضوانی مقدم، پرویز؛ عباس‌دخت، حمید؛ شهبانگ، جواد و بیگ‌بابا، عادل (۱۳۹۸). تاثیر بیوجار بر حاصلخیزی خاک و کارایی مصرف آب در سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) تحت شرایط تنش خشکی. *پژوهشهای زراعی ایران*، ۱۷ (۱)، ۵۲-۳۹.

عباسی دهکردی، نسرین؛ رفیعی‌الحسینی، محمد؛ دانش شهرکی، عبدالرزاق و بدل زاده، افسانه (۱۴۰۱). اثر تاریخ کاشت و مقادیر مختلف کودهای دامی، شیمیایی و تلفیقی بر برخی صفات آگرومورفولوژیکی و اسانس بادرشبو. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۳ (۳)، ۱۶۹-۱۸۲.

عرب بافرانی، زهرا؛ قانع بافقی، محمد و شیرمردی، مصطفی (۱۳۹۹). اثر بیوجار ضایعات شاخ و برگ درخت پسته بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ. *مجله مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۰ (۳)، ۹۴-۷۳.

غیاث، شایسته؛ شیرمردی، مصطفی؛ مفتاحی زاده، حیدر و دهستانی اردکانی، مریم (۱۴۰۱). تاثیر بیوجار و هیدروژل بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) تحت تنش خشکی. *تولیدات گیاهی*، ۴۵ (۱)، ۸۰-۶۷.

فخرآبادی، حامد؛ و خوش سیمای چنار، مرتضی (۱۴۰۰). اثر کم‌آبیاری و بیوجار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۵ (۴)، ۹۵۴-۹۴۱.

کیانی، هاوری؛ خالص رو، شیوا؛ مختصی بیدگلی، علی و شریفی، زاهد (۱۴۰۲). تاثیر بیوجار و تنش خشکی بر برخی سازوکارهای حفاظتی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۹ (۲)، ۳۰۲-۲۸۵.

محمدی، زینب؛ آزادی، پژمان؛ قنبری جهرمی، مرضیه و غالبی، سعید (۱۳۹۸). ارزیابی مقاومت به تنش کم آبی در گل ماهور (*Verbascum thapsus*) و معرفی آن به‌عنوان یک گیاه زینتی در فضای سبز شهری. *پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۶ (۴)، ۲۲۷-۲۴۳.

ناهدیان، صفورا؛ فریادرس، معصومه و درستکار، وجیهه (۱۳۹۹). تاثیر کرم خاکی و کاربرد کود گاوی و بیوجار آن بر کربن خاکدانه‌ای و برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک. *مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)*، ۴۳ (۳)، ۳۶۵-۳۸۷.

REFERENCES

- Abbasi Dehkordi, N., Rafieiolhossaini, M., Danesh Shahraki, A., & Badalzadeh, A. (2022). Effect of planting date and different amounts of manure, chemical fertilizer and their combination on some agromorphological and essence characteristics of Moldavian balm. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(3), 169-182. (In Persian).
- [Abbaspour, F., Asghari, H., Rizvani Moghadam, P., Abbasdekht, H., Shahbahang, J., & Big Baba, A. \(2019\). Effects of biochar on soil fertility and water use efficiency of black seed \(*Nigella sativa* L.\) under water wtress conditions. *Agricultural Research Iran*. 17\(1\), 39-52. \(In Persian\).](#)
- [Ahmadzadeh, M. \(2013\). Physiological and morphological response to drought stress. *Middle. East Journal of Scientific Research*. 13\(8\), 998-1009.](#)
- Akbarzadeh, S., Morshedloo, M. R., Behtash, F., Mumivand, H., & Maggi, F. (2023). Exogenous β -aminobutyric acid (BABA) improves the growth, essential oil content, and composition of grapefruit mint (*Mentha suaveolens* \times *piperita*) under water deficit stress conditions. *Horticulturae*, 9(3), 354.
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2018). Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean.

- Industrial. Crops and Products*, 111, 743–754.
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., Aghaei, A., & Maggi, F. (2021). *Funneliformis mosseae* inoculation under water deficit stress improves the yield and phytochemical characteristics of thyme in intercropping with soybean. *Scientific reports*, 11, 15279.
- [Anjum, S.H., Xie X., Wang, L.C., Farrukh Saleem, M., Man, C., & Lei, W. \(2011\).](#) Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
- Arab-[Bafrani, Z., Ghanei-Bafghi, M. J., & Shirmardi, M. \(2021\).](#) [Effect of wood residues of pistachio biochar on growth characteristics of Safflower.](#) *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10(3), 73-94. (In Persian).
- [Aslam, Z., Khalid, M., & Aon, M. \(2014\).](#) Impact of biochar on soil physical properties. *Scholarly Journal of Agricultural Science*. 4(5), 280-284.
- [Azeem, M., Hayat, R., Hussain, Q., Ahmed, M., Imran, M., & Crowley, D. \(2016\).](#) Effect of biochar amendment on soil microbial biomass, abundance and enzyme activity in the mash bean field. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 8, 1-13.
- [Bates, L.S. \(1973\).](#) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Berek, A. K., Hue, N., & Ahmad, A. (2011). Beneficial use of biochar to correct soil acidity. *The Food Provider*. <http://www.ctahr.hawaii.edu/huen/nvh/biochar>
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687-711. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>
- [Boukhatem, M.N., Kameli, A., & Saidi, F. \(2013\).](#) Essential oil of algerian rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*) chemical composition and antimicrobial activity against food spoilage pathogens. *Food Control*, 34(1), 208-2013.
- [Chen, H., Ma, J., Wei, J., Gong, X., Yu, X., Guo, H., & Zhao, Y. \(2014\).](#) Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. *Science of The Total Environment*. 635, 333-342.
- Ebrahimi, M., Kazem Souri, M., Mousavi, A., & Sahebani, N. (2021). Biochar and vermicompost improve growth and physiological traits of eggplant (*Solanum melongena* L.) under deficit irrigation. *Chemical and Biological Technologies Agriculture*, 8,19. <https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/s40538-021-00216-9>
- Egamberdieva, D., Zoghi, Z., Nazarov, K., Nazarov, S., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2020). Plant growth response of broad bean (*Vicia faba* L.) to biochar amendment of loamy sand soil under irrigated and drought conditions. *Environmental Sustainability*, 3, 319–324.
- [Fakhrabadi, H., & Khoshsimaie, M. \(2021\).](#) The effect of deficit irrigation and biochar on quantitative and qualitative characteristics of basil. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 15(4), 954-941. (In Persian).
- [Ghiyas, Sh., Shirmardi, M., Meftahzadeh, H., & Dehestani Ardakani, M. \(2022\).](#) The effect of biochar and hydrogel on the morphophysiological and biochemical properties of sage (*Salvia officinalis* L.) under drought stress. *Journal of Plant Products*, 45(1), 67-80. (In Persian).
- Islam, S., & Mohammad, F. (2020). Triacontanol as a dynamic growth regulator for plants under diverse environmental conditions. *Physiology and molecular biology of plants*, 26, 871–883.
- Jafari, M., Rezaei Nejad, A., & Feizian, M. (2016). Effect of super-absorbent, manure and irrigation frequency on growth and some physiological and biochemical characteristics of rose geranium. *Journal of Crops Improvement*, 18(2), 467-480.
- Kadhim, A. J. (2021). Effect of biofertilizers and animal manure on morphophysiological characteristics and amount of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil under drought stress conditions. *Earth and Environmental Science*, 735 (1), 012047. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/735/1/012047>.
- [Kiani, H., Khalesaro, S., Mokhatssi-Bidgoli, A., & Sharifi, Z. \(2022\).](#) Effects of biochar and

- drought stress on some protective mechanisms of *Nigella sativa* L. *Iranian of Journal Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(9), 285-302. (In Persian).
- [Kramer, P.J., & Boyer, J.S. \(1995\).](#) *Water Relations of Plants and Soils*. New York: Academic Press.
- [Lichtenthaler, H. K. \(1987\).](#) Chlorophyll and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembrances za Colowick SP, *Kaplan NO Methods in Enzymology*. Vol. 148.
- [Lopez- Marin, J., Galves, A., Del Amor, F.M., Albacete, A., Fernandez J.A., Egea Gilbert, C., & Perez Alfocea, F. \(2017\).](#) Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stress sweet peppers. *Scientia Horticulturae*, 214(1), 9-17.
- [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.
- Moghaddam, M., Estaji, A., & Farhadi, N. (2014). Effect of organic and inorganic fertilizers on morphological and physiological characteristics, essential oil content and constituents of agastache (*Agastache foeniculum*). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(6), 1372 – 1381.
- [Mohammadi, Z., Azadi, P., Ghanbari Jahromi, M., & Ghalebi, S. \(2020\).](#) The effect of drought stress on morphophysiological characteristics of *Verbascum thapsus* during plant growth stages. *Journal of Plant Production*. 26(4), 227-243. (In Persian).
- [Moradi-Ghahderijani, M., Jafarian, S., & Keshavarz, H. \(2017\).](#) Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere*. 4, 54-61.
- Nahidan, S., Faryadras, M., & Dorostkar, V. (2020). The effect of earthworm and application of cow manure and its biochar on aggregate-associated carbon and some soil physical properties. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 43 (3), 365-387. (In Persian).
- [Omidbeigi, R. \(2005\).](#) *Approaches to the production of medicinal plants*. *Astan Quds Razavi Publications*, 440p. (In Persian).
- Rezaei Nejad, A., Faizian, M., & Sephond, K. (2013). Effect of aater deficit stress on growth, yield, essential oil content and composition of *Pelargonium graveolens* L. *Plant Production Technology*, 5(1), 83-94. (In Persian).
- [Rezaei Nejad, A., Izadi, Z., Sepahvand, K., Mumivand, H., & Mousavifard, S. \(2020\).](#) Changes in total phenol and some enzymatic and non-enzymatic antioxidant activities of rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*) in response to exogenous ascorbic acid and iron nutrition. *Journal of Ornamental Plants*, 10(1), 27 -36.
- [Rezai, Z., & Rafieolhossaini, M. \(2017\).](#) The Physiological response of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to manure and super absorbent polymer under drought stress conditions. *Journal of Ecophysiology of Agricultural Plants*. 3(43), 547- 564. (In Persian).
- [Safahani, A., & Noora, R. \(2018\).](#) Effect of different levels of biochar on physiological traits of pumpkin under water shortage stress. *Plant Environmental Physiology Journal*, 13(49), 13-32. (In Persian).
- [Safei Charikar, S., Marzvan, S., Jhangirzade, S. H., & Rahimi, M. \(2020\).](#) Changes in growth biochemical, and chemical characteristics and alteration of the antioxidant defense system in the levels of tea clones (*Camellia sinensis* L.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*. 265, 109257. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109257>
- Sajwan, M. Y., Mishra, D., Negi, M. S. & Bisht. P. S. (2020). Effect of organic manures on antioxidant activity and essential oil composition of *Artemisia annua* cv. CIM Arogya. *International Journal Current Microbiology Application Science*, 9(10), 3922-3930.
- Saki, A., Mozafari, H., Karimzadeh, K., Sani, B. & Mirza, M. (2019). Plant yield, antioxidant capacity and essential oil quality of *Satureja mutica* supplied with cattle manure and wheat straw in different plant densities. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(21), 2683–2693.
- [Shadkam, Z., & Mohajeri, F. \(2019\).](#) The interaction between irrigation interval with manure and

- vermicompost on vegetative characteristics and yield of Lemon Verbena (*Lippia citriodora* L.). *Bi-Quarterly Journal of Plant Production*, 9(1), 68- 80. (In Persian).
- [Taiz, L., & Zeiger, E. \(2006\).](#) *Plant physiology*. 4th ED. Sinauer Associates, Inc, Publishers Sunderland, Massachusetts.
- Verma, R. S., Rahman, L. U., Verma, R. K., Chauhan, A., & Singh, A. (2013). Essential oil composition of *Pelargonium graveolens* L'Her ex Ait. cultivars harvested in different seasons. *Journal of Essential Oil Research*, 25(5), 372-379.
- [Wang, F., Zeng, B., Zongxiu, Z., & Cheng, Z. \(2009\).](#) Relationship between proline and Hg²⁺ induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56, 723-731.
- [Yadav, S., Modi, P., & Dave, A. \(2020\).](#) Effect of abiotic stress on crops. Sustainable crop production. *Rijeka, Croatia: In Tech*; p. 3-23.
- [Zaefarian, F., Akbarpour, V., Kaveh, M., & Habibi, M. \(2022\).](#) Evaluation of biochar application with organic and biological fertilizers on the quantity and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil in ecological agriculture. *Journal of Agroecology*, 14(3), 561-578. (In Persian).
- [Zarei, F. Shahriari, M.H., Nikkhah, R., Bayat, P., & Dindarlou, A. \(2019\).](#) Growth and physiological responses of sweet basil to foliar application of chelate and nanochelate of potassium under deficit irrigation stress. *Journal of Crops Improvement*, 20(4), 849-868. (In Persian).
- [Zhu, Q.H., Peng, X.H., Huang, T.Q., Xie, Z. B., & Holden, N.M. \(2014\).](#) Effect of biochar addition on maize growth and nitrogen use efficiency in acidic red soils. *Pedosphere*, 24(6), 699-708.
- [Zomorodi, N., Rezaei Nejad, A., Mousavi-Fard, S., Feizi, H., Tsaniklidis, G., & Fanourakis, D. \(2022\).](#) Potency of titanium dioxide nanoparticles, sodium hydrogen sulfide and salicylic acid in ameliorating the depressive effects of water deficit on periwinkle ornamental quality, *Horticulturae* 8, 675.