Effect of animal manure and biochar on some morphophysiological and biochemical characteristics of *Pelargonium Graveolens* L. under the water deficit stress

Abstract

In order to investigate the effect of animal manure and biochar on the improvement of tolerance to water deficit stress in *Pelagonium graveolens* plants, 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 includes 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 control bed, biochar 10 g/kg control substrate, biochar 5 g/kg of manure substrate, and biochar 10 g/kg 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, dry weight of root (respectively 73, 48.9, 55.2, and 46.8% compared to the control treatment), photosynthetic pigments (respectively 14.2, 35.7, and 25.6% decrease in the amount of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids 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, animal manure and biochar reduced the negative effects of water deficit stress and increased the morphophysiological characteristics of the plant in stress and non-stress conditions, as well as reducing the amount of malondialdehyde, proline, and ion leakage. Therefore, it can be stated that under water deficit stress, animal manure with 5 and 10 g/kg of biochar reduced the negative effects of the stress and increased the growth of the Pelagonium graveolens. Therefore, the use of a combination of animal manure and biochar can be suggested as a substrate for Pelagonium graveolens.

Keywords:

Drought
Organic modifier
Photosynthetic pigments
Proline

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

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کود دامی و بیوچار بر بهبود تحمل به تنش کم آبیاری در گیاهان شمعدانی معطر، آزمایشی به‌صورت 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 (در سطوح 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)، بستر کود دامی (خاک، ماسه، کود دامی ۲۵٪ حجمی)، بیوچار ۵ گرم در کیلوگرم بستر شاهد، بیوچار ۱۰ گرم در کیلوگرم بستر شاهد، بیوچار ۵ گرم در کیلوگرم بستر کود دامی و بیوچار ۱۰ گرم در کیلوگرم بستر کود دامی بود. نتایج نشان داد تنش کم‌آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس، سبب کاهش تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه (به‌ترتیب ۷۳، ۴۸/۹، ۵۵/۲ و ۴۶/۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد)، رنگدانه‌های فتوسنتزی (به‌ترتیب ۱۴/۲، ۳۵/۷ و ۲۵/۶ درصد کاهش در مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید نسبت به تیمار شاهد) و عملکرد اسانس (۵۰ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد) شد. در حالی‌که، محتوای مالون دی‌آلدئید، پرولین، نشت یونی و درصد اسانس را به‌ترتیب ۴۹/۳، ۱۸۸، ۲۲۲ و ۲۶/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. براساس نتایج، کود دامی و بیوچار باعث کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی و افزایش خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه در شرایط تنش و عدم تنش و همچنین کاهش مقدار مالون دی‌آلدئید، پرولین و

نشت یونی شدند. بنابراین می‌توان اظهار داشت که در شرایط تنش کم آبیاری، کود دامی با ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار به‌صورت ترکیبی، اثرات منفی تنش را کاهش و سبب افزایش رشد گیاه شمعدانی معطر شد. لذا استفاده از ترکیب کود دامی و بیوچار می‌تواند به‌عنوان بستری برای گیاهان شمعدانی معطر پیشنهاد گردد.

کلید واژه: *اصلاح کننده آلی، پرولین، خشکی، رنگدانه‌های فتوسنتزی*

مقدمه

شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) گیاهی دارویی- زینتی متعلق به خانواده Geraniaceae است. گیاهی همیشه سبز، پایا، علفی، دارای ساقه‌های گوشتی و پوشیده از کرک به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر تا یک متر 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 روزخنثی است و سرعت نمو آن وابسته به انرژی نوری دریافت شده (شدت نور و طول روشنایی) در دمای مناسب می‌باشد. اسیدیته مناسب بستر حدود ۶-۵/۶ است. گیاه شمعدانی معطر در مزرعه و گلخانه کشت و کار شده و در منازل نیز نگهداری می‌شود (Rezaei Nejad *et al.*, 2020). با این‌حال، آمار دقیقی از سطح زیرکشت آن در جهان و ایران در دسترس نیست (Rezaei Nejad *et al.*, 2020). شمعدانی معطر به‌دلیل وجود روغن‌های ضروری 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 حال‌که تقاضای سالانه بیش از ۵۰۰ تن است که ضرورت ارزیابی روش‌های مختلف به‌منظور بهبود رشد و عملکرد اسانس شمعدانی را می‌رساند (Rezaei Nejad *et al.*, 2013). هرچند، در کشور ما از این گیاه بیش‌تر به‌عنوان 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 اکولوژیکی و فیزیولوژیکی اهمیت زیادی دارد زیرا 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 فیزیولوژیکی گیاه به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم دچار اختلال می‌گردد. از آنجایی که وجود فشار تورژسانس بالای سلولی برای انجام فعالیت‌های فیزیولوژیکی از جمله رشد سلول‌ها و حرکات روزنه‌ای ضروری است، گیاهان با استفاده از سازوکارهایی متفاوت، فشار تورژسانس سلول‌های خود را حفظ می‌کنند (Anjum *et al.*, 2011). تغییر صفات فیزیولوژیکی از مهمترین سازوکارهای سازگاری گیاه به شرایط تنش خشکی است (Ahmadzadeh, 2013; 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). ایده‌ی جدید برای افزایش مواد آلی و ذخیره طولانی مدت کربن در خاک استفاده از بیوچار (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 بیوچار در برابر تجزیه مربوط به تغییر در ساختار شیمیایی سلولز، همی سلولز و لیگنین در دمای بالای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است، به‌طوری‌که ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر مقاوم‌تر از سایر مواد آلی موجود در خاک است (Aslam *et al.*, 2014; Azeem *et al.*, 2016). بیوچار 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 (نیتروژن، 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 بیوچار بر رشد گیاهان و حاصلخیزی خاک انجام شده است ولی اغلب این مطالعات روی گیاهان زراعی بوده و در رابطه با تاثیر بیوچار بر گیاهان زینتی اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. بنابراین با توجه به اهمیت گیاه شمعدانی معطر و مدیریت منابع آبی، تحقیقی به‌منظور بررسی اثر کود دامی و بیوچار حاصل از آن بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) به‌عنوان 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 مورفوفیزیولوژیکی (کاهش تبادلات 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 (Zomorrodi *et al*., 2022; Kadhim *et al*., 2021; Sajwan *et al*., 2020). Rezaei Nejad *et al*. (2013) تاثیر تنش کم آبیاری (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) بر رشد، عملکرد شمعدانی معطر (*P. graveolens* L.) را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان دهنده کاهش در ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، عملکرد ماده تر و خشک در شرایط کم آبی بود و در ۵۵ درصد ظرفیت زراعی کم‌ترین عملکرد ماده خشک به‌دست آمد.

مطالعات روی گیاهان مختلف از جمله ریحان (*Ocimum basilicum*)، زوفای بزرگ معطر (*Agastache foeniculum*)، گشنیز (*Coriandrum sativum*)، درمنه خزری (*Artemisia annua*) و مرزه (*Satureja Mutica*) نشان داده است کود دامی با افزایش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای (Moghaddam *et al*., 2015) و فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) و غیرآنزیمی (ترکیبات فنلی، پرولین) می‌تواند باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان شود (Kadhim *et al*., 2021; Fakhrabadi & Khoshsimaie, 2021; Sajwan *et al*., 2020; Saki *et al*., 2019). همچنین استفاده از انواع کودهای آلی و دامی به‌خصوص 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 کم‌آبی می‌شود (Shadkam & Mohajeri, 2019).

Jafari *et al*. (2016) با بررسی کود دامی و دور آبیاری بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر، نتیجه گرفتند که با افزایش دور آبیاری، شاخص‌های رشدی و غلظت مالون دی آلدئید و پرولین و فعالیت پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت. کود دامی در بهبود رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه در شرایط کم آبیاری موثر بود، به‌طوری‌که 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 مشاهد نشد.

Kadhim (۲۰۲۱) اثر تنش کم آبیاری و کاربرد کود دامی را بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و مقدار اسانس گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) مورد ارزیابی قرار داد. صفات مورفوفیزیولوژیکی مورد بررسی در این پژوهش شامل وزن تر و خشک بوته، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع بوته، میزان کلروفیل، قندهای محلول، فنول، درصد و عملکرد اسانس بود و با توجه به نتایج مشخص شد که کاربرد کود دامی موجب افزایش صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شد و در شرایط تنش رشد گیاه را بهبود بخشید.

تحقیقات نشان داده است کودهای دامی با تامین ماده آلی خاک که از عوامل اصلی موثر بر ساختمان خاک است، می‌توانند کیفیت فیزیکی خاک را بهبود بخشند. هرچند به‌دلیل سرعت بالای تجزیه آنها در خاک با مرور زمان از تاثیرشان بر ویژگی‌های خاک کاسته می‌شود. در نتیجه با تبدیل کودهای دامی به بیوچار، از برخی مشکلات کودهای دامی (مانند حجم و وزن زیاد و نفوذ شیرابه آنها به آب های زیرزمینی و رها شدن گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر) کاسته می‌شود (Nahidan *et al*., 2020). همچنین بررسی‌ها نشان داده است که کربن بیوچار دارای اشکال آروماتیک بوده که در مقایسه با کربن موجود در ماده اولیه آن تجزیه‌پذیری کمتری دارد. بنابراین افزودن بیوچار به خاک می‌تواند مخزن بالقوه‌ای از کربن در خاک را فراهم کند (Yadav *et al*., 2020).

در شرایط تنش خشکی، استفاده از بیوچار 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 بیوچار 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 گیاهان سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت شرایط تنش خشکی نشان داد کاربرد بیوچار 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). Yadav *et al*. (2020) در بررسی مزایای بیوچار نسبت به سایر اصلاحات آلی بر بهره‌وری گیاه شمعدانی معطر (*P. graveolens* L.) از نیتروژن و فسفر، نشان دادند که تبدیل زباله‌های آلی به بیوچار می‌تواند گزینه امیدوار کننده‌تری جهت کاهش اتلاف مواد مغذی و هزینه‌ها و در نتیجه گسترش کشاورزی پایدار باشد.

Ebrahimi *et al*. (2021) با کاربرد بیوچار در گیاه بادنجان (*Solanum melongena* L.) تحت تنش کم آبیاری نشان داد 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 کارآیی مصرف آب در تیمار بیوچار مشاهده شد و کاربرد بیوچار در شرایط تنش موجب کاهش نشت الکترولیت، مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز شد.

روش‌شناسی پژوهش

آزمایش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه فاکتور و چهار تکرار در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی لرستان (دمای روزانه ۲۸–۲۰، شبانه ۲۰–۱۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۰–۶۰ درصد و شدت نور ۵۰۰–۴۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) در بهار و تابستان ۱۴۰۰ انجام شد. فاکتور اول شامل سطوح آبیاری در سه سطح آبیاری (۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد آب قابل دسترس در خاک[1]) و فاکتور 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)، بیوچار ۵ گرم در یک کیلوگرم + بستر شاهد، بیوچار ۱۰ گرم در یک کیلوگرم + بستر شاهد، بیوچار ۵ گرم در یک کیلوگرم + بستر کود دامی و بیوچار ۱۰ گرم در یک کیلوگرم + بستر کود

[1] . Available water content (AWC)

آب قابل دسترس در واقع معادل میزان آب خاک در فاصله بین نقطه پژمردگی دائم تا ظرفیت مزرعه است. یعنی میزان آب خاک در حالت ظرفیت مزرعه معادل صد در صد آب قابل دسترس است. در این تحقیق وقتی میزان آب خاک به ۸۰، ۵۰ 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.

دامی بود. در بهار برای تهیه بیوچار از کود دامی پوسیده، خشک و الک شده از ایستگاه دامپروری دانشکده کشاورزی استفاده شد. بدین‌صورت که کود دامی در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت ۴ 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 تهیه و ۱ 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 مورفوفیزیولوژیکی شامل تعداد برگ، تعداد گره، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، طول ریشه (طویل‌ترین طول ریشه (بیانگر عمق توسعه ریشه)) و وزن تر و خشک ریشه، رنگیزه‌های فتوسنتزی (Lichtenthaler, 1987)، محتوای مالون دی‌آلدئید (Wang *et al.*, 2009) و پرولین (Bates, 1973) و همچنین درصد نشت الکترولیت (Lutts *et al.*, 1996) نیز اندازه‌گیری شدند. برای استخراج اسانس گیاه نعناع فلفلی 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 Excel انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک گلدان‌ها

Texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	EC (dSm^{-1})	pH	FC (%)	PWP (%)
لومی رسی-شنی	۲۴/۲	۴/۰۸	۷۱/۷۱	۰/۴	۸/۱۸	۲۳/۲۲	۱۷/۶۶

توسط دستگاه صفحه فشاری PWP و FC

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی خاک گلدان‌ها

نمونه خاک	OM%	OC%	N%	K (µg/g)	Mn (µg/g)	Ca (µg/g)	Fe (µg/g)	Zn (µg/g)	Mg (µg/g)	Cu (µg/g)
نتیجه	۱/۲۷۷	۰/۷۴۱	۰/۰۸۳	۲۲۰/۹۶	۴/۸۹۲	۲۰۳۷۰/۹۴	۲/۲۸۲	۰/۵۴۲۲	۴۵۲/۰۷۸	۱/۳۳۴

یافته‌های پژوهش

تعداد گره و ساقه جانبی

نتایج تجزیه واریانس اثر بستر کشت در شرایط تنش کم‌آبی بر برخی ویژگی‌های رشدی مانند تعداد شاخه جانبی و تعداد گره نشان داد اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و بستر کشت بر تعداد گره و شاخه جانبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تعداد گره تحت تاثیر تنش کم آبیاری، کاهش پیدا کرد و در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس کاهش ۴۱/۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت، هر چند اختلاف معنی‌داری با سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس نشان نداد اما با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار داشت. کاربرد کود دامی پوسیده نیز در سطح غیر تنش و تنش منجر به کاهش تعداد گره شد. استفاده از بیوچار 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 بیوچار). به‌طوری‌که بیشترین تعداد گره (۱۸ عدد) در تیمار شاهد (بدون تنش کم آبیاری، در هر دو حالت دارای کوددامی و بیوچار) مشاهده شد. همچنین تیمار ۱۰ گرم بیوچار 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 تنش کم آبیاری باعث کاهش تعداد شاخه جانبی شد و در سطوح ۲۰ و ۵۰ درصد آب قابل دسترس در مقایسه با تیمار شاهد (سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس) به

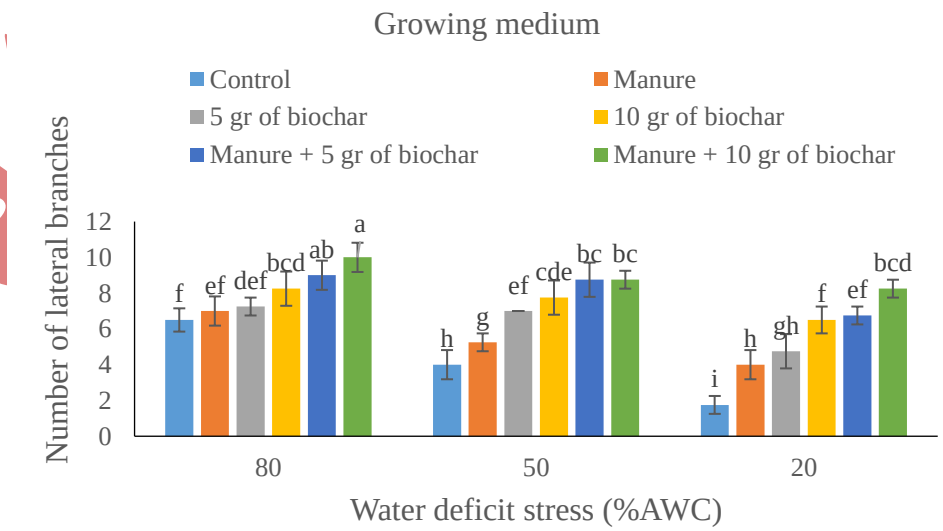
ویراستاری نشده

ترتیب کاهش ۷۳/۰۷ و ۳۸/۴۶ درصدی نشان داد. استفاده از کود دامی پوسیده و بیوچار (در هر دو غلظت ۵ و ۱۰ گرم) به‌صورت جداگانه باعث افزایش تعداد ساقه جانبی در مقایسه با تیمارهای شاهد همان سطوح تنش (تیمار ۸۰، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون بیوچار 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- تجزیه واریانس اثر 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	خصوصیات ریشه		
							طول	وزن تر	وزن خشک
تنش کم آبیاری	۲	۴۳/۰۱**	۳۲۳/۲۶**	۴۲۵۳/۸۵**	۲۲۷۴/۶**	۳۶/۷۹**	۹/۸۸^{ns}	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	۱/۱۸^{ns}	۴/۶۳**	۱۶۶/۸۰**	۱۰/۴۱**	۰/۱۳**	۲۱/۰۲**	۲/۴۲^{ns}	۰/۲۷**
خطای آزمایشی	۵۴	۱/۴۵	۱/۲۱	۵/۸۱	۲/۳۵	۰/۰۲۷	۷/۱۵	۲/۲۷۱	۰/۰۱۷۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۷/۹۲	۸/۹۷	۵/۷	۸/۰۶	۵/۹۷	۹/۰۷	۱۲/۷۴	۳/۹۸

^{ns}، **و *: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد.



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

تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد 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 است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش تنش کم آبیاری از تعداد برگ کاسته شد، در حالی‌که کاربرد بیوچار و ترکیب توام کود دامی و بیوچار موجب افزایش آن شد و بیشترین تعداد برگ (۶۷/۲۵ عدد) در تیمار ۸۰ درصد آب قابل دسترس و کاربرد ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار+ کود دامی مشاهده شد. هر چند در سطوح تنش کم آبیاری ۲۰ و ۵۰ درصد آب قابل دسترس استفاده از بیوچار+ کود دامی، تعداد برگ را کاهش داد و کمترین (۲۷/۵ عدد) مقدار آن در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس و کاربرد ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار+ کود دامی مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ٤– مقایسه میانگین اثرات تیمار کم آبیاری و بستر کاشت بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه شمعدانی معطر

بستر کشت	تنش کم آبیاری (آب قابل دسترس در خاک)	تعداد گره (عدد)	تعداد برگ (عدد)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	طول طویل‌ترین ریشه (سانتی متر)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)
شاهد	۸۰	۱۸/۰^{a}	۵۵/۷^{c}	۳۵/۸۳^{b}	۴/۰۷^{b}	۳۲/۲۵^{ac}	۳/۰۵^{f}
	۵۰	۱۱/۲$^{f-h}$	۳۴/۵^{fg}	۲۲/۲۶^{efg}	۲/۴۷^{fgh}	۳۳/۷۵^{ab}	۲/۷۱^{g}
	۲۰	۱۰/۵^{hi}	۲۷/۷^{h}	۱۸/۲۹^{h}	۱/۸۲^{i}	۳۲/۲۵^{ac}	۱/۶۲^{i}
کود دامی	۸۰	۱۷/۲^{ab}	۴۶/۲^{d}	۳۶/۴۸^{b}	۴/۱۴^{b}	۲۹/۰^{cg}	۳/۹۶^{c}
	۵۰	۱۱/۰$^{g-i}$	۳۶/۵f	۲۳/۷۵^{efg}	۲/۶۳^{efg}	۲۸/۵۰^{cg}	۳/۰۷^{f}
	۲۰	۹/۵^{ij}	۳۲^{g}	۲۰/۸۳^{gh}	۲/۰۸^{hi}	۳۰/۵۰^{bf}	۲/۵۱^{h}
شاهد +۵ گرم بیوچار	۸۰	۱۶/۵$^{a-c}$	۶۰/۲^{b}	۴۳/۶۵^{a}	۴/۹۷^{a}	۲۵/۲۵^{eg}	۳/۹۶^{f}
	۵۰	۱۱/۲^{fh}	۵۷/۲^{bc}	۲۹/۹۸^{c}	۳/۳۳^{c}	۲۷/۵۰^{dg}	۲/۹۵^{f}
	۲۰	۸/۷^{jk}	۳۲/۵^{g}	۲۲/۲۵^{fg}	۲/۲۲^{ghi}	۲۸/۰^{dg}	۱/۷۶^{i}
شاهد و ۱۰ گرم بیوچار	۸۰	۱۶/۲^{bc}	۵۵/۷^{c}	۴۳/۷۶^{a}	۴/۷۴^{a}	۳۱/۲۵^{be}	۴/۷۱^{a}
	۵۰	۱۲/۷^{ef}	۴۲/۰^{e}	۲۶/۴۷^{cde}	۲/۹۴^{cde}	۳۱/۵۰^{bd}	۴/۳۸^{b}
	۲۰	۸/۷^{jk}	۳۴/۵^{fg}	۲۴/۴۹^{efg}	۲/۴۴^{fgh}	۲۵/۳۷^{g}	۲/۹۶^{f}
کود دامی و ۵ گرم بیوچار	۸۰	۱۵/۲^{cd}	۵۴/۵^{c}	۴۱/۷۸^{a}	۴/۹۶^{a}	۳۰/۷۵$^{b-f}$	۴/۷۳^{a}
	۵۰	۱۲/۵^{eg}	۳۶/۵^{f}	۲۵/۷۰^{def}	۲/۸۵^{def}	۲۹/۵۰^{cf}	۳/۷۵^{d}
	۲۰	۸/۰^{jk}	۲۷/۷^{h}	۲۵/۴۰^{def}	۲/۵۴^{efg}	۲۵/۵۰^{g}	۳/۴۹^{e}
کود دامی و ۱۰ گرم بیوچار	۸۰	۱۳/۷^{de}	۶۷/۲^{a}	۴۲/۹۶^{a}	۴/۸۸^{a}	۳۰/۲۵$^{b-f}$	۴/۵۹^{a}
	۵۰	۱۲/۰^{f}	۳۲/۲^{g}	۲۸/۵۴^{cd}	۳/۱۷^{cd}	۲۸/۷۵$^{c-f}$	۳/۳۹^{e}
	۲۰	۷/۷^{k}	۲۷/۵^{h}	۲۲/۴۶^{fg}	۲/۲۴^{ghi}	۲۷/۱۲^{fg}	۲/۶۷^{gh}

حروف مختلف بر اساس آزمون LSD، اختلاف در سطح ۹۵ درصد را نشان می‌دهند.

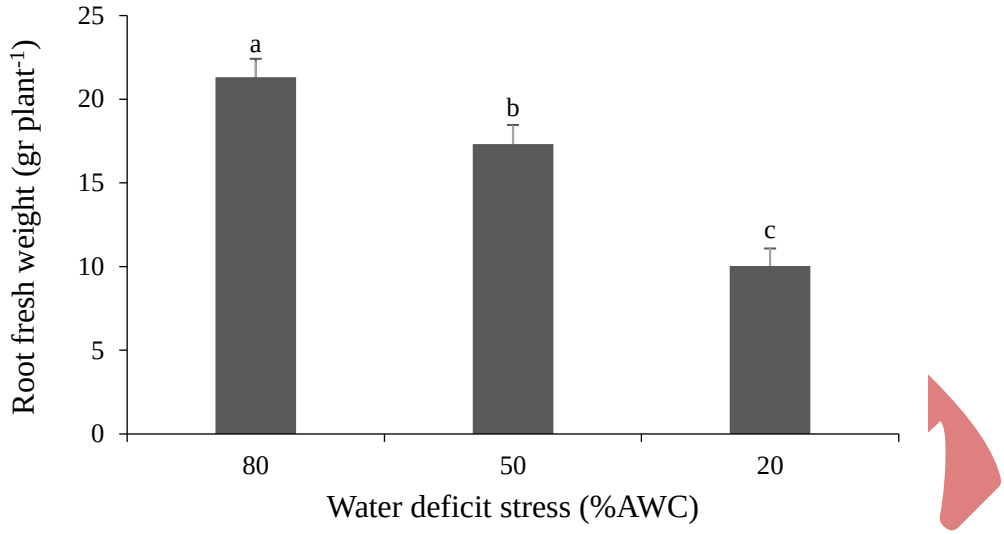
در اساری نشده

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

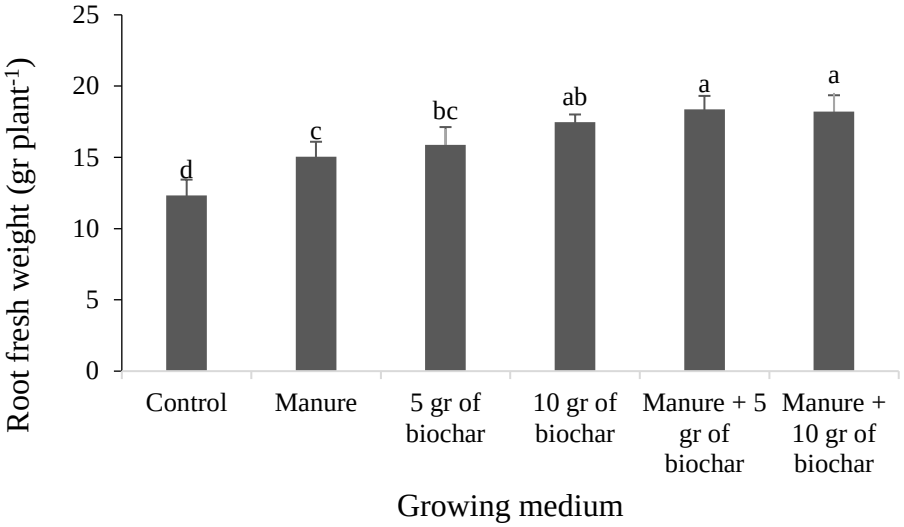
ویژگی‌های ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد 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 این‌وجود، 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 ۵ گرم بر کیلوگرم، با کاهش سطح آبیاری، طول طویل‌ترین ریشه افزایش نسبی یافت به‌طوری‌که 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 باعث کاهش طول ریشه مشاهده شد. در کل بیش‌ترین طول ریشه (۳۵/۹۸ سامتی‌متر) در رطوبت ۵۰ درصد آب قابل دسترس بدون بیوچار و کود دامی به‌دست آمد. کم‌ترین طول طویل‌ترین ریشه (۲۵/۲۵ سانتی‌متر) نیز در رطوبت۵۰ درصد آب قابل دسترس در ترکیب با ۵ گرم بر کیلوگرم بیوچار مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل بستر کشت و کم آبیاری بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اما تنها اثرات ساده تنش کم آبیاری و بستر کشت روی وزن تر ریشه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد 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، به‌طوری‌که وزن تر ریشه در تیمارهای آزمایشی شامل کود دامی، شاهد +۵ گرم بیوچار، شاهد +۱۰ گرم بیوچار، کود دامی + ۵ گرم بیوچار و کود دامی +۱۰ گرم بیوچار به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۳/۸۹، ۲۹/۲۷، ۳۳/۴۶، ۴۰/۶۵ و ۳۷/۶۵ درصد افزایش نشان داد، هرچند بین تیمارهای کود دامی در ترکیب با ۵ و ۱۰ گرم بیوچارو همچنین ۱۰ گرم بیوچار به تنهایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم بیوچار نیز 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 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 شامل کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها شد و در سطح ۲۰ درصد آب قابل

دسترس، کمترین مقدار کلروفیل a (۴/۶۳ میلی گرم در گرم وزن تر)، کلروفیل b (۲/۳ میلی گرم در گرم وزن تر) و کاروتنوئیدها (۱/۱۰۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) با اختلاف آماری معنی‌دار نسبت به سایر سطوح آبیاری مشاهده شد. کاربرد بسترهای کود دامی و بیوچار 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 نیز کاسته شد. بررسی اثر متقابل تنش کم آبیاری و تیمارهای کودی نشان داد 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 وجود داشت (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 محتوای پرولین و مالون دی آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش تنش کم آبیاری، نشت الکترولیت بیشتر شد و 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 نتایج نشان داد 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 ندارد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر بستر کشت بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئیدها	نشت الکترولیت	مالون دی آلدئید	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**	۳/۶۱**	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 (٪)	-	۳/۴۸	۵/۳۸	۵/۴۹	۷/۵۳	۶/۶۲	۷/۵۷	۱/۰۹	۳/۲۳

^{ns} ، **و *: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد.

ویرایشی نشده

جدول ٦- تاثیر تنش کم آبیاری و بستر کاشت بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه شمعدانی معطر

بستر کشت	تنش کم آبیاری (درصد آب قابل دسترس)	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئیدها	نشت الکترولیت (درصد)	مالون دی‌آلدئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	پرولین (میکروگرم در گرم وزن تر)
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)					
شاهد	۸۰	۵/۴۰^{h}	۳/۵۸^{fg}	۱/۴۸^{g}	۲۲^{i}	۲/۲۹^{ef}	۲/۵۰^{f}
	۵۰	۴/۷۲^{i}	۲/۴۴^{i}	۱/۱۹^{h}	۶۰^{b}	۲/۶۱^{cd}	۴/۱۴^{d}
	۲۰	۴/۶۳^{i}	۲/۳۰^{i}	۱/۱۰^{h}	۷۱^{a}	۳/۴۲^{a}	۷/۲۰^{a}
کود دامی	۸۰	۶/۶۲^{ef}	۴/۰۸^{de}	۱/۶۹^{f}	۲۰^{ij}	۲/۰۳^{i}	۲/۱۱^{fg}
	۵۰	۵/۳۴^{gh}	۳/۰۲^{de}	۱/۴۱^{g}	۴۲^{ef}	۲/۲۷^{h}	۴/۲۲^{cd}
	۲۰	۴/۷۶^{i}	۲/۵۲^{i}	۱/۱۹^{h}	۵۱^{d}	۳/۳۲^{b}	۶/۹۰^{a}
شاهد + ۵ گرم بیوچار	۸۰	۶/۹۲^{d}	۴/۲۰^{cd}	۲/۰۸^{de}	۲۰^{ij}	۱/۴۳^{j}	۱/۸۴^{gh}
	۵۰	۶/۴۱^{ef}	۳/۳۹^{cd}	۱/۷۶^{f}	۴۴^{e}	۱/۹۳^{i}	۳/۹۱^{d}
	۲۰	۵/۲۸^{h}	۲/۵۵^{i}	۱/۴۲^{g}	۵۵^{c}	۳/۱۹^{c}	۵/۸۹^{b}
شاهد + ۱۰ گرم بیوچار	۸۰	۷/۳۵^{c}	۴/۶۳^{b}	۲/۳۲^{c}	۱۹^{ij}	۱/۱۴^{j}	۱/۷۷^{gh}
	۵۰	۷/۱۵^{c}	۳/۸۵^{b}	۱/۹۷^{e}	۳۹^{fg}	۱/۵۵^{i}	۳/۱۹^{e}
	۲۰	۶/۰۷^{g}	۲/۹۰^{i}	۱/۵۵^{g}	۵۰^{d}	۲/۶۶^{c}	۵/۶۴^{b}
کود دامی + ۵ گرم بیوچار	۸۰	۸/۱۰^{b}	۵/۱۳^{a}	۲/۵۷^{b}	۱۸^{jk}	۱/۱۹^{j}	۱/۶۲^{h}
	۵۰	۷/۴۱^{c}	۴/۲۳^{cd}	۲/۱۲^{d}	۳۸^{gh}	۱/۱۴^{j}	۳/۱۸^{e}
	۲۰	۶/۳۵^{fg}	۳/۱۶^{hi}	۱/۷۱^{f}	۴۹^{d}	۲/۴۳^{de}	۴/۵۶^{c}
کود دامی + ۱۰ گرم بیوچار	۸۰	۸/۵۷^{a}	۵/۴۰^{a}	۲/۷۵^{a}	۱۶^{k}	۰/۹۱^{k}	۱/۴۹^{h}
	۵۰	۷/۶۰^{c}	۴/۴۴^{bc}	۱/۳۲^{c}	۳۶^{h}	۱/۱۰^{jk}	۲/۹۶^{e}
	۲۰	۶/۷۱^{de}	۳/۴۷^{g}	۱/۷۹^{f}	۴۳^{ef}	۲/۱۶^{fg}	۴/۱۹^{cd}

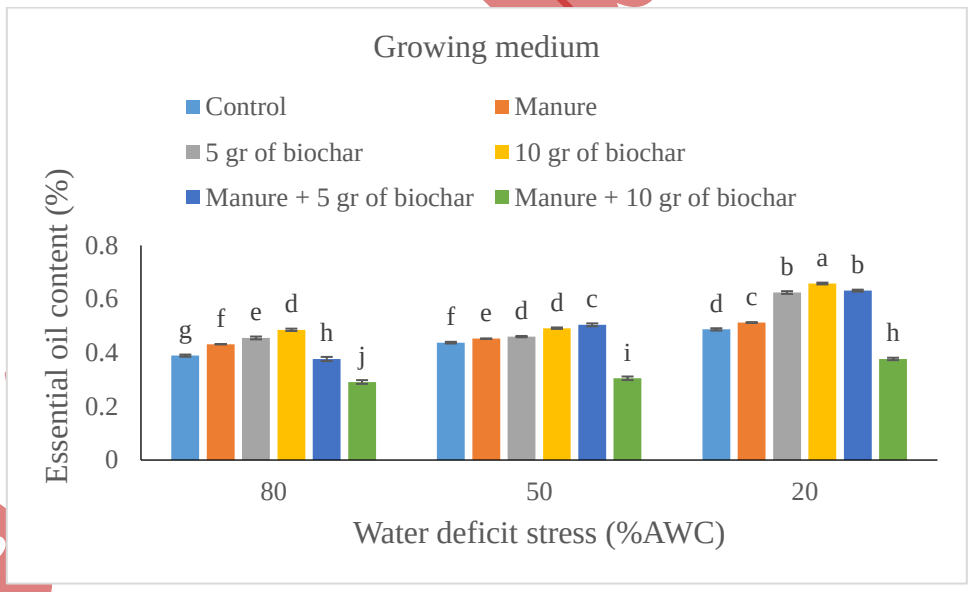
حروف مختلف بر اساس آزمون LSD، اختلاف در سطح ۹۵ درصد را نشان می‌دهند.

بررسی اثر متقابل تیمارها (بستر کشت و کم آبیاری) بر محتوای مالون دی‌آلدئید نشان داد که تنش کم آبیاری باعث افزایش ۱۸۸ درصدی در مقدار شاخص مورد نظر 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 هر چند با تیمار ۱۰ گرم بیوچار + کود دامی در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس، اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶).

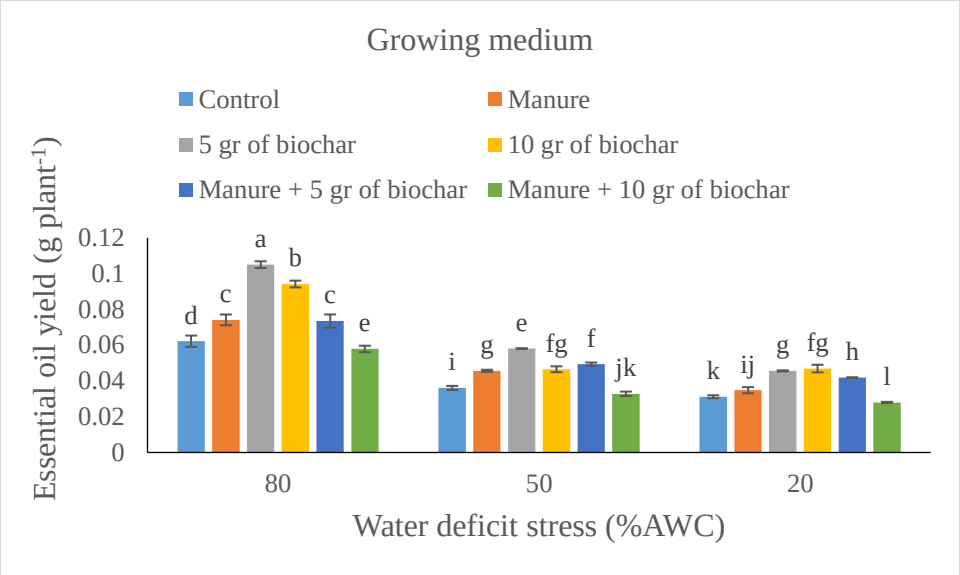
بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش سطح تنش کم آبیاری، میزان پرولین نیز بیشتر شد و در سطح تنش ۲۰ درصد آب قابل دسترس ۱۸۸ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد. در حالی‌که کاربرد تیمارهای کود دامی و بیوچار محتوای پرولین گیاه را کاهش دادند. به‌طوری‌که کمترین (۱/۴۹ میکروگرم بر گرم وزن تر) مقدار آن در تیمار ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار و کود دامی در سطح رطوبت ۸۰ درصد آب قابل دسترس مشاهده شد. با این‌حال، اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کود دامی+۵ گرم بیوچار و غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم بیوچار در سطح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نشان نداد (جدول ۶).

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 معنی‌دار است (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 بیوچار (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 بیوچار با کود دامی باعث افزایش در محتوای اسانس شد، اما سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار در ترکیب با کود دامی در تمام سطوح آبیاری (۸۰، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس) باعث کاهش درصد اسانس شد. به‌طوری 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 این‌حال، ترکیب ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس نیز بیشترین مقدار اسانس (۷۱ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) را داشت (شکل ۴). همچنین نتایج نشان داد 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 بیوچار (هر دو غلظت) در تمام سطوح تنش آبیاری باعث افزایش در عملکرد اسانس شد. ترکیب کود دامی با غلظت ۵ گرم در گیلوگرم بیوچار نیز سبب افزایش در عملکرد اسانس شد. اما ترکیب ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار 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) به‌دست آمد. در کل، غلظت ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس بیشترین عملکرد (۶۷/۷ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) را نشان داد (شکل ۵).



شکل ٤– اثر تنش کم آبیاری و بستر کشت بر میانگین تعداد ساقه جانبی گیاه شمعدانی معطر



شکل ۵– اثر تنش کم آبیاری و بستر کشت بر میانگین تعداد ساقه جانبی گیاه شمعدانی معطر

بحث

طول ساقه و میانگره، تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ

نتایج پژوهش حاضر نشان داد با افزایش تنش کم آبیاری از تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ کاسته شد. کاربرد کوددامی و بیوچار در شرایط غیر تنش تاثیر مثبتی نشان نداد. با این‌حال، در شرایط تنش کم آبیاری به‌خصوص در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس باعث افزایش قابل توجهی در شاخص‌های فوق شد. تحت شرایط تنش خشکی، فشار تورژسانس گره ساقه در حال ازدیاد، کاهش یافته و از طرفی دیگر تولید مواد فتوسنتزی نیز کم می‌شود، لذا طول ساقه و میانگره تحت تأثیر تنش خشکی کاهش پیدا می‌کنند (Zomorrodi *et al.*, 2022; Kadhim *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 (Safei Charikar *et al.*, 2020; Sajwan *et al.*, 2020; Lopez *et al.*, 2017). بیوچار و کود دامی از طریق افزایش محتوای عناصر غذایی (مانند نیتروژن و فسفر) و کربن خاک، شاخص‌های مورفولوژیکی گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهند، همچنین با توجه به اینکه بیوچار 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). Ghiyas *et al.* (2022) با بررسی اثر بیوچار بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه مریم گلی تحت تنش خشکی، بهبود برخی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و قطر ساقه را گزارش کردند، هرچند اثر متقابل بیوچار و تنش خشکی روی سطح برگ گیاه مریم گلی معنی‌دار نشده بود.

وزن تر و خشک اندام هوایی

تحقیقات نشان داده است 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 کوددامی و بیوچار در شرایط تنش و غیرتنش باعث افزایش وزن تر و خشک اندام هوای 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 (Zomorrodi *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 بیوچار 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 بوده در نتیجه توسعه بیش‌تری خواهد داشت. با این‌حال، دیواره سلولی ریشه به تنش خشکی حساسیت کمتری داشته و ممکن است زمانی‌که رشد اندام‌های هوایی متوقف شود، رشد آن ادامه 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 فتوسنتز برگ کاهش می‌یابد احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی افزایش یافته و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می گردد (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 طویل 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 & Khoshsimaie (2021) نشان داد که تنش کم آبیاری باعث سبب کاهش وزن تر و خشک ریشه شد. با این‌حال، کاربرد بیوچار سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه گیاه ریحان در شرایط تنش کم آبیاری شد، که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. بیوچار 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) و همچنین با افزایش تخلخل، کربن آلی و بهبود فعالیت میکروبی خاک، می‌تواند خاکدانه‌سازی خاک تحت تاثیر قرار داده و ساختمان خاک را بهبود بخشد که از این طریق باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (Abbaspour *et al.*, 2019). از طرفی دیگر، کود دامی با افزایش خلل و فرج خاک، جذب آب و عناصر غذایی، رشد و گسترش ریشه گیاهان در خاک را افزایش می‌دهد و به دنبال تامین عناصر و بهبود تغذیه، میزان فتوسنتز 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 بیوچار باعث افزایش حفظ آب در بستر کشت می‌شوند (Shadkam &

Mohajeri, 2019)، نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد با کاربرد کوددامی و بیوچار در شرایط تنش و غیرتنش از طول ریشه کاسته شد اما وزن تر و خشک آن افزایش یافت.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b، کاروتنوئیدها و کلروفیل کل) تحت تاثیر تنش کم آبیاری به شدت کاهش یافت. کاربرد کوددامی و بیوچار در شرایط تنش و غیر تنش باعث افزایش چشمگیری در مقادیر شاخص‌های مذکور شد و در تیمارهایی که ترکیب کوددامی و بیوچار با هم استفاده شده‌اند تاثیر به مراتب بیشتری نشان داده است. در راستای نتایج این پژوهش، تاثیر تنش خشکی در کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان مختلف از جمله پروانش (Zomorrodi *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. به‌علاوه کاهش رنگدانه‌های موثر در فتوسیستم II و غیر فعال شدن آنزیم‌های مهم در چرخه کلوین می‌تواند با بروز تنش خشکی رخ دهد (Ahmadzadeh, 2013). با این‌وجود، کاربرد بیوچار سبب کاهش اثرات منفی تنش کم آبی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی شد. به احتمال زیاد، بیوچار به‌طور 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 فتوسنتزی 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 (Rezai & Rafieolhossaini, 2017).

نشت الکترولیت، محتوای مالون دی‌آلدئید و پرولین

نشت یونی مبین پایداری غشای سیتوپلاسمی است. زمانی‌که سلول‌ها تحت شرایط تنش خشکی، آب خود را از دست می‌دهند پروتوپلاست چروکیده، فسفولیپیدهای غشا کروی شکل شده و غشا منفذدار می‌شود و نشت مواد اتفاق می‌افتد (Safahani & Noora, 2018). مالون دی‌آلدئید 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 پژوهش حاضر نشان داد با اعمال تنش خشکی، نشت الکترلیت و غلظت مالون دی‌آلدئید و پرولین افزایش یافت. کاربرد کوددامی و بیوچار به‌خصوص در شرایط تنش کم آبیاری باعث کاهش نشت الکترولیت و محتوای مالون دی‌آلدئید شد همچنین غلظت پرولین نیز کاهش نشان داد. تاثیر تنش خشکی در افزایش کاهش نشت الکترولیت و محتوای مالون دی‌آلدئید و پرولین در گیاهان مختلف گزارش شده است (Zomorrodi *et al*., 2022; Kiani *et al*., 2022; Ebrahimi *et al*., 2021; Abbaspour *et al*., 2019) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. استفاده از بیوچار در خاک به دلیل ظرفیت جذب بالا و ساختار متخلل آن باعث افزایش میزان نگهداشت آب شده و در نتیجه به‌طور 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 بیوچار نسبت به عدم کاربرد آن، تجمع پرولین، نشت یونی و محتوای مالون دی‌آلدئید کمتر بود. در این ارتباط Safahani و Noora (۲۰۱۸) نیز کاهش تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی و کاربرد بیوچار را نسبت به عدم کاربرد آن گزارش نمودند و بیان کردند که بیوچار با افزایش حفظ رطوبت خاک از طریق افزایش خلل و فرج خاک سبب کاهش تاثیر

منفی تنش خشکی گردید. همچنین مطالعات Kiani *et al.* (2022) کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید در نتیجه کاربرد بیوچار در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که دلیل آن را می‌توان به تاثیر مثبت بیوچار در کاهش هدررفت آب بیان کردند.

درصد و عملکرد اسانس

نتایج پژوهش حاضر نشان داد تنش کم آبیاری باعث افزایش درصد اسانس و کاهش در عملکرد اسانس شد، اما استفاده از کود دامی پوسیده و بیوچار و همچنین ترکیب ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار با کوددامی 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). Rezaei Nejad *et al.* (2013) تاثیر تنش کم آبی (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد طرفیت زراعی) را بر میزان و ترکیبات اسانس شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد در سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی، کم‌ترین عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس به دست آمد. در شرایط تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش جذب دی‌اکسید کربن و سرعت فتوسنتز در گیاهان می‌شود و غلظت $NADPH+H^+$ به‌طور قابل توجهی در سلول‌های گیاهی در مقایسه با $NADP^+$ افزایش می‌یابد که می‌تواند به‌عنوان یک بازدارنده فتوسنتز عمل کند. در این‌حالت، شرایط تولید اجزا اسانس از طریق استفاده از $NADPH+H^+$، کارآیی گیاهان تحت تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Amani Machiani *et al.*, 2021). Akbarzadeh *et al.* (2023) روی Grapefruit mint (*Mentha suaveolens* × *M. piperita*) نشان داد در تنش کم‌آبی ملایم و متوسط، محتوای اسانس گیاه افزایش یافت که این ممکن است به دلیل افزایش تراکم کرک‌های غده‌ای (Glandular trichomes) باشد، به‌طوری‌که با کاهش در سطح برگ، افزایش می‌یابد. اما عملکرد اسانس را به‌شدت کاهش می‌دهد. 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 کود دامی و دور آبیاری بر برخی ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر، نشان دادند که با افزایش فاصله آبیاری، پارامترهای رشدی و عملکرد اسانس کاهش و میزان اسانس افزایش یافت. کود دامی در بهبود رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه در شرایط کم آبیاری موثر بود، به‌طوری که در اکثر صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد اسانس، در بستر حاوی کود دامی با دور آبیاری ۷ روز یکبار مشابه تیمار شاهد با دور آبیاری ۳ روز یکبار مشاهده شد. اسانس، ترکیبات پیچیده ترپنوییدی هستند که واحدهای ایزوپنتینیل پیروفسفات و دی متیل آلیل 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 درنهایت افزایش منجر به افزایش ترکیبات تشکیل دهنده اسانس می‌شود. نیتروژن، پتاسیم و فسفر موجود در بیوچار، درصد و عملکرد اسانس را با افزایش توسعه و تقسیم سلول‌های حاوی اسانس و بیوسنتز مواد موثره را در گیاهان دارویی افزایش می‌دهد (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 فتوسنتزی، 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 فتوسنتزی، درصد و عملکرد اسانس و بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه شمعدانی معطر شد. در بین تیمارهای مورد استفاده نیز کود دامی و ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار تاثیر بهتری بر رشد و درصد و عملکرد اسانس گیاهان به همراه داشت. لذا توصیه می‌شود تحت شرایط تنش کم آبیاری و غیرتنش از ترکیب مورد نظر در گلدان‌های کشت گیاه شمعدانی معطر استفاده کرد تا اثرات منفی تنش را کاهش و رشد گیاه را افزایش دهد.

منابع

امید بیگی، ر. (۱۳۷۹). *رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی* (جلد سوم). *انتشارات آستان قدس رضوی*، مشهد، ۴۴۰ صفحه.

جعفری، م.، رضایی نژاد، ع. و فیضیان، م. (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، ع.، فیضیا ن، م.، و سپهوند، ک. (۱۳۹۲). تأثیر تنش کم‌آبی بر رشد، عملکرد، میزان و ترکیب‌های اسانس شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) ، *دو فصلنامه فنآوری تولیدات گیاهی*، *۵* (۱): ۹۴-۸۳.

رضایی، ز.، و رفیعی الحسینی، م. (۱۳۹۶). پاسخ فیزیولوژیکی گیاه رازیانه به کود دامی و پلیمر سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی. *نشریه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی*، ۳ (۴۳): ۵۶۴-۵۴۷.

زعفریان، ف.، اکبرپور، و.، کاوه، م. و حبیبی، م. (۱۴۰۱). ارزیابی کاربرد بیوچار به‌همراه کودهای آلی و زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه نعنا فلفلی در کشاورزی اکولوژیک. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱۴ (۳): ۵۷۸-۵۶۱.

شادکام، ز.، و مهاجری، ف. (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، ع. ر.، و نورا، ر. (۱۳۹۷). اثر سطوح مختلف بیوچار بر صفات فیزیولوژیک کدو (*Cucurbita pepo* L.) تحت تنش کمبود آب. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۳(۴۹): ۳۲-۱۳.

عباس‌پور، ف.، اصغری، ح.، رضوانی مقدم، پ.، عباس‌دخت، ح.، شهباهنگ، ج.، و بیگ بابا، ا. (۱۳۹۸). تاثیر بیوچار 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، ن.، رفیعی الحسینی، م.، دانش شهرکی، ع. ر. و بدل زاده، ا. (۱۴۰۱). اثر تاریخ کاشت و مقادیر مختلف کودهای دامی، شیمیایی و تلفیقی بر برخی صفات اگرومورفولوژیکی و اسانس بادرشبو. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۳ (۳): ۱۸۲-۱۶۹.

عرب بافرانی، ز.، قانعی بافقی، م. ج.، و شیرمردی، م. (۱۳۹۹). اثر بیوچار ضایعات شاخ و برگ درخت پسته بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۰(۳): ۹۴-۷۳.

غیاث، ش.، شیرمردی، م.، مفتاحی زاده، ح.، و دهستانی اردکانی، م. (۱۴۰۱). تأثیر بیوچار و هیدروژل بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) تحت تنش خشکی .*تولیدات گیاهی*، *۴۵* (۱): ۸۰-۶۷.

فخرآبادی, ح.، و خوش سیمای چنار، م. (۱۴۰۰). اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، *۱۵* (۴): ۹۵۴-۹۴۱.

کیانی، ه.، خالص رو، ش.، مختصی بیدگلی، ع.، و شریفی، ز. (۱۴۰۲). تأثیر بیوچار و تنش خشکی بر برخی سازوکارهای حفاظتی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۹(۲): ۳۰۲-۲۸۵.

محمدی، ز.، آزادی، پ.، قنبری جهرمی، م.، و غالبی، س. (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.

ناهیدان، ص.، فریادرس، م.، درستکار، و. (۱۳۹۹). تاثیر کرم خاکی و کاربرد کود گاوی و بیوچار 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). Physiolgical and morphological response to drought stress. *Middle. East Journal of Scientific Research*. 13(8), 998-1009.

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., Aghaee, 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. Available at Website 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.

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*. (2021) 8:19.

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., Meftahizadeh. 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.

Kiani, H., Khalsaro, S., Mokhtasi Bidgoli, A., & Sharifi, Z. (2022). Effects of biochar and drought stress on some protective mechanisms of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal Medicinal and Aromatic Plants Research*. 39(9), 285-302. (In Persian).

Kramer, P.J, & Boyer, J.S. (1995). Water Relations of Pants and Soils. *Academic Press*, New York.

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 improwing fruil yield and quality in water stress swee peppers. *Scicentia 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 clons (*Camellia sinensis* L.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*. 265, 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 Microbiolgy 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*.

Wang, F., Zeng, B., Zongxiu, Z., & Cheng, Z. (2009). Relationship between proline and Hg^{2+} 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 raps 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.

Zomorrodi, 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.

Introduction

Aromatic geranium (*Pelargonium graveolens* L.) is a medicinal-ornamental plant belonging to the Geraniaceae family which has many uses in the perfumery and pharmaceutical industries due to the presence of essential oils in it. Water is one of the most important environmental factors in the production of ornamental and medicinal plants and is very important 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 aromatic geranium medicinal plant under water deficit stress conditions has been investigated.

Materials and Methods

The current research was conducted in factorial form in a completely randomized design with two treatments and four replications in 2022 in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Lorestan University. The first factor includes 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 (Sand and agricultural soil in a ratio of 1:1), animal manure substrate (soil, sand, animal manure 25% by volume), biochar 5 g/kg control bed, biochar 10 g/kg control substrate, biochar 5 g/kg of manure substrate, and biochar 10 g/kg 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 Ċ so that the pyrolysis process takes 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 treatment of water deficit stress was calculated and applied with the help of pressure plates and weight method. 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 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 under water deficit stress caused an increase in electrolyte leakage, malondialdehyde concentration and essential oil percentage and a decrease in photosynthetic pigments, growth components and essential oil yield of aromatic geranium plant (number of lateral branches and leaves, fresh and dry weight of shoots and roots). The use of planting beds containing animal manure and biochar in stressful 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 aromatic geranium. Also, the percentage and yield of essential oil increased. Among the treatments used, animal manure and 5 g/kg biochar had a better effect on plant growth. Therefore, it is recommended to use the desired composition in the pots of the aromatic geranium plant under the stress conditions of water deficit and non-stress to reduce the negative effects of stress and increase the growth of the plant.

ویراستاری نشده