Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

(OPEN ACCESS)

Effect of biochar on flower yield and growth and physiological characteristics of *Althaea officinalis* L. under drought stress

Saeid Azizzadeh Namin[1], Mahdi Behnamian[*2], Samar Heshmati[3]

1. M.Sc. Student of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: saeid74.azn@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: mbehnamian@uma.ac.ir
3. M.Sc. Student of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: sheshmati615@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 06.26.2024
Revised: 07.01.2024
Accepted: 07.14.2024

Keywords:
Biochar,
Medicinal plants,
Soil fertility,
Water shortage

ABSTRACT

Background and Objectives: Today, due to the lack of water resources and drought, water management is an important part of farm operations and producing quality products. Among the various solutions, adding organic modifiers to the soil is one of the most effective methods in order to maintain soil moisture and fertility. Biochar is considered one of the best methods of soil management and amendment and can be used to increase soil organic matter and improve soil physical and chemical properties. In addition, biochar production makes optimal use of agricultural and industrial waste and can be used to protect the environment and reduce pollutants and convert waste into useful compounds.

Materials and Methods: This research done as a factorial based on a completely randomized design with four replications in the form of pot cultivation in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Mohaghegh Ardabili University. The first factor included oak wood biochar in proportions of 0, 5, 10 and 20% and the second factor included 3 levels of irrigation (100, 75 and 50% of Field capacity). Drought stress was done by reducing irrigation water based on the field capacity of plants. Flower performance and developmental and physiological characteristics were evaluated. Statistical analysis of data was done with SPSS 21 software. Comparison of means was done with Duncan's multi-range test at 1% and 5% probability level.

Results: The results of the research showed that the application of biochar at a ratio of 20% had the greatest increase in the values of growth and vegetative traits such as height, leaf surface, stem diameter and leaf greenness. Also, biochar caused a surprising increase in the yield and characteristics of flowers in the *Althaea officinalis* L.. The lowest amount of vegetative and reproductive traits in severe drought stress was 50% of the field capacity, and the use of oak wood biochar improved 21.1% in vegetative traits and 81.8% in reproductive traits. Also, by maintaining soil moisture and creating a cationic balance and increasing the absorption of nutrients, biochar improves the performance of plant stomata and increases

stomatal conductivity by 65% and reduces ion leakage by 47.6% in severe stress conditions compared to control Plants. With the increase in the level of stress, the production of secondary and antioxidant compounds increased in the plant, and the application of biochar reduced the production of secondary and antioxidant compounds by 21.1% by reducing the negative effects of stress.

Conclusion: The present study showed that biochar had a significant effect on increasing the growth, vegetative, flower yield and reproductive characteristics of the *Althaea officinalis* L. under stress-free conditions and various drought stress levels. Also, biochar showed a positive effect on increasing plant resistance to water deficit by increasing organic matter, maintaining moisture and creating ion balance. According to the results of the research, it is recommended to use oak tree biochar in dry and semi-arid areas to increase plants tolerace to water deficit and increase soil fertility.

Cite this article: Azizzadeh Namin, Saeid, Behnamian, Mahdi, Heshmati, Samar. 2025. Effect of biochar on flower yield and growth and physiological characteristics of *Althaea officinalis* L. under drought stress. *Journal of Plant Production Research*, 32 (2), 193-212.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jopp.2024.22575.3158
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

تأثیر بیوچار بر عملکرد گل و خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی ختمی دارویی (*Althaea officinalis* L.)، تحت تنش خشکی

سعید عزیززاده نمین[۱]، مهدی بهنامیان*[۲]، سمر حشمتی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: saeid74.azn@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: mbehnamian@uma.ac.ir
۳. دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: sheshmati615@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

واژه‌های کلیدی:
حاصلخیزی خاک،
زغال زیستی،
کمبود آب،
گیاهان دارویی

چکیده

سابقه و هدف: امروزه به‌دلیل کمبود منابع آبی، مدیریت آب بخش مهمی از عملیات کشاورزی در تولید محصولات با کیفیت می‌باشد. در میان راهکارهای مختلف، افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی به خاک یکی از مؤثرترین روش‌ها در راستای حفظ رطوبت و حاصلخیزی خاک به شمار می‌آیند. بیوچار یکی از بهترین روش‌های مدیریت و اصلاح خـاک محسوب شده و می‌تواند جهت افزایش پایدار ماده آلی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، تولید بیوچار باعث استفاده بهینه از ضایعات کشاورزی و صنعتی شده و می‌تواند جهت حفظ محیط زیست و کاهش آلاینده‌ها و تبدیل ضایعات به ترکیبات مفید مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار به صورت کشت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتور اول شامل بیوچار چوب درخت بلوط در نسبت‌های صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد و فاکتور دوم شامل ۳ سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. تنش خشکی با کاهش آب آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی گیاهان انجام شد. عملکرد گل و خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن درسطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که کاربرد بیوچار در نسبت ۲۰ درصد بیش‌ترین افزایش را در مقادیر صفات رشدی و رویشی مانند ارتفاع، سطح برگ، قطر ساقه و سبزینگی برگ داشت. هم‌چنین بیوچار باعث افزایش شگفت‌انگیزی در عملکرد و خصوصیات گل در

گیاه ختمی دارویی شد. کم‌ترین میزان صفات رویشی و زایشی در تنش خشکی شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود که استفاده از بیوچار چوب درخت بلوط ۲۱/۱ درصد در صفات رویشی و ۸۱/۸ درصد در صفات زایشی باعث بهبود ویژگی‌های مورد بررسی در گیاه گردید. هم‌چنین بیوچار با حفظ رطوبت خاک و ایجاد تعادل کاتیونی و افزایش جذب عناصر مغذی باعث بهبود در عملکرد روزنه‌های گیاه و افزایش هدایت روزنه‌ای به میزان ٦٥ درصد و کاهش میزان نشت یونی به میزان ٤٧/٦ درصد در شرایط تنش شدید نسبت به گیاهان شاهد شد. با افزایش سطح تنش تولید ترکیبات ثانویه و آنتی‌اکسیدانی در گیاه افزایش یافت که کاربرد بیوچار با کاهش اثرات منفی تنش میزان تولید ترکیبات ثانویه و آنتی‌اکسیدانی را ۲۱/۱ درصد کاهش داد.

نتیجه‌گیری: پژوهش حاضر نشان داد بیوچار تأثیر قابل‌توجهی در افزایش صفات رشدی، رویشی، عملکرد گل و خصوصیات زایشی گیاه ختمی دارویی در شرایط بدون تنش و سطوح تنش خشکی داشت. هم‌چنین بیوچار با افزایش ماده آلی، حفظ رطوبت و ایجاد تعادل یونی تأثیر مثبتی بر روی افزایش مقاومت گیاه در مقابل کمبود آب نشان داد. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش انجام شده استفاده از بیوچار درخت بلوط در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهت افزایش تحمل گیاهان به کمبود آب و افزایش حاصلخیزی خاک توصیه می‌گردد.

استناد: عزیززاده نمین، سعید، بهنامیان، مهدی، حشمتی، سمر (۱۴۰۴). تأثیر بیوچار بر عملکرد گل و خصوصیات رشدی و فیزیولـوژیکی ختمی دارویی (*Althaea officinalis* L.)، تحت تنش خشکی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۲ (۲)، ۲۱۲-۱۹۳.
DOI: 10.22069/jopp.2024.22575.3158

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

ختمی دارویی (*Althaea officinalis* L.) گیاهی چندساله از خانواده پنیرکیان (Malvaceae) می‌باشد. تمامی پیکره گیاه مانند ریشه، ساقه، برگ، گل و دانه دارای خواص دارویی بوده و در طب سنتی و صنایع داروسازی کاربرد فراوانی دارد. این گیاه بومی آسیا، آمریکا و مناطق جنوبی آفریقا است (۱). کشور ایران یکی از مهم‌ترین مراکز تنوع اصلی ختمی محسوب شده و این گیاه در مراتع طبیعی سراسر ایران به وفور یافت می‌گردد. ریشه این گیاه حاوی موسیلاژ، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها، گلوکز، گالاکتوز، آنتوسیانین، بتائین و سایر اسیدهای فنلیک می‌باشد (۲). گل و برگ این گیاه نیز دارای مقادیر مختلفی از ترکیبات فلاونوئیدی، اسید اولئیک، آنتوسیانین، ریبوفلاوین، سیتوسترول و سایر ترکیبات فیتوشیمیایی می‌باشد. گل‌های ختمی به‌منظور تولید دمنوش دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد افسردگی، بهبود جریان خون و درمان سرفه می‌باشد (۳).

گیاهان در محیط زیست تحت‌تأثیر بسیاری از عوامل محیطی هستند که برخی از این عوامل می‌توانند اثرات منفی بر روی رشد و ادامه زندگی آن‌ها داشته باشند. در میان این فاکتورها شوری، خشکی، دمای بالا و تغذیه نامناسب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه به شمار می‌آیند. با توجه به گزارش‌های اخیر ٤٥ درصد از اراضی قابل‌کشت در جهان در معرض خشکی متوالی یا مداوم می‌باشند. هم‌چنین افزایش روزافزون دمای کره زمین به‌صورت گسترده می‌تواند باعث افزایش خشکی زمین‌های تحت کشت شود (٤). با توجه به آمارهای ارائه شده ٦٤ درصد از مساحت کشور ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد. از سوی دیگر متوسط میزان بارندگی در کشور ایران بسیار پایین‌تر از متوسط میزان بارندگی در جهان است در حالی‌که پتانسیل متوسط تبخیر سالانه در ایران سه تا چهار برابر میزان متوسط تبخیر جهان می‌باشد (۵). ازاین‌رو، عملکرد محصولات کشاورزی در ایران همواره توسط تنش خشکی تهدید می‌شود. تنش خشکی یک شرایط تغییرپذیر فیزیولوژیکی است که تعادل گیاه را برهم میزند. تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبادلات گازی، کاهش محتوای نسبی آب اندام‌های گیاه، اختلال در رشد، متابولیسم و فعالیت‌های آنزیمی می‌شود (٦). تنش شدید فرآیند فتوسنتز و بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی و بارگیری و جذب عناصر غذایی را محدود کرده و در نهایت موجب مرگ گیاه می‌شود. امروزه تکنولوژی‌های نوین مختلف قادر به توزیع بهینه و افزایش راندمان مصرف آب، جهت جلوگیری از اتلاف آن شده‌اند، با این وجود کاشت گیاهان متحمل و استفاده از ترکیباتی که باعث ایجاد مقاومت گیاه نسبت به شرایط خشکی گردد، راه‌حل مناسب‌تری برای مناطق مواجه با کمبود منابع آبی می‌باشند (۷).

استفاده بهینه از انواع اصلاح‌کننده‌های خاک از مهم‌ترین راه‌های حفظ و اصلاح شرایط حاصلخیزی و رطوبت خاک در شرایط کم‌آبی و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشد. در سال‌های اخیر کاربرد بیوچار (زغال زیستی) در زمینه کشاورزی به‌عنوان منبع تأمین‌کننده مواد آلی برای رشد گیاه و بهبود ویژگی‌های خاک و حفظ رطوبت آن، رونق زیادی یافته است (۸). بیوچار ترکیبی جامد و متخلخل، با رنگ سیاه و غنی از کربن پایدار بوده که در اثر گرمادهی آهسته بقایا و مواد آلی مانند ضایعات گیاهی و کود دامی، در غیاب اکسیژن در دمای ۲۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد تولید می‌شود. مطالعات مختلف نشان داده است که بیوچار یک ماده اصلاح‌کننده بسیار

مفید جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مؤثر در حفظ رطوبت و ماده آلی خاک می‌باشد (۹). بیوچار بسیار پایدار و مقاوم بوده به صورتی که زمان ماندگاری آن ۱۰ تا هزار برابر زمان ماندگاری کربن آلی خاک می‌باشد. به همین جهت افزودن بیوچار به خاک می‌تواند منبع بالقوه‌ای از کربن را در ترکیب خاک فراهم کند. در عین‌حال تولید بیوچار می‌تواند راهی مناسب برای بازیافت، ترسیب کربن آلی و استفاده در عرصه کشاورزی جهت بهبود ویژگی‌های خاک و رشد گیاهان باشد (۱۰). بیوچار به خاطر تراکم بار سطحی و سطح ویژه بالا توانایی خاک برای نگهداری آب و عناصر غذایی قابل استفاده گیاه را افزایش و از شستشوی عناصر غذایی و کودها جلوگیری می‌کند. هم‌چنین بیوچار فعالیت انواع مختلف میکروارگانیسم‌های مفید خاک را که از نظر کشاورزی اهمیت دارند، تحریک می‌نماید. وجود خلل و فرج فراوان در ساختار بیوچار با حفاظت میکروارگانیسم‌ها در مقابل خشکی و شکار شدن و هم‌چنین تأمین نیاز کربنی، انرژی و عناصر معدنی آن‌ها، فضای مناسبی را برای ریزجانداران فراهم می‌آورد (۱۱). در مطالعات مختلف گزارش شده است که اضافه کردن بیوچار به خاک باعث افزایش اسیدیته خاک، افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک، میزان مواد آلی خاک، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم می‌گردد (۱۲). در پژوهشی تودرول (۲۰۱۱) اثر بیوچار را بر خصوصیات خاک و رشد گیاه مورد بررسی قرار داد. نتایج این بررسی نشان داد مصرف حدود ۱ درصد بیوچار موجب افزایش جوانه‌زنی کاهو گردید که به افزایش نگهداری آب توسط بیوچار نسبت داده شده است (۱۳). مطالعه زانگ و همکاران (۲۰۱۲) افزایش ۷/۵ و ۱۵ درصدی عملکرد ذرت را در اثر مصرف بیوچار نشان داد (۱٤). نتایج مطالعه کویی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد استفاده از سطوح ۱۰، ۲۰ و ٤۰ تن در هکتار بیوچار باعث افزایش ۲ تا ۵ درصدی pH خاک و ۱٦ تا ۵۱ درصدی کربن آلی خاک می‌گردد (۱۵). با توجه به مطالب ذکر شده پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر بیوچار چوب بلوط در مقادیر مختلف بر عملکرد گل و برخی از خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی گل ختمی، تحت تنش کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی، شرایط رشد و تیمارها: این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به منظور ارزیابی تأثیر بیوچار چوب بلوط بر عملکرد گل و برخی از خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی ختمی دارویی تحت تنش خشکی، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار به صورت کشت گلدانی اجرا شد. فاکتور اول شامل بیوچار چوب درخت بلوط در نسبت‌های صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد و فاکتور دوم شامل ۳ سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) اعمال شد. بیوچار مورد نیاز، از شاخه‌های درخت بلوط جمع‌آوری شده، در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٦ ساعت در شرایط اکسیژن محدود تهیه شد. به این منظور شاخه‌های درخت بلوط بعد از برش در ظرف‌های در بسته حاوی یک سوراخ کوچک روی درب ظرف درون کوره قرار گرفت. پس از قطع حرارت تا سرد شدن بیوچار درب کوره بسته ماند و در نهایت پس از خرد کردن و عبور از الک ۲ میلیمتری، در نسبت‌های مورد استفاده با خاک مزرعه مخلوط گردید. بذر گیاه ختمی دارویی از شرکت Hem Zaden BV با کد ثبت شده ۱۷۷۷۳٤/۸ خریداری و در سینی‌های کشت مخصوص حاوی کوکوپیت و پرلایت با نسبت مساوی کاشته شد. بعد از رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله

چهار برگی، به گلدان‌های پلاستیکی سایز ١٤ حاوی خاک باغچه و بیوچار در نسبت‌های ذکر شده منتقل شدند. گلدان‌ها در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی با دمای ٢±٢٤ درجه سانتی‌گراد روزانه و ٢±١٨ درجه سانتی‌گراد شبانه و رطوبت نسبی ٥٠ تا ٦٠ درصد قرار گرفتند. جهت اعمال تنش خشکی، گلدان‌ها با استفاده از ترازو به صورت یکسان با خاک مزرعه و بیوچار در نسبت‌های مشخص پر شدند. از هر تیمار اعمال شده روی خاک یک نمونه با آب به حالت اشباع درآورده و با چهار تکرار داخل لوله‌های آزمایشی ریخته شده و به مدت ١٠ دقیقه با ٤٩٠٠ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. بعد از جدا نمودن آب ثقلی نمونه‌ها بعد از وزن شدن داخل آون به مدت ٢٤ ساعت در دمای ١٢٠ درجه سانتی‌گراد خشک شده و دوباره وزن آن‌ها اندازه‌گیری شدند (١٦). در نهایت درصد رطوبت زراعی با استفاده از رابطه ١ به دست آمد.

$$\theta m = \frac{mw}{ms} \times 100 \qquad (1)$$

در این رابطه، θm درصد رطوبت خاک، mw وزن خاک مرطوب و ms وزن خشک خاک می‌باشد (١٧). سپس گلدان‌ها روی ترازو قرار داده شده و با یک استوانه مدرج رطوبت آن‌ها به ٥٠، ٧٠ و ١٠٠ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد و حجم آب مصرفی برای هر بار آبیاری مشخص گردید.

جدول ١- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و بیوچار.

Table 1. Soil and Biochar Physical and chemical analysis.

	اسیدیته PH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (درصد) Organic matter (%)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	نیتروژن (درصد) N (%)
خاک Soil	8.64	0.8	1.48	10.62	108.46	0.03
بیوچار Biochar	7.4	6.2	56.42	380.62	2264.53	18.85

بررسی صفات رشدی و رویشی: با شروع دوره گلدهی، به صورت دوره‌ای گل‌ها در مرحله شکوفایی کامل برداشت و در هربار برداشت تعداد گل برداشت شده از هر بوته ثبت گردید. قطر جام گل توسط خط‌کش فلزی اندازه‌گیری شده و بلافاصله برای اندازه‌گیری وزن تر با ترازو وزن شدند. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، گل‌ها به مدت ٧٢ ساعت داخل آون با دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و توسط ترازو وزن شدند. ارتفاع بوته بعد از اتمام دوره گلدهی توسط ابزار متر اندازه‌گیری شد. قطر بوته‌ها توسط کولیس اندازه‌گیری و ثبت گردید. هدایت روزنه‌ای توسط دستگاه Leaf Prometer (مدل SC-1 ساخت کشور آمریکا) ارزیابی شد. دستگاه در محیط گلخانه کالیبره شده و تعداد چهار برگ از هر بوته با قرار دادن برگ‌ها میان گیره سنسور دستگاه، میزان هدایت روزنه‌ای هر برگ ثبت گردید. مقدار شاخص سبزینگی (SPAD) برگ‌ها در طول دوره گلدهی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (Chlorophyll Meter SPAD-502) اندازه‌گیری شد. سطح برگ توسط دستگاه سطح‌سنج (LI3100CAREA METER) به صورت چهار تکرار از هر بوته مورد ارزیابی قرار گرفت.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی اندام گل: جهت تهیه عصاره متانولی، گل‌های خشک شده توسط آسیاب به خوبی پودر شده و مقدار ۱۰۰ میلی گرم از نمونه‌های پودر شده با ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به مدت ٤۸ ساعت هموژنیزه شده و در نهایت نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور دقیقه سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد محلول رویی با دقت جداشده و عصاره توسط دستگاه روتاری در دمای ۵۰ درجه از حلال جدا شد. جهت ارزیابی میزان فنول کل، ۱۰۰ مایکرولیتر از عصاره متانولی با ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم (۲ درصد) و ۱۰۰ مایکرولیتر معرف فولین سیوکالچو (۵۰ درصد) به خوبی مخلوط شده و حجم مخلوط واکنش توسط آب سه بار تقطیر استریل به ۵ میلی‌لیتر رسانده شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق به صورت ساکن رها شد. میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در ۷۲۰ نانومتر قرائت و میزان فنول کل نمونه‌ها بر اساس منحنی استاندارد اسید گالیک به صورت میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه گزارش شد (۱۸).

جهت ارزیابی میزان فلاونوئید کل در هر نمونه، میزان ۵۰۰ مایکرولیتر از عصاره متانولی تهیه شده با ۱۰۰ مایکرولیتر محلول آلومینیوم کلرید (۱۰ درصد) و ۱/۵ میلی‌لیتر متانول (۸۰ درصد) و ۱۰۰ مایکرولیتر محلول استات سدیم (۱ مولار) مخلوط شده و توسط آب مقطر سه بار تقطیر به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. مخلوط واکنش به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق به حالت ساکن رها شده و در نهایت میزان جذب محلول توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ٤۱۵ نانومتر قرائت و میزان فلاونوئید کل بر اساس منحنی استاندارد کوئرستین به صورت میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه گزارش گردید (۱۹).

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، رسوبات چربی‌دوست حاصل از عصاره آنزیمی در ۱۲ میلی‌لیتر کلروفورم حل شده و سوسپانسیون حاصل به مدت ٤ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتیگراد با سرعت ۳۵۰۰ g سانتریفیوژ شد. پس از سانتریفیوژ ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی جداشده ۲/۵ میلی‌لیتر DPPH (٦۰ میکرومول در لیتر) تازه تهیه شده اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگهداری شد. بعد از اتمام مرحله استراحت، میزان جذب محلول در ۵۱۵ نانومتر ثبت گردید. آب مقطر و محلول DPPH به عنوان blank و control استفاده شد (۲۰).

ارزیابی میزان نشت یونی در برگ: جهت اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی در برگ‌ها، ۵۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه برگی به همراه ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایشی ریخته شده و یک شبانه روز روی شیکر قرار داده شد و میزان هدایت الکتریکی محلول (EC1) با استفاده از دستگاه ECسنج دیجیتالی قرائت و ثبت شد. در انتها نمونه‌ها داخل دستگاه اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد و بعد از خنک شدن محلول، میزان هدایت الکتریکی آن (EC2) توسط دستگاه ECسنج قرائت شده و نشت یونی برای هر یک از نمونه‌ها مطابق با رابطه ۲ محاسبه شد (۲۱).

$$\text{Electrolyte leakage} = \frac{EC1}{EC2} \times 100 \qquad (۲)$$

تجزیه داده‌های آماری: تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن درسطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام گردید و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

صفات رشدی و رویشی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر بیوچار چوب درخت بلوط بر شاخص‌های رشد گیاه ختمی دارویی تحت تنش

خشکی نشان داد که اثر تنش خشکی بر تمامی صفات رویشی مورد بررسی و هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد و اثر بیوچار بر صفات ارتفاع و قطر ساقه در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفات سطح برگ، سبزینگی برگ و هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. اثرات متقابل این دو فاکتور نیز بر صفات ارتفاع بوته و سطح برگ درسطح احتمال ۱ درصد و بر صفات قطر ساقه، سبزینگی برگ و هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر بیوچار چوب بلوط بر صفات رشدی و رویشی گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی.

Table 2. analysis of Variance of the effect of oak wood biochar on growth and vegetative traits of *Althaea officinalis* under drought stress.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square				
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	سطح برگ Leaf area	سبزینگی برگ SPAD	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance
بیوچار Biochar	3	876.911**	0.379**	3290.01*	96.931*	119.333*
تنش خشکی Drought stress	2	917.117**	2.170**	29832.6**	394.111**	453.102**
تنش خشکی × بیوچار Biochar × Drought stress	6	105.294**	0.074*	287.483**	10.788*	14.976*
اشتباه آزمایشی Error	48	3.208	0.007	9.817	6.81	7.64
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.3	17.1	18.7	13.51	21.42

** و * به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

**, * means the presence of a significant difference at the probability level of 1 and 5 percent, respectively, ns means the non-significant difference

استفاده از بیوچار تأثیر چشمگیری بر خصوصیات رشدی و رویشی و کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه ختمی دارویی داشت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل فاکتورها (جدول ۳) نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۱۹/٤ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۲/۳٤ سانتی‌متر)، سطح برگ (۲۳۱/۱ سانتی‌مترمربع) و سبزینگی برگ (۳۹/۷٤) در گیاهان بدون تنش خشکی و افزودن ۲۰ درصد بیوچار به خاک مشاهده شد که نسبت به گیاهان شاهد به ترتیب به میزان ۵/۸، ٤، ٦/۱ و ۹/٤ درصد افزایش داشتند (جدول ۳). کم‌ترین میزان ارتفاع بوته (۸۸/٤ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۱/۳۲ سانتی‌متر)، سطح برگ (۱۳٤/۸ سانتی‌مترمربع) و سبزینگی برگ (۲٤/٦٦) در گیاهان تحت تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و فاقد بیوچار بودند که نسبت به گیاهان شاهد به ترتیب به میزان ۲۱/٦۳، ٤۱/۳۳، ۳۹/۷٦ و ۳۲/۱ درصد کاهش داشتند (جدول ۳). افزودن ۲۰ درصد بیوچار به خاک به عنوان اصلاح‌کننده در تنش متوسط (آبیاری به میزان ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) به صورت میانگین ۳٤/۷۵ درصد و در تنش شدید (آبیاری به میزان ۵۰ درصد

ظرفیت زراعی) به صورت میانگین ۲۱/۱۵ درصد باعث بهبود صفات رشدی و رویشی و افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش با حفظ رطوبت خاک گردید (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر بیوچار چوب بلوط بر صفات رشدی و رویشی گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی.

Table 3. Comparison of the mean of the interaction of drought stress and Biocher on growth and vegetative traits of *Althaea officinalis*.

تنش خشکی Drought stress	بیوچار Biochar	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	سبزینگی برگ SPAD
100% FC ظرفیت زراعی (۱۰۰ درصد)	0	112.8^{c}	2.25^{a}	223.8^{c}	36.32^{cd}
	5%	114^{c}	2.24^{a}	224.2^{c}	37.3^{bc}
	10%	119.4^{b}	2.27^{a}	231.1^{b}	37.6^{b}
	20%	127.6^{a}	2.34^{a}	237.6^{a}	39.74^{a}
75% FC ظرفیت زراعی (۷۵ درصد)	0	105.8^{d}	1.54^{f}	154.4^{h}	31.48^{f}
	5%	114.8^{c}	1.63^{ef}	157.6^{h}	31.9^{f}
	10%	115.2^{c}	1.82^{cd}	182.4^{e}	36.08^{d}
	20%	119.2^{b}	1.97^{b}	195.6^{d}	37.04^{bcd}
50% FC ظرفیت زراعی (۵۰ درصد)	0	88.4^{e}	1.32^{g}	134.8^{j}	24.66^{h}
	5%	105^{d}	1.66^{e}	146.2^{i}	28.52^{g}
	10%	113.4^{c}	1.77^{d}	164.6^{g}	28.82^{g}
	20%	113.6^{c}	1.92^{bc}	175.8^{f}	33.64^{e}

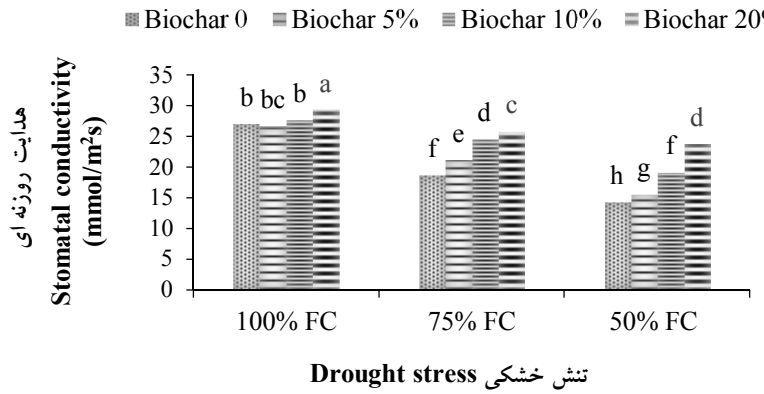
در هر ستون، تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

In each column, the means that have at least one letter in common are not significantly different from each other based on Duncan's test

بیوچار با داشتن سطح ویژه بالا، فضای لازم برای تجمع کاتیون‌ها وآنیون‌ها و پیوند آن‌ها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده وظرفیت نگهداری مواد غذایی و رطوبت خاک را بهبود می‌بخشد (۲۲). در پژوهش انجام شده توسط تیرگرسلطانی و همکاران (۲۰۲۲) استفاده از بیوچار به میزان ۵ درصد نسبت وزنی در گیاه ذرت (*Zea mays*) باعث افزایش سطح برگ و حجم ریشه و افزایش شاخص برداشت گیاهان به میزان ۵۰ درصد و افزایش راندمان مصرف آب دانه به میزان ٤٨ درصد گردید (۲۳). در مطالعه دیگری حیدری و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که تیمار ۳۰ گرم بیوچار در گیاه *Kochia prostrata* L. باعث افزایش مشخصه‌های مورفولوژیکی (طول ریشه، ارتفاع گیاه، زیست‌توده گیاهی) به ترتیب به میزان ۲۲، ۳٦ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد شد و هم‌چنین تیمار ۳۰ گرم بیوچار باعث افزایش معنی‌دار مشخصه فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای به میزان ۱۰۷ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد گردید (٢٤). باقری و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که بیوچار برگ درخت نخل به میزان ۰/۲٤ کیلوگرم در مترمربع و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، صفات وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه، وزن متوسط میوه و کارایی مصرف آب را در گیاه ملون (*Cucumis melo*) به‌ترتیب به میزان ۷۷، ۳۲، ۱۰۰، ۸٤، ۵۷، ۸٤ و ۸۸

درصد نسبت به تیمار بدون بیوچار و ٦٠ درصد نیاز آبی افزایش داد (٢٥). کیانی و همکاران (٢٠٢٤) در آزمایشی نشان دادند که افـزایش شدت تنش خشکی (کاهش آبیاری) در گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل کل، کارایی فتوسیستم II، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و گل‌دهنده، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گردید. از سوی دیگر کاربرد بیوچار کود گاوی سبب تقلیل اثرات منفی تنش خشکی گردید، به‌طوری‌که با حفظ میزان آب خاک، صفات مورفوفیزیولوژیک را بهبود بخشید. علاوه بر این بیوچار در سطوح آبیاری ٤٠، ٧٠ و ١٠٠ عملکرد دانه را به ترتیب، ١١/٣٣، ١٢/٣٤ و ١٢/١١ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد بیوچار افزایش داد (٢٦).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و تنش خشکی بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای (٢٩/٥٢ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) در گیاهان بدون تنش خشکی و کاربرد ٢٠ درصد بیوچار، با افزایش ٨/٨ درصد افزایش نسبت به گیاهان شاهد و کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای (١٤/٣٨ میلی‌مول بر مترمربع درثانیه) در گیاهان تحت تنش شدید فاقد بیوچار با کاهش ٤٦/٩٥ درصد نسبت به گیاهان شاهد بود (شکل ١). کاربرد بیوچار تأثیر قابل‌توجهی در افزایش میزان هدایت روزنه‌ای با حفظ رطوبت و جذب آب توسط گیاه داشت به‌طوری‌که کاربرد بیوچار به مقدار ٢٠ درصد در تنش متوسط باعث افزایش ٣٧ درصد و در تنش شدید ٦٥ درصد در میزان هدایت روزنه‌ای گردید (شکل ٢).



شکل ١- اثر بیوچار بر میزان هدایت روزنه‌ای گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی.
(تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند).

The effect of biochar on the stomatal conductivity of *Althaea officinalis* L. under drought stress.
(Different letters in each column indicate a significant difference).

افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های تیمار شده با بیوچار از فاکتورهای مهم در کاهش اثرات اسمزی و سمیت یون‌های اضافی در خاک می‌باشد. گیاهان تحت تنش، هورمون اسید آبسیزیک تولید می‌کنند که شاخص خوبی برای نشان دادن تنش اسمزی است و به عنوان یک مولکول سیگنال برای بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کمبود آب عمل می‌کند. بنابراین کاهش تولید آبسیزیک اسید می‌تواند به دلیل افزایش در دسترس بودن آب گیاهان ناشی از کاربرد بیوچار باشد که در نهایت منجربه افزایش هدایت

روزنه‌ای می‌گردد (۲۷). در پژوهشی حیدری و همکاران (۲۰۲۳) بیان داشتند که در بین سطوح بیوچار آزولا استفاده شده در گیاه *Kochia prostrata* L. بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به تیمار بیوچار ۱/۵ درصد با میانگین ۸۰۰/۸ میلی‌مول آب بر مترمربع بر ثانیه و کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای از تنش شدید (آبیاری با ۲۰ درصد ظرفیت زراعی) حاصل گردید (۲۸).

عملکرد گل و صفات زایشی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر بیوچار چوب درخت بلوط بر صفات زایشی گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی نشان داد که اثرات ساده تنش خشکی و بیوچار بر تمامی ویژگی‌های گل در سطح احتمال ۱ درصد و اثرات متقابل این دو فاکتور بر صفت قطر گل در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفات تعداد گل، وزن تر و خشک گل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر بیوچار چوب بلوط بر عملکرد و صفات زایشی در گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی.

Table 4. analysis of Variance of the effect of oak wood biochar on yield and Reproductive traits, of *Althaea officinalis* under drought stress.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square			
		تعداد گل Number of flowers	وزن تر گل Flower fresh weight	وزن خشک گل Flower dry weight	قطر گل Flower diameter
بیوچار Biochar	3	206.222**	4453.707**	230.972**	7.516**
تنش خشکی Drought stress	2	73.817**	1508.526**	40.777**	13.288**
تنش خشکی × بیوچار Biochar × Drought stress	6	1.906*	106.297*	3.786*	0.21**
اشتباه آزمایشی Error	48	0.817	12.715	0.563	0.826
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	4.36	5.58	5.82	13.88

** و * به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

**, * means the presence of a significant difference at the probability level of 1 and 5 percent, respectively, ns means the non-significant difference

تنش خشکی و اثر متقابل آن با کاربرد بیوچار، تأثیر معنی‌داری بر صفات زایشی مورد بررسی در این پژوهش داشت (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل دو فاکتور بیش‌ترین مقادیر صفات زایشی گیاه ختمی دارویی از قبیل تعداد گل (۱٦/٦)، وزن تر گل (۷۲/۳۲ گرم)، وزن خشک گل (۱٤/۹۵ گرم) و قطر گل (۸/٥٤ سانتی‌متر) با کاربرد بیوچار با نسبت ۲۰ درصد در شرایط بدون تنش بود که به ترتیب نسبت به گیاهان شاهد، ۱٤٤، ۲۲۳، ۲۰۵ و ۱۷ درصد افزایش داشتند. کم‌ترین مقادیر صفات زایشی به ترتیب، تعداد گل (۳/٦)، وزن تر گل (۱۰/۳ گرم)، وزن خشک گل (۲/۱۹ گرم) و قطر گل (۵/۱۳ سانتی‌متر) در شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بدون کاربرد بیوچار مشاهده شد که

تحت تنش شدید خشکی نسبت به گیاهان شاهد به ترتیب ٤٧، ٥٣/٨، ٤٨/٥ و ٢٩/٥ درصد کاهش داشتند. کاربرد بیوچار در گیاه ختمی دارویی افزایش قابل‌توجهی در عملکرد گل و صفات مربوط به آن را در شرایط بدون تنش درپی داشت. هم‌چنین افزودن بیوچار به خاک در نسبت ٢٠ درصد به صورت میانگین در شرایط تنش متوسط (آبیاری به میزان ٧٥ درصد ظرفیت زراعی)، ٣١/٠٧ درصد و در شرایط تنش شدید (آبیاری به میزان ٥٠ درصد ظرفیت زراعی)، ٨١/٨ درصد موجب کاهش اثرات تنش روی صفات زایشی گیاه شد که نسبت به سایر مقادیر استفاده شده بیش‌ترین میزان را در جلوگیری از کاهش عملکرد گیاه تحت تنش خشکی داشت (جدول ٥).

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر بیوچار چوب بلوط بر عملکرد و صفات زایشی در گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی.

Table 5. Comparison of the mean of the interaction of drought stress and Biocher on yield and Reproductive traits of Althaea officinalis.

تنش خشکی Drought stress	بیوچار Biochar	تعداد گل Number of flowers	وزن تر گل Flower fresh weight (gr)	وزن خشک گل Flower dry weight (gr)	قطر گل Flower diameter (cm)
100% FC ظرفیت زراعی (١٠٠ درصد)	0	6.8^{ef}	22.34^{e}	4.26^{fg}	7.28^{cd}
	5%	8.2^{d}	27.75^{d}	5.09^{ef}	7.05^{e}
	10%	11^{c}	39.18^{c}	7.33^{d}	7.42^{bc}
	20%	16.6^{a}	72.32^{a}	14.95^{a}	8.54^{a}
75% FC ظرفیت زراعی (٧٥ درصد)	0	4.8^{h}	16.12^{f}	3.21^{h}	6.54^{f}
	5%	5.8^{g}	16.76^{f}	3.47^{gh}	6.25^{g}
	10%	6.4^{fg}	22.12^{e}	4.12^{fg}	6.32^{g}
	20%	6.8^{ef}	22.26^{e}	4.18^{fg}	5.54^{g}
50% FC ظرفیت زراعی (٥٠ درصد)	0	3.6^{i}	10.3^{g}	2.19^{i}	5.13^{j}
	5%	5.4^{gh}	12.54^{fg}	2.41^{hi}	5.53^{i}
	10%	6.4^{fg}	21.66^{e}	3.87^{gh}	5.92^{h}
	20%	6.5^{fg}	22.28^{e}	4.19^{fg}	7.18^{de}

در هر ستون، تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

In each column, the means that have at least one letter in common are not significantly different from each other based on Duncan's test

بسیاری از پژوهش‌گران عوامل مؤثر در کاهش عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی را اختلال در تقسیم میتوز، کاهش تورژسانس و رشد و توسعه سلولی می‌دانند که در نتیجه کاهش رشد گیاه را در بر دارد (٢٩). کاهش میزان عملکرد گل تحت تنش خشکی می‌تواند منجربه کاهش تعداد، اندازه و وزن گل و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه مربوط باشد (٣٠). تقی‌زاده طبری و همکاران (٢٠٢٠) در پژوهشی بیان داشتند که کاربرد بیوچار چوب درخت گردو در بهبود برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و کیفی گیاه گاوزبان (*Echium amoenum*) در شرایط تنش خشکی اثر مثبتی داشت. علاوه بر آن، کاربرد همزمان بیوچار و اسید سالسیلیک در بیش‌تر صفات موجب

افزایش کارایی آن‌ها در تقلیل اثرات خشکی شد (۳۱). توکلی والا و همکاران (۲۰۲۳) نیز در مطالعه خود نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش صفات رشدی مانند ارتفاع گیاه، وزن خشک شاخساره، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد گل، و طول و قطر گل در گیاه گل جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta*) شد، به‌طوری‌که کم‌ترین مقدار آن‌ها در ۲۵٪ ظرفیت مزرعه به‌دست آمد. کاربرد بیوچار پوسته برنج به میزان ۷ درصد وزنی، بیش‌ترین تأثیر را در افزایش تعداد و وزن گل در گیاهان تحت تنش خشکی داشت (۳۲).

صفات فیزیولوژیکی اندام گل و نشت یونی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر بیوچار چوب درخت بلوط بر صفات فیزیولوژیکی گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی نشان داد که اثر ساده تنش خشکی بر تمامی صفات فیزیولوژیک مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر بیوچار بر تمامی صفات در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثرات متقابل این دو فاکتور بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفات فنول کل، فلاونویید کل و نشت یونی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ٦).

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر بیوچار چوب بلوط بر صفات فیزیولوژیکی گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی.

Table 6. analysis of Variance of the effect of oak wood biochar on Physiological traits of Althaea officinalis under drought stress.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square			
		فنول کل Total phenol content	فلاونویید کل Total flavonoid content	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل Flower dry weight	نشت یونی Ion leakage
بیوچار Biochar	3	82.99*	43.26*	442.38*	2049.797*
تنش خشکی Drought stress	2	368.08**	309.33**	3006.92**	19605.434**
تنش خشکی × بیوچار Biochar × Drought stress	6	41.69*	18.83*	126.03**	1141.24*
اشتباه آزمایشی Error	48	1.73	2.42	1.88	1.73
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.81	6.04	8.06	14.21

** و * به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

**, * means the presence of a significant difference at the probability level of 1 and 5 percent, respectively, ns means the non-significant difference

میزان ترکیبات ثانویه و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با افزایش سطح تنش خشکی در اندام گل گیاه ختمی دارویی افزایش می‌یابد. با توجه مقایسه نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و کاربرد بیوچار بیش‌ترین میزان فنول کل (٦٤/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) و فلاونویید کل (۳۲/۵۹ میلی‌گرم در

گرم وزن خشک) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (۸٦/۸٤ درصد) در گیاهان ختمی دارویی تحت تنش خشکی شدید (آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بدون کاربرد بیوچار مشاهده شد که نسبت به گیاهان شاهد به ترتیب ۲۰/۱، ۵۰/٤ و ۵۹/٦ درصد افزایش داشتند (جدول ۷). هم‌چنین کم‌ترین میزان فنول کل (٦۳/۹۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک)، فلاونویید کل (۱۹/۹۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (۵۳/۸۱ درصد) در شرایط بدون تنش خشکی و کاربرد ۲۰ درصد بیوچار بود که نسبت به گیاهان شاهد به ترتیب به میزان ۱/٦۳، ۸/۰۷ و ۰/۹۵ درصد کاهش داشتند (جدول ۷). کاربرد بیوچار در کاهش اثرات مضر ناشی از تنش خشکی تأثیر مثبتی داشت، به صورتی که افزودن بیوچار در نسبت ۲۰ درصد در گیاهان تحت تنش متوسط به صورت میانگین به میزان ۹/۳ درصد و در گیاهان تحت تنش شدید به صورت میانگین به میزان ۲۱/۵ درصد موجب کاهش تولید ترکیبات ثانویه و آنتی‌اکسیدانی شد که نشان‌دهنده کاهش اثرات منفی تنش خشکی روی گیاه می‌باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر بیوچار چوب بلوط بر بر صفات فیزیولوژیکی اندام گل در گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی.

Table 7. Comparison of the mean of the interaction of drought stress and Biocher on flowers Physiological traits of Althaea officinalis.

تنش خشکی Drought stress	بیوچار Biochar	فنول کل Total phenol content ($mg.g^{-1}.FW$)	فلاونویید کل Total flavonoid content ($mg.g^{-1}.FW$)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل Flower dry weight (%)
100% FC ظرفیت زراعی (۱۰۰ درصد)	0	64.98^{e}	21.66^{h}	54.33^{h}
	5%	64.44^{f}	20.77^{i}	54.15^{h}
	10%	64.04^{f}	20.66^{i}	53.96^{h}
	20%	63.92^{f}	19.91^{j}	53.81^{h}
75% FC ظرفیت زراعی (۷۵ درصد)	0	67.89^{c}	23.41^{e}	68.73^{c}
	5%	65.05^{e}	22.51^{f}	67.17^{d}
	10%	64.95^{e}	22.39^{f}	61.68^{f}
	20%	65.36^{e}	22.13^{g}	55.69^{g}
50% FC ظرفیت زراعی (۵۰ درصد)	0	78.22^{a}	32.59^{a}	86.84^{a}
	5%	76.06^{b}	30.42^{b}	86.58^{a}
	10%	68.17^{c}	26.22^{c}	74.24^{b}
	20%	67.12^{d}	23.96^{d}	65.86^{e}

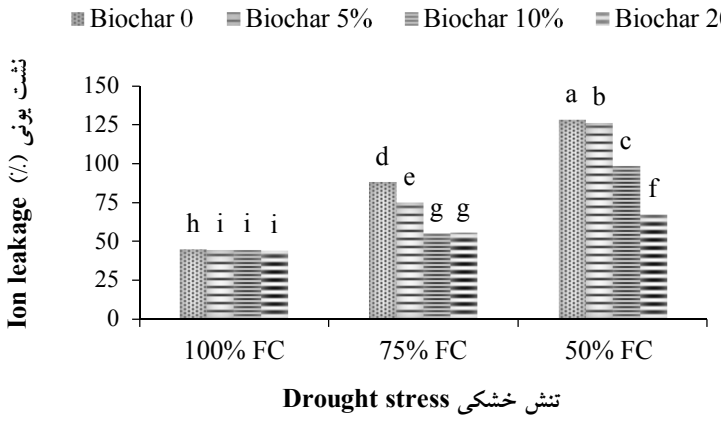
در هر ستون، تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

In each column, the means that have at least one letter in common are not significantly different from each other based on Duncan's test

تنش خشکی باعث ایجاد اثرات نامطلوب فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه می‌شود که منجربه اختلال در فرآیندهای بیوشیمیایی مهمی مانند فتوسنتز، تنفس و آسیمیلاسیون عناصر غذایی می‌گردد. در اثر آسیب‌های وارد شده در اثر خشکی، تنش اکسیداتیو تحریک می‌شود که منجربه ساخت و انباشته شدن گونه‌های فعال اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن می‌شود که این گونه‌های فعال، ترکیبات آلی سلول‌های گیاهی هم‌چون کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، اسیدهای‌نوکلئیک و پروتئین‌ها را تخریب می‌کنند.

گیاهان جهت مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده ناشی از تنش خشکی، مکانیسم‌های دفاعی مختلف آنزیمی و غیرآنزیمی را در پیش می‌گیرد. سیستم غیرآنزیمی شامل ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (۳۳). صفاهانی لنگرودی و نورا (۲۰۱۸) در پژوهش خود بیان داشتند که، استفاده از بیوچار کاه ذرت باعث کاهش غلظت مالون دی‌آلدئید، رادیکال‌های آزاد و پراکسید هیدروژن در برگ گیاه کدو (*Cucurbita pepo* L.) تحت تنش خشکی می‌گردد (۳٤). غیاث و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که تنش خشکی منجربه افزایش نشت یونی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل در گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) می‌شود. کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار چوب درخت انار، نشت یونی، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در تنش متوسط و شدید نسبت به شاهد کاهش داد (۳۵).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل فاکتورهای آزمایشی بیش‌ترین میزان نشت یونی (۱۲۸/۲۲ درصد) در گیاهان تحت تنش شدید (آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بدون کاربرد بیوچار با افزایش ۱۸۵ درصد نسبت به گیاهان شاهد بود. هم‌چنین کم‌ترین میزان نشت یونی (٤۳/۹۲ درصد) در گیاهان بدون تنش خشکی با کاربرد ۲۰ درصد بیوچار با کاهش ۲/۳۵ درصد نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. کاربرد بیوچار تأثیر به‌سزایی در کاهش میزان نشت یونی در مقابل افزایش سطح تنش خشکی داشت به‌طوری‌که ۲۰ درصد کاربرد بیوچار در تنش متوسط باعث کاهش ۳۷ درصد و در تنش شدید ٤۷/٦ درصد در میزان نشت یونی گردید (شکل ۲).



شکل ۲- اثر بیوچار بر میزان نشت یونی گیاه ختمی دارویی تحت تنش خشکی.
(تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند).

The effect of biochar on the Ion leakage of *Althaea officinalis* L. under drought stress.
(Different letters in each column indicate a significant difference).

در تنش خشکی به دلیل تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش اسیدهای چرب غیراشباع غشای سلولی اتفاق می‌افتد (۳٦). در این شرایط مالون‌دی‌آلدئید در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدی غشاء انباشته شده و غشای سلولی به تدریج ثبات خود را از دست می‌دهد، بنابراین نشت یون‌ها رخ می‌دهد (۳۷). کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی مانند بیوچار، با تأثیرات مثبتی که بر حفظ رطوبت خاک و

آب قابل استفاده برای گیاه دارند می‌توانند منجر به کاهش نشت یونی در گیاه شوند (۳۸). گزارش شده است که بیوچار می‌تواند بر جذب یون‌ها توسط ریشه هم به صورت فعال و هم به صورت غیرفعال تأثیر گذاشته و منجر به جذب آن‌ها شده و از این طریق باعث پایداری غشاء سلولی و کاهش نشت یونی شود (۳۹). محدثی و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود نشان دادند که استفاده از بیوچار درخت انار در گیاه گل مغربی (*Oenothera biennis*) تحت سطوح مختلف تنش خشکی به میزان ۳۰ تن در هکتار باعث کاهش ۲۰ درصدی در میزان نشت یونی نسبت به گیاهان شاهد می‌شود (٤٠). عرب بافرانی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود بیان داشتند کاربرد بیوچار ضایعات شاخ و برگ درخت پسته، در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، به میزان ٤ درصد، موجب کاهش ٦٠ درصدی در میزان نشت یونی گردید (٤١). هم‌چنین در مقالات متعدد نشان داده شده است که کاربرد بیوچار باعث افزایش پایداری غشا و درنتیجه کاهش نشت یونی می‌شود. نتایج بیانگر آن است که بیوچار از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و حاصلخیزی خاک، توسعه ریشه و قدرت حفظ رطوبت خاک و مواد غذایی توسط گیاه می‌تواند باعث افزایش پایداری غشاء سلولی و مقاومت گیاه شود.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد بیوچار چوب درخت بلوط تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد گل گیاه ختمی دارویی تحت سطوح مختلف تنش خشکی داشت که بیانگر افزایش میزان ماده آلی و اصلاح خاک در جهت بهبود جذب عناصر غذایی می‌باشد. هم‌چنین از میان نسبت‌های مورد استفاده افزودن ۲۰ درصد بیوچار موجب کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در اثرات منفی حاصل از تنش در تمامی صفات رشدی و زایشی نشان داد. با توجه به تأثیر مثبت بیوچار چوب بلوط بر کاهش میزان ترکیبات ثانویه و آنتی‌اکسیدانی می‌توان نتیجه گرفت استفاده از بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده بسیار مؤثر در کاهش تنش‌های اکسیداتیو بوده و می‌تواند مقاومت گیاه را در مقابله با تنش خشکی افزایش دهد. کاهش میزان نشت یونی و افزایش میزان هدایت روزنه‌ای گیاه تحت تنش نشان‌دهنده کارآمد بودن بیوچار در حفظ رطوبت خاک و تعادل یونی بوده و می‌تواند از فرسایش و شست و شوی عناصر از خاک جلوگیری نماید. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش انجام شده استفاده از بیوچار درخت بلوط در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهت افزایش تحمل گیاهان به کمبود آب و افزایش حاصلخیزی خاک توصیه می‌گردد.

منابع

1. Dehghan, A., Dashti, H., & Baghizadeh, A. (2013). Antibacterial effect of ethanol extract (*Althaea Officinalis*) on Streptococcus pyogenes compared with prevalent antibiotics in vitro. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences,* 12 (6), 461-474. [In Persian]
2. Kianitalaei, A., Feyzabadi, Z., Hamedi, S., & Qaraaty, M. (2019). *Althaea Officinalis* in Traditional Medicine and modern phytotherapy. *Journal of Advanced Pharmacy Education & Research,* 9(2), 154-161. [In Persian]
3. Ahmed, B., Roy, C., Subramaniam, S. A., Ganie, D., Kwatra, D., Dixon, D., Anant, A., Zarqar, M. A., & Umar, S. (2016). An ornamental plant targets epigenetic signaling to block cancer stem cell driven colon carcinogenesis. *Journal of Carcinogenesis,* 37, 385-396.

4. Chandra, P., Wunnava, A., Verma, P., Chandra, A., & Sharma, R. K. (2021) Strategies to mitigate the adverse effect of drought stress on crop plants influences of soil bacteria: A review. *Journal of Pedosphere,* 31, 496-509.
5. Hermans, K., & McLeman, R. (2021) Climate change, drought, land degradation and migration: exploring the linkages. *Journal of Current Opinion in Environmental Sustainability,* 50, 236-244.
6. Sepasi, N., Taheri, A., Zamani, M., Jahani, M., & Farashiani, M. (2024). Effect of ectomycorrhizal fungus Laccaria bicolor on some physiological and morphological characteristics of *Populus alba* under drought stress and Cytospora canker conditions. *Journal of Plant Production Research,* 31 (1), 47-68. **DOI: 10.22069/JOPP.2023.21018.3008.** [In Persian]
7. Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2019). Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Journal of Horticulture,* 5(1), 6. **Doi:10.3390/horticulturae5010006.**
8. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Journal of Plant and Soil,* 327, 235-246. **Doi:10.1007/s11104-009-0050-x.**
9. Lehmann, J., Hansel, C. M., Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., Nunan, N., Reichstein, M., Schimel, J. P., Torn, M. S., & Wieder, W. R. (2020). Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. *Journal of Nature Geoscience,* 13(8), 529-534.
10. Laird, D. A., Rogovska, N. P., Garcia-Perez, M., Collins, H. P., Streubel, J. D., & Smith, M. (2010). Pyrolysis and biochar opportunities for distributed production and soil quality enhancement. In: Braun R. Karlen D. and Johnson D. Sustainable alternative fuel feedstock opportunities, challenges and roadmaps for six U. S. regions. *Journal of Proceedings of the Sustainable Feedstocks for Advance Biofuels Workshop,* pp. 257-281.
11. Warnock, D. D., Mummeya, D. L., McBride, B., Major, J., Lehmann, J., & Rillig, M. C. (2010). Influences of nonherbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth chamber and field experiments. *Journal of Applied Soil Ecology,* 46, 450-456.
12. Masto, R. E., Kumar, S., Rout, T. K., Sarkar, P., George, J., & Ram, L. C. (2013). Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. *Journal of Catena,* 111, 64-71.
13. Tood Revell, K. (2011). The effect of fast pyrolysis biochar made from poultry litter on soil properties and plant growth. *Journal of Plant and Soil,* 37, 235-246.
14. Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., & Zhang, X. (2012). Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil from central China plain. *Journal of Plant and Soil,* 351, 263-275.
15. Cui, L., Yan, J., Yang, Y., Li, L., Quan, G., Ding, C., Chen, T., Fu, Q., & Chang, A. (2013). Biochar for heavy metals in soil. *Journal of Bioresources,* 8, 5536-5548.
16. Khavari, M., Ramroudi, M., Ghanbari, A., & Dahmardeh, M. (2022). Effect of phosphorus fertilizers in combination with planting management on morphological and physiological traits, seed yield, and mucilage yield of isabgol (*Plantago ovata*) under drought stress. *Journal of Plant Production Research,* 29 (2), 137-157. [In Persian]
17. Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46 (12), 1843-1852.
18. Meda, A., Euloge Lamien, C., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, O. (2005). Determination of the total phenolic,

flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Journal of Food Chemistry,* 91(3), 571-577. **Doi:10.1016/j.foodchem.2004.10.006.**

19. Mita, S., Murano, N., Akaike, M., & Nakamura, K. (1997). Mutants of Arabidopsis thaliana with pleiotropic effects on the expression of the gen for beta-amylase and on the accumulation of anthocyanin that are inducible by sugars. *Plant Journal,* 11, 841-851.
20. Karimi, E., Ghasemnezhad, A., & Ghorbanpour, M. (2022). Alteration of antioxidant enzymes of forest savory under the influence of drought stress, re-watering and selenium foliar application. *Journal of Plant Production Research,* 29 (2), 19-33. **DOI: 10. 22069/JOPP. 2021.18639.2749.**
21. Khorrami Moghadam, M., Khoshhal Sarmast, M., Ghasemnezhad, A., & Savchenko, T. (2024). Mitigation of root and shoot proline content in response to jasmonic and salicylic acid in *Rosa damacena* subjected to short drought stress. *Journal of Plant Production Research,* 30 (4), 171-190. **DOI: 10. 22069/JOPP.2024.21547.3063.**
22. Xie, T., Sadasivam, B., Reddy, K, Wang, & Spokas, C. (2015). Review of the effects of biochar amendment on soil properties and carbon sequestration. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste,* 20(1), 40-51.
23. Tirgarsoltani, M. T., Bahrani, H. A., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2022). The effect of grapevine wood biochar on maize response to water deficit stress in greenhouse condition. *Iranian Journal of Soil and Water Research,* 53 (9), 1979-1996. **Doi:10.22059/ijswr. 2022.345278.669309.** [In Persian]
24. Heydari, F., Dianati Tilaki, Gh. A., Kooch, Y., & Abdollahi, M. (2023). Investigating the effect of biochar obtained from Azolla filiculoides on the morphophysiological characteristics of *Kochia prostrata* L. under drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology,* 18(3), 1-17. [In Persian]
25. Bagheri, S., Hassandokht, M., & Mirsoleimani, A. (2021). Effect of palm leaf biochar application on some physiological and biochemical characteristics of melon plants (*Cucumis melo* cv. Samsouri) under drought stress. *Journal of Plant Process and Function,* 10 (45), 18-26. [In Persian]
26. Kiani, H., Khalesro, Sh., Sharifi, Z., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2024). Morphological and physiological responses of black cumin to biochar and different irrigation regimes. *Journal of Environmental stresses in crop sciences,* 17(1), 73-86. **Doi:10.22077/escs.2023. 5430.2148.** [In Persian]
27. Duan, L., Dietrich, D., Ng, C. H., Chan, P. M. Y., Bhalerao, R., Bennett, M. J., & Dinneny, J. R. (2013). Endodermal ABA signaling promotes lateral root quiescence during salt stress in Arabidopsis seedlings. *Journal of the Plant Cell,* 25(1), 324-341.
28. Heydari, F., Dianati Tilaki, Gh. A., Kooch, Y., & Abdollahi, M. (2023). Investigating the effect of biochar obtained from Azolla filiculoides on the morphophysiological characteristics of *Kochia prostrata* L. under drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology,* 18(3), 1-17. **Doi: 10.30495/ iper.2022.1964411.1813.** [In Persian]
29. Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H., Somasundaram, R., & Panneersel Vam, R. (2009). Drought stress in plants: A Review on morphological characteristics and pigments composition. *Journal of Agriculture Biology*, 11(1), 100-105.
30. Heidari, M., & Minaei, A. (2014). Effects of drought stress and humic acid application on flower yield and content of macro-elements in medical plant borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Plant Production Research,* 21(1), 167-182. [In Persian]
31. Taghizadehtabari, Z., Asghari, H., Abbasdokht, H., & Babakhanzadeh, E. (2020). Effects of biochar and salicylic acid on some characteristics of (*Borago*

officinalis L.) in water deficit condition. *Journal of Plant Production Research,* 28(1), 93-113. **doi:10.22069/jopp.2021. 17250.2599.** [In Persian]

32. Tavakoli, Vala, M., Nazari, F., & Babaei, S. (2023). The ameliorative effect of rice husk biochar on morpho-physiological and biochemical characteristics of African marigold (*Tagetes erecta* L.) under drought stress. *Plant Process and Function,* 8(1), 21-46.
33. Azizian Shermeh, O., Taherizadeh, M., Valizadeh, M., & Qasemi, A. (2018). Robial and antioxidant activities and determining phenolic and flavonoid contents of the extracts of five species from different families of the medicinal plants grown in Sistan and Baluchistan province. *Journal of Medicinal plant science*, 7, 465-479. [In Persian]
34. Safahani, A., & Nora, R. (2018). The effect of different levels of biochar on the physiological traits of pumpkin (*pepo Cucurbita* L.) Under Drought stress. *Journal of Plant environmental physiology,* 49(13), 13-32.
35. Ghias, S., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., & Dehestani Ardakani, M. (2022). Effect of Biochar and Hydrogel on Morphophysiological and Biochemical Characteristics of Common Sage (*Salvia officinalis* L.) under Drought Stress. *Journal of Plant production,* 45(1), 67-80. [In Persian]
36. Loreto, F., & Schnitzler, J. P. (2010). Abiotic stresses and induced BVOCs. *Journal of Trends in Plant Science,* 15(3), 154-166.
37. Gapińska, M., Skłodowska, M., & Gabara B. (2008). Effect of short-and long-term salinity on the activities of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in tomato roots. *Journal of Acta Physiologiae Plantarum,* 30(1), 11-23.
38. Hernández, T., Chocano, C., Moreno, L., & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops effects on soil and plant. *Journal of Soil and Tillage Research,* 160, 14-22.
39. Mousavi, D. S. Z., Gholami, M., & Baninasab, B. (2018). Effect of vermicompost fertilizer on growth and drought tolerance of Olive (*Olea europaea* L. cv. Zard). *Journal of Plant Process and Function,* 7(23), 1-19. [In Persian]
40. Mohadesi, A., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., & Gholamnezhad, J. (2023). Evaluation of Biochar and Vermicompost Application on some Morphophysiological Characteristics of *Oenothera biennis* under Drought Stress. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 33(1), 35-51.
41. Arab Bafrani, A., Ghanei-Bafghi, M., & Shirmardi, M. (2020). Effect of wood residues of pistachio biochar on growth characteristics of Safflower. *Journal of Soil Management and Sustainable,* 10(3), 73-93. **DOI: 10.22069/ejsms. 2021.17831.1937.**