

Effect of Biochar and Hydrogel on Morphophysiological and Biochemical Characteristics of Common Sage (*Salvia officinalis* L.) under Drought Stress

Shayesteh Ghias¹, Mostafa Shirmardi^{2*} , Heidar Meftahizadeh³, Maryam Dehestani Ardakani⁴

- 1- M.Sc. Graduate of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

Citation: Ghias, Sh., 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. *Plant Productions*, 45(1), 67-80.

Abstract

Introduction

Drought and low organic carbon content are two main problems for agriculture in arid and semiarid regions. Drought stress is responsible for at least 40% of crop losses in the world. The use of biochar (BC) and hydrogels can decrease adverse effects of drought on the plant. The objective of this study was to evaluate the effect of BC and hydrogel application on morphophysiological and biochemical parameters of *Salvia officinalis* L. under drought stress (DS).

Materials and Methods

A factorial experiment with a randomized complete block design with three replicates was conducted in the research greenhouse of the Meybod industrial town in 1398/2018 to investigate the BC and hydrogel effects on the growth, physiological and biochemical characteristics of *Salvia officinalis* L. under drought stress condition. The BC and hydrogel was applied by mixing dry soil

* **Corresponding Author:** Mostafa Shirmardi
E-mail: shirmardi@ardakan.ac.ir

at rates of 0, 10, and 20 ton BC.ha⁻¹, 100, and 200 kg hydrogel.ha⁻¹ with three DS levels of D1 (irrigation in 80% field capacity (FC) as no-stress conditions), D2 (irrigation in 60% FC as mild-stress conditions) and D3 (irrigation in 40% FC as severe-stress conditions). The growth responses were examined included morpho-physiological (i.e., chlorophyll content, leaf area, relative water content (RWC), ion leakage (IL), and phytochemical (i.e., antioxidant activity (AA) and total phenolic content (TPC)) parameters.

Results and Discussion

Results showed that drought stress significantly decreased growth parameters and RWC while increased IL, AA and TPC. Application of 200 kg hydrogel.ha⁻¹ and 20 ton BC.ha⁻¹ significantly increased chlorophyll index, root and shoot dry weight compared to the control under severe stress condition. At mild stress, all treatments significantly reduced the root:shoot ratio compared to the control. However, in severe stress, only application of 10 and 20 ton BC.ha⁻¹ significantly reduced this parameter compared to the control. In no stress and severe stress, use of 200 kg hydrogel.ha⁻¹ increased RWC in plant in comparison with control (15.9 and 5.1% respectively). Results indicated that 200 kg hydrogel.ha⁻¹ and 20 ton BC.ha⁻¹ treatments significantly decreased IL and TPC in mild and severe stress conditions in comparison with control. All treatments significantly decreased AA in severe stress and control has the highest amount of AA in this level of drought. It seems that use of BC and hydrogel in soil increased soil water holding capacity and improve soil structure. In addition, BC contains various elements that can improve plant nutrition under drought stress. The amount of BC and hydrogel application is very important on the effectiveness of these amendments on the plant characteristics under stress conditions.

Conclusion

The application of hydrogel and biochar could improve the growth indices, leaf relative water content and reduce the total phenol concentration and antioxidant capacity in the plant under drought stress. It seems that these amendments reduce the negative effect of drought stress on the plant by increasing the soil water holding capacity, improving the structure and increasing the availability of nutrients for the plant.

Keywords: Antioxidant activity, Ion leakage, Organic amendments, Relative Water Content, Superabsorbent



تأثیر بیوچار و هیدروژل بر خصوصیات مروفیز یولوژیکی و بیوشیمیایی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) تحت تنش خشکی

شایسته غیاث^۱، مصطفی شیرمردی^{۲*}، حیدر مفتاحی‌زاده^۳، مریم دهستانی اردکانی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

چکیده

خشکی و پائین بودن کربن آلی خاک دو مسئله مهم برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. استفاده از بیوچار و هیدروژل می‌تواند اثرات مخرب خشکی بر گیاه را کاهش دهد. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر بیوچار و هیدروژل بر پارامترهای مروفیز یولوژیکی و بیوشیمیایی مریم‌گلی تحت تنش خشکی بود. به این منظور یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی شهرک صنعتی میبد انجام شد. تیمارها شامل پنج سطح بیوچار و هیدروژل (شامل عدم کاربرد، کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار، کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل) و سه سطح تنش خشکی (آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت مزرعه (FC) به عنوان عدم تنش، آبیاری در ۶۰٪ FC به عنوان تنش متوسط و آبیاری در ۴۰٪ FC به عنوان تنش شدید) بود. پارامترهای مختلف از قبیل شاخص سبزی‌نگی برگ، سطح برگ، ارتفاع، محتوای نسبی آب (RWC)، نشت یونی، محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که خشکی منجر به کاهش پارامترهای رشدی و RWC شد در حالی که نشت یونی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل افزایش یافت. کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل به‌طور معنی‌داری شاخص سبزی‌نگی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی را نسبت به شاهد در تنش شدید خشکی افزایش داد. در تنش متوسط، کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار و همچنین کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل، نسبت ریشه به اندام هوایی را در مقایسه با شاهد کاهش دادند. با این وجود در تنش شدید، تنها کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار نسبت ریشه به اندام هوایی را کاهش داد. در شرایط عدم تنش و تنش شدید، کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل منجر به افزایش RWC نسبت به شاهد شد (به ترتیب ۱۵/۹ و ۵/۱٪). نتایج نشان داد که کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل و ۲۰ تن در هکتار بیوچار، نشت یونی و فنل کل را در تنش متوسط و شدید نسبت به شاهد کاهش داد. همه تیمارها در تنش شدید خشکی منجر به کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد شدند و تیمار شاهد بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را داشت. به‌نظر می‌رسد که کاربرد بیوچار و هیدروژل با بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین اضافه شدن عناصر توسط بیوچار به خاک، بتوانند اثرات مخرب خشکی بر گیاه را کاهش دهند.

کلیدواژه‌ها: اصلاح‌کننده‌های آلی، سوپرجاذب، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای نسبی آب، نشت یونی

* نویسنده مسئول: مصطفی شیرمردی

رایانامه: shirmardi@ardakan.ac.ir



مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی و عامل محدود کننده رشد گیاهان در دنیا می‌باشد (Yordanov and Tsoev, 2000). خشکی باعث کاهش فشار تورژسانس، کاهش سطح برگ و کاهش رشد سلول می‌شود (Bhatt and Srinivasa-Rao, 2005). به علاوه در شرایط تنش خشکی گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن، سوپراکسید و رادیکال هیدروکسیل تجمع یافته که منجر به خسارت جدی به ساختار سلولی می‌شود (Sharma and Dubey, 2005). تنش خشکی می‌تواند با کاهش سرعت تعرق، جذب و انتقال عناصر مغذی را کاهش دهد (Arndt et al., 2001). ایده‌ها و دستاوردهای جدید مورد نیاز است تا بتواند به گیاهان در شرایط تنش خشکی کمک کند.

در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از معضلات اصلی خاک‌ها، پایین بودن محتوای ماده آلی است. ماده آلی خاک تأثیر غیر قابل انکاری بر تامین و نگهداری عناصر غذایی، ظرفیت نگهداری رطوبت و بهبود خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک دارد (Minasny and Mcbratney, 2017). به همین دلیل اصلاح‌کننده‌های آلی باید هر ساله برای حفظ توان تولیدی خاک به آن اضافه شوند. یک جایگزین برای اصلاح‌کننده‌ها می‌تواند استفاده از ترکیبات بسیار پایدار مانند بیوچار باشد. بیوچار که با حرارت دادن هر نوع پسماند آلی در دمای بالا طی فرآیند پیرولیز تولید می‌شود جهت بهبود حاصلخیزی و افزایش تولید در کشاورزی، در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zahedifar and Najafian, 2017). تولید و کاربرد بیوچار حاصل از ضایعات کشاورزی می‌تواند منجر به کاهش این ضایعات و جلوگیری از آتش زدن آن‌ها شده و تأثیر مثبتی بر محیط زیست دارد. پایداری بیوچار در خاک زیاد بوده و تا سال‌های طولانی در خاک باقی می‌ماند، گزارش شده است که اثرات مثبتی بر ظرفیت تبادل کاتیونی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشته و در نهایت منجر به بهبود شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاه می‌شود (Van Zwieten et al., 2010). در تحقیقی گزارش شد که کاربرد بیوچار منجر به بهبود شاخص‌های رشدی گیاه نخود شد (Hashem et al., 2019). افزایش محتوای کلروفیل و شاخص‌های رشدی و عملکردی برنج با کاربرد بیوچار گزارش شده است (de Melo Carvalho et al., 2013).

ظرفیت پایین نگهداری آب در برخی از خاک‌ها می‌تواند موجب هدر رفت آب به شکل تبخیر، رواناب و یا انتقال آب و عناصر غذایی به پایین‌تر از عمق توسعه ریشه شود. کاربرد اصلاح‌کننده‌هایی مانند پلیمرهای جذب‌کننده آب که به عنوان هیدروژل‌های سوپر جاذب شناخته می‌شوند می‌تواند باعث بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک، تهویه و ساختمان خاک شده و در نتیجه اثر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Suresh et al., 2018). هیدروژل آب ثقیلی را که به سرعت از خاک خارج شده و برای گیاهان غیر قابل استفاده می‌شود را جذب کرده و آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Leciejewski, 2009). همچنین می‌تواند ظرفیت نگهداری عناصر را در خاک برای یک دوره طولانی افزایش داده و از انتقال آن‌ها به پایین‌تر از عمق توسعه ریشه جلوگیری کند (Galeş et al., 2016). این ترکیبات به دلیل داشتن گروه‌های هیدروفیلیک مختلف مانند کربوکسیل، آمین و هیدروکسیل قادر به جذب مقدار زیادی آب هستند. هیدروژل‌های تجاری مورد استفاده در کشاورزی قادرند ۱۰۰-۵۰۰ برابر وزن خود آب جذب کنند (Koupai et al., 2008). تلاش‌های زیادی جهت تولید سوپر جاذب‌هایی که زیست تخریب‌پذیر بوده و اثرات مخربی بر خاک نداشته باشد صورت گرفته است. این مواد وقتی با خاک مخلوط می‌شوند به سرعت آب اضافه شده به خاک از طریق آبیاری یا بارش را جذب کرده و با خشک شدن خاک، آب موجود در هیدروژل بر اثر پدیده پخشیدگی و شیب پتانسیل، آزاد شده و در اختیار ریشه گیاه قرار گرفته و رشد بهتر گیاه را منجر می‌شود (Galeş et al., 2016). در تحقیقات مختلف با کاربرد هیدروژل در خاک، کاهش هدر رفت آب به شکل تبخیر، کاهش تنش آبی برای گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش رشد نهال، بهبود زنده‌مانی درختان انتقال داده شده و افزایش عملکرد گیاه مشاهده شده است (Ashkiani et al., 2013). در گزارشی بیان شد که به کار بردن هیدروژل در خاک منجر به بهبود رشد چمن و افزایش آب در دسترس گیاه شد (Panayiotis et al., 2004). بهبود رشد و عملکرد گوجه در اثر کاربرد هیدروژل در خاک نیز گزارش شده است (Suresh et al., 2018).

مریم گلی با نام علمی *Salvia officinalis* L. گیاهی دارویی از خانواده نعنائیان است که بومی مناطق مدیترانه‌ای بوده ولی در حال حاضر به‌طور گسترده در

درصد ظرفیت مزرعه که به ترتیب به عنوان شرایط عدم تنش، تنش متوسط و تنش شدید در نظر گرفته شد) بود. بلوک‌ها با فاصله یک متر از هم و کرت‌ها با ابعاد $1/2 \times 1/2$ و با فاصله یک متر از هم روی بلوک در نظر گرفته شدند. به طور کلی آزمایش شامل ۱۵ تیمار و ۴۵ کرت (با توجه به سه تکرار) و هر کرت شامل سه ردیف کشت با فاصله ۳۰ سانتی متر بین و روی ردیف‌های کاشت بود.

تهیه اصلاح‌کننده‌ها، تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و بیوچار

برای تهیه بیوچار از بقایای حاصل از هرس درخت انار در شرایط بدون اکسیژن استفاده شد. نمونه‌ها در شرایط فاقد اکسیژن به مدت دو ساعت در کوره با دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. هیدروژل مورد استفاده در این تحقیق از نوع آکوازورب PR3005 بود که از شرکت بشری آمین که نماینده شرکت SNF فرانسه در ایران است خریداری شد.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از قبیل بافت به روش هیدرومتری، pH، هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity) در عصاره اشباع، کربن آلی به روش نلسون و سامرز، فسفر قابل جذب به روش اولسن، نیتروژن کل به روش کج‌لدال، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم، رطوبت ظرفیت مزرعه با دستگاه صفحات فشاری و وزن مخصوص ظاهری خاک به روش استوانه فلزی اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ گزارش شده است.

نقاط مختلف جهان جهت استفاده از برگ‌های خشک آن به عنوان ماده اولیه در صنایع داروسازی، عطرسازی و همچنین صنایع غذایی، کشت می‌شود (Tisserand and Balacs, 1995). خواص ضدالتهابی، ضد میکروبی و همچنین خاصیت آنتی‌اکسیدانی مریم‌گلی، باعث توجه ویژه به این گیاه دارویی شده است. با توجه به تأثیر مثبت هیدروژل و بیوچار بر افزایش شاخص‌های کمی و کیفی گیاهان در شرایط تنش خشکی و همچنین عدم وجود گزارشی در ارتباط با کاربرد این دو اصلاح‌کننده برای مریم‌گلی، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف هیدروژل و همچنین بیوچار در شرایط اعمال سطوح مختلف تنش خشکی بر گیاه مریم‌گلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آماری و تیمارها

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کاربرد مقادیر مختلف هیدروژل و بیوچار بر رشد و نمو مریم‌گلی در شرایط اعمال تنش خشکی، در سال ۱۳۹۸ به صورت مزرعه‌ای در قطعه زمینی در شهرک صنعتی میبد انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل کاربرد اصلاح‌کننده و تنش خشکی در سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارها شامل سطوح مختلف اصلاح‌کننده (پنج سطح شامل عدم کاربرد اصلاح‌کننده، کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل) در سه سطح تنش خشکی (شامل آبیاری در ۸۰، ۶۰ و ۴۰

Table 1. Physicochemical properties of soil and biochar used in this study

Parameter	Unit	Soil	Biochar
Clay	%	19	-
Silt	%	28	-
Sand	%	53	-
Texture		Sandy Loam	-
pH		7.6	8.6
EC	dS.cm ⁻¹	1.3	2.6
Organic Carbon	%	0.52	53.5
Total nitrogen	%	0.04	2.87
Available phosphorous	mg.kg ⁻¹	12.2	48.6
Available Potassium	mg.kg ⁻¹	235	523
Bulk Specific Gravity	g.cm ⁻³	1.1	-
Field Capacity	%	27.8	-
Biochar yield	%	-	31.3
Ash content	%	-	46.5

خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و نسبت ریشه به اندام هوایی اندازه‌گیری شد. وزن خشک گل و اندام هوایی گزارش شده مربوط به یک بوته می‌باشد.

تعیین محتوای نسبی آب (RWC)، نشت یونی و خصوصیات بیوشیمیایی

RWC

برای تعیین RWC، ابتدا وزن چند برگ تازه (FW) با ترازوی دقیق تعیین شد. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در ظرف حاوی آب مقطر قرار داده شد تا اشباع شود و وزن اشباع (TW) تعیین شد. در ادامه برگ‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و وزن خشک برگ (DW) تعیین شد. در نهایت با استفاده از رابطه ۱ RWC بر حسب درصد محاسبه شد (Ritchie et al., 1990).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{RWC (\%)} = ((\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})) \times 100$$

نشت یونی

برای تعیین نشت یونی ابتدا قطعه‌ای از برگ با ابعاد نیم سانتی‌متر مربع را تهیه و در ظرفی حاوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده شد. پس از این مدت هدایت الکتریکی اولیه (EC1) با EC متر دیجیتالی (مدل Metrohm 644) تعیین شد. سپس نمونه‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت و مجدداً هدایت الکتریکی (EC2) تعیین شد. در نهایت درصد نشت یونی با رابطه ۲ محاسبه و بر حسب درصد گزارش شد (Lutts et al., 1995).

$$\text{رابطه (۲)} \quad (\%) = (\text{EC1} / \text{EC2}) \times 100 \quad \text{نشت یونی}$$

اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی

تهیه عصاره الکلی

ابتدا به ۵/۰ گرم از پودر ماده خشک پیکر رویشی گیاه ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰٪ اضافه و نمونه به مدت ۱۲ ساعت روی شیکر قرار گرفت. پس از آن نمونه سانتریفیوژ و محلول شفاف رویی در ظروف شیشه‌ای که نور و هوا به آن نفوذ نمی‌کردند در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Wojdylo et al., 2007).

اندازه‌گیری کل ترکیبات فنلی

تعیین ترکیبات فنلی با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو صورت گرفت. بدین منظور به ۴۰۰ میکرولیتر

جهت تعیین EC و pH بیوچار، ابتدا عصاره ۵:۱ تهیه شد و در عصاره تهیه شده این پارامترها اندازه‌گیری شد (Zhang et al., 2013). برای تعیین عملکرد بیوچار، از نسبت وزن بیوچار تولید شده در واحد وزن خشک ماده اولیه استفاده شد (Song and Guo, 2012). محتوای خاکستر بیوچار با استفاده از روش استاندارد ASTM D-2866 تعیین شد. بدین منظور ۵ گرم از بیوچار تولیدی در شرایط حضور اکسیژن در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از سرد شدن وزن خاکستر اندازه گرفته و محتوای خاکستر بر حسب درصد تعیین شد (Song and Guo, 2012). نتایج آنالیز بیوچار مورد استفاده در جدول ۱ گزارش شده است.

بذر مریم‌گلی از پژوهشکده گیاهان دارویی و صنعتی دانشگاه اردکان تهیه شد. تاریخ کاشت ۱۰ فروردین بود و بذرها به صورت دستی و در عمق ۳ سانتی‌متری کشت شدند. اصلاح‌کننده‌ها قبل از کشت (۵ فروردین‌ماه) با خاک مخلوط شدند، به این صورت که بر اساس تیمارهای مورد نظر و مساحت کرت مقدار بیوچار و هیدروژل مورد نیاز به سطح خاک اضافه و تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. آبیاری ابتدا به صورت منظم انجام شد و بعد از جوانه‌زنی و استقرار گیاهان، تنش خشکی بر اساس درصدهای مختلف ظرفیت مزرعه انجام شد. به این صورت که با تعیین ظرفیت زراعی خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک و اندازه‌گیری مرتب رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR زمان آبیاری تعیین شد. دوره نگهداری گیاه ۱۰ ماه و مدت زمان اعمال تنش هشت ماه بود. در طول دوره آزمایش، به استثنای آبیاری، سایر عملیات از قبیل سله شکنی و حذف علف‌های هرز برای تمام تیمارها به صورت یکسان انجام شد.

اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در گیاه

شاخص سبزی‌نگی برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502 ساخت کشور ژاپن در اواخر گلدهی (پایان مهرماه) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد. در اواخر دوره گلدهی (پایان مهرماه)، سطح برگ اولین برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته با استفاده از Leaf Area Meter (مدل WinArea_UT_11) ساخت ایران، اندازه‌گیری شد. در انتهای دوره آزمایش، تعداد شاخه جانبی، قطر ساقه، ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن

سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر خشکی بر همه شاخص‌های ارزیابی شده به استثنای طول ریشه معنی‌دار بود. تأثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌ها نیز بر تمام شاخص‌ها به استثنای سطح برگ و وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل خشکی و اصلاح‌کننده بر شاخص‌های قطر ساقه، شاخص سبزی‌نگی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و نسبت ریشه به اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲).

اثر تنش خشکی بر تعداد شاخه جانبی، ارتفاع گیاه و سطح برگ

نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، تعداد شاخه جانبی و ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین مقدار شاخه جانبی و ارتفاع گیاه در تنش شدید مشاهده شده که به ترتیب ۵۵/۰۶ و ۲۴ درصد نسبت به شرایط عدم تنش کاهش نشان دادند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر شاخص سطح برگ نشان داد که بیشترین سطح برگ در شرایط عدم تنش مشاهده شد (1699 mm^2) و با افزایش شدت تنش سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. سطح برگ در شرایط تنش متوسط و شدید تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی در هر دو سطح نسبت به شرایط عدم تنش کاهش معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). تنش خشکی از طریق آسیب‌های اکسیداتیو که به گیاه وارد می‌کند منجر به کاهش رشد و

از عصاره رقیق شده، ۲ میلی‌لیتر از معرف اضافه شد و پس از پنج دقیقه ۱/۶ میلی‌لیتر از محلول کربنات سدیم که با غلظت ۷۵ گرم در لیتر تهیه شده بود اضافه شد. پس از نیم ساعت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV3100, Shimadzu, Tokyo, Japan) جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد. در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید، داده‌ها بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک گزارش شد (Wojdylo et al., 2007).

تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از دی‌فیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) به‌عنوان رادیکال آزاد و پایدار استفاده شد. بدین منظور ۵۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده به ۵ میلی‌لیتر از محلول ۰/۰۰۰۴ درصد DPPH اضافه و ۱۰ ثانیه به شدت تکان داده شد. پس از ۳۰ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر، جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین شد. در نمونه شاهد به جای عصاره از متانول ۸۰ درصد استفاده شد. درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH از رابطه ۳ تعیین شد (Burits and Bucar, 2000).

$$(3) \quad \text{درصد مهارکنندگی} = ((A_c - A_t) / A_t) \times 100$$

در این رابطه، A_c و A_t به ترتیب جذب در شاهد و نمونه گیاهی می‌باشد.

آنالیز داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.2 استفاده شد. مقایسات میانگین با آزمون LSD و در

Table 2. Variance analysis of measured traits of *Salvia officinalis* L. under the influence of amendments and drought

Source of variation	df	Mean square								
		Lateral shoot number	Stem diameter	Plant height	Leaf area	Greenness index (spad)	Root length	Root dry weight	Shoot dry weight	Root / shoot
Block	2	1.35 ^{ns}	0.63 ^{ns}	94.3 ^{ns}	497253.5 ^{ns}	0.1 ^{ns}	4.03 ^{ns}	10.25 ^{ns}	4.86 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Drought (D)	2	251.25 ^{**}	214.6 ^{**}	716.57 ^{**}	642650 ^{**}	99.12 ^{**}	2.7 ^{ns}	27.5 ^{**}	3631.2 ^{**}	1.22 ^{**}
Amendments (A)	4	29.02 ^{**}	34.36 ^{**}	423.66 ^{**}	60211.2 ^{ns}	75.71 ^{**}	75.45 ^{**}	6.61 ^{ns}	634.1 ^{**}	0.18 ^{**}
D × A	8	0.84 ^{ns}	7.56 ^{**}	119.2 ^{ns}	63621.5 ^{ns}	22.08 ^{**}	22.74 ^{ns}	38.08 ^{**}	167.1 ^{**}	0.07 ^{**}
Error	28	5.54	1.74	60.18	53485.5	6.26	508.7	3.56	21.07	0.01
CV (%)		21.33	17.44	15.77	15.8	6.59	19.7	18.19	19.42	16.06

^{ns}, *, **: not significant, significant at 1 and 5% probability levels, respectively.

Table 3. Mean comparison of the effect of drought (D1, D2, D3: 80, 60 and 40% Field Capacity (FC)) and amendments (Control, H1, H2: 0, 100, 200 kg Hydrogel.ha⁻¹; B1, B2: 10, 20 ton biochar.ha⁻¹) on evaluated traits of *Salvia officinalis* L.

Treatments	Lateral shoot number	Plant Height (cm)	Leaf area (mm ²)
D1	14.53a	56.22a	1699.7a
D2	12.03b	48.93b	1380b
D3	6.5c	42.4c	1312.2b
Treatments	Lateral shoot number	Plant height (cm)	Root length (cm)
Control	9.56b	43.06b	18.61b
H1	10.33b	44.61b	18.47b
H2	11b	47.83b	24.01a
B1	10.17b	49.94b	24.33a
B2	14.11a	60.47a	22.83a

Values with different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to LSD tests.

درصد وزنی-وزنی منجر به بهبود شاخص‌های رشدی (از قبیل طول ساقه و ریشه) نخود شد و میزان مصرف بیوچار بسیار مؤثر می‌باشد (Hashem et al., 2019). کاربرد هیدروژل در خاک می‌تواند با بهبود شرایط فیزیکی خاک منجر به افزایش تراکم و رشد ریشه شده و آب در دسترس ریشه افزایش یابد (Panayiotis et al., 2004).

اثر متقابل خشکی و اصلاح‌کننده بر شاخص‌های مورد ارزیابی قطر ساقه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، در شرایط عدم تنش و تنش متوسط، تیمارهای کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل منجر به افزایش قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد در این دو سطح تنش خشکی شد. در شرایط اعمال تنش شدید خشکی تنها تیمار کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار توانست این پارامتر را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دهد و سایر تیمارها اثر معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۵).

شاخص سبزی‌نگی برگ

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط تنش شدید خشکی، کاربرد تمام تیمارها توانست شاخص سبزی‌نگی را نسبت به شاهد این سطح، به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. در حالی است که در شرایط تنش متوسط، هیچ‌کدام از تیمارها اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشتند. در شرایط عدم تنش نیز تنها کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار توانست شاخص سبزی‌نگی را نسبت به شاهد این سطح افزایش دهد (۱۱/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد) و سایر تیمارها اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

عملکرد گیاه می‌شود (Safaei Chaeikar et al., 2020). خشکی نه تنها جذب عناصر توسط ریشه را کاهش می‌دهد بلکه انتقال آن‌ها از ریشه به اندام هوایی را محدود ساخته و مشکلات تغذیه‌ای برای گیاه به وجود می‌آورد (López-Marín et al., 2017). در تحقیقی گزارش شد که با بروز تنش خشکی کاهش در رشد برگ و به دنبال آن کاهش در رشد طولی گیاه رخ داد (Jaleel et al., 2009) که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد.

اثر اصلاح‌کننده‌ها بر تعداد شاخه جانبی، ارتفاع گیاه و طول ریشه

مقایسه میانگین اثر اصلی اصلاح‌کننده بر شاخص‌های تعداد شاخه جانبی و ارتفاع گیاه نشان داد که کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار منجر به افزایش معنی‌دار این دو شاخص نسبت به شاهد شده است و بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۴/۱) و ارتفاع گیاه (۶۰/۵ سانتی‌متر) در این تیمار مشاهده شد. سایر تیمارهای اصلاحی تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۴).

مقایسه میانگین تأثیر اصلاح‌کننده‌ها بر طول ریشه نشان داد که کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار و همچنین ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل توانست این شاخص را نسبت به شاهد به ترتیب ۳۰/۸، ۲۲/۷ و ۲۹ درصد افزایش دهد. با این وجود کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل نتوانست افزایش معنی‌داری در طول ریشه نسبت به شاهد ایجاد کند (جدول ۴). استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی می‌تواند با بهبود شرایط محیط رشد گیاه باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه و همچنین افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط کمبود شود. در تحقیقی گزارش شد که استفاده از بیوچار به میزان ۳

Table 4. Variance analysis of RWC, ion leakage, total phenolic content and DPPH scavenging activity of *Salvia officinalis* L. under the influence of amendments and drought

Source of variation	df	Mean Square			
		RWC	Ion leakage	Total phenolic content	DPPH scavenging activity
Block	2	2.44 ^{ns}	23.76 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2.5 ^{ns}
Drought	2	602.8 ^{**}	1652.9 ^{**}	10.11 ^{**}	195.94 ^{**}
Amendments	4	48.02 ^{**}	108.3 ^{**}	1.35 ^{**}	35.35 ^{**}
Drought × Amendments	8	15.46 ^{**}	29.98 [*]	0.31 ^{**}	16.37 ^{**}
Error	28	3.65	9.66	0.02	1.27
CV (%)		2.56	9.03	3.47	4.12

ns, *, **: not significant, significant at at 1 and 5% probability levels, respectively.

Table 5. Interaction effect of drought (D1, D2, D3: 80, 60 and 40% FC) and amendments (Control, H1, H2: 0, 100, 200 kg Hydrogel.ha⁻¹; B1, B2: 10, 20 ton biochar.ha⁻¹) on evaluated traits of *Salvia officinalis* L.

D	A	Stem diameter (mm)	Chlorophyll index (Spad Value)	Root dry weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root/Shoot	RWC (%)	Ion leakage (%)	Total phenolic content (mg GAE.g ⁻¹)	Antioxidant activity (%)
D1	Control	8.67bcd	40.20bcd	4.4bcd	31.20c	0.15de	74.90c	34.73d	4.22g	24.45gh
	H1	7.63bcd	36.93c-f	5.53bc	33.84c	0.17de	79.51b	22.58g	4.47fg	25.85fg
	H2	14.93a	40.87abc	6.37bc	45.27b	0.14de	86.82a	21.58g	3.82h	25.54fg
	B1	10.00b	41.23ab	5.53bc	28.30cd	0.22de	81.65b	25.8efg	3.74h	22.93hi
	B2	15.20a	44.93a	3.83cd	67.57a	0.06e	85.71a	23.57fg	3.63h	21.21i
D2	Control	6.43ef	34.97f	12.50a	15.8efg	0.81a	70.8def	35.02d	4.92d	28.42cde
	H1	7.00def	35.50f	7.23b	13.50gh	0.55b	72.97cd	34.57d	4.64ef	26.65ef
	H2	9.30bc	38.47b-f	6.27bc	19.3efg	0.32cd	73.26cd	28.37ef	4.48fg	25.89fg
	B1	5.80efg	38.27b-f	5.63bc	18.7efg	0.30cd	71.1def	30.9de	4.84de	27.02ef
	B2	9.73bc	38.97b-f	4.9bcd	22.53de	0.22de	72.4cde	28.76ef	3.81h	25.9fg
D3	Control	2.50i	26.96g	1.93d	2.25i	0.87a	67.83f	46.9ab	6.04b	38.19a
	H1	3.22hi	35.95ef	6.43bc	7.17hi	0.89a	69.63ef	49.46a	5.52c	29.57c
	H2	4.00ghi	39.90b-e	11.53a	14.1fgh	0.82a	71.04de	41.23c	5.11d	28.96cd
	B1	4.10ghi	36.40def	6.25bc	13.8fgh	0.44bc	69.36ef	50.52a	6.32a	31.74b
	B2	4.80fgh	40.07b-e	11.97a	21.2def	0.57b	70.9def	42bc	4.97d	27.36def

Values with different letters are significantly different at P < 0.05 according to LSD tests.

وزن خشک ریشه

نتایج مقایسات میانگین نشان داد که کاربرد اصلاح‌کننده‌ها در شرایط عدم تنش تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت اما در شرایط تنش متوسط تمام تیمارها منجر به کاهش معنی‌دار این شاخص نسبت به شاهد مربوطه شدند. این در حالی است که در شرایط تنش شدید خشکی، تمام تیمارهای اصلاحی اعمال شده توانستند وزن خشک ریشه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دهند و تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار

هیدروژل و ۲۰ تن در هکتار بیوجار بیشترین وزن خشک ریشه را در این سطح تنش دارا بودند (به‌ترتیب ۱۱/۵۳ و ۱۱/۹۶ گرم) (جدول ۵).

وزن خشک اندام هوایی

مقایسه میانگین داده‌ها در ارتباط با برهمکنش اصلاح‌کننده‌ها و خشکی نشان داد که در شرایط عدم تنش تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل و ۲۰ تن در هکتار بیوجار منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد این سطح شدند و تیمار ۲۰

منجر به بهبود تغذیه گیاه در شرایط تنش و در نتیجه بهبود شاخص‌های کلروفیل، رشدی و عملکردی گیاه شود (de Melo Carvalho et al., 2013). کاربرد بیوچار با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک منجر به رشد بهتر ریشه و در نتیجه جذب بهتر آب و عناصر غذایی توسط ریشه شده و شاخص‌های رشدی گیاه نیز افزایش می‌یابد (Paetsch et al., 2018). کاربرد هیدروژل در خاک نیز ضمن بهبود وضعیت نگهداری آب و عناصر غذایی، باعث بهبود تهویه و ساختمان خاک شده و در نتیجه بهبود عملکرد ریشه و متعاقباً رشد گیاه را در پی دارد (suresh et al., 2018).

محتوای نسبی آب برگ (RWC)، نشت یونی و صفات بیوشیمیایی

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر خشکی، اصلاح‌کننده و اثر متقابل این دو فاکتور بر شاخص‌های RWC، نشت یونی، محتوای فنل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳).

محتوای نسبی آب

مقایسه میانگین داده‌ها در ارتباط با محتوای نسبی آب نشان داد که بیشترین مقدار در شرایط عدم تنش و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل و ۲۰ تن در هکتار بیوچار مشاهده شد. با افزایش شدت تنش محتوای نسبی آب کاهش یافته است. در شرایط عدم تنش تمام تیمارها این شاخص را نسبت به شاهد افزایش دادند. در شرایط تنش متوسط، تیمارهای اصلاحی اثر معنی‌داری نشان ندادند. با این وجود در شرایط تنش شدید خشکی، کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل توانست این شاخص را نسبت به شاهد به میزان ۵/۲ درصد افزایش دهد (جدول ۵). کاربرد بیوچار می‌تواند با افزایش محتوای کربن خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت را افزایش داده و منجر به بهبود روابط آبی گیاه در شرایط تنش خشکی شود (Paetsch et al., 2018). (M'barki et al., 2019). گزارش کردند که کاربرد هیدروژل در شرایط تنش می‌تواند باعث افزایش محتوای نسبی آب در گیاه شود و این امر را به توان بالای هیدروژل در جذب آب و افزایش آب قابل استفاده برای گیاه ارتباط دادند.

نشت یونی

نتایج حاکی از آن بود که با افزایش شدت تنش

تن در هکتار بیوچار دارای بیشترین مقدار (۶۷/۵۷ گرم) بود. در شرایط اعمال تنش متوسط، کاربرد اصلاح‌کننده‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نشان ندادند. با این وجود در شرایط تنش شدید خشکی، تمام تیمارها به استثنای ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل این شاخص را نسبت به شاهد این سطح به‌طور معنی‌دار افزایش دادند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش شدت تنش وزن خشک اندام هوایی کاهش داشته است (جدول ۵).

نسبت ریشه به اندام هوایی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط تنش متوسط، تمام تیمارهای اصلاحی کاربردی توانستند شاخص نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد اما در شرایط عدم تنش تیمارها اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشتند. در تنش شدید خشکی کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار توانست نسبت ریشه به اندام هوایی را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۴۹/۴ و ۳۴/۳ درصد کاهش دهد (جدول ۵). کاهش بیومس گیاهی در شرایط تنش می‌تواند به دلیل جلوگیری از تقسیم سلولی و کاهش فاکتورهای موثر در حفظ فعالیت سلولی از قبیل جذب آب و تولید متابولیت‌ها باشد (Gao et al., 2020; Mousavi rahimi et al., 2014). در تحقیقی گزارش شده است که تنش خشکی منجر به افزایش طول و وزن ریشه گیاه گلرنگ شد (Chavoushi et al., 2020). کمبود آب می‌تواند ریشه را تحریک به توسعه بیشتر می‌کند تا بتواند رطوبت بیشتری از خاک جذب کند (Akinci and Losel, 2009). کاهش کلروفیل برگ در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل افزایش فعالیت کلروفیل‌از و تغییر در ساختار مولکولی کلروفیل و کمپلکس لپید و پروتئین در غشا سلولی باشد. به‌علاوه کاهش رنگدانه‌های موثر در فتوسنتز II و غیر فعال شدن آنزیم‌های مهم در چرخه کلون می‌تواند با بروز تنش خشکی رخ دهد (Ahmadizadeh, 2013). کاهش بازده فتوسنتز در شرایط تنش خشکی توسط محققین مختلف گزارش شده است (Ben Ahmed et al., 2009; Habibi, 2012). بیوچار حاوی عناصری از قبیل نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم بوده و می‌تواند

این شاخص در تیمار عدم کاربرد اصلاح کننده و اعمال تنش شدید خشکی مشاهده شد. در تنش متوسط کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل و ۲۰ تن در هکتار بیوجار به ترتیب باعث کاهش ۸/۹ و ۸/۸ درصدی نسبت به شاهد مربوطه شدند. در شرایط عدم تنش نیز تنها تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوجار توانست منجر به کاهش ۲۸/۴ درصدی نسبت به شاهد شد و سایر تیمارها تفاوت معنی داری نشان ندادند (جدول ۵). افزایش در محتوای ترکیبات فنلی و آنتی اکسیدانی با افزایش تنش خشکی گزارش شده است (Sharifi and Mohammadkhani, 2018). وجود مقدار زیاد فنل در گیاه می تواند مقاومت گیاهان را به تنش خشکی را دهد و این واکنش های بیوشیمیایی برای افزایش سازگاری و زنده ماندن گیاه می باشد (Okunlola et al., 2017). وجود غلظت بالای ترکیبات فنلی منجر به افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی شده و رادیکال های آزاد را کاهش می دهد (Lahbib et al., 2017). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد هیدروژل در خاک به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و فراهمی بیشتر آب برای گیاه، منجر به کاهش محتوای فنل کل در گیاه شد (M'barki et al., 2019) که مطابق با یافته های این تحقیق است. کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه با کاربرد هیدروژل در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Nikoleta et al., 2020).

نتیجه گیری

تنش خشکی منجر به کاهش شاخص های رشدی مریم گلی و همچنین محتوای نسبی آب برگ شد. به علاوه تنش یونی، محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی با افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت. کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل و ۲۰ تن در هکتار بیوجار توانست باعث بهبود شاخص های رشدی، محتوای نسبی آب برگ و کاهش غلظت فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی در گیاه در شرایط تنش شود. یافته های این تحقیق بیانگر آن است که این تیمارها اثر مخرب تنش خشکی را بر گیاه کاهش می دهند که به نظر می رسد افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و بهبود ساختمان را از مهم ترین دلایل این امر می توان برشمرد. به نظر اضافه شدن مقداری عناصر

خشکی نشی یونی افزایش یافته است. در شرایط عدم تنش تمام تیمارها منجر به کاهش معنی دار این شاخص شدند. در شرایط تنش متوسط نیز تمام تیمارها به استثنای تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل توانستند تنش یونی را نسبت به شاهد مربوطه به طور معنی دار کاهش دهند. در شرایط تنش شدید، کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل و ۲۰ تن در هکتار بیوجار به ترتیب منجر به کاهش ۱۲/۲ و ۱۰/۶ درصدی تنش یونی نسبت به شاهد این سطح شدند (جدول ۵). تنش یونی بیانگر پایداری غشای سیتوپلاسمی می باشد. زمانی که سلول ها در شرایط تنش خشکی، آب خود را از دست می دهند پروتوپلاست چروکیده شده و فسفولیپیدهای غشا کروی شکل شده و غشا منفردار می شود و نشی مواد رخ می دهد. کاربرد هیدروژل و همچنین اصلاح کننده های آلی مانند بیوجار، با تأثیرات مثبتی که بر نگهداری آب خاک و آب قابل استفاده برای گیاه دارند می توانند منجر به کاهش تنش یونی در گیاه شوند (Hernández et al., 2016).

محتوای فنل کل

مقایسه میانگین داده ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی محتوای فنل در گیاه افزایش یافته است. در شرایط عدم تنش تمام تیمارها به استثنای تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل منجر به کاهش معنی دار این شاخص نسبت به شاهد شدند. در شرایط تنش متوسط نیز تمام تیمارها محتوای فنل کل را نسبت به شاهد به طور معنی داری کاهش دادند اما تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوجار نتوانست کاهش معنی داری نسبت به شاهد این سطح از خشکی منجر شود. تیمارهای کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل و همچنین ۲۰ تن در هکتار بیوجار کاهش معنی داری در محتوای فنل نسبت به شاهد ایجاد کردند و تنها تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوجار باعث افزایش معنی دار این شاخص نسبت به شاهد شد (جدول ۵).

فعالیت آنتی اکسیدانی

نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی فعالین آنتی اکسیدانی افزایش یافته است. در شرایط تنش شدید خشکی تمام تیمارها منجر به کاهش معنی دار این شاخص نسبت به شاهد مربوطه شدند و بیشترین مقدار

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه اردکان، پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه اردکان و مدیر عامل شهرک صنعتی میبد، به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی، کمال سپاس‌گزاری به عمل می‌آید.

تغذیه‌ای توسط بیوچار به خاک احتمالاً شرایط تغذیه‌ای گیاه را بهبود داده باشد. موضوعی که از داده‌های این تحقیق می‌توان مورد توجه قرار داد آن است که مقدار کاربردی این اصلاح‌کننده‌ها در اثربخشی آن‌ها تأثیر انکارناپذیری دارد.

References

- Ahmadizadeh, M. (2013). Physiological and agro-morphological response to drought stress. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 13(8), 998-1009.
- Akinci, S., & Losel, D. M. (2009). The soluble sugars determination in cucurbitaceae species under water stress and recovery periods. *Advances in Environmental Biology*, 3(2), 175-183.
- Arndt, S. K., Clifford, K. S. C., Wanek, W., Jones, H. G., & Popp, M. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiology*, 21(11), 705-715.
- Ashkiani, A., Ghooshchii, F., & Tohidi-Moghadam, H. R. (2013). Effect of super absorbent polymer on growth, yield components and seed yield of wheat grown under irrigation withholding at different growth stages. *Research on Crops*, 14(1), 48-53.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouinab, B., Sensoyc, S., Boukhrisa, M., & Ben Abdallah, F. (2009). Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 67(2), 345-352.
- Bhatt, R. M., & Srinivasa-Rao, N. K. (2005). Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal Plant Physiology*, 10(1), 54-59.
- Burits M., & Bucar F. (2000). Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*, 14(5), 323-328.
- De Melo Carvalho, M. T., Madari, B. E., Bastiaans, L., Van Oort, P. A. J., Heinemann, A. B., Dasilva, M. A. S., & Meinke, H. (2013). Biochar improves fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: short term effects and impact on rice yield. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 114(2), 101-107.
- Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji. S. A. (2020). Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 259, 108823.
- Galeş, D. C., Trincă, L. C., Cazacu, A., Peptu, C. A., & Jităreanu, G. (2016). Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. *Geoderma*, 267(1), 102-111.
- Gao, S., Wang, Y., Yu., S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W., & He, X. (2020). Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of two *Adonis* species in Northeast China. *Scientia Horticulturae*, 259, 108795.
- Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A. M., Alqarawi, A. A., Al-Arjani, A. B. F., Singh, G., & Abd_Allah, E. F. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(3), 614-624.

- Habibi, G. (2012). Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. *Acta Biologica Szegediensis*, 56(1), 57-63.
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. L., & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops defects on soil and plant. *Soil & Tillage Research*, 160(3), 14-22.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(1), 100-105.
- Koupai, J. A., Eslamian, S. S., & Kazemi, J. A. (2008). Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 8(1), 67-75.
- Lahbib, K., Dabbou, S., EL Bok, S., Pandino, G., Lombardo, S., & EL Gazzah, M. (2017). Variation of biochemical and antioxidant activity with respect to the part of *Capsicum annuum* fruit from Tunisian autochthonous cultivars. *Industrial Crops and Products*, 104(1), 164-170.
- Leciejewski, P. (2009). The effect of hydrogel additives on the water retention curve of sandy soil from forest nursery in Julinek. *Journal of Water and Land Development*, 13(1), 239-247.
- Lopez-Marin, J., Galvez, A., Del Amor, F. M., Albacete, A., Fernandez, J. A., EgeaGilabert, C., & Pérez-Alfocea, F. (2017). Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet peppers. *Scientia Horticulturae*, 214(1), 9-17.
- Lutts, S. J., Kinet, M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice varieties differing in salinity resistance. *Experimental Botany*, 46(12), 1843-1852.
- M'barki, N., Aissaoui, F., Chehab, H., Dabbaghi, O., Del Giudice, T., Boujnah, D., & Mechri, B. (2019). Cultivar dependent impact of soil amendment with water retaining polymer on olive (*Olea europaea* L.) under two water regimes. *Agricultural Water Management*, 216(1), 70-75.
- Minasny, B., & Mcbratney, A. B. (2017). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 39-47.
- Mousavi rahimi, M., Delshad, M., & Liaghat, A. (2014). Evaluation of yield and fruit quality of hydroponically cultured greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L., Cv. Synda) under partial root zone drying (PRD) conditions. *Plant Productions*, 37(3), 23-36. [In Farsi]
- Nikoleta-Kleio, D., Theodoros, D., & Roussos, P. A. (2020). Antioxidant defense system in young olive plants against drought stress and mitigation of adverse effects through external application of alleviating products. *Scientia Horticulturae*, 259, 108812.
- Okunlola, G. O., Olatunji, O. A., Akinwale, R. O., Tariq, A., & Adelusi, A. A. (2017). Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Scientia Horticulturae*, 224, 198-205.
- Paetsch, L., Mueller, C. W., Kögel-Knabner, I., Von Lützow, M., Girardin, C., & Rumpel, C. (2018). Effect of in-situ aged and fresh biochar on soil hydraulic conditions and microbial C use under drought conditions. *Scientific Reports*, 8(1), 1-11.
- Panayiotis, A., Nektarios, K., Nikolopoulou, A. E., & Chronopulos, I. (2004). Sod establishment and turf grass growth as affected by urea-formaldehyde resin foam soil amendment. *Scientia Horticulturae*, 100(1-4), 203-213.

- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30(1), 105-111.
- Safaei Chaeikar, S., Marzvan, S., Jahangirzadeh Khiavi, S., & Rahimi, M. (2020). Changes in growth, biochemical, and chemical characteristics and alteration of the antioxidant defense system in the leaves of tea clones (*Camellia sinensis* L.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 265, 109257.
- Sharifi, P., & Mohammadkhani, N. (2018). Effects of drought stress on enzymatic and non- enzymatic antioxidants in flag leaf and spikes of tolerant and sensitive wheat genotypes. *Plant Productions*, 41(3), 37-50. [In Farsi]
- Sharma, P., & Dubey, R. S. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 46(3), 209-221.
- Song W., & Guo, M. (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of nalytical and Applied Pyrolysis*, 94(1), 138-145.
- Suresh, R., Prasher, S. O., Patel, R. M., Qi, Z., Elsayed, E., Schwinghamer, T., & Ehsan, A. M. (2018). Super absorbent polymer and irrigation regime effects on growth and water use efficiency of container-grown cherry tomatoes. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 61(2), 523-531.
- Tisserand, R., & Balacs, T. (1995). *Essential oil safety*. New York: Churchill Livingstone.
- Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chan K. Y., Downie A., Rust J., Joseph S., & Cowie A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of paper mill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 327(1-2), 235-246.
- Wojdylo, A., Oszmianski, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compound in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 1005(3), 940-949.
- Yordanov, V., & Tsoev, T. (2000). Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance. *Photosynthica*, 38(2), 171-186.
- Zahedifar, M., & Najafian, S. (2017). *Ocimum basilicum* L. growth and nutrient status as influenced by biochar and potassium-nano chelate fertilizers. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(5), 638-650.
- Zhang, L., Sun, X. Y., Tian, Y., & Gong, X. Q. (2013). Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste. *Bioresource Technology*, 131(3), 68-75.