

Evaluation of Biochar and Vermicompost Application on some Morphophysiological Characteristics of *Oenothera biennis* under Drought Stress

Abbas Mohadesi¹, Mostafa Shirmardi^{2*}, Heidar Meftahizadeh², Jalal Gholamnezhad²

Received: 23 January 2022 Accepted: 04 June 2022

1-MSc. Graduate, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

2-Assoc. Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

*Corresponding Author Email: shirmardi@ardakan.ac.ir

Abstract

Background & Objective: The aim of this study was to investigate the effect of biochar obtained from pruning wastes of pomegranate trees comparing with vermicompost *Oenothera biennis* under drought stress.

Materials & Methods: Treatments were different levels of organic modifier application (seven levels including no modifier application, application of 10, 20, and 30 ton.ha⁻¹ vermicompost and application of 10, 20 and 30 ton.ha⁻¹ biochar) and three levels of drought stress (irrigation in 80, 60 and 40% of field capacity (FC)).

Results: The results showed that the drought stress significantly decreased leaf length, leaf area, stem diameter, plant height, chlorophyll index, and relative water content (RWC) while increased the ratio of root dry weight to shoot and ion leakage. In severe drought stress, application of 30 ton.ha⁻¹ biochar and vermicompost significantly increased leaf area and shoot dry weight. Application of 30 ton.ha⁻¹ biochar could increase significantly plants root dry weight under severe stress. Application of 30 ton.ha⁻¹ biochar and all application levels of vermicompost decreased root /shoot dry weight ratio under severe drought stress. All application levels of vermicompost were increased the chlorophyll index under severe stress while different levels of biochar had not significant effect. All amendments significantly increased RWC comparing control under moderate and severe stress conditions. Application of 30 ton ha⁻¹ biochar and vermicompost decreased ion leakage compared to the control.

Conclusion: It seems that organic amendments can help the plant in stressful conditions by affecting the availability of nutrients and increasing the soil moisture holding capacity. In this study the effectiveness of vermicompost was better compared to biochar, which can be attributed to the higher content of nutrients in vermicompost.

Keywords: Agricultural Waste, Drought Stress, Ion Leakage, Organic Amendment, Relative Water Content

مقایسه تأثیر بیوچار و ورمی کمپوست بر برخی خصوصیات مورفولوژیک گل مغربی (*Oenothera biennis*) تحت تنش خشکی

عباس محدثی^۱، مصطفی شیرمردی^{۲*}، حیدر مفتاحی زاده^۲، جلال غلام‌نژاد^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: shirmardi@ardakan.ac.ir

چکیده

اهداف: این مطالعه، با هدف بررسی تأثیر بیوچار تولید شده از ضایعات حاصل از هرس درختان انار و مقایسه آن با ورمی‌کمپوست بر گل مغربی، تحت تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها: تیمارها شامل سطوح مختلف کاربرد اصلاح‌کننده آلی (هفت سطح شامل عدم کاربرد اصلاح‌کننده، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار بیوچار)، در سه سطح تنش خشکی (آبیاری در ۸۰، ۶۰ و ۴۰٪ ظرفیت مزرعه (FC)) بود.

یافته‌ها: در تنش شدید خشکی، تنها کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار و ورمی‌کمپوست توانست منجر به افزایش معنی‌دار سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی شود. کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار، منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه در تنش شدید شد. کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار و تمام سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست، منجر به کاهش معنی‌دار نسبت ریشه به اندام هوایی، در شرایط تنش خشکی شدید، گردید. تمام سطوح ورمی‌کمپوست مورد استفاده، توانستند شاخص سبزی‌نگی را در شرایط اعمال تنش شدید خشکی افزایش دهند، در حالی‌که سطوح مختلف بیوچار، تأثیر معنی‌داری نشان ندادند. تمام تیمارهای اصلاح‌کننده، منجر به افزایش معنی‌دار RWC نسبت به شاهد در شرایط تنش متوسط و شدید شدند. کاربرد مقادیر ۳۰ تن در هکتار بیوچار و ورمی‌کمپوست، منجر به کاهش معنی‌دار نشت یونی نسبت به تیمار شاهد شد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد اصلاح‌کننده‌های آلی، با تأثیر بر فراهمی عناصر غذایی و همچنین افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک، به گیاه تحت تنش کمک کردند. اثربخشی ورمی‌کمپوست در این مطالعه در مقایسه با بیوچار بهتر بود، که می‌توان این موضوع را به محتوای بالاتر عناصر تغذیه‌ای در ورمی‌کمپوست نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده آلی، ضایعات کشاورزی، تنش خشکی، نشت یونی، محتوای نسبی آب

مقدمه

مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود (سیهم و همکاران ۲۰۲۰). در شرایط تنش خشکی، تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن مانند سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل افزایش می‌یابد، که تجمع این

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که به دلیل اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاهان، به ویژه در

فیزیک خاک (جوزف و همکاران ۲۰۱۰) و همچنین افزایش عناصر غذایی در خاک (کارهو و همکاران ۲۰۱۱) دارد. در تحقیقات مختلف تاثیر مثبت (اوزوما و همکاران ۲۰۱۱)، منفی (راجکوویچ و همکاران ۲۰۱۲) و همچنین عدم تاثیر این اصلاح کننده (بلکول و همکاران ۲۰۰۷) بر عملکرد گیاهان گزارش شده است.

گل مغربی (*Oenothera biennis* L.) گیاهی دو ساله، که عمدتاً به صورت یک ساله کشت می شود. این گیاه هم جنبه دارویی داشته و هم به عنوان یک گیاه زینتی مورد کشت قرار می گیرد. گل های آن هنگام غروب باز می شود، به همین دلیل آن را گل مغربی می نامند (دنگ و همکاران ۲۰۰۱). با توجه به اینکه گل مغربی گیاهی مناسب برای کشت در مناطق خشک و نیمه خشک بوده و در فضای سبز شهری به عنوان گل فصلی یا گیاه چند ساله مورد استفاده قرار می گیرد، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

سالانه مقادیر زیادی ضایعات حاصل از هرس درختان انار، در کشور تولید می شود، که آمار دقیقی در مورد میزان این ضایعات وجود ندارد ولی نکته مهم آن است که تقریباً تمام این ضایعات به علت آلودگی های مرتبط با آفات و بیماری های گیاهی، توسط کشاورزان آتش زده می شود. با وجود اینکه تحقیقات زیادی روی بیوچار انجام شده (اوزوما و همکاران ۲۰۱۱ و کریمی و همکاران ۲۰۲۰)، اما تا کنون به تاثیر بیوچار ضایعات حاصل اثر هرس درختان انار بر رشد و عملکرد گیاهان خیلی کمتر پرداخته شده است. بنابراین هدف این مطالعه بررسی تاثیر بیوچار تولید شده از ضایعات حاصل از هرس درختان انار و مقایسه آن با ورمی کمپوست بر گیاه مغربی تحت تنش خشکی بود.

مواد و روش ها

محل انجام تحقیق و تیمارها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸، به صورت مزرعه ای، در مزرعه تحقیقاتی شهرک صنعتی میبد واقع در استان یزد، با هدف بررسی تاثیر کاربرد مقادیر مختلف ورمی کمپوست و بیوچار بر پارامترهای مختلف مورفوفیزیولوژیک گل مغربی، در شرایط تنش خشکی،

مواد در سلول های گیاهی می تواند نقش اساسی در تخریب سیستم فتوسنتزی، غشای کلروپلاست و متعاقباً کاهش توانایی فتوسنتز گیاه داشته باشد (سیهم و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین اعمال مدیریت هایی که منجر به کاهش اثرات سوء تنش خشکی بر گیاهان شود، ضروری می باشد. یکی از مشکلات خاک های مناطق خشک و نیمه خشک، پائین بودن محتوای ماده آلی خاکها می باشد. کاربرد اصلاح کننده های آلی در خاک، می تواند ضمن تقویت حاصلخیزی خاک، باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک شده و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک شود (وو و همکاران ۲۰۰۵). ورمی کمپوست یک کود آلی می باشد، که کاربرد آن در خاک، ضمن افزایش محتوای کربن آلی خاک، اثرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد. ورمی کمپوست دارای آنزیم های مختلفی از جمله سلولاز، لیپاز، کیتیناز، پروتئاز و آمیلاز می باشد، که با تاثیر بر فرآیند تجزیه ترکیبات آلی، منجر به افزایش عناصر غذایی در دسترس گیاه می شود (سجادی نیک و یاداوی ۲۰۱۳). در تحقیقات مختلف، تاثیر مثبت ورمی کمپوست بر شاخص های رشدی، عملکردی، افزایش محتوای نسبی آب برگ و رنگدانه های فتوسنتزی و کاهش نشت یونی گزارش شده است (درزی و همکاران ۲۰۱۲ و گارسیا و همکاران ۲۰۱۴). یکی دیگر از اصلاح کننده های آلی که در دهه های اخیر مورد توجه و استفاده قرار گرفته است، بیوچار یا زغال زیستی می باشد. بیوچار که از سوزاندن مواد آلی در دمای ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد، در شرایط عدم حضور یا با حضور کم اکسیژن به دست می آید، دارای پایداری زیادی در خاک می باشد (اهمن و همکاران ۲۰۰۶). در کشور ایران، سالانه مقادیر زیادی از ضایعات بخش کشاورزی، به ویژه ضایعات حاصل از هرس درختان آتش زده شده که منجر به بروز مشکلات زیست محیطی می شود. با مدیریت صحیح این ضایعات، ضمن کاهش این مخاطرات زیست محیطی، می توان از اثرات مثبت این اصلاح کننده، به ویژه در شرایط تنش خشکی بهره برد. کاربرد بیوچار در خاک، تاثیر مثبتی بر افزایش تخلخل و ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک (یو و همکاران ۲۰۱۳ و موخرجی و لال ۲۰۱۳)، بهبود خصوصیات

اندازه‌گیری شد (یو و همکاران ۲۰۱۳). برای تعیین عملکرد بیوچار، از نسبت وزن بیوچار تولید شده در واحد وزن خشک ماده اولیه استفاده شد (سانگ و گو ۲۰۱۲). 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 انداز گرفته و محتوای خاکستر بر حسب درصد تعیین شد (سانگ و گو ۲۰۱۲). نتایج آنالیز بیوچار مورد استفاده در جدول (۱) گزارش شده است. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از قبیل بافت به روش هیدرومتری، pH، قابلیت هدایت الکتریکی (EC^۱) 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 (FC) با دستگاه صفحات فشاری و جرم مخصوص ظاهری خاک به روش استوانه فلزی اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ گزارش شده است.

انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با دو فاکتور کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده و تنش خشکی در سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارها شامل سطوح مختلف کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی (هفت سطح شامل عدم کاربرد اصلاح‌کننده، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار بیوچار)، در سه سطح تنش خشکی (آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت مزرعه (FC) به عنوان شرایط عدم تنش، آبیاری در ۶۰٪ FC به عنوان تنش متوسط و آبیاری در ۴۰٪ FC به عنوان تنش شدید) بود. بلوک‌ها با فاصله ۱/۵ متر از هم و کرت‌ها با ابعاد ۲×۲ و با فاصله ۱/۵ متر از هم، روی بلوک در نظر گرفته شدند. به طور کلی، آزمایش شامل ۲۱ تیمار و ۶۳ کرت، که در هر کرت، چهار ردیف کشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین و روی ردیف‌ها در نظر گرفته شد.

تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، ورمی کمپوست و بیوچار

بیوچار: جهت تعیین EC و pH بیوچار، ابتدا عصاره ۱:۵ تهیه شد و در عصاره تهیه شده، این پارامترها

جدول ۱- نتایج آنالیز خاک، ورمی‌کمپوست و بیوچار مورد استفاده در این تحقیق

ویژگی	واحد	خاک	ورمی‌کمپوست	بیوچار
رس	%	۱۶	-	-
سیلت	%	۲۵	-	-
شن	%	۵۹	-	-
کلاس بافت خاک		Sandy Loam		
pH		۷/۳	۸/۲	۸/۳
EC	dS.cm ⁻¹	۲/۶	۳/۵	۱/۹
کربن آلی	%	۰/۴۵	۳۵/۸	۵۱/۸
نیتروژن کل	%	۰/۰۳	۱/۸	۲/۶۵
فسفر قابل جذب	mg.kg ⁻¹	۱۴/۵	۱۲۰/۸	۵۹/۸
پتاسیم قابل جذب	mg.kg ⁻¹	۲۴۳	۸۲۵	۶۸۵
جرم مخصوص ظاهری	g.cm ⁻³	۱/۱۵	-	-
FC	%	۲۴/۸	-	-
عملکرد بیوچار	%	-	-	۳۲/۹
محتوای خاکستر	%	-	-	۴۸/۲

¹ Electrical Conductivity

تهیه ورمی کمپوست و بیوچار

ورمی کمپوست از بخش مدیریت پسماند شهرداری اردکان تهیه شد. برای تهیه بیوچار نمونه خشک شده بقایای حاصل از هرس درختان انار از باغی در شهرستان میبد استان یزد جمع آوری و در هوای آزاد و در معرض نور خورشید خشک شدند. در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه اردکان، ابتدا با استفاده از آسیاب، بقایا خرد شده و برای یکنواخت بودن از الک دو میلی متر عبور داده شد. بقایایی خرد و یکنواخت شده در استوانه فلزی درب دار ریخته و نمونه‌ها در شرایط عدم حضور اکسیژن درون کوره الکتریکی با دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. ابتدا با روشن کردن شمع در کوره سعی شد شرایط عدم حضور اکسیژن فراهم شد یا مقدار اکسیژن به حداقل رسیده و شرایط برای انجام فرآیند پیرولیز فراهم شود. به علاوه درب کوره برای جلوگیری از ورود اکسیژن با گریس نسوز درزگیری شد. پس از اینکه دمای کوره به دمای ذکر شده رسید، به مدت دو ساعت در این دما نگه‌داشته شدند.

بعد از تهیه اصلاح کننده‌ها، قبل از کشت بر اساس تیمارهای مورد نظر و مساحت کرت مقدار ورمی کمپوست و بیوچار مورد نیاز به خاک اضافه و تا عمق ۳۰ سانتی متری با خاک مخلوط شد.

بذرهای مغربی از پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه اردکان تهیه شدند. در اوایل فروردین سال ۱۳۹۸ بذرها به صورت دستی و در عمق ۳ سانتی متری کشت شدند. آبیاری ابتدا به صورت منظم انجام شد و بعد از جوانه زنی 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 ۱۱ ماه و مدت زمان اعمال تنش ۱۰ 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 ژاپن در اواخر گلدهی (پایان مهر ماه) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد. در اواخر دوره گلدهی (پایان مهر ماه)، سطح برگ اولین برگ‌های کاملاً توسعه یافته با استفاده از Leaf Area Meter (مدل WinArea_UT_11 ساخت ایران)، اندازه‌گیری شد. در انتهای دوره آزمایش، قطر ساقه، ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و نسبت ریشه به اندام هوایی اندازه‌گیری شد.

تعیین محتوای نسبی آب (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 (ریچی و همکاران ۱۹۹۰).

رابطه (۱)

$$RWC (\%) = ((FW - DW) / (TW - DW)) \times 100$$

تعیین نشت یونی

برای تعیین نشت یونی ابتدا قطعه‌ای از برگ با ابعاد نیم سانتی متر مربع را تهیه و در ظرفی حاوی ۲۵ میلی لیتر 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 (لاتس و همکاران ۱۹۹۵).

رابطه (۲) $(\%) = (EC1/EC2) \times 100$ نشت یونی

آنالیز داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.2 استفاده شد. مقایسات میانگین با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

تنش خشکی می‌تواند تاثیر منفی بر شاخص‌های رشدی گیاه مانند سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن اندام هوایی و ریشه، و همچنین نسبت وزن ریشه به اندام هوایی گیاه داشته باشد. از طرفی شاخص سبزیگی، RWC و نشت یونی تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی

(ورمی‌کمپوست و بیوپچار)، می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی بر گیاه را کاهش دهد، این شاخص‌ها در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت تا اثربخشی اصلاح‌کننده‌ها در شرایط تنش مشخص شود.

ویژگی‌های مورفولوژیک: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که برهمکنش خشکی و اصلاح‌کننده بر شاخص‌های عرض و سطح برگ، ارتفاع ساقه و قطر ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. تاثیر تنش خشکی و اصلاح‌کننده نیز بر شاخص‌های طول، عرض و سطح برگ، تعداد برگ و قطر ساقه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و تاثیر خشکی بر ارتفاع شاخه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی ارزیابی شده در گل مغربی تحت تاثیر تنش خشکی و اصلاح‌کننده

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
طول برگ	عرض برگ	سطح برگ	تعداد برگ	ارتفاع ساقه	قطر ساقه		
۲۹۱۷/۱۵**	۸۴۴/۹۹**	۲۳۳۵۱۹۶۴/۷۵**	۹۳۶/۹۸**	۵۱۰/۷۷**	۱۰۷۱/۹۹**	۲	خشکی
۲۵۹۹/۰۴**	۳۷۲/۵۸**	۱۰۱۷۴۴۰۵/۹۰**	۱۲۱/۵۵**	۶۷/۶۸ ^{ns}	۱۴۶/۳۶**	۶	اصلاح‌کننده
۴۳۳/۷۱ ^{ns}	۳۷۲/۵۸**	۱۷۳۶۳۳۳/۱۱**	۲۸/۷۳ ^{ns}	۱۴/۹۴ ^{ns}	۲۵/۱۹ ^{ns}	۱۲	خشکی × اصلاح‌کننده
۱۰۲/۵۰	۹/۹۶	۴۹۱۰۸۶/۶۴	۳/۹۵	۱۲/۵۵	۱/۰۸	۲	تکرار
۲۴۴/۱۰	۲۶/۶۲	۸۰۴۳۷۴/۷	۳۰/۱۸	۱۲۸۸/۸۶	۲۵/۶۵	۴۰	خطا
۹/۱۳	۹/۳۷	۱۵/۴۵	۱۴/۲۹	۲۰/۴۶	۱۵/۳۱	-	ضریب تغییرات (CV) (%)

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

طول، عرض و سطح برگ

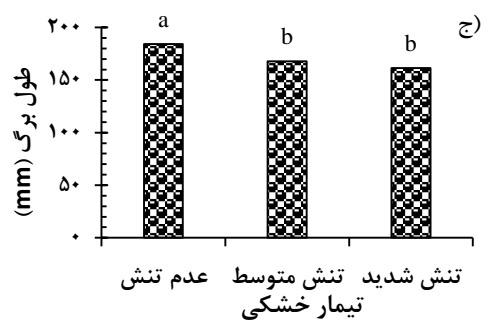
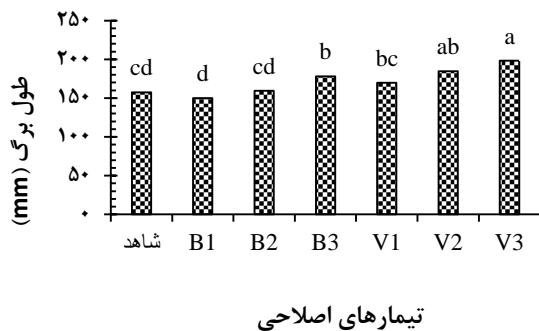
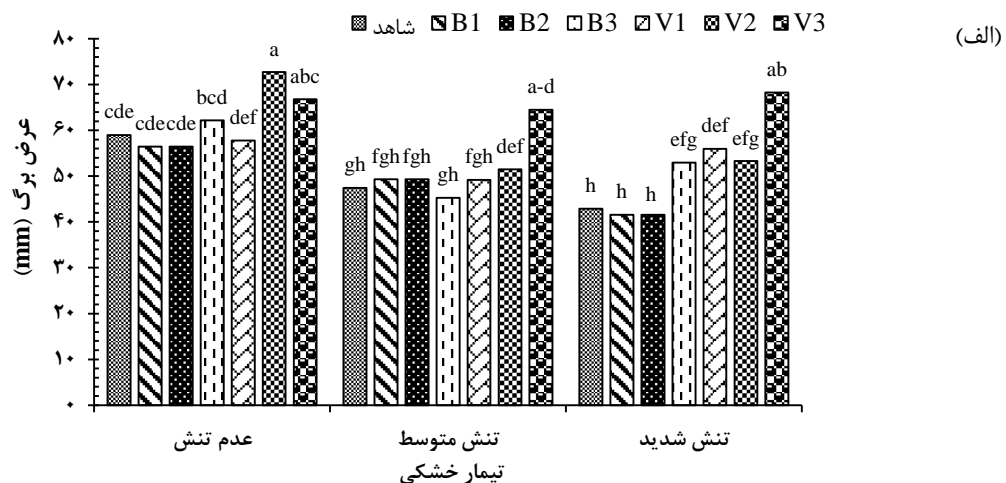
نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در شرایط عدم تنش، تنها تیمار کاربرد ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار عرض برگ نسبت به شاهد شد. در تنش متوسط خشکی تیمارهای کاربرد ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار عرض برگ نسبت به شاهد شدند این در حالی است که در تنش شدید کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوپچار و تمام سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار عرض برگ نسبت به شاهد شدند (شکل ۱-الف). نتایج حاکی از آن بود که کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوپچار و همچنین

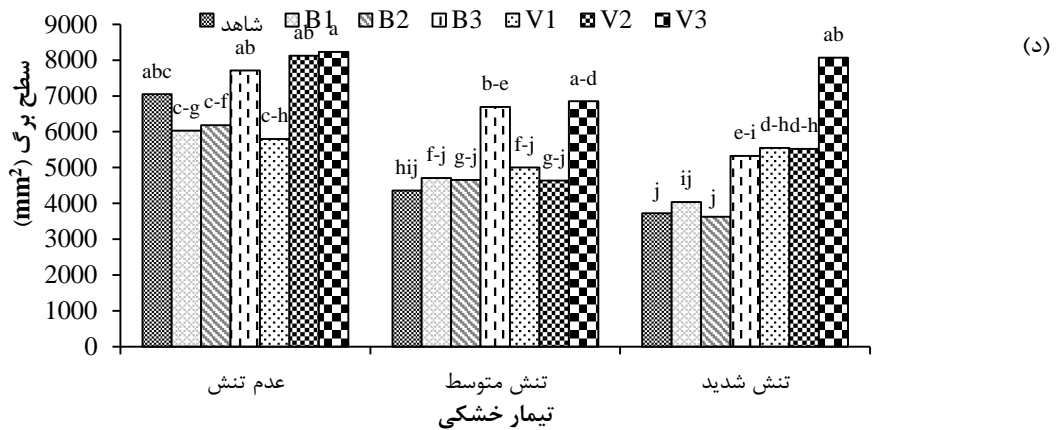
کاربرد ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار طول برگ نسبت به شاهد شدند (شکل ۱-ب). با افزایش شدت تنش خشکی طول برگ به طور معنی‌داری کاهش نشان می‌دهد ولی بین تنش متوسط و شدید اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱-ج). با افزایش شدت تنش خشکی شاخص سطح برگ نیز دچار کاهش معنی‌دار شد. در شرایط عدم تنش، هیچکدام از تیمارهای اصلاحی اثر معنی‌داری بر سطح برگ نداشتند. با این وجود در تنش متوسط و شدید خشکی، کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوپچار و ورمی‌کمپوست توانست منجر به

طول ریشه: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط عدم تنش کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار و همچنین تیمار ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست، طول ریشه را نسبت به تیمار عدم کاربرد اصلاح‌کننده به طور معنی‌داری افزایش داد. در تنش متوسط خشکی، تیمارهای کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار و کاربرد ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست توانست طول ریشه را نسبت به شاهد مربوطه به طور معنی‌داری افزایش دهد. در تنش شدید خشکی، کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار و کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار ورمی کمپوست توانست طول ریشه را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش دهد و سایر تیمارها اثر معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۳-الف).

افزایش معنی‌دار سطح برگ نسبت به شرایط عدم کاربرد اصلاح‌کننده شود (شکل ۱-د).

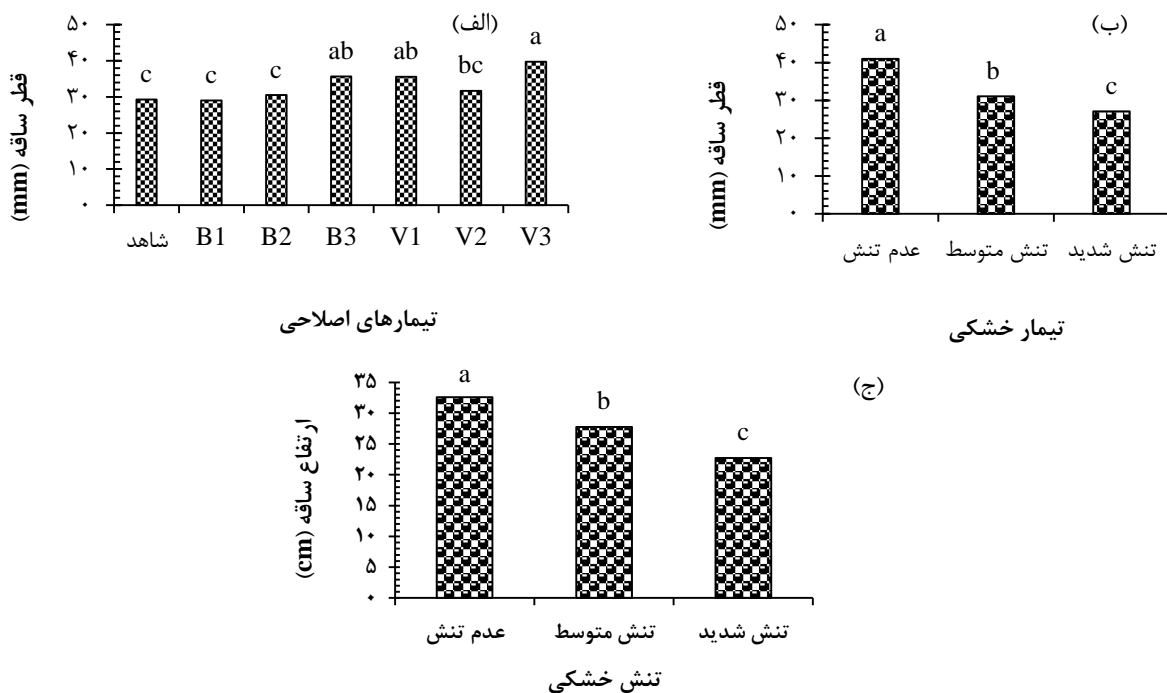
قطر ساقه و ارتفاع گیاه: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار و همچنین کاربرد مقادیر ۱۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد شد و بین این تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲-الف). با افزایش شدت تنش خشکی قطر ساقه و ارتفاع ساقه کاهش معنی‌دار نشان می‌دهد و کمترین مقدار در تنش شدید مشاهده شد (شکل ۲-ب و ج).





شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش خشکی و اصلاح کننده بر شاخص عرض برگ

(الف)، تاثیر اصلاح کننده بر شاخص طول برگ (ب)، تاثیر خشکی بر طول برگ (ج) و برهمکنش تیمارها بر سطح برگ (د) به روش LSD در سطح پنج درصد. شاهد: عدم کاربرد ورمی کمپوست و بیوجار، V1، V2 و V3: به ترتیب کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست؛ B1، B2 و B3: به ترتیب کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار بیوجار. وجود حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار بین تیمارها در سطح پنج درصد می باشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین تاثیر اصلاح کننده بر شاخص قطر ساقه

(الف)، تاثیر خشکی بر قطر ساقه (ب) و تاثیر خشکی بر ارتفاع گیاه (ج) به روش LSD در سطح پنج درصد. شاهد: عدم کاربرد ورمی کمپوست و بیوجار، V1، V2 و V3: به ترتیب کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست؛ B1، B2 و B3: به ترتیب کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار بیوجار. وجود حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار بین تیمارها در سطح پنج درصد می باشد.

اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در سطح یک درصد معنی دار بود و تنها اثر خشکی بر طول ریشه در سطح پنج درصد معنی دار نبود (جدول ۳).

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر خشکی، اصلاح کننده و برهمکنش خشکی و اصلاح کننده بر شاخص‌های طول ریشه و، وزن خشک و تر ریشه و

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی ارزیابی شده در گل مغربی تحت تاثیر تنش خشکی و اصلاح کننده

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
طول ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه به اندام هوایی		
۶۲/۱۹ ^{ns}	۷۲۴/۳۸ ^{**}	۵۵۶۶/۵۷ ^{**}	۰/۲۱ ^{**}	۲	خشکی
۸۰/۵۰ ^{**}	۲۵۳/۹۰ ^{**}	۲۴۰۰/۹۹ ^{**}	۰/۲۵ ^{**}	۶	اصلاح کننده
۷۵/۳۳ ^{**}	۲۶۱/۹۳ ^{**}	۵۸۴/۴۶ ^{**}	۰/۴۲ ^{**}	۱۲	خشکی × اصلاح کننده
۴/۸۷	۳۸/۶۳	۱۸۱/۵۰	۰/۰۲	۲	تکرار
۲۵/۵۹	۱۲/۸۹	۵۷/۲۷	۰/۰۲۲	۴۰	خطا
-	۲۰/۸۵	۲۲/۲۱	۲۴/۹۱		ضریب تغییرات (CV) (%)

^{**}، * و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم معنی داری می باشد.

و تیمار ۳۰ تن در هکتار بیوچار بالاترین مقدار را دارا بود (شکل ۳-ج).

نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی: تیمارهای کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار و ورمی کمپوست توانستند نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهند و سایر تیمارها اثر معنی داری نداشتند. در تنش متوسط خشکی، تیمارهای کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست منجر به افزایش این شاخص نسبت به شاهد شدند. در تنش شدید خشکی تیمار ۳۰ تن در هکتار بیوچار و تمام سطوح کاربرد ورمی کمپوست منجر به کاهش معنی دار این شاخص نسبت به شاهد مربوطه شدند (شکل ۳-د).

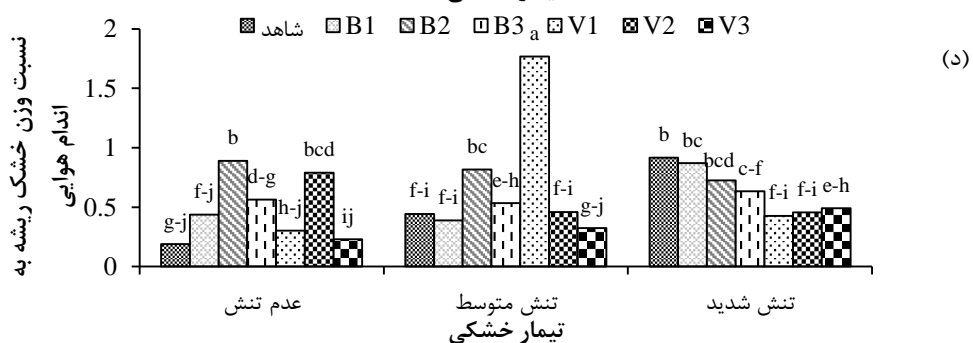
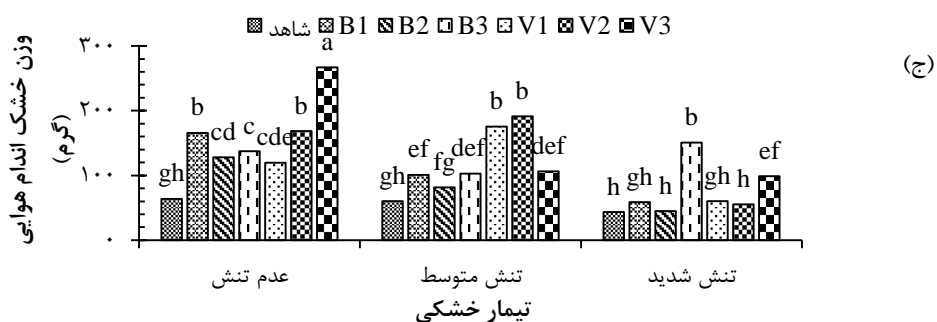
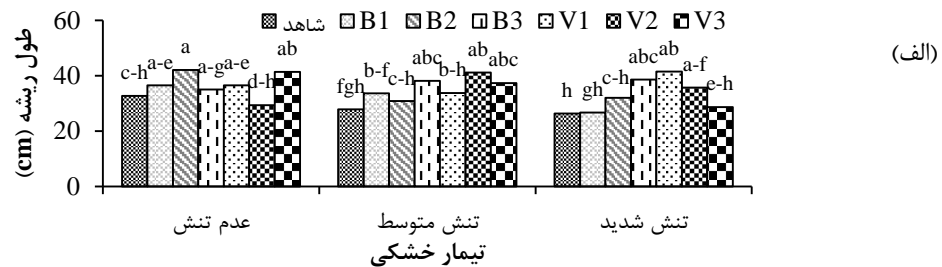
تنش‌های محیطی مانند خشکی منجر به تغییر تعادل آنتی اکسیدانی سلول‌های گیاهی می شود که این امر به دلیل افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می باشد و نهایتاً منجر به فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی گیاه می شود. گیاهان مکانیسم‌های مختلفی برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی به کار می برند. تنش خشکی منجر به تغییر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه می شود که در نهایت باعث آسیب به غشای سلولی و کاهش رشد گیاه می شود (بابایی و همکاران ۲۰۲۱). تاثیر خشکی بر

وزن خشک ریشه: تمام سطوح بیوچار مورد استفاده و کاربرد ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست، وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد در شرایط عدم تنش افزایش دادند. در تنش متوسط، تمام تیمارها به استثنای تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار شاخص وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش دادند. در تنش شدید فقط تیمار کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار منجر به افزایش معنی دار وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شد و سایر تیمارها نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نداشتند (شکل ۳-ب).

وزن خشک اندام هوایی: تمام تیمارها توانستند در شرایط عدم تنش منجر به افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شوند و تیمار کاربرد ۳۰ تن در هکتار ورمی کمپوست بالاترین مقدار را دارا بود. در تنش متوسط تمام تیمارها به استثنای تیمار کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار منجر به افزایش معنی دار شاخص وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار عدم کاربرد اصلاح کننده شدند. در تنش شدید خشکی تنها تیمارهای کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار و ورمی کمپوست وزن خشک اندام هوایی را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند

است (بابایی و همکاران ۲۰۲۱ و فتحی و تازی ۲۰۱۶). پاسخ گیاهی در شرایط تنش خشکی به صورت بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سرعت فتوسنتز، کاهش

ویژگی‌های مرفولوژیک یکی از اثرات قابل توجه تنش خشکی بر گیاه می‌باشد (چاپکار و همکاران ۲۰۲۰). کاهش ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن برگ و اندام هوایی در شرایط اعمال تنش توسط محققین مختلف گزارش شده



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش خشکی و اصلاح کننده بر شاخص طول ریشه

(الف)، وزن خشک ریشه (ب)، وزن خشک اندام هوایی (ج) و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (د) به روش LSD در سطح پنج درصد. شاهد: عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوجار، V1، V2 و V3: به ترتیب کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست؛ B1، B2 و B3: به ترتیب کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار بیوجار. وجود حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

ظرفیت نگهداری آب در خاک و افزایش جمعیت میکروبی خاک می‌شود که می‌تواند تاثیر مثبتی بر وزن اندام هوایی گیاه داشته باشد (بهنام و همکاران ۲۰۱۶). ساختار متخلخل بیوچار نقش موثری در جذب مواد آلی محلول و مواد معدنی داشته و باعث تحریک جمعیت میکروبی خاک می‌شود. بیوچار همچنین به دلیل داشتن کربن آلی زیاد و پایداری بالایی که دارد منجر به افزایش ماده آلی خاک شده که نقش مهمی در چرخه عناصر، بهبود ساختمان خاک، ظرفیت بافری و منابع آب قابل استفاده برای گیاه به ویژه در شرایط تنش دارد (استینیسی و همکاران ۲۰۰۹). تاثیر مثبت بیوچار بر وزن اندام هوایی و شاخص‌های رشدی در مطالعه نور و همکاران (۲۰۱۴) بر روی گیاه ذرت گزارش شده است. تاثیر مثبت بیوچار بر شاخص‌های رشدی گیاه می‌تواند به دلیل تاثیر بیوچار بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیک خاک باشد که باعث دسترسی بهتر گیاه به آب و عناصر غذایی می‌شود. در مطالعه‌ای تاثیر مثبت بیوچار بر بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک و فراهمی عناصر غذایی در خاک گزارش شده است (کاویتا و همکاران ۲۰۱۸). البته اثربخشی بیوچار به میزان کاربرد و همچنین نوع بیوچار بستگی دارد. پوراکیاستا و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که کاربرد بیوچار فراهمی عناصر ضروری برای گیاه را به طور مستقیم و غیر مستقیم افزایش می‌دهد. اضافه کردن عناصر غذایی به خاک، افزایش معدنی شدن عناصری مانند نیتروژن، فسفر، تغییر pH ریزوسفر به دلیل کاربرد بیوچار و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاکها از اثرات مثبت کاربرد این اصلاح‌کننده آلی در خاک است (کریمی و همکاران ۲۰۲۰).

ویژگی‌های فیزیولوژیک

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر خشکی، اصلاح‌کننده و برهمکنش آن‌ها بر شاخص‌های سبزیگی برگ و RWC معنی‌دار بود. خشکی و اصلاح‌کننده تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر شاخص نشت یونی داشتند (جدول ۴).

تورژسانس سلولی و رشد سلولی می‌باشد که منجر به اختلال در رشد گیاه می‌شود. این امر مربوط به انتقال سیگنال‌های شیمیایی به برگ از طریق آوندهای چوبی می‌باشد (فتحی و تازی ۲۰۱۶). این تغییرات منجر به کاهش رشد و همچنین زیست توده گیاهی می‌شود. با این وجود رادوان و همکاران (۲۰۱۷) عدم کاهش زیست توده گیاهی در مریم گلی در سطوح مختلف تنش خشکی را گزارش کردند. چاووشی و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی گزارش کردند که تنش خشکی منجر به افزایش طول و وزن ریشه گیاه گلرنگ شد. کمبود آب می‌تواند ریشه را تحریک به توسعه بیشتر کند تا با دسترسی به حجم بیشتری از خاک بتواند رطوبت بیشتری از خاک جذب کند (آکینسیو لوسل ۲۰۰۹). به نظر می‌رسد که تحت تنش خشکی محصولات فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها اختصاص داده شده و برخی از گیاهان در پاسخ به تنش خشکی، میزان جذب آب را از طریق حفظ نسبی رشد و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی افزایش داده و در نتیجه آب قابل دسترس خاک به مقدار بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (رشتبری و علیخانی ۲۰۱۲).

کاربرد ورمی کمپوست در خاک به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک و اضافه کردن عناصر غذایی ضروری پرمصرف و کم‌مصرف به خاک، بر فتوسنتز و متعاقب آن بر پارامترهای رشدی گیاه در شرایط تنش تاثیر مثبتی دارد (موسوی و همکاران ۲۰۱۸). پانت و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک با کاربرد ورمی کمپوست منجر به افزایش شاخص‌های رشدی گیاه می‌شود. به علاوه با کاربرد ورمی کمپوست، بهبود رشد ریشه و بهبود جذب عناصر ضروری در واحد ریشه رخ می‌دهد که منجر به بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود. مواد هیومیکی موجود در ورمی کمپوست می‌تواند با تحریک تقسیم سلولی رشد گیاه را بهبود داده و از گیاه در برابر تنش آبی محافظت کنند (اتیه و همکاران ۲۰۰۰).

بیوچار به عنوان یک اصلاح‌کننده آلی، به دلیل داشتن سطح ویژه زیاد باعث افزایش سطح ویژه خاک، افزایش

شاخص سبزی‌نگی برگ: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی شاخص سبزی‌نگی برگ کاهش یافت. در شرایط عدم تنش کاربرد ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار بیوچار و ورمی‌کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار این شاخص نسبت به شاهد شد. این در حالی است که در شرایط تنش متوسط تنها تیمار ۳۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست توانست شاخص سبزی‌نگی را

نسبت به شاهد افزایش دهد و سایر تیمارها اثر معنی‌داری نداشتند. تمام سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست توانستند شاخص سبزی‌نگی را نسبت به شاهد به در شرایط اعمال تنش شدید خشکی افزایش دهند و سطوح مختلف بیوچار تاثیر معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۴-الف).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی ارزیابی شده در گل مغربی تحت تاثیر تنش خشکی و اصلاح کننده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	محتوای نسبی آب برگ (RWC)	نشست یونی
خشکی	۲	۵۸/۹۶**	۵۲۴/۷۴**	۳۳۶/۷۲**
اصلاح کننده	۶	۵/۳۲**	۱۱۳/۳۳**	۴۴/۶۹**
خشکی × اصلاح کننده	۱۲	۱/۰۲**	۶۰/۸۴*	۱۶/۶۶ ^{ns}
تکرار	۲	۰/۰۵	۰/۴۴	۳۱/۹۸
خطا	۴۰	۰/۳۴	۲۹/۲۰	۱۲/۲۰
ضریب تغییرات (CV) (%)	-	۱/۱۹	۷/۴۳	۱۰/۵۵

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

رنگدانه‌های فتوسنتزی به دلیل جذب نور و تولید انرژی لازم جهت کاهندگی، نقش مهمی در گیاه ایفا می‌کنند. کاهش محتوای کلروفیل برگ با افزایش شدت تنش خشکی در گیاه همیشه بهار گزارش شده است (بابایی و همکاران ۲۰۲). کاهش کلروفیل برگ در شرایط تنش خشکی می‌تواند به بسته بودن روزنه‌ها، محدودیت آب در دسترس و در نتیجه آسیب دیدن کلروپلاست توسط گونه‌های فعال اکسیژن مرتبط باشد (کیسر و همکاران ۲۰۱۹). اشرف و هریس (۲۰۱۳) گزارش کردند که انتقال الکترون به O₂ به دلیل کاهش جذب CO₂ تحت تنش آبی، منجر به اکسیداسیون رنگدانه‌های نوری و تخریب کلروفیل می‌شود. با این حال با توجه به مدت و شدت تنش این روند متفاوت می‌باشد. در گزارشات مختلف نشان داده شده است که مواد هیومیکی موجود در ورمی‌کمپوست با تاثیر مثبتی که بر جذب آب و عناصر غذایی دارند باعث بهبود انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش محتوای کلروفیل شده‌اند (اوما و مالاتی

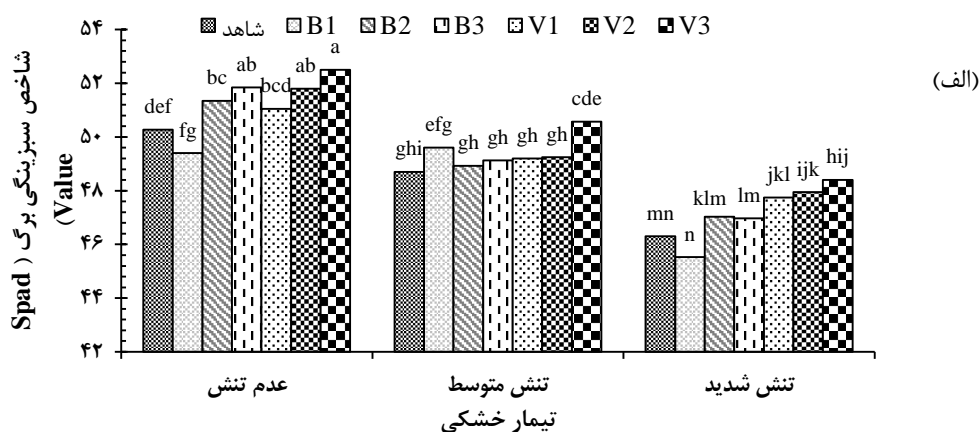
۲۰۰۹). تونیس و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که مصرف مقدار مناسب ورمی‌کمپوست با تحریک فعالیت میکروبی خاک، ترشح تنظیم کننده‌های رشد و فراهمی عناصری از قبیل نیتروژن، آهن و منیزیم باعث افزایش سبزی‌نگی می‌شود. بیوچار حاوی عناصری از قبیل نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم بوده و می‌تواند منجر به بهبود تغذیه گیاه در شرایط تنش و در نتیجه بهبود میزان کلروفیل گیاه شود (کاروالهو و همکاران ۲۰۱۳). با این وجود زینال و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد ۱/۵٪ بیوچار تاثیری بر کلروفیل ندارد.

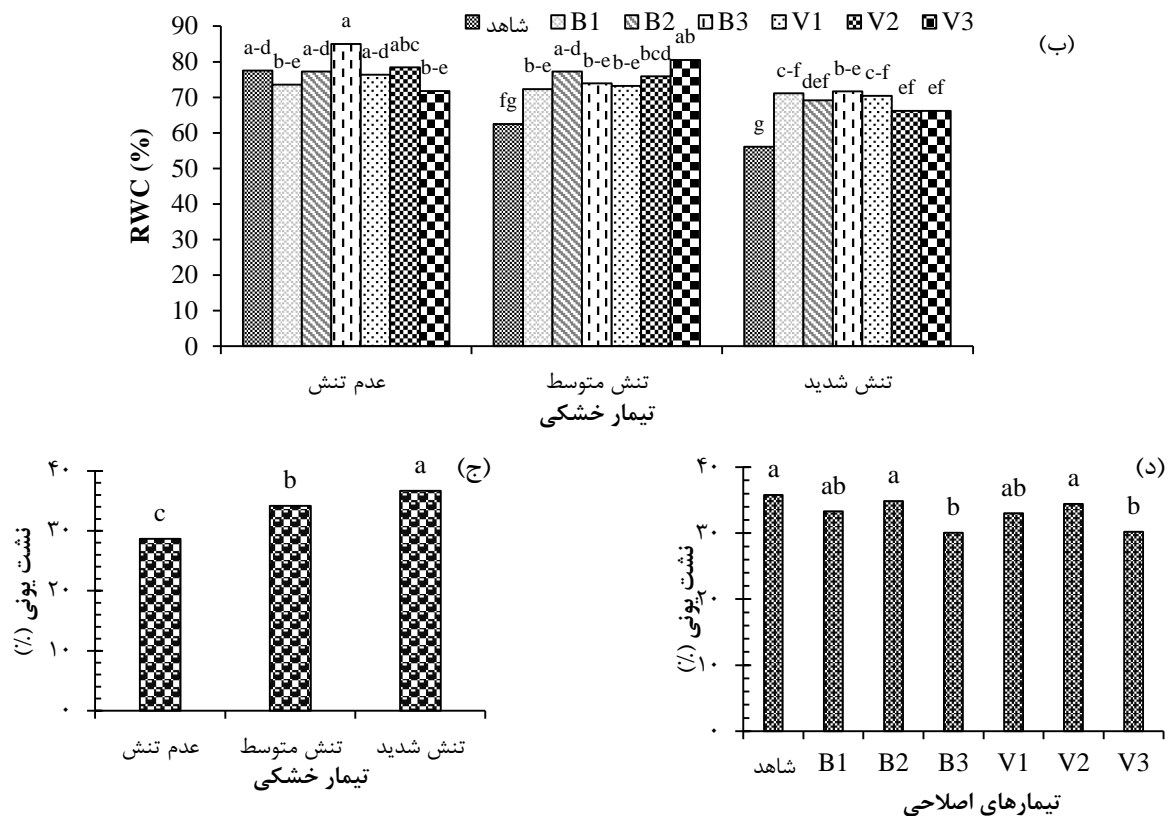
RWC: تمام تیمارهای اصلاح‌کننده منجر به افزایش معنی‌دار RWC نسبت به شاهد، در شرایط تنش متوسط و شدید شدند و بین سطوح مختلف بیوچار و ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با این وجود در شرایط عدم تنش هیچکدام از اصلاح‌کننده‌ها در سطوح مختلف کاربرد اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشتند (شکل ۴-ب). RWC بازگوکننده وضعیت آب گیاه

در تنش‌های محیطی مانند خشکی به دلیل تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش اسیدهای چرب غیراشباع غشای سلولی اتفاق می‌افتد (لورتو و اسکیتزلر ۲۰۱۰). 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 (گپینسکا و همکاران ۲۰۰۸). افزایش نشت یونی در شرایط تنش خشکی توسط محققین زیادی گزارش شده است (بابایی و همکاران ۲۰۲۱ و قنبرزاده و همکاران ۲۰۱۹) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی مانند بیوچار و ورمی‌کمپوست، با تأثیرات مثبتی که بر نگهداری آب خاک و آب قابل استفاده برای گیاه دارند می‌توانند منجر به کاهش نشت یونی در گیاه شوند (هرناندز و همکاران ۲۰۱۶ و موسوی و همکاران ۲۰۱۸). گزارش شده است که مواد هیومیکی موجود در ورمی‌کمپوست می‌تواند بر جذب یون‌ها توسط ریشه هم به صورت فعال و هم به صورت غیر فعال تأثیر گذاشته و منجر به جذب آن‌ها شده و از این طریق باعث پایداری غشاء سلول و کاهش نشت یونی شود (موسوی و همکاران ۲۰۱۸).

می‌باشد. کاهش RWC گیاه یکی از پیامدهای رایج تنش خشکی می‌باشد (بابایی و همکاران ۲۰۲۱ و فتحی و تاری ۲۰۱۶). گیاهان در شرایط تنش خفیف خشکی می‌توانند RWC را حفظ کنند اما در تنش شدید قطعا با کاهش مواجه خواهند شد (بابایی و همکاران ۲۰۲۱). کاربرد بیوچار و ورمی‌کمپوست می‌تواند با افزایش محتوای کربن خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت را افزایش داده و منجر به بهبود روابط آبی گیاه در شرایط تنش خشکی شود (پاتچ و همکاران ۲۰۱۸ و چندا و همکاران ۲۰۱۱). علاوه بر این، به نظر می‌رسد کاربرد این اصلاح‌کننده‌ها بتواند با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، فضای بهتری برای فعالیت ریشه فراهم نماید.

نشت یونی: نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان نشت یونی به طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین نشت یونی در تنش شدید خشکی مشاهده شد که نسبت به تنش متوسط و شرایط عدم تنش افزایش نشان داد (شکل ۴-ج). کاربرد مقادیر ۳۰ تن در هکتار بیوچار و ورمی‌کمپوست منجر به کاهش معنی‌دار نشت یونی نسبت به تیمار عدم کاربرد اصلاح‌کننده شد و سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشتند (شکل ۴-د).





شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش خشکی و اصلاح‌کننده بر شاخص سبزیگی برگ

(الف)، RWC (ب)، تاثیر خشکی بر نشت یونی (ج) و تاثیر اصلاح‌کننده بر نشت یونی (د) به روش LSD در سطح پنج درصد. شاهد: عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار، V1، V2 و V3: به ترتیب کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست؛ B1، B2 و B3: به ترتیب کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار بیوچار. وجود حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

وجود باید به این نکته توجه نمود که ماندگاری بیوچار در خاک بسیار بالا بوده و تا سالیان طولانی در خاک باقی مانده و تاثیر مثبتی بر نگهداری آب در خاک و خصوصیات فیزیکی خاک خواهد داشت. از نظر محتوای عناصر غذایی، ورمی‌کمپوست وضعیت بهتری نسبت به بیوچار داشت و احتمالاً تاثیر بهتر ورمی‌کمپوست بر گیاه مغربی در شرایط تنش به این موضوع مربوط باشد. به طور کلی هر دو اصلاح‌کننده توانستند در شرایط تنش منجر به بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه شوند و با توجه به پایین بودن محتوای کربن آلی در خاک‌های کشورمان، مصرف این ترکیبات قطعاً اثرات مثبتی بر رشد گیاهان خواهد داشت.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تنش خشکی تاثیر منفی بر شاخص‌های مرفوفیزیولوژیک گیاه مغربی داشت. کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده‌های آلی تاثیر مثبتی بر شاخص‌های مورد ارزیابی گیاه به ویژه در تنش شدید خشکی داشت. نکته حائز اهمیت این بود که میزان کاربرد این اصلاح‌کننده‌ها در اثر بخشی آن‌ها موثر بود. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر بخشی ورمی‌کمپوست نسبت به بیوچار بهتر بود و با توجه به اینکه عملکرد بیوچار حدود ۳۳ درصد بود، برای تولید بیوچار مقادیر زیادی ضایعات باید مورد استفاده قرار گیرد، یعنی برای تولید ۱۰ تن بیوچار باید بیش از ۳۰ تن ضایعات مورد استفاده قرار گیرد. با این

سپاسگزاری

میبد به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی، کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

بدین‌وسیله از دانشگاه اردکان، پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه اردکان و مدیر عامل شهرک صنعتی

منابع مورد استفاده

- Akinci S and Losel DM. 2009. The soluble sugars determination in Cucurbitaceae species under water stress and recovery periods. *Advances in Environmental Biology*, 3(2): 175-183.
- Ashraf MH and Harris PJ. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*, 51(2): 163-190.
- Atiyeh RM, Subler S, Edwards CA, Bachman G, Metzger JD and Shuster W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44(5): 579-590.
- Babaei K, Moghaddam M, Farhadi N and Pirbalouti AG. 2021. Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284, 110116.
- Behnam H, Farrokhan Firouzi A and Moezzi AA. 2016. Effect of biochar and compost sugarcane bagasse on some soil mechanical properties. *Water and Soil Conservation*, 23(4): 235-250. (In Persian).
- Blackwell P, Shea S, Storer PZ, Solaiman Z, Kerkmans M and Stanley I. 2007. Improving wheat production with deep banded oil mallee charcoal in Western Australia. In *First Asia Pacific Biochar Conference, Terrigal, Australia*, (Vol. 30).
- Caser M, Chitarra W, D'Angiolillo F, Perrone I, Demasi S, Lovisolo C and Scariot V. 2019. Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. *Industrial Crops and Products*, 129: 85-96.
- Chaeikar SS, Marzvan S, Khiavi SJ and 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.
- Chanda GK, Bhunia G and Chakraborty SK. 2011. The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(2): 42-45.
- Chavoushi M, Najafi F, Salimi A and Angaji SA. 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.
- Darzi MT, Haj Seyd Hadi MR and Rejali F. 2012. Effects of cattle manure and biofertilizer application on biological yield, seed yield and essential oil in coriander (*Coriandrum sativum*). *Medicinal Plants*, 2(42): 77-90. (In Persian).
- De Melo Carvalho MT, Madari BE, Bastiaans L, Oort PAJ, Heinemann AB, Da Silva MAS and 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 (JARTS)*, 114(2): 101-107.
- Deng YC, Hua HM, Li J and Lapinskas P. 2001. Studies on the cultivation and uses of evening primrose (*Oenothera* spp.) in China. *Economic Botany*, 55(1): 83- 92.
- Fathi A and Tari DB. 2016. Effect of drought stress and its mechanism in plants. *International Journal of Life Sciences*, 10(1): 1-6.
- Gapińska M, Skłodowska M and Gabara B. 2008. Effect of short-and long-term salinity on the activities of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in tomato roots. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(1): 11.

- Garcia AC, Santos LA, Izquierdo FG, Rumjanek VM, Castro FS, De Souza LGA and Berbara RLL. 2014. Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Journal of Geochemical Exploration* 136: 48-54.
- Ghanbarzadeh Z, Mohsenzadeh S, Rowshan V and Moradshahi A. 2019. Evaluation of the growth, essential oil composition and antioxidant activity of *Dracocephalum moldavica* under water deficit stress and symbiosis with *Claroideoglomus etunicatum* and *Micrococcus yunnanensis*. *Scientia Horticulturae*, 256: 108652.
- Hernández T, Chocano C, Moreno JL and García C. 2016. Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops effects on soil and plant. *Soil and Tillage Research*, 160: 14-22.
- Joseph SD, Camps-Arbestain KM, Lin Y, Munroe P, Chia CH, Hook J, Van Zwieten L, Kimber S, Cowie A, Singh BP, Lehmann J, Foidl N, Smernik IR and Amonette JE. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal Soil Research*, 48: 501-515.
- Karhu K, Mattila T, Bergstrom I and Regina K. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(1): 309-313.
- Karimi E, Shirmardi M, Dehestani Ardakani M, Gholamnezhad J and Zarebanadkouki M. 2020. The effect of humic acid and biochar on growth and nutrients uptake of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(12): 1658-1669.
- Kavitha B, Reddy PV L, Kim B, Lee SS, Pandey SK and Kim KH. 2018. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 227: 146-154.
- Lehmann J, Gaunt J and Rondon M. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2): 403-427.
- Loreto F and Schnitzler JP. 2010. Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends in Plant Science*, 15(3): 154-166.
- Mousavi DSZ, Gholami M and 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.
- Mukherjee A and Lal R. 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3(2): 313-339.
- Nur MSM, Islami T, Handayanto E, Nugroho WH and Utomo WH. 2014. The use of biochar fortified compost on calcareous soil of East Nusa Tenggara, Indonesia: 2. Effect on the yield of maize (*Zea mays* L.) and phosphate absorption. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 1: 105-112.
- Paetsch L, Mueller CW, Kögel-Knabner I, Von Lützw M, Girardin C and 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.
- Pant AP, Radovich TJ, Hue NV, Talcott ST and Krenek KA. 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(14): 2383-2392.
- Purakayastha TJ, Bera T, Bhaduri D, Sarkar B, Mandal S, Wade P and Tsang DC. 2019. A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: pathways to climate change mitigation and global food security. *Chemosphere*, 227: 345-365.
- Rajkovich S, Enders A, Hanley K, Hyland C, Zimmerman AR and Lehmann J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3): 271-284.

- Rashtbari M and Alikhani H. 2012. Effect and efficiency of municipal solid waste compost and vermicompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(2): 113-127. (In Persian).
- Sajadinik R and Yadavi AR. 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indices, phenological stages and grain yield of sesame. *Crop Production*, 6(2): 73-100. (In Persian).
- Talbi S, Rojas JA, Sahrawy M, Rodríguez-Serrano M, Cárdenas KE, Debouba M and Sandalio LM. 2020. Effect of drought on growth, photosynthesis and total antioxidant capacity of the saharan plant *Oudeneya africana*. *Environmental and Experimental Botany*, 176: 104099.
- Steinbeiss S, Gleixner G and Antonietti M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6): 1301-1310.
- Theunissen J, Ndakidemi PA and Laubscher CP. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences*. 5(13): 1964-1973
- Uma B and Malathi M. 2009. Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus* species. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(6): 1054-1060.
- Uzoma KC, Inoue M, Andry H, Fujimaki H, Zahoor A and Nishihara E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use Manage*, 27: 205-212.
- Wu SC, Cao ZH, Li ZG, Cheung KC and Wong MH. 2005. Effects of biofertilizer containing n-fixer, p and k solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125(1-2): 155-166.
- Yu L, Tang J, Zhang R, Wu Q and Gong M. 2013. Effects of biochar application on soil methane emission at different soil moisture levels. *Biology and Fertility of Soils*, 49: 119-128.