

اثر کود ورمی کمپوست بر رشد و تحمل به تنش خشکی نهال‌های زیتون رقم زرد (*Olea europaea* L.)

سیده زهرا موسوی دهموردی، مهدیه غلامی* و بهرام بانی نسب

گروه علوم باغبانی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۱/۲۳)

چکیده:

خشکی یکی از رایج‌ترین تنش‌های غیرزنده می‌باشد. استفاده از کودهای شیمیایی، منجر به آلودگی آب، خاک و هوا می‌گردد. به این علت امروزه دوباره کودهای آلی مورد توجه قرار گرفته‌اند. ورمی کمپوست یک کود زیستی محرک رشد گیاه می‌باشد که سبب افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نیز می‌شود. کمبود آب آبیاری، عملکرد گیاهان به خصوص زیتون را به شدت کاهش می‌دهد. به همین علت آزمایشی با هدف بررسی اثر کود ورمی کمپوست بر رشد و تحمل به تنش خشکی درخت زیتون رقم زرد در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در گلخانه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل با چهار نسبت حجمی کود ورمی کمپوست (۰٪، ۱۲/۵٪، ۲۵٪ و ۵۰٪) و دو سطح تنش خشکی (آبیاری کامل و قطع آبیاری) در قالب طرح پایه‌ی کامل تصادفی در ۴ تکرار و ۲ گلدان در هر تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که تنش قطع آبیاری، سبب کاهش ارتفاع، قطر نسبی ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گردید و کاربرد کود ورمی کمپوست سبب افزایش معنی‌دار فاکتورهای رشد رویشی شد. اعمال تنش خشکی سبب کاهش کلروفیل کل و افزایش میزان نشت یونی و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (در ۳۸ روز پس از قطع آبیاری)، کاتالاز و محتوای پرولین گردید؛ و کاربرد کود ورمی کمپوست سبب کاهش معنی‌دار میزان نشت یونی گردید. با وجود اثرات مثبت هر سه تیمار حجمی کود ورمی کمپوست بر برخی پارامترهای رشد و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی (مانند افزایش وزن تر و خشک ریشه)، تیمار ۲۵٪ حجمی کود ورمی کمپوست با کاهش بیشتر اثرات تخریبی تنش بر کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و مقدار پرولین و نیز با کاهش نشت یونی باعث ایجاد مقاومت بیشتری به خشکی و بهبود خصوصیات مورفولوژیکی گیاه گردید.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان‌ها، تنش کم آبیاری، کود آلی، هیومیک اسید

مقدمه:

صنعتی یا زینتی می‌باشند؛ تنها گونه‌ی خوراکی زیتون، گونه‌ی اروپایی آن (*europaea*) می‌باشد (Bartolucci et al., 1999). درخت زیتون به طور گسترده‌ای در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۰ و ۴۵ درجه، در هر دو نیمکره شمالی و جنوبی، کشت می‌شود (Proietti et al., 2013). بیش از ۷۵ درصد تولید زیتون در اروپاست. پس از آن آسیا (۱۳٪)، آفریقا (۸٪) و

زیتون (*Olea europaea* L.) درختی همیشه سبز و بومی آب و هوای نیمه خشک مدیترانه‌ای می‌باشد که از نظر گیاه‌شناسی به تیره زیتون‌سانان (Oleaceae) (X=23) تعلق دارد (Therios, 2009). این تیره ۳۰ تا ۳۵ جنس و حدود ۶۰۰ گونه دارد که اکثراً در مناطق گرمسیری دنیا پراکنده‌اند و به صورت درختان

* نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mah.gholami@cc.iut.ac.ir

در قطر ساقه، از زمانی که میزان آب اتلافی از برگ بیش از میزان تأمین آب توسط ریشه باشد، آغاز می‌شود. در گلابی ژاپنی و گوجه فرنگی، نوسانات در قطر ساقه با درجه‌ی باز شدن روزنه‌ها تنظیم می‌شود (Ohashi *et al.*, 2006). گزارش شده است که تنش خشکی منجر به افزایش چشمگیری در محتوای نشت یونی برگ‌های کیوی شد، که نشان دهنده‌ی اکسیداسیون غشا در شرایط تنش خشکی می‌باشد (Wang *et al.*, 2011). نشت یونی کم، یک شاخصی از ثبات غشای سلول و تحمل به تنش آب می‌باشد (Ortiz *et al.*, 2015). تنش‌های غیر زنده اغلب با افزایش نشت الکترون به سمت اکسیژن در طول فرایندهای فتوسنتز و تنفس (Ali *et al.*, 2014) باعث تولید رادیکال‌های آزاد در اندامک‌های کلروپلاست، میتوکندری و پراکسیزوم می‌شوند (Ishibashi *et al.*, 2011). در نتیجه تنش خشکی باعث تحریک تنش اکسیداتیو در برگ می‌گردد (Fayez and Bazaid, 2014). گیاهان برای مقابله با تنش‌های اکسیداتیو، دارای سیستم‌های آنزیمی و غیرآنزیمی می‌باشند. (Ahmad *et al.*, 2014; Ali *et al.*, 2014). مشاهده گردید که تنش خشکی منجر به افزایش چشمگیری در فعالیت آنزیم کاتالاز برگ‌های درختان کیوی گردید (Wang *et al.*, 2011). هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (GPX, SOD و APX) در درختان صنوبر در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Lei *et al.*, 2006). دیده شده که تنش خشکی سبب افزایش محتوای پرولین آزاد در درختان صنوبر شد (Lei *et al.*, 2006) افزایش پرولین در شرایط تنش ممکن است تا حدودی مسئول کاهش پراکسیداسیون چربی و رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد (Fayez and Bazaid, 2014).

خشکی محدودیت جدی برای کشاورزیست و پیش بینی شده که تا سال ۲۰۳۰ به دلیل تغییرات آب و هوایی، ۱/۲ میلیارد نفر را تحت تأثیر قرار دهد (Ali *et al.*, 2014). بنابراین نیاز به توسعه روش‌هایی که باعث کاهش مصرف آب و افزایش سطح زیرکشت شود، به شدت احساس می‌شود. استفاده از کودهای شیمیایی اثرهای سوئی بر سلامت انسان و محیط زیست دارند؛ به این علت امروزه کودهای آلی جایگزین

آمریکا (۳٪) بیشترین میزان تولید را دارند (Therios, 2009). کشت زیتون امروزه در اغلب نقاط جهان به سرعت در حال افزایش است. در ایران نیز با توجه به اینکه روغن‌های نباتی با مصرف سرانه ۱۶/۵ کیلوگرم، یکی از مهم‌ترین اقلام خوراکی در سبد مصرفی خانوارهای ایرانی محسوب می‌شوند و بیش از ۸۵ درصد ماده اولیه این صنعت از طریق واردات تأمین می‌گردد، شناسایی و بهره برداری از گنجینه‌های ژنتیکی زیتون کشور و ترویج کشت و صنعت زیتون در اقلیم‌های مستعد، زمینه را برای کاهش وابستگی به خارج از کشور فراهم خواهد نمود (Hosseini-Mazinani *et al.*, 2013).

تنش خشکی یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین تنش‌های غیرزنده می‌باشد که رشد گیاهان را در سراسر جهان و به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محدود می‌کند و منجر به کاهش زیادی در عملکرد گیاهان می‌گردد (Wang *et al.*, 2011; Garcia *et al.*, 2014). خشکی محتوای پتاسیم، تعرق، توسعه و بهره‌وری محصول را کاهش می‌دهد. خشکی هم‌چنین میزان فتوسنتز، تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ و دیگر فرایندهای بیوشیمیایی مرتبط با رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Fayez and Bazaid, 2014). رنگدانه‌های کلروفیل در واکنش‌های فتوشیمیایی گیاه نقش مهمی را بازی می‌کنند (Li *et al.*, 2006). گزارش شده است که در درختان زیتون، غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری کامل، کمتر بود (Denaxa *et al.*, 2012). وزن گیاه نیز تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Ikemura, 2007). در گیاهان عالی، کاهش فشار تورژسانس طی تنش خشکی با کاهش رشد و نمو سلول‌ها، باعث کاهش رشد برگ، سطح برگ و سطح تعرق گیاه شد و در نتیجه سطح فتوسنتزی گیاه را کاهش داد و منجر به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد شد (Shao *et al.*, 2008). ارتفاع گیاه، طول ساقه، تعداد میان‌گره‌ها، سطح برگ و بسیاری از فاکتورهای رشدی گیاه تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند (Ikemura, 2007). خشکی احتمالاً از طریق کاهش فتوسنتز و کاهش انتقال شیره‌ی پرورده، سبب کاهش ارتفاع می‌شود (رشتبری و علیخانی، ۱۳۹۱). تغییرات

تحمل گیاه به تنش خشکی ضروری به نظر می‌رسید. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی اثر و کارایی کود ورمی کمپوست بر بهبود رشد ریشی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک قلمه‌های یک‌ساله زیتون رقم زرد در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها:

به منظور بررسی اثر کود ورمی کمپوست بر رشد و تحمل به تنش خشکی نهال‌های زیتون، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل با دو فاکتور تنش خشکی و کود ورمی کمپوست، در قالب طرح پایه‌ی کامل تصادفی با چهار تکرار و دو گیاه در هر واحد آزمایشی در پاییز و زمستان سال ۱۳۹۴ در گلخانه‌های آموزشی-پژوهشی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. قلمه‌های یک‌ساله رقم زرد زیتون از گلخانه‌ای در شهرستان ساوه، به صورت ریشه‌تویی و درون کیسه‌های پلاستیکی خریداری شدند. کود ورمی کمپوست نیز، در بسته‌بندی‌های یک و دو کیلوگرمی، از سازمان مدیریت پسماند شهرداری اصفهان تهیه گردید. قبل از اعمال تیمارها، بستر خاک به مدت ۴۸ ساعت در آون ضد عفونی شد. برخی مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. ترکیب بستر اصلی خاک گلدان‌ها شامل نسبت ۱:۱:۱ از خاک، پرلایت و ماسه بود. قبل از کاشت، کود ورمی کمپوست در نسبت‌های ۰، ۱۲/۵، ۲۵ و ۵۰ درصد حجمی با خاک گلدان‌ها ترکیب شد و سپس نهال‌ها در آبان ماه سال ۱۳۹۴ به درون گلدان‌های پلاستیکی ۷ لیتری انتقال یافتند. حدود یک ماه پس از کاشت و استقرار نمونه‌ها، اعمال تنش خشکی شروع شد. تنش خشکی در دو سطح آبیاری کامل و قطع آبیاری اعمال گردید. اعمال تنش بدین صورت بود که تیمارهای آبیاری کامل به صورت مداوم، تا حد ظرفیت مزرعه آبیاری می‌شدند و هیچ گونه تنشی به آنها وارد نشد، درحالی که در تیمارهای تنش خشکی، آبیاری به طور کامل برای مدت ۳۸ روز قطع گردید. پایان آزمایش مصادف بود با زمانی که گیاهان حدود ۸۰ درصد دچار تنش شدند. در این پژوهش فاکتورهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک مربوط به رشد گیاه و نیز مقاومت به تنش خشکی

آنها شده‌اند. ورمی کمپوست یک کود آلی بیولوژیک می‌باشد که از طریق تبدیل ضایعات آلی، طی یک فرایند غیرگرمدوست توسط عمل مشترک کرم‌های خاکی و میکروارگانسیم‌های خاک تولید می‌شود (Joshi et al., 2015) و با داشتن مقادیر زیادی مواد هیومیکی یک کود زیستی محرک رشد گیاه می‌باشد (Garcia et al., 2012). ورمی کمپوست باعث بهبود جوانه زنی بذر، ارتفاع ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک برگ، طول و تعداد ریشه، میزان کلروفیل، مواد مغذی ماکرو و میکرو، درصد پروتئین و کربوهیدرات و تعداد میوه گیاه می‌شود و رشد و عملکرد کلی گیاه و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشد. بسیاری از تحقیقات تأیید کرده‌اند که کود ورمی کمپوست اثرهای مثبتی را روی رشد گیاه دارد و این تحقیقات در طیف گسترده‌ای از محصولات شامل غلات و حبوبات، سبزیجات، گیاهان زینتی، گلها و محصولات زراعی انجام شده است (Atiyeh et al., 2001). در آزمایشی با کاربرد ورمی کمپوست در بستر گیاهان توت فرنگی (*Fragaria ananassa* var. Chandler) مشخص شد ۳۷٪ سطح برگ، ۳۷٪ بیومس ساقه، ۴۰٪ تعداد گل، ۳۶٪ تعداد ساقه‌های رونده و ۳۵٪ وزن میوه توت فرنگی، افزایش یافت (Arancon et al., 2004). هیومیک اسید استخراج شده از ورمی کمپوست، هورمون‌های تنظیم‌کننده‌ی رشد گیاهی، مسیر رشد ریشه و متابولیسم ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Garcia et al., 2014) و هم چنین گیاهان را در برابر تنش شوری و خشکی محافظت می‌کند (Garcia et al., 2014; Garcia et al., 2012). Garcia et al., 2012 این ماده در برخی از گونه‌های تحت تنش خشکی، با افزایش بیومس، رشد و عملکرد گیاه (Rashtbari et al., 2012) و یا با اثر بر برخی عملکردهای آنتی اکسیدانی، موجب کنترل رادیکال‌های آزاد و در نتیجه موجب حفاظت گیاه در برابر تنش خشکی شد (Garcia et al., 2012). به علت کاهش شدید آب در جهان، هر راهی که باعث کاهش اثرات منفی خشکی گردد، ممکن است اثر مثبت و معنی‌داری بر اقتصاد کشاورزی داشته باشد (Ashraf et al., 2010). از این رو انجام پژوهشی در زمینه بررسی اثر کود ورمی کمپوست بر

جدول ۱- مشخصات ترکیب اصلی بستر مورد استفاده در این آزمایش

سیلت	رس	شن	بافت خاک	K	P	Na	Ph	EC
%	%	%		mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹		μS.m ⁻¹
۱۴/۹۴	۲۰	۶۵/۰۶	لوم شنی	۷۵/۴۲	۴۲/۳۵	۱۴۷/۵۷	۶/۱۴	۶۵۹

اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک: صفات مورفولوژیک از

قبیل ارتفاع نسبی، قطر نسبی ساقه و وزن تر و خشک هر گیاه از هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری ارتفاع به صورت نسبی با استفاده از خط‌کش با دقت میلی‌متر از سطح خاک تا جوانه‌ی انتهایی، انجام شد. به این صورت که در ابتدا و انتهای آزمایش ارتفاع اندازه‌گیری و سپس اختلاف آنها به عنوان ارتفاع بر حسب درصد محاسبه و به صورت ارتفاع نسبی بیان گردید (Atiyeh *et al.*, 2001). قطر ساقه در ۲ سانتی‌متری بالای سطح خاک، با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش، نهال‌ها به آرامی از خاک بیرون آورده و از بستر خاک جدا شدند. بعد از شستشو، آب اضافه‌ی آنها گرفته شد. سپس وزن تر ریشه و اندام هوایی با استفاده از ترازوی حساس اندازه‌گیری شد. وزن خشک نمونه‌ها نیز با قرار گرفتن به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و سپس وزن نمونه‌ها به دست آمد.

درصد نشت یونی: اندازه‌گیری میزان نشت یونی بر طبق

روش Lutts و همکاران (۱۹۹۶) صورت گرفت (با اندکی تغییرات جزئی به منظور افزایش دقت کار). به این منظور از جوان‌ترین برگ‌های توسعه یافته، ۵ دیسک برگ‌ی با قطر ۱ سانتی‌متر با استفاده از پانچ مخصوص جدا گردید. نمونه‌های برگ‌ی ابتدا با آب معمولی، ۲ بار با آب مقطر و سپس یک بار با آب دیونیزه آبکشی شدند و درون لوله‌های مخصوص قرار گرفتند. به هر کدام از لوله‌ها حدود ۱۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه اضافه و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و بر روی شیکر قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه وورتکس شدند و میزان هدایت الکتریکی توسط دستگاه سنجش هدایت الکتریکی اندازه‌گیری گردید [LT] سپس، لوله‌ها درون اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از سرد شدن

مجدداً ۳۰ ثانیه وورتکس و هدایت الکتریکی آنها نیز اندازه‌گیری گردید [Lo]. در نهایت درصد نشت یونی از رابطه زیر به دست آمد:

$$100 = [Lt / Lo] \times \text{درصد نشت یونی}$$

تعیین میزان کلروفیل: کلروفیل برگ‌ها به روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) در اواسط و اواخر تنش خشکی توسط حلال استون ۱:۱۰۰ استخراج گردید. ۰/۱ گرم نمونه برگ‌ی از جوان‌ترین برگ‌های توسعه یافته در هاون چینی قرار داده و حدود ۱۰ میلی‌لیتر استون ۱:۱۰۰ طی دومرحله به هاون اضافه گردید. نمونه‌ها کاملاً له شدند. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. از محلول هر لوله حدود ۴ میلی‌لیتر درون کووت دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-600) ریخته و میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۴۴/۸ و ۶۶۱/۶ نانومتر خوانده شد. در نهایت میزان کلروفیل کل از طریق رابطه‌های زیر محاسبه گردید:

$$C_a = 11.24 \times A_{661.6} - 2.04 \times A_{644.8}$$

$$C_b = 20.13 \times A_{644.8} - 4.19 \times A_{661.6}$$

$$C_{a+b} = 7.05 \times A_{661.6} + 18.09 \times A_{644.8}$$

در این روابط C_a : غلظت کلروفیل a ، C_b : غلظت کلروفیل b ،

C_{a+b} : میزان کلروفیل کل، $A_{661.6}$: جذب در طول موج ۶۶۱/۶،

$A_{644.8}$: جذب در طول موج ۶۴۴/۸ می‌باشد.

تعیین میزان پرولین: میزان پرولین براساس روش Bates و

همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. ابتدا ۰/۱ گرم از نمونه‌های برگ‌ی هر تکرار وزن شد. سپس با اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد، پرولین نمونه‌ها استخراج و نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دور ۲۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. ناین هیدرین به عنوان معرف در این آزمایش استفاده شد؛ روش تهیه آن بدین صورت بود که برای هر ۲۵ نمونه ۱/۲۵ گرم ناین هیدرین در ۲۰ میلی‌لیتر اسیدفسفریک ۶ مولار و ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک خالص حل شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از

یک دقیقه، TV: حجم کل بافر واکنش و عصاره (۳ میلی لیتر)، EV: حجم عصاره (۰/۰۵ میلی لیتر)، E: ضریب خاموشی کاتالاز ($\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ، ۳۹/۴): D: ضریب رقت.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در ۳ میلی لیتر ترکیب واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار (pH 7)، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، اتیلن دیامین تترا استیک اسید ۰/۱ میلی مولار، سدیم آسکوربات ۰/۵ میلی مولار و پراکسید هیدروژن ۰/۱ میلی مولار انجام شد. فعالیت این آنزیم در طول موج ۲۹۰ نانومتر در مدت ۱ دقیقه اندازه گیری شد (ضریب خاموشی برای آسکوربات پراکسیداز $2/8 \text{ mMcm}^{-1}$ می باشد). میزان فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر گیاه محاسبه گردید (Huberman et al., 1997).

$$\text{فعالیت آسکوربات پراکسیداز (U)} = \frac{\Delta A \times TV \times D}{E \times EV}$$

تجزیه آماری داده ها: آنالیز آماری داده های مربوط به کلیه صفات به کمک نرم افزار آماری استاتیس تیکس (Stasistix 8) و مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) انجام شد. برای انجام محاسبات و رسم نمودارها از نرم افزار اکسل (Excel) نسخه ۲۰۱۰ استفاده گردید.

نتایج:

ارتفاع نسبی: تجزیه واریانس داده ها نشان داد که برهمکنش بین خشکی و کود ورمی کمپوست در سطح ۰/۱ درصد اثر معنی داری را بر میزان ارتفاع نسبی داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین دادها در برهمکنش بین خشکی و کود ورمی کمپوست نشان داد که اگرچه غلظت ۱۲/۵ و ۵۰٪ حجمی کود ورمی کمپوست بیشترین ارتفاع را در شرایط آبیاری کامل نسبت به تیمار شاهد داشتند، ولی در شرایط قطع آبیاری، تیمار ۱۲/۵ درصد به طور مؤثرتری از کاهش ارتفاع نسبت به شاهد جلوگیری کرد. هم چنین دیده شده است که در تیمار ۲۵ درصد، ارتفاع در شرایط تنش نسبت به آبیاری کامل تفاوت معنی داری نداشت، پس می توان نتیجه گرفت که تیمار ۲۵ درصد اثر بیشتری بر حفظ ارتفاع در شرایط تنش داشته است (شکل ۱).

قطر نسبی ساقه: نتایج حاصله از تجزیه واریانس داده ها

عصاره حاصل در لوله آزمایش ریخته و به آن به ترتیب ۲ میلی لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی لیتر اسید استیک خالص اضافه شد و به مدت ۱ ساعت در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از خارج کردن نمونه ها از حمام و سرد شدن آنها، به هر کدام ۴ میلی لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شدند. پس از تشکیل دو فاز در لوله آزمایش، با پیپت ۲ میلی لیتر از فاز بالایی در کوئت دستگاه اسپکتروفوتومتر ریخته و در طول موج ۵۲۰ نانومتر عدد دستگاه خوانده شد. برای صفر کردن دستگاه از تولوئن و برای تهیه استاندارد پرولین از غلظت های مختلف پرولین استفاده شد. غلظت پرولین از نمودار استاندارد تعیین شده و براساس فرمول زیر محاسبه شد:

= پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)

$$[\mu\text{g proline/ml} \times \text{ml toluene}] / 115.5 / [\text{g samples}/5]$$

فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان: ۰/۲ گرم از نمونه های

برگی در ۱۰ میلی لیتر بافر ۵۰ میلی مولار پتاسیم فسفات (pH 7) شامل ۱ میلی مولار اتیلن دیامین تترا استیک اسید (EDTA) و ۱ درصد پلی وینیل پیرولیدین (PVP) (W/V) هموزن، سپس ۳۰ دقیقه با دور ۱۲۰۰۰ در سانتریفیوژ یخچال دار سانتریفیوژ شد. (برای آسکوربات پراکسیداز، از نمک سدیم آسکوربات ۰/۵ میلی مولار به جای اتیلن دیامین تترا استیک اسید استفاده شد). محلول رویی به عنوان عصاره آنزیمی استفاده گردید.

برای اندازه گیری فعالیت کاتالاز، ۳ میلی لیتر ترکیب واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (pH 7)، ۵۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی و ۴/۵ میلی لیتر هیدروژن پراکسید (H_2O_2) بود. واکنش با اضافه کردن هیدروژن پراکسید آغاز شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از فرمول زیر و پس از خواندن میزان جذب ترکیب واکنش در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت یک دقیقه و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد.

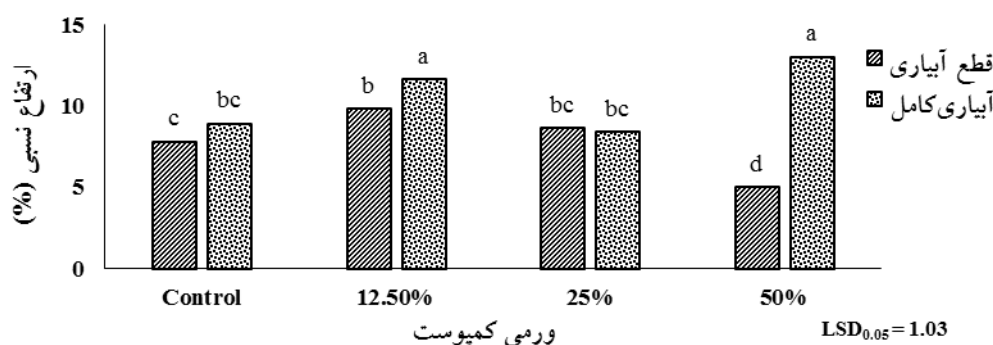
$$\text{فعالیت کاتالاز (U)} = \frac{\Delta A \times TV \times D}{E \times EV}$$

در این رابطه، U: یک واحد از فعالیت کاتالاز که مساوی است با مقدار آنزیمی که باعث تجزیه یک میکرومول هیدروژن پراکسید و تبدیل آن به اکسیژن و آب در مدت یک دقیقه می شود. ΔA : اختلاف جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت

جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات رویشی قلمه‌های یک‌ساله ریشه‌دار زیتون تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی‌کمپوست

منابع تغییرات	ارتفاع نسبی	قطر نسبی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر	وزن خشک
					اندام‌هوایی	اندام‌هوایی
میانگین مربعات						
خشکی	۳۵/۷۷***	۶۷/۰۲***	۲۲/۷۱**	۱/۸۴*	۲۴۱/۴۱***	۱۶/۶۸**
ورمی‌کمپوست	۷/۰۹**	۳۹/۹۱***	۲۵/۱۶***	۴/۸۴***	۱۳/۲۷*	۵/۷۸*
خشکی*ورمی‌کمپوست	۱۸/۸۸***	۱۴/۳۵***	۵/۴۲ ^{ns}	۱/۸۴**	۷/۰۲ ^{ns}	۱/۱۷ ^{ns}
خطای آزمایش	۲/۲۱	۰/۵۹	۱/۸۰	۰/۲۴	۳/۱۳	۱/۶۹
ضریب تغییرات	۹/۴۵	۲۵/۹۱	۱۲/۴۲	۸/۱۱	۱۳/۴۸	۱۵/۱۶

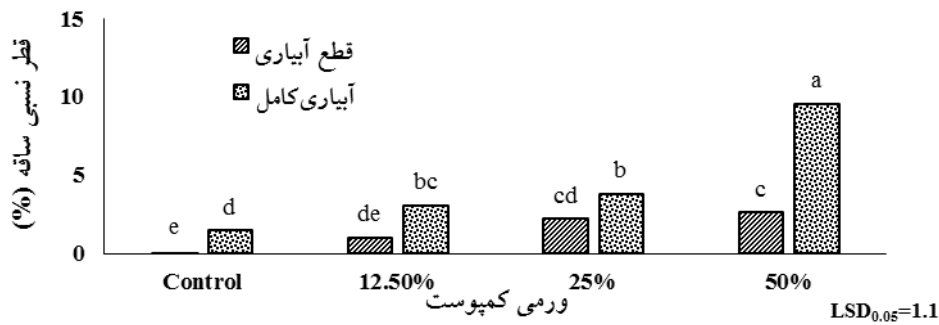
^{ns}: عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * : اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ** : اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، و *** : اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱٪



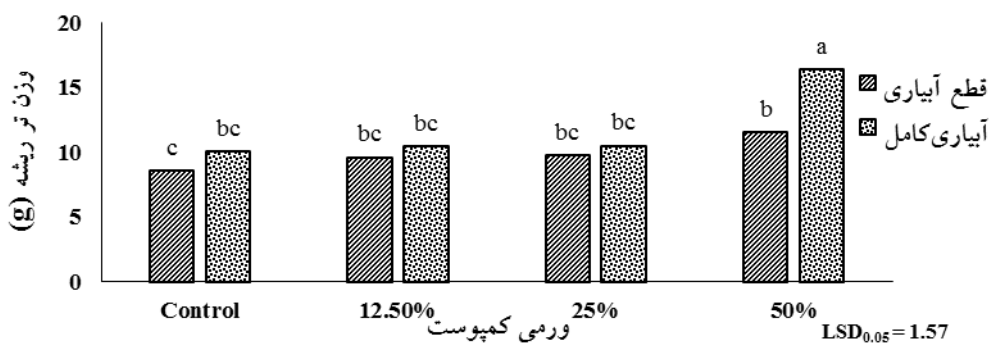
شکل ۱- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی‌کمپوست بر ارتفاع نسبی زیتون رقم زرد. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.

به تیمار شاهد (۰/۱۸) گردد (شکل ۲). وزن تر و خشک ریشه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اگرچه برهمکنش بین دو تیمار خشکی و کود ورمی‌کمپوست بر وزن تر ریشه‌های قلمه‌های یک ساله رقم زرد زیتون بی‌اثر بود ولی در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری بر میزان وزن خشک داشت (جدول ۲). مقایسات میانگین در برهمکنش بین تیمارها نشان داد که در تیمارهای قطع آبیاری و آبیاری کامل، کاربرد ۵۰ درصد حجمی کود ورمی‌کمپوست سبب بیشترین افزایش وزن تر ریشه در قلمه‌های یک ساله رقم زرد زیتون نسبت به شاهد گردید. تیمارهای ۲۵ و ۱۲/۵ درصد نیز با وجود افزایش در میزان وزن تر ریشه، تفاوت معنی‌داری را با شاهد نداشتند (شکل ۳). هم‌چنین، در هر دو سطح آبیاری مشاهده گردید که کاربرد ۵۰ درصد حجمی کود ورمی‌کمپوست، وزن خشک

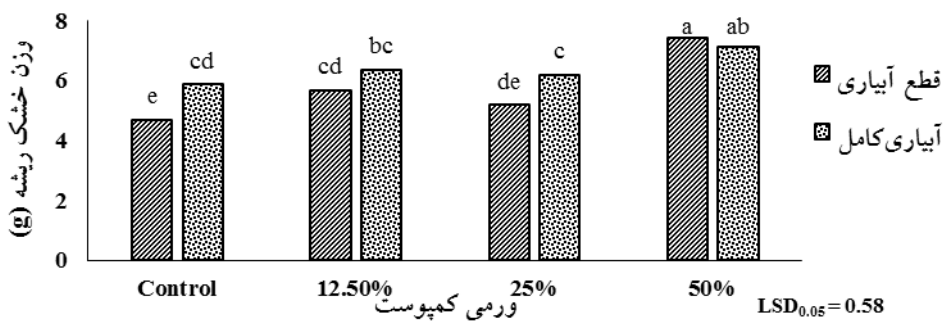
نشان داد که تنش خشکی و کاربرد کود ورمی‌کمپوست در سطح احتمال ۰/۱ درصد اثر معنی‌داری بر درصد قطر نسبی ساقه داشتند (جدول ۲). برهمکنش بین خشکی و کود ورمی‌کمپوست بیانگر این موضوع بود که در هر دو سطح آبیاری کامل و قطع آبیاری، افزایش نسبت ورمی‌کمپوست سبب افزایش درصد قطر نسبی ساقه گردید و تیمار شاهد در هر دو شرایط، کمترین میزان را به خود اختصاص داده بود. اگرچه در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، تیمار ۵۰٪ بیشترین میزان قطر ساقه را داشت؛ ولی با اعمال تنش خشکی، میزان کاهش قطر در تیمار ۵۰٪ (۲/۵۷)، نسبت به حالت عدم تنش (۹/۵۳)، بسیار بالا بود (حدود ۷۳ درصد)؛ و تیمار ۲۵ درصد (۲/۱۸) توانست با مقداری مشابه تیمار ۵۰ درصد (۲/۵۷)، مانع از کاهش زیادی در قطر نسبی ساقه نسبت



شکل ۲- اثر متقابل سطوح آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر قطر نسبی ساقه زیتون رقم زرد. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



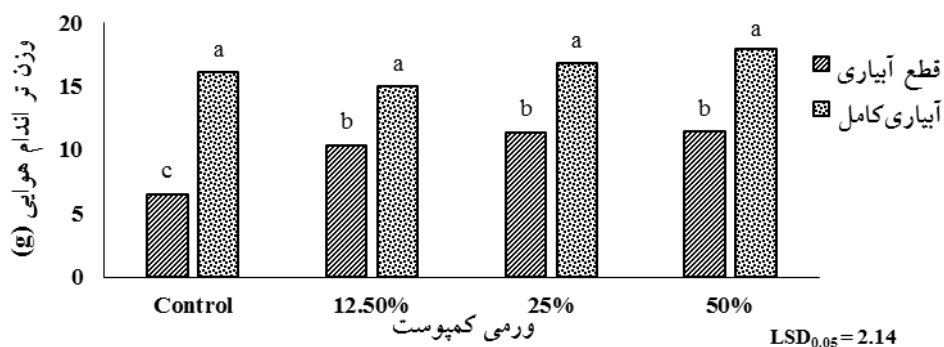
شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر وزن تر ریشه زیتون رقم زرد. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



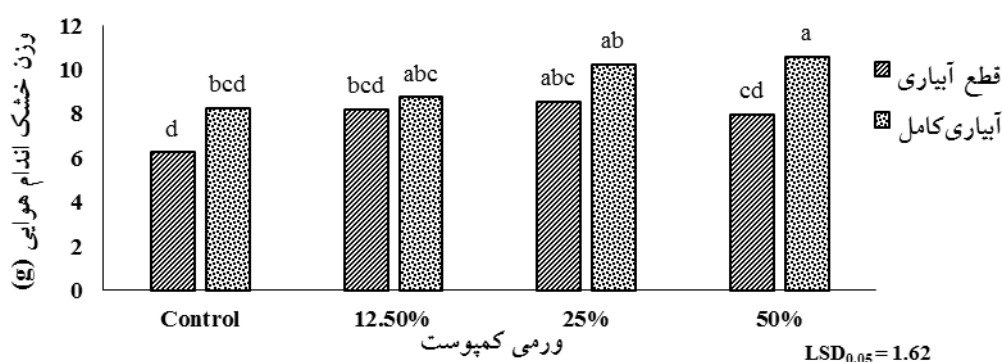
شکل ۴- اثر متقابل سطوح آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر وزن خشک ریشه زیتون رقم زرد. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.

وزن تر و خشک اندام هوایی: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، تیمار تنش خشکی و کود ورمی کمپوست اثر معنی‌داری بر صفت وزن تر و خشک اندام هوایی داشتند در حالی که برهمکنش آنها معنی‌دار نشد. بررسی برهمکنش کود ورمی کمپوست و تنش خشکی (شکل ۵) نشان داد که اگرچه در شرایط آبیاری کامل هیچ گونه تفاوت

ریشه را نسبت به نمونه شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد؛ هرچند این تفاوت‌ها در تیمار آبیاری کامل معنی‌دار نشد. اگرچه در شرایط تنش، تیمار ۲۵ درصد تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت ولی به طور کلی، تیمارهای ۱۲/۵ و ۲۵ درصد حجمی نیز وزن خشک ریشه را با نسبتی کمتر از تیمار ۵۰ درصد حجمی نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۴).



شکل ۵- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر وزن تر اندام هوایی زیتون رقم زرد. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



شکل ۶- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر وزن خشک اندام هوایی زیتون رقم زرد. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.

گرم و در شرایط قطع آبیاری با مقدار ۶/۲۳ گرم، کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی را دارا بود.

درصد نشت یونی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش خشکی و ورمی کمپوست در هر دو زمان نمونه‌برداری، درصد نشت یونی را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. به طوری که در مرحله‌ی اول نمونه‌برداری در سطح احتمال ۵ و در مرحله‌ی دوم در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴).

مقایسه میانگین‌ها در برهمکنش بین خشکی و ورمی کمپوست در هر دو مرحله‌ی نمونه‌گیری نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، کمترین میزان نشت یونی مربوط به نسبت ۵۰٪ ورمی کمپوست بود ولی با اعمال تنش خشکی و قطع آبیاری، اگرچه در مرحله‌ی اول تیمار ۵۰٪ اثر قابل توجهی را در کاهش میزان نشت یونی داشت ولی با گذشت مدت زمان

معنی‌داری در میزان وزن تر اندام هوایی بین تیمارها مشاهده نشد، ولی با اعمال تنش خشکی هر سه نسبت حجمی کود ورمی کمپوست توانستند در یک نسبت تقریباً مساوی میزان وزن تر اندام هوایی را نسبت به تیمار شاهد (۶/۴۹ گرم) در سطح بالاتری حفظ کنند. تجزیه آماری مربوط به برهمکنش داده‌ها (شکل ۶) هم‌چنین نشان داد که اگرچه در شرایط آبیاری کامل بیشترین میزان وزن خشک مربوط به تیمار ۵۰ درصد حجمی کود ورمی کمپوست بود، که آن نیز با دو نسبت حجمی کودی دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی در شرایط تنش، تیمار ۲۵ درصد حجمی کود ورمی کمپوست توانست به طور مؤثرتری این شاخص را در سطح بالاتری نسبت به بقیه تیمارها حفظ کند؛ اگرچه دو نسبت کودی دیگر نیز با وجود روند کاهشی نسبت به تیمار ۲۵ درصد، تفاوت معنی‌داری با آن نداشتند. تیمار شاهد در شرایط آبیاری کامل با مقدار ۸/۲۵

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی خصوصیات فیزیولوژیک قلمه‌های یک‌ساله ریشه‌دار شده‌ی رقم زرد زیتون تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد ورمی کمپوست در مرحله‌ی اول نمونه برداری (۲۴ روز پس از قطع آبیاری)

منابع تغییرات	کلروفیل کل	نشت یونی	پرولین	آنزیم کاتالاز	آنزیم آسکوربات پراکسیداز
میانگین مربعات (۱)					
خشکی	۱۲/۱۶*	۰/۵۷۴۰ ^{ns}	۰/۰۰۳۳۰***	۰/۰۱۹۰۴*	۶/۵۶۵۶ ^{ns}
ورمی کمپوست	۴۴/۰۳***	۹۱/۵۷۲۳***	۰/۰۰۱۶۴***	۰/۰۵۲۶۶***	۴۴/۰۱۴۲***
خشکی*ورمی کمپوست	۰/۵۷۸۶ ^{ns}	۱۲/۴۴۹۳*	۰/۰۰۳۴۸***	۰/۰۰۰۳۱ ^{ns}	۴۷/۵۷۸۵***
خطای آزمایش	۱/۶۵۲۶	۳/۴۰۴۷	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۲۶۸	۱/۸۰۸۶
ضریب تغییرات	۷/۱۵	۴/۹۱	۲/۱۰	۲۰/۹۸	۱۹/۹۸

^{ns}، *، ** و *** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪، و ۰/۱٪.

جدول ۴- تجزیه واریانس برخی خصوصیات فیزیولوژیک قلمه‌های یک‌ساله ریشه‌دار شده‌ی رقم زرد زیتون تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد ورمی کمپوست در مرحله‌ی دوم نمونه برداری (۳۸ روز پس از قطع آبیاری)

منابع تغییرات	کلروفیل کل	نشت یونی	پرولین	آنزیم کاتالاز	آنزیم آسکوربات پراکسیداز
میانگین مربعات (۲)					
خشکی	۱۵/۴۲***	۲۷۹۴/۴۷***	۰/۰۰۲۵۳***	۰/۰۰۵۷۶***	۲۴/۶۹۲۷***
ورمی کمپوست	۳۴/۱۹***	۱۳۶۱/۳۸***	۰/۰۰۰۹۳***	۰/۰۰۷۹۴***	۵/۳۰۵۸**
خشکی*ورمی کمپوست	۲/۱۸*	۵۲۲/۳۷***	۰/۰۰۰۴۲*	۰/۰۰۰۷۱**	۳/۰۱۳۶*
خطای آزمایش	۰/۶۱۳۰	۳/۲۶	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۹	۰/۸۸۲۷
ضریب تغییرات	۳/۸۹	۳/۶۲	۵/۲۳	۱۸/۰۷	۱۷/۲۷

^{ns}، *، ** و *** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪، و ۰/۱٪.

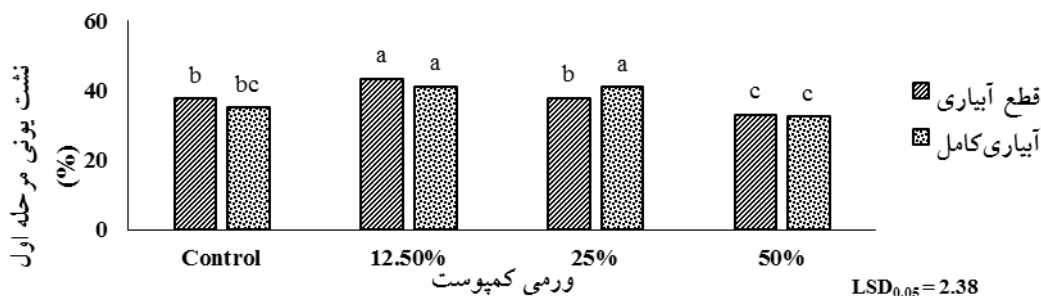
بیشترین میزان کلروفیل کل را داشتند ولی با اعمال قطع آبیاری، تیمار ۲۵٪ به طور مؤثرتری میزان کلروفیل کل را در سطح بالاتری نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود ورمی کمپوست) حفظ کرد و حتی میزان کلروفیل آن تفاوت معنی‌داری با حالت آبیاری کامل نداشت (شکل‌های ۹ و ۱۰).

محتوای پرولین: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش بین خشکی و کود ورمی کمپوست در مرحله‌ی اول نمونه برداری در سطح احتمال ۰/۱ درصد و در مرحله‌ی دوم نمونه برداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول‌های ۳ و ۴).

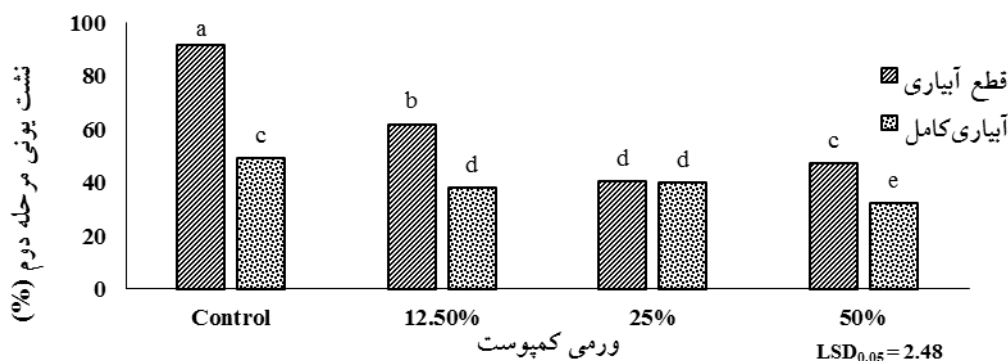
مقایسه میانگین‌ها در برهم‌کنش بین خشکی و ورمی کمپوست نشان داد که در شرایط تنش خشکی، اگرچه در مرحله‌ی اول نمونه برداری بیشترین میزان پرولین تولیدی

بیشتری از تنش (۳۸ روز)، تیمار ۲۵٪ حجمی کود ورمی کمپوست به طور مؤثرتری توانست میزان نشت یونی را در حد پایین‌تری حفظ کند (شکل‌های ۷ و ۸).

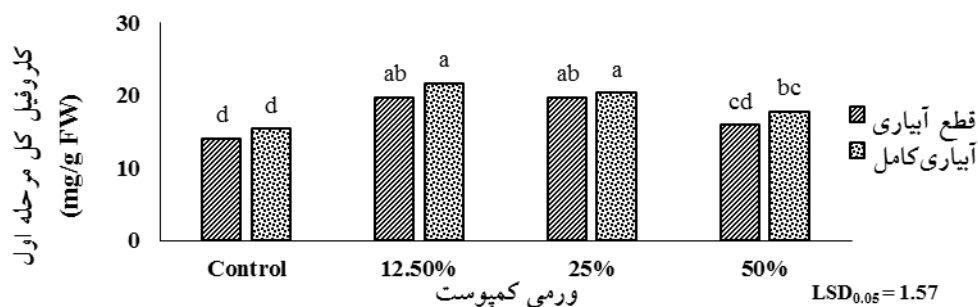
محتوای کلروفیل کل: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اگرچه برهمکنش بین خشکی و ورمی کمپوست با گذشت ۲۴ روز پس از تنش خشکی معنی‌دار نشد، ولی بعد از ۳۸ روز، محتوای کلروفیل کل را در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول‌های ۳ و ۴). برهمکنش بین خشکی و کود ورمی کمپوست نیز نشان داد که در مرحله‌ی اول نمونه برداری، تیمارهای ۱۲/۵ و ۲۵٪، بیشترین میزان کلروفیل کل را در هر دو سطح آبیاری داشتند و شاهد کمترین میزان را به خود اختصاص داده بود. بعد از گذشت ۳۸ روز پس از قطع آبیاری، اگرچه در سطح آبیاری کامل دو تیمار ۲۵ و ۵۰٪



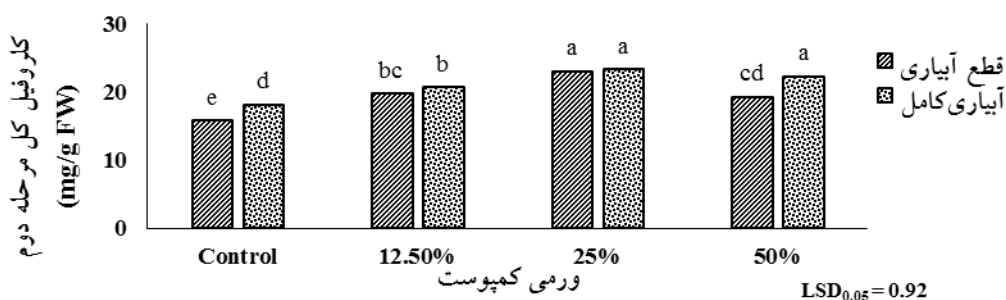
شکل ۷- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر میزان نشت یونی (مرحله ۱) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



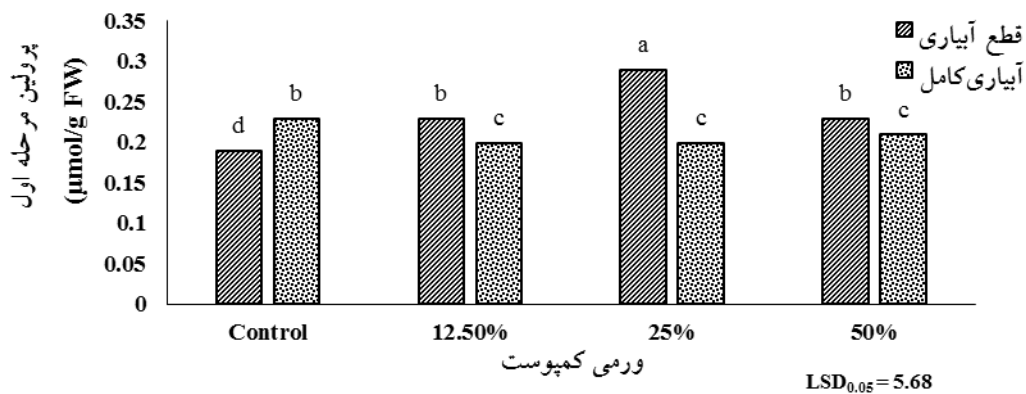
شکل ۸- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر میزان نشت یونی (مرحله ۲) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



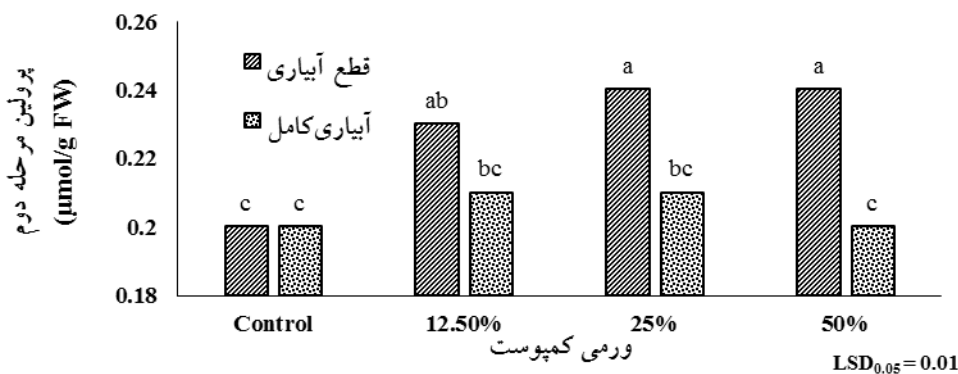
شکل ۹- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر محتوای کلروفیل کل (مرحله ۱) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



شکل ۱۰- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر محتوای کلروفیل کل (مرحله ۲) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



شکل ۱۱- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر محتوای پرولین (مرحله ۱) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) ندارند.

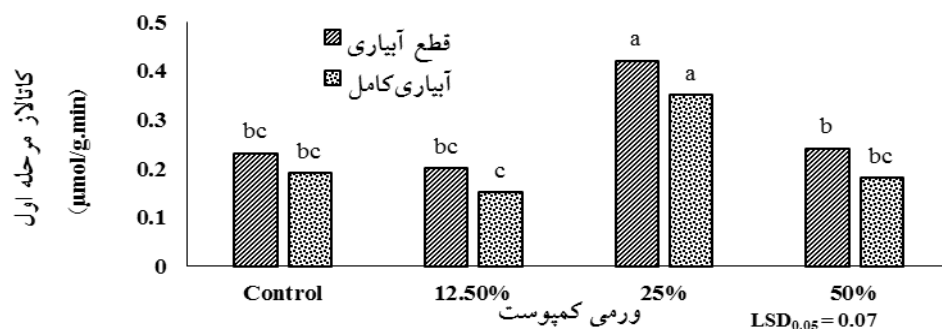


شکل ۱۲- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر محتوای پرولین (مرحله ۲) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) ندارند.

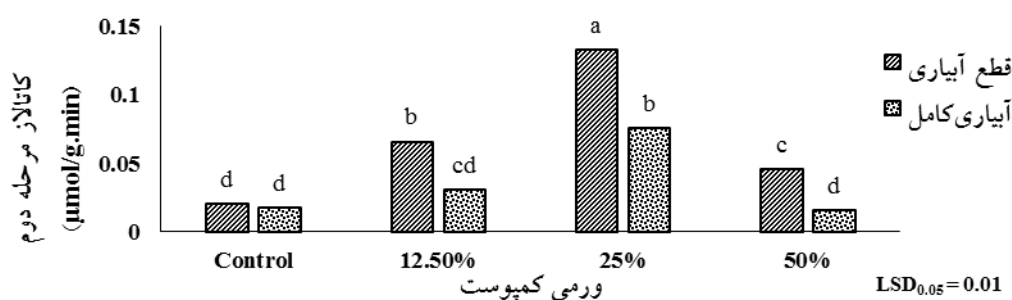
معنی داری با شاهد نداشتند. با اعمال تنش خشکی تیمار ۲۵٪ میزان فعالیت آنزیم را در سطح بالاتری نسبت به شاهد حفظ کرد. در مرحله دوم نمونه برداری دو تیمار کودی دیگر نیز اثرات مثبت خود بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را نسبت به شاهد نشان دادند و تیمار شاهد کمترین میزان فعالیت آنزیم را داشت.

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که برهمکنش خشکی و کود ورمی کمپوست در سطوح ۱/۰ و ۵ درصد اثرات معنی دار خود را در هر دو مرحله نمونه برداری نشان دادند (جدول‌های ۳ و ۴). مقایسه میانگین در برهمکنش بین خشکی و ورمی کمپوست نشان داد که در مرحله اول نمونه برداری، در تیمار آبیاری کامل اگرچه هر سه نسبت کودی ورمی کمپوست تفاوت معنی داری با شاهد نداشتند و با اعمال تنش، اثرات آنها بر فعالیت آنزیم مشخص نشد؛ ولی با گذشت ۳۸ روز از شروع تنش خشکی، دیده شد

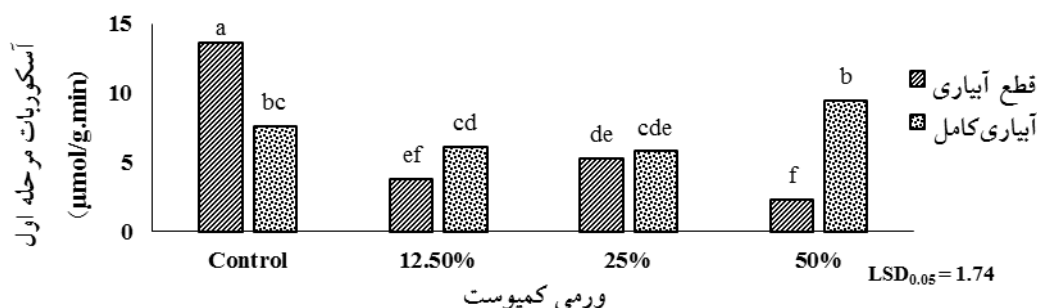
مربوط به تیمار ۲۵ بود ولی در مرحله دوم نمونه برداری با وجود بیشترین غلظت پرولین تولیدی در تیمار ۲۵٪، تفاوت معنی داری بین سه غلظت کود ورمی کمپوست مشاهده نشد. در هر دو زمان نمونه برداری تیمار شاهد، کمترین میزان پرولین موجود در برگ را دارا بود (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). **آنزیم کاتالاز:** نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در مرحله اول نمونه برداری با وجود معنی دار بودن اثر تنش خشکی و کاربرد کود ورمی کمپوست، برهمکنش آنها معنی دار نشد. با گذشت زمان و در مرحله دوم نمونه برداری، برهمکنش آنها در سطح احتمال ۱ درصد، اثر معنی داری را بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نداشتند (جدول‌های ۳ و ۴). برهمکنش بین تیمارها (شکل‌های ۱۳ و ۱۴) نیز نشان داد که در شرایط آبیاری کامل در هر دو زمان نمونه برداری، تیمار ۲۵٪ بیشترین میزان فعالیت آنزیم را داشت و دو تیمار دیگر تفاوت



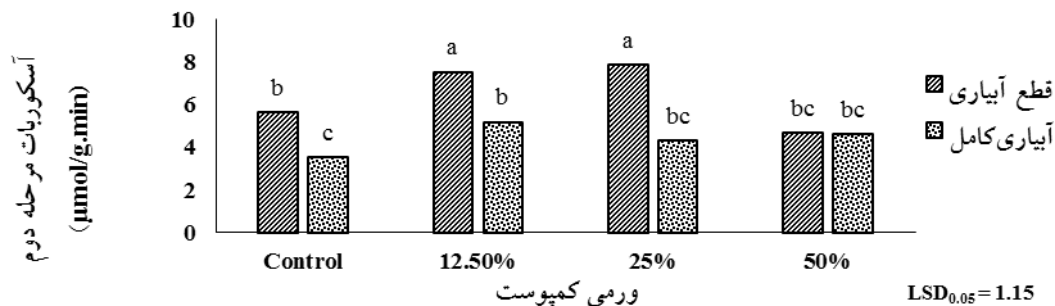
شکل ۱۳- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر فعالیت آنزیم کاتالاز (مرحله ۱) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



شکل ۱۴- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر فعالیت آنزیم کاتالاز (مرحله ۲) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



شکل ۱۵- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر فعالیت آنزیم آسکوربات (مرحله ۱) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.



شکل ۱۶- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود ورمی کمپوست بر فعالیت آنزیم آسکوربات (مرحله ۲) رقم زرد زیتون. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.

طور مؤثری توانست قطر ساقه را نسبت به تیمار شاهد در سطح بالاتری نگه دارد (شکل ۲). گسترش تنه (میزان قطر ساقه) یکی از شاخص‌های حساس به تنش خشکی می‌باشد. کاهش ذخیره‌ی آب منجر به کاهش نرخ رشد می‌شود که این به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و نیز کاهش قابلیت سیستم ریشه‌ای در حمایت و عرضه‌ی بدون مانع آب و مواد غذایی به کانوپی و نرخ فتوسنتز پایین‌تر است (Roussos *et al.*, 2010). بر اساس گزارشی (Bhunia and Chkraborty, 2011) عنوان شده است که بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی بستر کشت توسط ورمی کمپوست، دلیل افزایش خصوصیات رشدی گیاه نسبت به تیمار شاهد می‌باشد. جذب بهتر مواد مغذی توسط گیاهان تیمار شده با ورمی کمپوست نشان می‌دهد که بهبود رشد ریشه و یا جذب مواد مغذی در واحد ریشه ممکن است یکی از مکانیسم‌های درگیر در تحریک رشد گیاه باشد (Pant *et al.*, 2009). نتایج نشان می‌دهند که ورمی کمپوست اثر محافظتی خود را در گیاهان برنج قرار گرفته در شرایط تنش، احتمالاً از طریق فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی بین هیومیک اسید و سیستم ریشه‌ای گیاه اعمال می‌کند (Garcia *et al.*, 2014). در گیاهان کلزا دیده شد که تنش خشکی سبب کاهش قطر ساقه و کاربرد کود ورمی کمپوست سبب افزایش این شاخص شد و بیشترین میزان قطر ساقه در تیمار آبیاری کامل و کاربرد کود ورمی کمپوست به دست آمد (رشتبری و علیخانی، ۱۳۹۱).

وزن تر و خشک: در این پژوهش مشاهده شد که کود ورمی کمپوست اثر مثبتی را بر شاخص وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی در شرایط تنش داشته است (شکل‌های ۳ تا ۶). رشد و توسعه‌ی سیستم ریشه‌ای گونه‌های گیاهی مختلف، معیاری جهت تعیین مقاومت به خشکی و پتانسیل تولید در شرایط تنش می‌باشد. بر اساس گزارش کوچکی و علیزاده (۱۳۶۵)، در غلات رشد یافته در شرایط تنش، جریان کمتر آب از ریشه به اندام هوایی سبب کاهش پتانسیل آب برگ، انسداد روزنه، جذب کمتر کربن دی اکسید و در نهایت سبب کاهش رشد ریشه و گیاه می‌شود. با کاهش میزان تعرق و افزایش

که در شرایط بدون تنش، اگرچه هر سه نسبت کودی سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم نسبت به تیمار شاهد شدند ولی با اعمال تنش خشکی تنها دو تیمار ۱۲/۵ و ۲۵٪ سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم شدند (شکل‌های ۱۵ و ۱۶).

بحث:

ارتفاع نسبی: نتایج برهمکنش بین خشکی و ورمی کمپوست نشان داد که کود ورمی کمپوست سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع نسبت به تیمار شاهد در شرایط تنش آبی گردید (شکل ۱). با کاهش فشار تورژانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول، ارتفاع گیاه در تنش خشکی کاهش می‌یابد (Cabuslay *et al.*, 2002). در آزمایشی مشاهده شد که تنش خشکی در سه رقم زیتون (Arbequina، Chetoui و Lechim) de Granada، طویل شدن شاخه را به طور مشخصی مهار کرد (Benlloch-Gonzalez *et al.*, 2008). در این پژوهش مشاهده شد که کاربرد کود ورمی کمپوست بر ارتفاع نسبی اثرات متفاوتی گذاشت. گیاهان در نسبت‌های کم ورمی کمپوست، برای جبران دسترسی کم به مواد مغذی، حجم ریشه‌ی خود را افزایش می‌دهند. در بسترهای حاوی مقادیر بالای ورمی کمپوست به علت مقادیر بالای نمک و یا احتمالاً پاسخ به غلظت بالای هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین و هیومیک اسید تولیدی توسط میکروارگانیسم‌ها، رشد نهال‌ها کاهش می‌یابد (Manh and Wang, 2014). زیرا مواد هیومیکی در غلظت‌های پایین، محرک رشد گیاه می‌باشند (Vaughan and Malcolm, 1985). در این مطالعه به نظر می‌رسد که ورمی کمپوست از طریق قدرت زیاد جذب آب و فراهمی مطلوب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، بر روی میزان فتوسنتز و تولید زیست توده تأثیر مثبت گذاشته و موجب بهبود ارتفاع گیاه شده است. در واقع به دلیل بهبودی که در جذب عناصر معدنی و آب و پیامد آن در فرایند فتوسنتز صورت گرفته بود، ارتفاع افزایش یافت.

قطر نسبی ساقه: نتایج حاصل از برهمکنش بین تیمارها نشان داد که کود ورمی کمپوست در هر دو سطح آبیاری، به

این پارامتر کاهش یافت (Wang et al., 2011). گزارش شده است که در گیاهان برنج رشد یافته در شرایط تنش، کاربرد ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر هیومیک اسید، بعد از گذشت ۲۴ ساعت با کاهش سطوح پراکسید هیدروژن توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (CAT و APX)، باعث افزایش فعالیت آنزیمی و کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها شد (Garcia et al., 2012). هم‌چنین ثابت شده است که مواد هیومیکی روی جذب یون‌ها به درون ریشه به هر دو صورت فعال و غیر فعال اثر گذاشته و در همان زمان این مواد جذب سلول می‌شوند (Vaughan and Malcolm, 1985). بنابراین بررسی کارایی مصرف هیومیک اسید بر تراوایی غشای سلولی و نشت الکترولیت‌ها نشان می‌دهد که اسید هیومیک می‌تواند بر پایداری غشای سلول تأثیر معنی‌داری داشته باشد (رضوانی نسب و همکاران، ۱۳۹۴). گزارش شده است که در دانه‌های خیار و هندوانه، میزان نشت یونی و محتوای دی‌ان‌ای (MDA) در تیمار شاهد به ترتیب حدود ۱۰۲/۳۱٪ - ۴/۴۷٪ و ۴۷/۷۵٪ - ۳۳/۶۹٪ نسبت به بستر حاوی ورمی‌کمپوست بالاتر بود (Zhang and Shang, 2007).

کلروفیل: ورمی‌کمپوست در جلوگیری از کاهش زیاد محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش نقش بسزایی دارد (شکل‌های ۹ و ۱۰). در شرایط تنش خشکی گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن که از ملکول‌های اکسیژن مشتق می‌شوند، در برگ‌ها تجمع می‌یابند که نتیجه‌ی این عمل، اکسیداسیون ترکیبات سلولی مانند نوکلئیک اسیدها، پروتئین‌ها، کلروفیل و چربی‌ها است (Miller et al., 2010). محققان نشان دادند که هیومیک اسید موجود در ورمی‌کمپوست، اثرات تنش را در گیاهان کاهش داده و منجر به افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی می‌شود و در نتیجه میزان کلروفیل را افزایش می‌دهد (رضوانی نسب و همکاران، ۱۳۹۴). دیده شده با کاربرد کود ورمی‌کمپوست محتوای کلروفیل در لیلیوم (*Lilium Longiflorum*) (Mirakalaei et al., 2013) و کلروفیل a و b در تاج خروس (*Amaranthus* sp.) (Uma and Malathi, 2009) افزایش یافت. در دانه‌های گوجه فرنگی رشد یافته تحت شرایط تنش شوری نیز مشاهده گردید

اتلاف حرارت، میزان فتوسنتز خالص کاهش می‌یابد (Chen et al., 2011; Farooq et al., 2009). با کاهش فتوسنتز، تولید ماده‌ی خشک نیز کاهش می‌یابد (Shao et al., 2008). ریشه طی کمبود آب با فرایند تعدیل اسمزی باعث می‌شود آب جذب شده را حفظ کند و اتلاف آب از دیواره‌ی سلولی کاهش یابد (Sharp et al., 2004). تنظیم اسمزی در سیستم ریشه‌ای اجازه می‌دهد تا از آماس سلول نگه‌داری شود و از جدایی ریشه از ذرات خاک اجتناب شود و یا آن را به تأخیر اندازد (Xiloyannis et al., 1997). مواد هیومیکی موجود در ورمی‌کمپوست، مواد سازگار با محیط زیست می‌باشند که با ترمیم خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، باعث بهبود در رشد گیاهان می‌شوند و آنها را در برابر اثرات تنش آبی در تخریب خاک محافظت می‌کنند (Atiyeh et al., 2000). مواد هیومیکی با تحریک تقسیم سلولی و تولید ریشه‌های فرعی، رشد گیاه را (از نظر ارتفاع و وزن تر و خشک) افزایش می‌دهند (Vaughan and Malcolm, 1985) and در شرایط تنش کم‌آبایی در دانه‌های گوجه، تیمار با کود ورمی‌کمپوست، به طور قابل‌توجهی، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره را نسبت به حالت عدم استفاده در گیاهان شاهد افزایش داد (Chinsamy et al., 2014). هم‌چنین اثرات محافظتی هیومیک اسید موجود در ورمی‌کمپوست در دانه‌های برنج در شرایط تنش شوری به اثبات رسیده است (Garcia et al., 2014).

نشت یونی: نتایج هم‌چنین نشان داد که کود ورمی‌کمپوست اثر مثبتی را در کاهش میزان نشت یونی طی تنش خشکی دارد (شکل‌های ۷ و ۸). افزایش تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال (مانند H_2O_2) در شرایط تنش خشکی، باعث القای پاسخ‌های حفاظتی و آسیب سلولی می‌شود. پراکسید هیدروژن منجر به پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه آسیب به غشا و نشت الکترولیت‌ها می‌شود. آسیب به غشا و فرایندهای غشایی با اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید (MDA) و نشت یونی بررسی می‌شود. گزارش شده است که در گیاهان ۲ ساله کیوی (*Actinidia delicos*) بعد از گذشت ۶ روز از تنش خشکی نسبت به روز اول، میزان نشت یونی افزایش و با آبیاری مجدد

آنزیم‌های سم‌زدا می‌باشند که با همکاری آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز در چرخه‌ی گلوکاتایون آسکوربات، رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کنند (Wang *et al.*, 2011). فعالیت این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش کلیدی را در بقای گیاه در شرایط تنش خشکی بازی می‌کند. تعامل هیومیک اسید کود ورمی کمپوست با سیستم ریشه‌ای گیاه، سبب فعال شدن عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود و در نتیجه مقدار رادیکال‌های آزاد را کنترل می‌کند. به نظر می‌رسد که عمل هیومیک اسید با سیستم دفاعی ضد تنش در گیاهان شناسایی می‌شود (Garcia *et al.*, 2012). در گیاهان برنج در شرایط تنش آبی مشاهده شد که هیومیک اسید ناشی از ورمی کمپوست سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و گوایکول پراکسیداز نسبت به حالت عدم استفاده شد. این عمل محافظتی هیومیک اسید منجر به افزایش رشد شد (Garcia *et al.*, 2014). هم چنین در برخی از سبزیجات رشد یافته در شرایط تنش دمایی بالا دیده شده است که، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌های گیاهان کشت شده در بستر حاوی ورمی کمپوست نسبت به شاهد بالاتر بود (Zhang and Shang, 2006; Zhang and Shang; 2007).

نتیجه‌گیری کلی:

با اعمال تنش خشکی مشاهده گردید که ارتفاع، قطر نسبی ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و کلروفیل کل، نسبت به سطح آبیاری کامل، کاهش و میزان نشت یونی، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (در مرحله‌ی دوم نمونه برداری)، کاتالاز و محتوای پرولین افزایش یافت؛ و کاربرد کود ورمی کمپوست سبب کاهش معنی‌دار میزان نشت یونی و نیز افزایش فاکتورهای رشد و مقاومت به تنش خشکی گردید. با وجود اثرات مثبت تیمارهای ۱۲/۵ و ۵۰٪ حجمی کود ورمی کمپوست بر برخی پارامترهای رشد و مقاومت به تنش خشکی، تیمار ۲۵٪ حجمی کود ورمی کمپوست توانست به طور مؤثرتری بر کاهش میزان نشت یونی اثر داشته باشد؛ و نیز از تخریب کلروفیل تحت تنش جلوگیری کند و باعث سنتز بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پرولین نسبت به شاهد گردد. با

که گیاهان تیمار شده با ورمی کمپوست، رنگدانه‌های فتوسنتزی بیشتری نسبت به گیاهان شاهد داشتند (Chinsamy *et al.*, 2013).
پرولین: تجزیه آماری داده‌ها هم‌چنین نشان داد که کاربرد کود ورمی کمپوست اثر مثبتی بر افزایش محتوای پرولین تحت تنش خشکی دارد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). گزارش شده است که کاهش فشار تورژسانس، اولین دلیل برای تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی می‌باشد (Franco *et al.*, 2006). در شرایط تنش خشکی، اسیدآمینو پرولین برای سازگاری با شرایط اسمزی، از تخریب پروتئین‌ها سنتز می‌شود؛ و گزارش شده است که پرولین نقش مهمی را در تعادل اسمزی گیاه تحت تنش خشکی بازی می‌کند (Fedina *et al.*, 2002). برای مقاومت به تنش‌های غیرزنده، بسیاری از گیاهان با افزایش سنتز و ذخیره‌سازی پرولین، پتانسیل اسمزی خود را افزایش می‌دهند (Liu *et al.*, 2013). کاربرد کود ورمی کمپوست، در غلظت ۴:۷ (خاک-ورمی کمپوست) نسبت به بستر تمام خاک (۰:۷)، ۱۶ اسید آمینو ضروری گیاه به خصوص گلوتامات و آرژینین را که هر دو جزء پیشسازهای تولید پرولین می‌باشند، در برگ‌های کلم چینی تحت تنش خشکی به طور قابل توجهی افزایش داد. بنابراین افزایش تجمع پرولین توانست سبب افزایش تحمل کلم چینی به تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی شود (Wang *et al.*, 2010). در گل گاوزبان تیمار شده با کود ورمی کمپوست نیز مشاهده شده است که بیشترین محتوای پرولین در سطوح تنش بالا (۶۰٪ ظرفیت زراعی) و کمترین میزان در تیمار آبیاری کامل (شاهد-عدم کاربرد کود ورمی کمپوست)، وجود دارد (قلی نژاد، ۱۳۹۳).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: نتایج نشان داد که کاربرد کود ورمی کمپوست به طور مؤثری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد (شکل‌های ۱۳ تا ۱۶). تنش خشکی با آسیب رساندن به رنگدانه‌های کلروفیل و سیستم انتقال الکترون فتوسنتز، منجر به تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود. گیاهان برای مقابله با اثرات نامطلوب گونه‌های اکسیژن فعال، سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی را توسعه می‌دهند (Wu *et al.*, 2012). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپر اکسید دیسموتاز، گوایکول پراکسیداز و کاتالاز، مهمترین

تشکر و سپاسگزاری:

بجا و شایسته است از دانشگاه صنعتی اصفهان و اساتید بزرگوار، به دلیل حمایت‌های بی‌شائبه‌ی آنها در اجرای این پروژه، تشکر و قدردانی نمایم.

توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد کود ورمی‌کمپوست به خصوص در نسبت ۲۵٪ حجمی بر قلمه‌های یک‌ساله‌ی ریشه‌دار شده‌ی رقم زرد زیتون در شرایط تنش خشکی، منجر به بهبود وضعیت رشدی گیاه گردید.

منابع:

- رشتبری، م. و علیخانی، ح. (۱۳۹۱) تاثیر و کارایی کمپوست زباله شهری و ورمی‌کمپوست بر روی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲: ۱۱۳-۱۲۷.
- رضوانی نسب، ا. فتوت، ر. آستارائی، ع. و آبادی پور، ا. ت. (۱۳۹۴) تاثیر دو ساله روشهای اعمال اسید هیومیک بر رشد و ترکیب شیمیایی نهال‌های پسته در شرایط مزرعه. چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران-شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه. ۱۰۷۶-۱۰۷۲.
- قلی‌نژاد، ر. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی، کود کمپوست و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات کمی و کیفی گاوزبان (*Borago officinalis*). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل. ایران.
- کوچکی، ع. و عزیزاده، ا. (۱۳۶۵) اصول زراعت در مناطق خشک. (ترجمه). انتشارات آستان قدس رضوی.
- Ahmad, P. Jamsheed, S. Hameed, A. Rasool, S. Sharma, I. Azooz, M. and Hasanuzzaman, M. (2014) Drought Stress Induced Oxidative Damage and Antioxidants in Plants. Elsevier, New York. pp. 345-367.
- Ali, A. Ali, Z. Quraishi, U. M. Kazi, A. G. Malik, R. N. Sher, H. and Mujeeb-Kazi, A. (2014) Integrating physiological and genetic approaches for improving drought tolerance in crops. Emerging technologies and management of crop stress tolerance 2: 315-345.
- Arancon, N. Edwards, C. Bierman, P. Welch, C. and Metzger, J. (2004) Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource technology 93: 145-153.
- Ashraf, M. Akram, N. Arteca, R. and Foolad, M. (2010) The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. Critical Reviews in Plant Sciences 29: 162-190.
- Atiyeh, R. Edwards, C. Subler, S. and Metzger, J. (2001) Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. Bioresource technology 78: 11-20.
- Atiyeh, R. Subler, S. Edwards, C. Bachman, G. Metzger J. and Shuster W. (2000) Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. Pedobiologia 44: 579-590.
- Bartolucci, P. Raj Dhakal, B. and Kumar Shrestha, D. (1999) Prospects for Olive Growing in Nepal. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Kathmandu. 65p.
- Bates, L. Waldren, R. and Teare, I. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil 39: 205-207.
- Benlloch-González, M. Arquerro, O. Fournier, J. M. Barranco, D. and Benlloch, M. (2008) K⁺ starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure. Journal of plant physiology 165: 623-630.
- Bhunja, G. and S. Chakraborty, K. (2011) The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. Journal of Horticulture and Forestry 3: 42-45.
- Cabuslay, G. Ito, S. O. and Alejar, A. A. (2002) Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Science 163: 815-827.
- Chen, W. Yao, X. Cai, K. and Chen, J. (2011) Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption Biological trace element research 142: 67-76.
- Chinsamy, M. Kulkarni, M. G. and Van Staden, J. (2013) Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. Plant Growth Regulation 71: 41-47.
- Chinsamy, M. Kulkarni, M. G. and Van Staden, J. (2014) Vermicompost leachate reduces temperature and water stress effects in tomato seedlings. Hortscience 49: 1183-1187.
- Denaxa, N. K. Roussos, P. A. Damvakaris, T. and Stournaras, V. (2012) Comparative effects of exogenous glycine betaine, kaolin clay particles and Ambiol on photosynthesis, leaf sclerophylly indexes and heat load of olive cv. Chondrolia Chalkidikis under drought. Scientia Horticulturae 137: 87-94.
- Farooq, M. Wahid, A. and Lee, D. J. (2009) Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. Acta Physiologiae Plantarum 31: 937-945.

- Fayez, K. A. and Bazaid, S. A. (2014) Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 13: 45-55.
- Fedina, I. Georgieva, K. and Grigorova, I. (2002) Light-dark changes in proline content of barley leaves under salt stress. *Biologia plantarum* 45: 59-63.
- Franco, J. Martínez-Sánchez, J. Fernández, J. and Bañón, S. (2006) Selection and nursery production of ornamental plants for landscaping and xerogardening in semi-arid environments. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81: 3-17.
- García, A. C. Santos, L. A. Izquierdo, F. G. Rumjanek, V. M. Castro, dos Santos, F. S. de Souza, L. G. A. and Berbara, R. L. L. (2014) Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Journal of Geochemical Exploration* 136: 48-54.
- García, A. C. Santos, L. A. Izquierdo, F. G. Sperandio, M. V. L. Castro, R. N. and Berbara, R. L. L. (2012) Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. *Ecological Engineering* 47: 203-208.
- Hosseini-Mazinani, M. Torkzaban, B. and Arab J. (2013) Iranian Olive Catalogue: Morphological and Molecular Characterization of Iranian Olive Germplasm. Tehran: NIGEB.
- Huberman, M. Riov, J. Aloni, B. and Goren, R. (1997) Role of ethylene biosynthesis and auxin content and transport in high temperature-induced abscission of pepper reproductive organs. *Journal of Plant Growth Regulation* 16: 129-135.
- Ikemura, Y. (2007) Remote sensing of drought and salinity stressed turfgrass. PhD diss. New Mexico State University.
- Ishibashi, Y. Yamaguchi, H. Yuasa, T. Iwaya-Inoue, M. Arima, S. and Zheng, S.-H. (2011) Hydrogen peroxide spraying alleviates drought stress in soybean plants. *Journal of plant physiology* 168: 1562-1567.
- Joshi, R. Singh, J. and Vig, A. P. (2015) Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 14: 137-159.
- Lei, Y. Yin, C. and Li, C. (2006) Differences in some morphological, physiological and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum* 127: 182-191.
- LI, R. H. Guo, P. G. Michael, B. Stefania, G. and Salvatore, C. (2006) Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China* 5: 751-757.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. PP. 350-382. In: R. Douce L. Packer (eds). *Methods in Enzymology*. Academic Press Inc, New York.
- Liu, H. Zhang, Y.-H. Yin, H. Wang, W. X. Zhao, X. M. and Du, Y. G. (2013) Alginate oligosaccharides enhanced *Triticum aestivum* L. tolerance to drought stress. *Plant physiology and biochemistry* 62: 33-40.
- Lutts, S., J. Kinet and J. Bouharmont. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78: 389-398.
- Manh, V. H. and C. H. Wang. (2014) Vermicompost as an important component in substrate: effects on seedling quality and growth of muskmelon (*Cucumis melo* L.). *APCBEE Procedia* 8: 32-40.
- Miller, G. Suzuki, N. Ciftci-Yilmaz, S. and Mittler, R. (2010) Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, cell & environment* 33: 453-467.
- Mirakalaei, S. Ardebil, Z. and Mostafavi, M. (2013) The effects of different organic fertilizers on the growth of lilies (*Lilium longiflorum*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 4: 181-186.
- Ohashi, Y. Nakayama, N. Saneoka, H. and Fujita, K. (2006) Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum* 50: 138-141.
- Ortiz, N. Armada, E. Duque, E. Roldan, A. and Azcón, R. (2015) Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of plant physiology* 174: 87-96.
- Pant, A. P. Radovich, T. J. Hue, N. V. Talcott, S. T. and Krenek, K. A. (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 fertiliser. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 2383-2392.
- Proietti, P. Nasini, L. Del Buono, D. D'Amato, R. Tedeschini, E. and Businelli, D. (2013) Selenium protects olive (*Olea europaea* L.) from drought stress. *Scientia Horticulturae* 164: 165-171.
- Rashtbari, M. Alikhani, H. and Ghorchiani, M. (2012) Effect of vermicompost and municipal solid waste compost on growth and yield of canola under drought stress. *International Journal of Agriculture: Research and Review* 2: 395-402.
- Roussos, P. A. Denaxa, N. K. Damvakaris, T. Stournaras, V. and Argyrokastritis, I. (2010) Effect of alleviating products with different mode of action on physiology and yield of olive under drought. *Scientia horticulturae* 125: 700-711.
- Shao, H. B. Chu, L. Y. Jaleel, C. A. and Zhao, C. X. (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologiques* 331: 215-225.
- Sharp, R. E. Poroyko, V. Hejlek, L. G. Spollen, W. G. Springer, G. K. Bohnert, H. J. and Nguyen, H. T. (2004) Root

- growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany* 55: 2343-2351.
- Therios, I. 2009. *Olives*. London, UK. 426 p.
- 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: 1054-1060.
- Vaughan, D. and Malcolm, R. (1985) Influence of humic substances on growth and physiological processes. Soil organic matter and biological activity. *Developments in Plant and Soil Sciences* 16: 37-75.
- Wang, D. Shi, Q. Wang, X. Wei, M. Hu, J. Liu, J. and Yang, F. (2010) Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*). *Biology and fertility of soils* 46: 689-696.
- Wang, Y. Ma, F. Li, M. Liang, D. and Zou, J. (2011) Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. *Plant Growth Regulation* 64: 63-74.
- Wu, H. Wu, X. Li, Z. Duan, L. and Zhang, M. (2012) Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in cauliflower (*Brassica oleracea* L.) seedlings treated with methyl jasmonate and coronatine. *Journal of plant growth regulation* 31: 113-123.
- Xiloyannis, C. Dichio, B. Nuzzo, V. and Celano, G. (1997) Defence strategies of olive against water stress. In III International Symposium on Olive Growing 474: 423-426.
- Zhang, Z. G. and Shang, Q. M. (2006) Studies on heat tolerance of solanaceous vegetable plug seedling with vermicompost-based substrate. *Journal of Shenyang Agricultural University* 37: 404.
- Zhang, Z. and Shang, Q. (2007) Studies on heat tolerance of cucumber and watermelon plug seedling with vermicompost-based substrate. *Chinese Academy of Agricultural Sciences* : 164-168.

Effect of vermicompost fertilizer on growth and drought tolerance of Olive (*Olea europaea* L. cv. Zard)

Seyedeh Zahra Mousavi Dehmordy, Mahdiyeh Gholami* and Bahram Baninasab

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Isfshsn University of Technology.
(Received: 12/12/ 2016, Accepted: 12/04/2017)

Abstract:

Drought is one of the most frequent abiotic stresses. Use of chemical fertilizers results in pollution of soil, water and air. Harmful effects of chemical fertilizers have shifted the interests towards organic amendments. Vermicompost is an organic fertilizer which has a potential influence on plant growth as well as stress tolerance. Olive (*Olea europaea* L.) yield is strongly reduced under dry conditions. Thus, a greenhouse experiment was conducted in 2015 in horticultural greenhouses of Isfahan University of technology to study the effect of vermicompost on growth and drought tolerance of olive cuttings cultivar Zard. The experiment was set up as factorial experiment in completely randomized design with two factors, including vermicompost application at four levels (0, 12.5%, 25% or 50%) and drought stress at two levels (full irrigation or non-irrigation) and 4 replications. The results showed that drought stress decreased plant height, relative leaf number, relative stem diameter and shoot and root fresh and dry weights, but addition of vermicompost increased vegetative growth parameters significantly compared to the plants cultivated in unamended soil. Water stress treatment decreased the total chlorophyll and increased ion leakage, ascorbat peroxidase (38 days after withholding irrigation) and catalase activity and proline content and application of vermicompost significantly decreased ion leakage. Although, all three vermicompost levels continued to be effective in increasing vegetative growth and drought tolerance indexes (such as root dry and fresh weight), 25% vermicompost treatment was numerically superior to others, increased chlorophyll and proline contents and antioxidant enzyme activity, but decreased ion leakage from leaves and improved morphological characteristics of plant.

Key words: Antioxidants, Water deficit stress, Organic fertilizer, Humic acid.

mah.gholami@cc.iut.ac.ir