اثر کود دامی و ورمی‌کمپوست بر کاهش اثر تنش شوری در درخت پر (*Cotinus coggygria* Scop.)

علی مقیمی بنادکوکی[۱]، مریم دهستانی اردکانی*[۱]، مصطفی شیرمردی[۱] و علی مؤمن‌پور[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، [۲] هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۳/۰۸)

چکیده

درخت پر با نام علمی *Cotinus coggygria* Scop. از درختچه‌های جذاب زینتی فضای سبزی بوده و دارای خواص دارویی فراوان است. در پژوهش حاضر اثر کود گاوی و ورمی‌کمپوست بر کاهش اثر تنش شوری در درخت پر بررسی شد. آزمایش در گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، شامل سه بستر کشت (خاک زراعی، ۸۰٪ خاک زراعی+۲۰٪ ورمی‌کمپوست و ۸۰٪ خاک زراعی+۲۰٪ کود گاوی کاملاً پوسیده) و سه سطح شوری آب آبیاری (۱، ٤ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر)، در سه تکرار بود. براساس نتایج بیشترین وزن تر و خشک کل برگ در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار کود گاوی حاصل شد. بیشترین وزن تر و خشک ریشه در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ورمی کمپوست به‌دست آمد. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ورمی‌کمپوست حاصل شد. بیشترین میزان جذب سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر و در بستر کشت حاوی ورمی‌کمپوست مشاهده شد. استفاده از کود گاوی و ورمی‌کمپوست در سطوح شوری مختلف باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز نسبت به خاک زراعی شد. به‌طور کلی استفاده از کود گاوی و ورمی‌کمپوست توانست خصوصیات رشدی گیاه و جذب عناصر غذایی را در شرایط شور نسبت به خاک زراعی بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده‌های آلی، آنزیم، خصوصیات رشدی، سدیم، کلر

مقدمه

درخت پر با نام علمی *Cotinus coggygria*، به درخت دود (smoke tree) نیز معروف است. این گیاه پراکندگی گسترده‌ای از جنوب اروپا، مدیترانه، مولداوی و قفقاز تا چین مرکزی و هیمالیا دارد (Novakovic *et al.*, 2007). رنگ ارغوانی برگ‌های آنها درنتیجه تجمع آنتوسیانین در پاسخ به نور UV (٤۰۰–۳۰۰ نانومتر) و دمای سرد (۹–٤ درجه سانتی‌گراد) است (Oren-Shamir and Levi-Nissim, 1997). در نیمکره شمالی، گل‌های این درخت در تابستان ظهور پیدا می‌کند و دانه در تابستان تشکیل می‌شود. ارقام مختلف *C. coggygria* گزینه مناسبی برای فضای سبز، شامل بام سبز هستند. آنها مقاومت به سرمای متوسط نشان می‌دهند (Fan and Wang, 2011).

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در کشاورزی بوده که حدود ۲۰ درصد از کل خشکی‌های زمین و نیمی از

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mdehestani@ardakan.ac.ir

زمین‌های فاریاب با آن دست به گریبان هستند (Silva and Geros, 2009). شورشدن خاک امری اجتناب‌ناپذیر بوده که به‌عنوان یک مشکل عمده به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است (Flowers *et al.*, 2010). تخمین زده می‌شود که سالانه حدود ٤-۲ هزار هکتار از زمین‌های آبیاری‌شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک در جهان در اثر تجمع بیش از حد املاح غیرقابل کشت می‌شوند (Qadir *et al.*, 2014; Saadatmand *et al.*, 2007). تنش شوری می‌تواند تنش‌های اسمزی و یونی را در گیاه القا کند که این تنش‌ها به‌نوبه خود اثراتی ویرانگر بر رشد و نمو گیاه دارند (Parida and Dos, 2005). گیاه در این شرایط دچار تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی می‌شود که از جمله این تغییرات می‌توان به کاهش رشد، بسته‌شدن روزنه‌ها، تنظیم اسمزی، جداسازی و خروج یون‌های مضر از سیتوسول و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اشاره نمود. در این شرایط اختلال در کارکرد دستگاه فتوسنتزی، افزون بر محدودیت تثبیت کربن، منجر به تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن نیز می‌گردد که آسیب‌های اکسیداتیو را در پی دارد (Munns and Tester, 2008; Pang and Wang, 2008).

اصلاح زمین‌های شور پرهزینه و زمان‌بر است، از این‌رو معرفی گیاهان متحمل به شوری گزینش‌شده راهکاری کارآمد و در راستای اهداف کشاورزی پایدار است که می‌تواند به حفظ عملکرد در چنین محیط‌هایی کمک نماید (Ondrasek *et al.*, 2012).

با توجه به اینکه میزان مواد آلی خاک‌های کشور کمتر از یک درصد است و این امر معلول مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به‌خصوص کودهای نیتروژنه و عدم‌استفاده از کودهای آلی در چند سال اخیر است (Hassanzade, 2007). یک راه‌حل برای افزایش مقدار مواد آلی خاک، استفاده از کودهای آلی از قبیل کود حیوانی، کود سبز و ورمی‌کمپوست است (Hassanzade, 2007). اگرچه با مصرف کودهای شیمیایی میزان زیادی از عناصر غذایی به خاک افزوده می‌شوند، اما گیاهان قادر به جذب تمام این مواد نبوده و تجمع این مواد در خاک طی چندین سال سبب مشکلاتی نظیر آلودگی‌های زیست‌محیطی، انباشت نمک‌ها و تغییر pH خاک و درنتیجه کاهش باروری، ایجاد کمپلکس‌های نامطلوب، کاهش میزان کربن آلی، کاهش تنوع زیستی و فرسایش ژنتیکی شده است (Hassanzade, 2007). ثابت شده است که مواد اصلاح‌کننده خاک و مواد آلی می‌توانند اثر تنش شوری بر محصولات را کاهش دهند (Ouni *et al.*, 2014). شواهد نشان داده است که کاربرد به‌اندازه کود دامی، نه تنها مواد غذایی گیاه را تأمین می‌کند، بلکه حاصلخیزی خاک را نیز افزایش می‌دهد. این امر موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و درنهایت بر کمیت و کیفیت عملکرد محصولاتی مانند زعفران تأثیر می‌گذارد (Koocheki *et al.*, 2006). اثر کود دامی به بهبود خواص فیزیکی خاک مانند تهویه، ظرفیت نگهداری آب، تعادل عناصر غذایی و در دسترس‌بودن آنها برای گیاه در محلول خاک و بهبود تبادل عناصر عذایی در خاک مربوط می‌شود (Zebarth *et al.*, 1999).

ورمی‌کمپوست یک کود آلی زیستی است که از طریق تبدیل ضایعات آلی، طی یک فرایند غیرگرمادوست توسط عمل مشترک کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌های خاک تولید می‌شود (Joshi *et al.*, 2015) و با داشتن مقادیر زیادی مواد هیومیکی یک کود زیستی محرک رشد گیاه است (Garcia *et al.*, 2012). بسیاری از تحقیقات تأیید کرده‌اند که کود ورمی‌کمپوست اثرات مثبتی روی رشد گیاه دارد. افزودن ورمی‌کمپوست و ورمی‌واش به خاک اثر تنش شوری را بر پارامترهای رشدی و خصوصیات غده در گیاه سیب‌زمینی کاهش داد (Perez-Gomez *et al.*, 2017). موسوی و همکاران (۱۳۹۷) اثر کود ورمی‌کمپوست بر رشد و تحمل به تنش خشکی درخت زیتون رقم "زرد" را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تنش قطع آبیاری، سبب کاهش و کاربرد کود ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار فاکتورهای رشد رویشی شد. Beykkhormizi و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که استفاده از عصاره ورمی‌کمپوست موجب بهبود جوانه‌زنی و رشد رازیانه‌های در معرض تنش شوری شد. تحت تنش

شوری محتوای پتاسیم ریشه رازیانه‌های تیمارشده با ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد بیشتر بود. ورمی‌کمپوست همچنین باعث افزایش میزان کلسیم ریشه در گیاهان تحت تنش شد. به‌طور کلی، ورمی‌کمپوست توانست اثرات تنش شوری را در رازیانه کاهش دهد.

کلهر و همکاران (۱۳۹۷) اثر سطوح مختلف شوری و اصلاح‌کننده‌های آلی (کود گاوی، ورمی‌کمپوست و جلبک دریایی) بر برخی شاخص‌های رشدی، میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) را بررسی کردند. بیشترین سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاهانی که با کود گاوی در هدایت الکتریکی (EC) برابر با ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر تیمار شده بودند، به‌دست آمد. مواد آلی در خاک به‌طور معنی‌داری خصوصیات رشدی همیشه‌بهار را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. کود گاوی، در مقایسه با سایر تیمارها خصوصیات رشدی بهتری نشان دادند. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که اگرچه همیشه‌بهار در حالت عادی قادر به تحمل شوری تا ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر است اما در صورت استفاده از بستر کشت مناسب آستانه تحمل گیاه تا ۱۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر افزایش خواهد یافت.

با توجه به کاربرد درخت پر در فضای سبز و نیز گسترش اراضی و آب‌شور، خصوصاً در مناطق خشک و کویری مانند استان یزد، مدیریت شوری در بخش کشاورزی به‌ویژه در فضای سبز شهری حائز اهمیت است. لذا، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کودهای آلی شامل کود گاوی و ورمی‌کمپوست بر کنترل شوری و رشد گیاه در شرایط آب شور بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر طی سال ۱۳۹٦ در گلخانه تحقیقاتی شهرداری یزد انجام شد. اواسط اردیبهشت ۱۳۹٦ گیاهان ریشه‌دار دو ساله رقم 'Royal purple' از یکی از نهالستان‌های شهرستان کرج (مجتمع کشت گلخانه‌ای بهشتی) تهیه شدند و به گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی با ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر حاوی بسترهای کشت جدید (خاک زراعی، ۸۰٪ خاک زراعی+۲۰٪ ورمی‌کمپوست، ۸۰٪ خاک زراعی+ ۲۰٪ کود گاوی کاملاً پوسیده) در داخل گلخانه انتقال داده شدند. شدت نور گلخانه در ساعت ۱۲ ظهر در محدوده ٤۰۰۰ – ۱۵۰۰ لوکس بود. میانگین دمای شبانه گلخانه ٤ ± ۱٦ و میانگین دمای روزانه ٤ ± ۲٤ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. رطوبت گلخانه با استفاده از آبیاری کف گلخانه و بازکردن دریچه‌های جانبی و سقف گلخانه تا حد امکان تنظیم شد و میزان رطوبت بین ۵۰ تا ۷۰ درصد در نوسان بود. این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌اجرا در آمد. فاکتورهای این آزمایش شامل نوع بستر کشت در سه سطح (خاک زراعی، ۸۰٪ خاک زراعی+۲۰٪ ورمی کمپوست، ۸۰٪ خاک زراعی+ ۲۰٪ کود گاوی کاملاً پوسیده) و شوری آب آبیاری در سه سطح شامل ۱، ٤ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر بود که هر تیمار با سه تکرار انجام شد. به‌منظور اعمال تیمارهای شوری ۱، ٤ و۷ دسی‌زیمنس بر متر، از آب بسیار شور منطقه چاه افضل اردکان، استفاده شد.

برخی از ویژگی‌های خاک شامل بافت، pH، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، ماده آلی، فسفر قابل جذب، نیتروژن کل و پتاسیم قابل جذب در نمونه خاک اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی خاک، کود دامی و ورمی‌کمپوست در جدول ۱ آورده شده است. کود گاوی و ورمی‌کمپوست قبل از کشت به نسبت ۲۰ درصد حجمی گلدان با خاک مورد استفاده کاملاً مخلوط شدند.

پس از سازگاری گیاهان با شرایط جدید، تیمار شوری از ابتدای تیر ماه ۹٦ آغاز و به‌مدت سه ماه ادامه یافت. به‌منظور اجتناب از ایجاد شوک ناگهانی و پلاسمولیز، اعمال تیمارهای شوری به‌صورت تدریجی انجام و درمدت یک هفته به غلظت نهایی رسانده شد. بدین منظور ابتدا گیاهان با تیمار ۱ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند و برای اعمال تیمارهای شوری با غلظت ۷ دسی‌زیمنس بر متر در مرتبه دوم گیاهان با

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، کود گاوی و ورمی‌کمپوست مورد استفاده

خصوصیات	ورمی‌کمپوست	کود گاوی	خاک
عصاره اشباع pH	۷	۷/۹	۷/۱
EC عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	۱	۰/٦	۳/٤
نیتروژن کل (٪)	۰/۸	۱/۱	۰/۰٦
فسفر (ppm)	۸۰۰۰	۲۰۰۰۰	٥/٦
پتاسیم (ppm)	۱۰۰۰۰	۳۷۰۰	۱٤٤
ماده آلی (٪)	٤۰	۲۳	۰/۱۹
بافت	–	–	لوم- رسی- شنی

EC در کود گاوی و ورمی‌کمپوست در نسبت ۱:۱۰ کود به آب گزارش شد.

تیمار ۷ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹٤). میزان رطوبت خاک گلدان‌ها در سطح ظرفیت مزرعه (Field Capacity) در نظر گرفته شد که قبل از انتقال گیاهان به گلدان به کمک دستگاه صفحه فشار (F1, USA) تعیین شد. برای این منظور ابتدا وزن خاک خشک گلدان‌ها، نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی تعیین شد. مقداری خاک خشک را کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. صفحه متخلخل که قبلاً اشباع شده را در محفظه به‌مدت ۲٤ ساعت قرار داده شد. یک کاغذ صافی روی صفحه متخلخل قرار داده و حلقه‌ها روی کاغذ صافی گذاشته و حلقه‌ها با خاک پر شد. از پایین حلقه‌ها توسط آبفشان به نمونه‌ها آب داده تا سطح خاک خیس شد. درب محفظه را بسته و فشار دستگاه روی ۰/۲ اتمسفر تنظیم شد. به محض اعمال فشار بر نمونه خاک‌ها از لوله خروجی دستگاه آب اضافی بیرون ریخته شد. کاغذ صافی را از نمونه جدا کرده و خاک وزن شد. نمونه داخل آون در دمای ۱۰۵ الی ۱۱۰ درجه قرار داده شد و بعد از ۲٤ ساعت نمونه را از آون خارج کرده و مجدداً وزن شد. درصد رطوبت زراعی از رابطه ۱ به‌دست آمد (Klute, 1986).

رابطه ۱:

$$\text{درصد رطوبت در ظرفیت زراعی} = \frac{(\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک تر})}{\text{وزن خاک خشک}} \times 100$$

زمانیکه ۵۰ درصد آب قابل‌استفاده گیاه مصرف شد، مجدداً آبیاری تا سطح ظرفیت مزرعه انجام شد. آبیاری گلدان‌ها با توجه به تغییرات وزن آنها و لحاظ نیاز آبشویی انجام شد. کسر آبشویی در این تحقیق ۳۰ درصد در نظر گرفته شد به‌طوریکه در طول دوره آزمایش سعی شد تا EC آب خروجی (زه‌آب) دو برابر EC آب ورودی باشد. به‌منظور اطمینان از انجام نیاز آبشویی خاک گلدان‌ها، پس از هر مرتبه آبیاری، زه‌آب تعدادی از گلدان‌ها به‌طور تصادفی جمع‌آوری و هدایت الکتریکی و pH آنها اندازه‌گیری شد (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹٤).

پس از سه ماه اعمال تنش و در پایان دوره آزمایش در مهرماه، وزن تر و خشک برگ، ریشه، اندام هوایی و کل گیاه، میزان نشت یونی، جذب عناصر سدیم، کلر و پتاسیم و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز مورد ارزیابی قرار گرفت. کل نهال با حذف ریشه از ناحیه طوقه جدا و وزن تر ریشه، برگ و اندام هوایی یادداشت شد و سپس به‌مدت ٤۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد جهت اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی قرار داده شد. شاخص سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (Spad) مدل (CCM-200) اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، ۲ میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل مقداری از عصاره حاوی ۵۰ میلی‌گرم پروتئین (این مقدار با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد)، ۵ میلی‌مولار گوئیکول و مقدار کافی بافر فسفات ۲۵ میلی‌مول pH ۷ مخلوط شد تا به حجم نهایی ۲ میلی‌لیتر برسد. دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CECIL 9500 ساخت انگلیس) با استفاده از این مخلوط در طول‌موج ٤۷۰ نانومتر صفر گردید. سپس ۵

میکرولیتر هیدروژن پراکسید (H_2O_2) ۳۰ درصد به این مخلوط اضافه شد و سریعاً تغییرات جذب نور به فواصل ۱۰ ثانیه، به‌مدت یک دقیقه اندازه‌گیری شد. مقدار فعالیت آنزیم بر حسب تغییرات جذب نور بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان شد (ΔOD /Min./mg. protein) (Reuveni *et al.*, 1995).

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مخلوط واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۷) و هیدروژن پراکسید ۱۵ میلی‌مولار بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز گردید. تغییرات جذب در ۲٤۰ نانومتر به‌مدت سه دقیقه کاتالاز براساس میلی‌مولار هیدروژن پراکسید در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین (ΔOD /Min./mg. protein) ثبت شد (Dazy *et al.*, 2008).

پس از خاکستر‌کردن مواد گیاهی و تهیه عصاره گیاهی، غلظت عنصر پتاسیم با رقیق‌کردن عصاره اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم در گیاه با دستگاه فیلم فتومتر (PFP7 Jenway، ساخت آلمان) تعیین گردید (امامی و زواره، ۱۳۸٤). برای اندازه‌گیری کلر ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت گیاهی پودرشده درون فالکن ریخته و پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۰/۵ مولار و قراردهی به‌مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک‌کن، عصاره‌گیری انجام شد. مقدار ۱ میلی‌لیتر از عصاره برای اندازه‌گیری کلر طبق روش رنگ‌سنجی در طول‌موج ٤۸۰ نانومتر توسط دستگاه Epoch (مدل LMS-1003, USA) استفاده شد (Munns *et al.*, 2010). میزان جذب عناصر نیز با استفاده از غلظت عناصر و محاسبه وزن خشک اندام‌های هوایی محاسبه گردید (Zhu *et al.*, 2017).

جهت اندازه‌گیری درصد نشت یونی مقدار ۰/۲ گرم برگ تازه وزن شد. نمونه‌ها جهت پاک‌شدن آلودگی سطحی سه بار با آب‌مقطر شسته شد. پس از آن نمونه‌ها داخل فالکون‌های شیشه‌ای حاوی ۱۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر به‌مدت دو ساعت در دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس قرار گرفت. بعد از آن هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) با دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. سپس همان نمونه‌ها در آون با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و پس از سردشدن در دمای اتاق هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) اندازه‌گیری شد. درصد نشت یونی با رابطه ۲محاسبه گردید (Ezhilmathi *et al.*, 2007).

رابطه ۲: $\text{درصد نشت یونی} = (EC_1/EC_2)\times 100$

جهت محاسبه درصد آسیب‌دیدگی غشا، نیم گرم برگ از هر گیاه جداگانه وزن و در داخل ویال‌های شیشه‌ای ریخته و ۲۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر به آنها اضافه شد. نمونه‌ها به‌مدت ۲٤ ساعت درون شیکر با دمای ۲٤ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار گرفت و سپس میزان هدایت الکتریکی اولیه (L1)، آنها به‌وسیله دستگاه EC متر دیجیتالی (مدل Metrohm 644) اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها به‌مدت یک ساعت در حمام آب‌گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و مجدداً به‌مدت دو ساعت شیک شده و میزان هدایت الکتریکی نهایی (L2) آنها اندازه‌گیری شد. درصد آسیب‌دیدگی غشا سلولی از طریق رابطه ۳ محاسبه شد:

رابطه ۳:

$$\text{درصد آسیب‌دیدگی} = 1-[1-(T1/T2)/1-(C1/C2)]\times 100$$

که در این رابطه T1 و T2 به‌ترتیب هدایت الکتریکی اولیه و نهایی در نمونه‌های تحت تیمار شوری و C1 و C2 به‌ترتیب هدایت الکتریکی اولیه و نهایی در نمونه‌های شاهد است (Blum and Ebercon, 1981).

تجزیه آماری به‌وسیله نرم‌افزار SAS 9.2 صورت گرفت. به‌منظور تعیین سطح معنی‌داری شاخص‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر برگ از تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد. میانگین‌ها داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک ساقه، برگ، ریشه، اندام هوایی و کل گیاه: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر شوری، بستر کشت و اثر متقابل آنها بر وزن تر و خشک برگ، ریشه، کل گیاه و اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بیشترین وزن تر و خشک ریشه و کل گیاه در شوری ٤

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری و بستر کشت بر وزن تر و خشک برگ، ریشه، اندام هوایی و کل گیاه درخت پر

منابع تغییرات	df	میانگین مربعات							
		وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر کل گیاه	وزن خشک کل	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام
شوری	۲	۳۰٤۰/۳٤**	٤٥۸/۹۰**	۱۳۰٥٥/۸٦**	۲۷٦۲/۸۲**	۲٥۳۰٦/٦٤**	۷۷۰۳/۷۸**	٥٤٤۲/۷۷**	۱٥۳۸/۸۸**
بستر کشت	۲	٤٦۸/۲۱**	۸۳/۹۹**	۹۲٦۳/۱۸**	۱٤٤٤/٤۷**	۱۷۹۰۰/۹۰**	۳٦۳٦/۱۹**	۱٤٥۰/٥۸**	٤۹۷/۰٥**
شوری × بستر کشت	٤	۱۱۲۳/٤٤**	۲٥۷/۱٦**	۹۹۹۰/٦۳**	۱٦۱٦/۸۹**	٤۲۲۷۸/۱۷**	۹۱۱۱/۷۲**	۱٦۳۸۹/۸۲**	٤٦۷٦/۲۲**
خطا	۱۸	۰/۱۷	۰/۱٦	۰/۲۸	۰/۲۸	۲/۳۳	۲/۲۹	۱/۱۰	۱/۱۳
(%) CV		۱/۲٦	۲/٤۹	۰/۳۱	۰/۷۷	۰/٤۲	۰/۸۹	۰/٥۷	۱/۰٥

**** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری**

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و بستر کشت بر وزن تر و خشک برگ، ریشه، اندام هوایی و کل درخت پر

بستر کشت	شوری (ds/m)	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر کل گیاه	وزن خشک کل گیاه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی
		(g)							
خاک زراعی		٤٦/۸۰^{b}	۲۰/٤۸^{c}	۱۹۳/۳٦^{d}	۷۹/٥۳^{b}	٤۲٤/۸۰^{c}	۲۰٤/٤۸^{c}	۲۳۱/٤۳^{c}	۱۲٤/۹٤^{b}
ورمی‌کمپوست	۱	۲۹/۱٦^{f}	۱۲/٥۲^{f}	۱۲٤/٤۰^{g}	٥٥/٥۳^{e}	۲۷٥/۸٦^{g}	۱۳۸/۳۹^{f}	۱٥۱/٤٦^{f}	۸۲/۸٦^{f}
کود گاوی		۷۸/۷٦^{a}	۳۳/۷۷^{a}	۱٦٥/۷٥^{e}	۷۸/٦۳^{b}	٤۰۰/۸۹^{d}	۲۰۳/۰۷^{c}	۲۳٥/۱۳^{b}	۱۲٤/٤۳^{b}
خاک زراعی		۲۲/٦۰^{g}	۱٤/٤۳^{e}	۱٥٦/۳۷^{f}	٦۱/۳٦^{d}	۳٦۲/٥۷^{f}	۱۷۹/۱۳^{d}	۲۰٦/۲۰^{d}	۱۱۷/۷۷^{c}
ورمی‌کمپوست	٤	۳۷/۸۳^{c}	۲۲/٥٥^{b}	۲۸۹/٥٦^{a}	۱۲/۰۰^{a}	٤۷٤/۰۳^{a}	۲۲۳/۰۹^{a}	۱۷۸/۳٦^{e}	۱۰۳/۰۹^{d}
کود گاوی		۳٤/۳۳^{d}	۱۸/٥۷^{d}	۱۹٦/۷۰^{c}	۷۳/٦۰^{c}	۳۷٤/۷٦^{e}	۱٦۹/٦۰^{e}	۱۷۸/۰٦^{e}	۹٦/۰۰^{e}
خاک زراعی		٦/۷۳^{h}	۳/۸٦^{g}	۹٦/۷۳^{i}	۳٤/۷۳^{g}	۱۷٦/۳۰^{i}	۷٦/۳۳^{h}	۷۹/٥٦^{h}	٤۱/٥۹^{h}
ورمی‌کمپوست	۷	۳۱/٥٦^{e}	۱۷/۹٥^{d}	۲۱۱/٦٦^{b}	۷۳/۳٦^{c}	٤٦۷/۹۳^{b}	۲۱٤/٦۹^{b}	۲٦۲/۳٦^{a}	۱٤۱/۳۲^{a}
کود گاوی		٦/۳۰^{h}	۳/٥٤^{g}	۱۱۲/٦۳^{h}	٤۲/٥۰^{f}	۲٤۲/٦۰^{h}	۱۱۷/٥۰^{g}	۱۲۹/۹٦^{g}	۷٥/۰۰^{g}

میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

دسی‌زیمنس بر متر و ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج حاصله با سیلیسپور و همکاران (۱۳۹۵) روی زیتون و کلهر و همکاران (۱۳۹۷) روی همیشه‌بهار مطابقت داشت. رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گونه‌های مختلف، معیاری جهت تعیین مقاومت به خشکی و پتانسیل تولید در شرایط تنش است. براساس یافته‌های کوچکی و علیزاده (۱۳٦٥)، در غلات رشدیافته در شرایط تنش، جریان کمتر آب از ریشه به اندام هوایی سبب کاهش پتانسیل آب برگ، انسداد روزنه، جذب کمتر دی‌اکسید کربن و درنهایت سبب کاهش رشد ریشه و گیاه می‌شود. با کاهش میزان تعرق و افزایش اتلاف حرارت، میزان فتوسنتز خالص کاهش می‌یابد (Chen *et al.*, 2011). با کاهش فتوسنتز، تولید ماده خشک نیز کاهش می‌یابد (Shao *et al.*, 2008). ریشه طی کمبود آب با فرایند تعدیل اسمزی باعث می‌شود آب جذب‌شده را حفظ کند و اتلاف آب از دیواره 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 (Atiyeh *et al.*, 2000).

بیشترین وزن تر و خشک کل برگ در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار کود گاوی حاصل شد (جدول ۳). در شوری ٤ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر وزن تر و خشک برگ در ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک زراعی و کود گاوی بود، در حالیکه در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر کود گاوی به‌طور معنی‌داری توانست وزن تر و خشک کل برگ را افزایش دهد (جدول ۳).

بیشترین وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب با مقادیر ۲۸۹/٥٦ و ۱۲۰/۰۰ گرم در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ورمی کمپوست حاصل شد (جدول ۳). در سطح شوری شوری ٤ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر وزن تر و خشک ریشه در ورمی کمپوست به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک زراعی و کود گاوی بود در حالیکه در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر خاک زراعی به‌طور معنی‌داری وزن تر و خشک ریشه را افزایش داد (جدول ۳).

بیشترین وزن تر و خشک کل گیاه به‌ترتیب با مقادیر ٤٦۷/۹۳ و ۲۲۳/۰۹ گرم در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ورمی‌کمپوست حاصل شد (جدول ۳). در سطح شوری ٤ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر وزن تر و خشک کل در ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک زراعی و کود گاوی بود در حالیکه در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر خاک زراعی توانست به‌طور معنی‌داری وزن تر و خشک کل گیاه را افزایش دهد (جدول ۳).

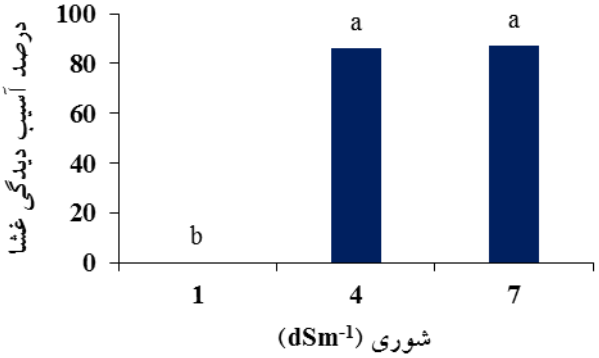
بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب با مقادیر ۲٦۲/۳٦ و ۱٤۱/۳۲ گرم در سطح شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ورمی‌کمپوست حاصل شد (جدول ۳). در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر وزن تر و خشک اندام هوایی در خاک زراعی به‌طور معنی‌داری بیشتر از ورمی‌کمپوست و کود گاوی بود در حالیکه در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر کود گاوی توانست به‌طور معنی‌داری وزن تر اندام هوایی و خاک زراعی وزن خشک اندام هوایی را افزایش دهد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که شوری ورمی‌کپوست در سطوح شوری پایین مانع اثر مثبت آن بر افزایش وزن تر و خشک گیاه شده در حالیکه در سطوح بالای شوری این اثر کمتر نشان داده شده است. ورمی‌کمپوست به‌دلیل داشتن مواد غذایی کافی و قابلیت در جذب مواد غذایی می‌تواند سبب افزایش میزان سطح برگ شود، که علت این افزایش را فعالیت میکروارگانیسم‌های ناشی از کرم خاکی می‌دانند. میکروارگانیسم‌ها با توانایی تولید مواد تنظیم‌کننده رشد می‌توانند سبب افزایش سطح برگ شوند. این امر درنهایت موجب افزایش میزان فتوسنتز و درنتیجه اندام هوایی گیاه می‌شود (Arancon *et al.*, 2004). در برخی مطالعات تأثیر ورمی‌کمپوست در رشد گیاه به مقدار زیادی به مواد مغذی معدنی به‌ویژه نیتروژن جذب‌شده به‌وسیله گیاهان نسبت داده شده است (Archana *et al.*, 2009). مواد هیومیکی با تحریک تقسیم سلولی و تولید ریشه‌های فرعی، رشد گیاه (از نظر وزن تر و خشک) را افزایش می‌دهند (Vaughan and Malcom, 1985). اثرات محافظتی هیومیک اسید موجود در ورمی‌کمپوست در دانهال‌های برنج در شرایط تنش شوری به اثبات رسیده است (Garcia *et al.*, 2014). در مورد اثر ورمی‌کمپوست می‌توان گفت که نقش مهمی در رشد و نمو نشا داشته که دلیل آن را می‌توان داشتن عناصر غذایی، فعالیت میکروارگانیسم‌ها و همچنین فراهم‌کردن شرایط فیزیکی توسط ورمی‌کمپوست عنوان کرد. کلهر و همکاران (۱۳۹۷) بالاترین نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه (٥/٤٥) را در گیاهان تیمارشده با کود گاوی و در شوری ۱۰/٥ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند. تأثیر مثبت کود دامی در بهبود ساختار فیزیکی خاک و افزایش قدرت جذب و نگهداری آب توسط Ramesh و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است. در واقع کود گاوی موجب افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن می‌شود. نیتروژن با شرکت در ترکیبات پروتئینی و آمینی علاوه بر نقش حفاظتی بر برخی آنزیم‌ها و pH سلول، در جابجایی عناصر دیگر از راه آوند چوبی نقش دارد. درنتیجه این واکنش‌ها منجر به افزایش وزن تر و خشک آن شد.

نشت یونی و درصد آسیب‌دیدگی غشا: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر شوری بر درصد آسیب‌دیدگی غشا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود در حالیکه بر نشت

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر شوری و بستر کشت بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و جذب عناصر در درخت پر

منابع تغییرات	df	میانگین مربعات							
		نشت یونی	درصد آسیب دیدگی غشا	سدیم	پتاسیم	کلر	نسبت سدیم به پتاسیم	کاتالاز	پرکسیداز
شوری	۲	٦/۳٦^{ns}	۲۲٤۷۸/۰۱**	۱۲۷٦۰٦۷/۸۲**	۱۹٦٥/۸۸**	۱۸۱۱٥/۹٥**	۰/۲۳**	۷/٤۲**	۰/۳۹**
بستر کشت	۲	٤/۷۹^{ns}	۱۰/٤۱^{ns}	۱٤۲٤٤۷۹/٦۱**	۷۰۹/٤٤*	۱۷۹۳/۷۲*	۰/۰۱^{ns}	۳/۸۷**	۰/٤۸**
شوری × بستر کشت	٤	۰/۸۷^{ns}	۲/٦۳^{ns}	۱۲۲۳٦۰۲/۹۳**	۲٤۷/۹٦*	۳۳۱/۸٥^{ns}	۰/۰۳*	۰/۲٦**	۰/٦۰**
خطا	۱۸	۱۰/٦۱	۱٤/٥۱	۰/۱٤	۰/۱٦	۰/۳٤	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۲
(%) CV		۳/٥۰	٦/٦۰	۲۳/۲٥	۲۳/۱۲	۲٤/۹	۱۲/۹۹	۰/۳٥	۲/۸۲

**** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ٥ درصد و ns عدم معنی‌داری**



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر شوری بر درصد آسیب‌دیدگی غشا در درخت پر

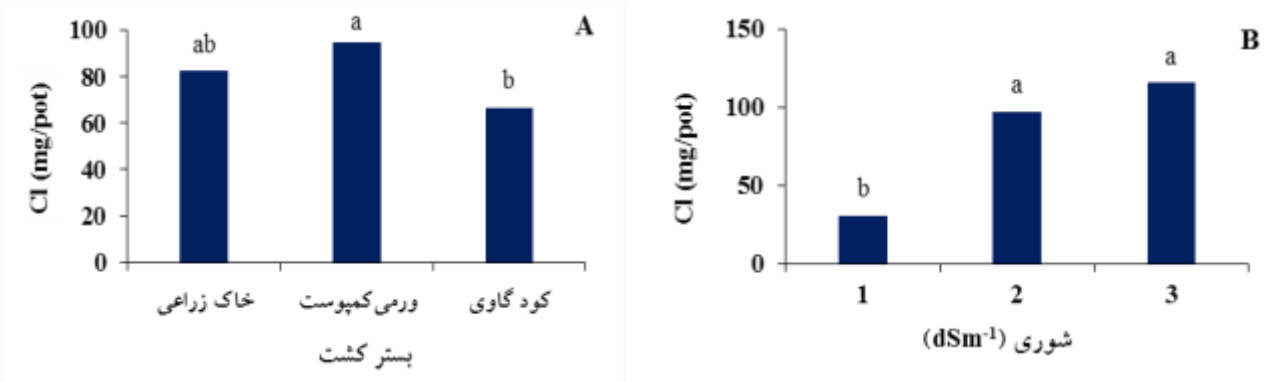
یونی اثر معنی‌دار نشان نداد (جدول ٤). اثر بستر کشت و اثر متقابل شوری و بستر کشت بر نشت یونی و درصد آسیب‌دیدگی غشا معنی‌دار نبود (جدول ٤). با افزایش سطح شوری درصد آسیب‌دیدگی غشا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱). افزایش تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش باعث القای پاسخ‌های حفاظتی و آسیب سلولی می‌شود. هیدروژن پراکسید منجر به پراکسیداسیون چربی‌ها و درنتیجه آسیب به غشا و نشت الکترولیت‌ها می‌شود. تنها شوری بر میزان آسیب‌دیدگی غشا نقش داشت. به‌نظر می‌رسد که شدت تنش بر گیاه در حدی نبوده که منجر به نشت یونی گردد.

میزان جذب عناصر غذایی: براساس نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و بستر کشت در سطح احتمال یک درصد بر میزان جذب سدیم، پتاسیم، کلر و نسبت سدیم به پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل شوری و بستر کشت در سطح احتمال یک درصد بر میزان سدیم و در سطح احتمال پنج درصد بر میزان پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم معنی‌دار بود (جدول ٤). با افزایش سطح شوری میزان جذب سدیم، پتاسیم، کلر و نسبت سدیم به پتاسیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل B ۲ و جدول ٥). بیشترین میزان جذب کلر در بستر حاوی ورمی‌کمپوست حاصل شد و بستر خاک زراعی و حاوی کود دامی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (شکل A ۲). بررسی اثر متقابل شوری و بستر کشت نشان داد که بیشترین میزان جذب سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر و در بستر کشت حاوی ورمی‌کمپوست رخ داده است (جدول ٥). در شوری ۱ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر، تیمارها و خاک زراعی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در میزان جذب عناصر نشان

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و بستر کشت بر جذب عناصر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی درخت پر

بستر کشت	شوری (ds/m)	سدیم	پتاسیم	نسبت سدیم به پتاسیم	کاتالاز	پروکسیداز
		(میلی¬گرم در گلدان)			(ΔOD/min/mg protein)	
خاک زراعی	۱	۸۲٤/٥ bc	۱۲/٥۹ c	۰/۳٥ bcd	۱/٥۰ i	۰/۳۰ h
ورمی‌کمپوست		۳٤۱/۲ c	۸/۰۹ c	۰/۲۰ de	۱/۸۷ g	۰/٤۳ f
کود گاوی		٥٦۹/۹ c	۸/٥۱ c	۰/۰۹ e	۲/٥۲ f	۰/٥٥ e
خاک زراعی	٤	۷۷۰/۱ bc	۱۷/۷۲ bc	۰/۲٥ cde	۱/٦۹ h	۰/۳٥ g
ورمی‌کمپوست		۱٤۲۷/۲ b	٤۱/۱۰ ab	۰/٤٦ abc	۲/٥۹ e	۰/۸۱ b
کود گاوی		۸۱۲/٦ bc	۱۷/۰٥ bc	۰/٤۲ abc	۲/٦۹ c	۰/۷۰ c
خاک زراعی	۷	٥۳۷/۳ c	۳۰/٦۹ bc	۰/٥٤ ab	۲/٦٥ d	۰/٥٥ e
ورمی‌کمپوست		۲٥۱٦/۹ a	٥٦/۰۱ a	۰/٥۸ a	۳/۹۰ b	۱/۳٥ a
کود گاوی		۹۳٤/۱ bc	۳۱/٥۰ abc	۰/٥۰ ab	٤/٥۱ a	۰/٦٤ c

میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر A: بستر کشت و B: شوری بر جذب کلر در برگ‌های درخت پر

ندادند (جدول ۵). در شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر، میزان جذب سدیم به‌طور معنی‌داری در بستر حاوی ورمی‌کمپوست نسبت به خاک زراعی و کود گاوی بیشتر بود (جدول ۵).

با افزایش سطح شوری سدیم به بخش هوایی منتقل و در برگ‌ها جمع و موجب بروز نشانه‌های سمیت می‌شود. گیاه به صورت انتخابی جذب K^+ را به Na^+ ترجیح می‌دهد ولی در صورت بیشتربودن غلظت یون سدیم در محلول خاک، کمبود K^+ در گیاه قطعی است (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). افزایش جذب سدیم و کلر موجب کاهش جذب عناصر ضروری و القای سم به گیاه می‌گردد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که کاهش جذب عناصر ماکرو به همین دلیل باشد. اختلال در فرایند فتوسنتز و رشد، تا حد زیادی به تجمع کلر در برگ‌ها مربوط است. تحمل به شوری به مقدار جذب و انتقال یون‌های کلر از ریشه به شاخه بستگی دارد. گیاهانی که قابلیت بیشتری برای دفع یون‌های سدیم و کلر دارند، این عناصر را بیشتر در بافت واکوئل خود ذخیره می‌کنند (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹٤). در بسیاری از محصولات باغی غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی با افزایش شوری محیط ریشه کاهش می‌یابد (سیلیسپور و همکاران، ۱۳۹۵). کاهش غلظت پتاسیم بافت‌های گیاهی می‌تواند به‌دلیل رقابت آن با سدیم بر سر مکان‌های اتصال به ناقل‌های غشای پلاسمایی و یا نشت پتاسیم به‌دلیل عدم‌ثبات غشا پلاسمایی باشد (Chartzoulakis, 2005). پتاسیم علاوه بر

تأثیر اساسی بر متابولیسم‌های حیاتی، در شرایط تنش شوری بسیار با اهمیت جلوه می‌کند، به‌نحویکه مدیریت کارآمد پتاسیم در مقابل سدیم در گیاه در بقای آن در شرایط شوری اهمیت فراوان دارد تا از مقادیر پتاسیم محافظت کنند و از واکوئل‌ها به‌عنوان مخزنی برای بافرکردن یون پتاسیم بهره ببرند (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۰). در همین زمینه گیاهان متحمل، توانایی آن را دارند که مقادیر پتاسیم سیتوسولی خود را در حضور سدیم کلرید بهتر حفظ کنند. رضوی‌نسب و همکاران (۱۳۹۰) به این نتیجه رسیدند که افزایش ماده آلی مصرفی، غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه را افزایش داد به‌طوریکه ماده آلی باعث گستردگی ریشه و افزایش جذب پتاسیم توسط ریشه شد. شیخی و رونقی (۱۳۹۲) نشان دادند که در سطوح صفر، ۱ و ۲ گرم سدیم کلرید، با کاربرد ورمی‌کمپوست تغییر معنی‌داری در غلظت سدیم اندام هوایی رخ نداد ولی در سطح ۳ گرم سدیم کلرید، کاربرد ۲ و ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد، غلظت سدیم اندام هوایی به‌ترتیب ۳۰ و ۳۵ درصد کاهش یافت. در تیمار بدون سدیم کلرید، مصرف ۲ و ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد، غلظت کلر اندام هوایی را به‌ترتیب ۳٤ و ٦۸ درصد افزایش داد. در پژوهش حاضر نیز استفاده از کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست در شوری پائین منجر به کاهش جذب سدیم شد. کود گاوی نسبت به سایر تیمارها جذب کلر کمتری نشان داد. ورمی‌کمپوست در سطوح بالای شوری بیشترین جذب سدیم را نشان داد. این کودها از طریق افزایش محتوای مواد آلی و فعالیت بیولوژیکی خاک (Archana *et al.*, 2009)، افزایش تخلخل خاک، مقدار کربن آلی و نیتروژن کل در لایه روئین خاک (Fuchs *et al.*, 2008)، تثبیت ذرات خاکدانه از طریق باندکردن ذرات معدنی مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم به فرم کلوئیدی از هوموس یا رس (Tisdale and Oades, 1982) موجب تقویت ساختمان فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌گردند.

آنزیم کاتالاز و پراکسیداز: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر شوری، بستر کشت و اثر متقابل آنها بر فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). با افزایش سطح شوری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پرکسیداز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین فعالیت کاتالاز و پراکسیداز به‌ترتیب در تیمارهای کود گاوی و ورمی‌کمپوست حاصل شد (جدول ٤). بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار کود گاوی حاصل شد (جدول ۵). بیشترین فعالیت آنزیم پرکسیداز در سطح شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۵).

تنش شوری با آسیب‌رساندن به رنگدانه‌های کلروفیل و سیستم انتقال الکترون فتوسنتز منجر به تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن می‌شود. گیاهان برای مقابله با اثرات نامطلوب گونه‌های فعال، سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی را توسعه می‌دهند (Wu *et al.*, 2012). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز و کاتالاز، مهم‌ترین آنزیم‌های سم‌زدا هستند که با همکاری آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در چرخه گلوتاتیون آسکوربات، رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کنند (Wang *et al.*, 2011). فعالیت این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش کلیدی در بقای گیاه در شرایط تنش بازی می‌کند. تعامل هیومیک اسید کود ورمی‌کمپوست با سیستم ریشه‌ای گیاه، سبب فعال‌شدن عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود و درنتیجه مقدار رادیکال‌های آزاد را کنترل می‌کند. به‌نظر می‌رسد که عمل هیومیک اسید با سیستم دفاعی ضدتنش در گیاهان شناسایی می‌شود (Garcia *et al.*, 2012). آدمی‌پور و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شوری در گیاهان *Festuca arundinacea* تیمارشده با ورمی‌کمپوست افزایش یافت. همچنین کلهر و همکاران (۱۳۹۷) نتایج مشابهی در گیاه همیشه‌بهار حاصل کردند. آنها نشان دادند که در شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تیمارشده با کود گاوی و شاهد مشاهده شد و سایر تیمارها اثری در افزایش فعالیت آنزیم نداشتند. به‌نظر می‌رسد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه با افزایش میزان فنل کل و فلاونوئیدها در جریان استفاده از

کودهای آلی افزایش می‌یابد. از آنجایی که ورمی‌کمپوست دارای عناصر ریزمغذی با قابلیت جذب زیاد است و از طرفی این عناصر، خصوصاً آهن و روی، در ساختارهای مختلف این آنزیم‌ها شرکت دارند، بنابراین می‌توان افزایش فعالیت این آنزیم‌ها را احتمالاً با افزایش و بهبود جذب این عناصر توسط گیاه مرتبط دانست (آدمی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵).

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان چنین نتیجه گرفت که گیاه در هنگام مواجهه با تنش شوری با ایجاد تغییر در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و نموی خود از جمله وزن تر و خشک برگ، ریشه، اندام هوایی و جذب عناصر غذایی خود را با تنش سازگار نمود. براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با اصلاح خاک توسط مواد آلی خصوصاً ورمی‌کمپوست، صفات رشدی گیاه به‌طور معنی‌داری در شوری بالا افزایش یافت. مقایسه کودهای آلی مختلف مشخص کرد که ورمی‌کمپوست بهتر از کود گاوی توانست رشد و عملکرد گیاه را بهبود بخشد. بنابراین کاربرد آن در خاک‌های کشاورزی توصیه می‌گردد.

منابع

آدمی‌پور، ن.، حیدریان‌پور، م. ب. و زارعی، م. (۱۳۹۵) ارزیابی کاربرد ورمی‌کمپوست جهت کاهش اثرهای مخرب تنش شوری بر سبز فرش چمانواش بلند (Festuca arundinacea Schreb. Queen) ۷: ٤٦-۳۵.

امامی، ی. و زواره، م. (۱۳۸٤) تحمل خشکی در گیاهان عالی. چاپ اول، انتشارات نشر دانشگاهی، تهران.

حیدری شریف آباد، ح. (۱۳۸۰) گیاه و شوری. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.

رضوی نسب، ا.، شیرانی، ح.، تاج آبادی‌پور، ا. و دشتی، ح. (۱۳۹۰) تأثیر شوری و ماده آلی بر ترکیب شیمیایی و مرفولوژی نهال‌های پسته. به‌زراعی کشاورزی ۱۳: ٤۲-۳۱.

سیلیسپور، م.، گلچین، ا. و روزبان، م. (۱۳۹۵) ارزیابی تحمل به شوری دو رقم زیتون براساس شاخص‌های رشد و تحلیل روابط رگرسیونی آنها با شوری. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار ٦: ۱۰۰-۸۳.

شیخی، ج. و رونقی، ع. م. (۱۳۹۲) اثر سطوح نیتروژن و شوری بر عملکرد، جذب نیتروژن، غلظت نیترات و کلروفیل اسفناج و برخی ویژگی‌های خاک پس از برداشت در یک خاک آهکی. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۳ :۱۲-۱.

کافی، م.، برزوئی، ا. ع.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ج. (۱۳۸۸) فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. جهاد دانشگاهی مشهد.

کلهر، م.، دهستانی اردکانی، م.، شیرمردی، م. و غلام‌نژاد، ج. (۱۳۹۷) پاسخ گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) به اثرات متقابل تنش شوری و مواد آلی اصلاح‌کننده خاک. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۱: ۱۰۲۱-۱۰۰۵.

کوچکی، ع. و علیزاده، ا. (۱۳٦۵) اصول زراعت در مناطق خشک. انتشارات آستان قدس رضوی.

موسوی دهموردی، ز.، غلامی، م. و بانی نسب، ب. (۱۳۹۷)اثر کود ورمی‌کمپوست بر رشد و تحمل به تنش خشکی نهال‌های زیتون رقم زرد (*Olea europaea* L.). مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۷: ۱۸-۱.

مؤمن‌پور، ع.، بخشی، د.، ایمانی، ع. و رضایی، ح. (۱۳۹٤) ارزیابی خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی در چهار ژنوتیپ بادام پیوندشده روی پایه GF_{677} تحت تنش شوری. علوم باغبانی ایران ٦٤:٦۲٤-٦۰۳.

Arancon, N. Q., Edvards, C. A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J. D. (2004) Effect of vermicompost produced from food wasters on the growth and yield of greenhouse peppers. Bioresource Technology 93: 139-143.

Archana, P. P., Theodore, J. K. R., Ngyuen, V. H., Stephen, T. T. and Kristen, A. K. (2009) Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapacv*. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertiliser. Journal of the Science of Food and Agriculture 89: 2383-2392.

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.

Beykkhormizi, A., Hosseini Sarghein, S. and Sarafraz Ardakani, M. R. (2018) Alleviation of salinity stress by vermicompost extract: A comparative study on five Fennel Landraces. Communications in Soil Science and Plant Analysis 49: 1-8.

Blum, A. and Ebercon, A. (1981) Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Science 21: 43-47.

Chartzoulakis, K. (2005) Salinity and olive: Growth salt tolerance photosynthesis and yield. Agriculture Water Management 78: 108-121.

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.

Dazy, M., Jung, V., Ferard, J. F. and Masfaraud, J. F. (2008) Ecological recovery of vegetation on a cokefactory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. Chemosphere 74: 57-63.

Ezhilmathi, K., Singh, V. P., Arora, A. and Sairam, R. K. (2007) Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase of *Gladiolus* cut flowers. Plant Growth Regulators 51: 99-108.

Fan, P. and Wang, K. (2011) Evaluation of cold resistance of ornamental species for planting as urban rooftop greening. Forestry Studies in China 13: 239-244.

Flowers, T. J., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., Krishnamurthy, L., Samineni, S., Siddique, K. H. M., Turner, N. C., Vadez, V., Varshney, R. K. and Colmer, T. D. (2010) Salt sensitivity in chickpea. Plant cell and Environment 33: 490-509.

Fuchs, L. S., Fuchs, D., Stuebing, K., Fletcher, J. M., Hamlett, C. L. and Lambert, W. (2008) Problem solving and computational skill: Are they shared or distinct aspects of mathematical cognition? Journal of Educational Psychology 100: 30-47.

Garcia, 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.

Garcia, 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.

Hasanzade, A. (2007) Impact of biological fertilizers containing phosphorus uptake facilitator on the amounts of phosphorus fertilizer on yield and yield components of barley. Agriculture Master's thesis, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.

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.

Klute, A. (1986) Water retention: Laboratory methods. In: Methods of Soil Analysis. Part 1 (ed. Klute, A.) Pp. 635-662. American Society Agronomy.

Koocheki, A., Nassiri, M. and Behdani, M. A. (2006) Agronomic attributes of saffron yield at agroecosystems. Acta Horticulturae 739: 24-33.

Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review Plant Biology 59: 651-681.

Munns, R., Wallace, P. A., Teakle, N. L. and Colmer, T. D. (2010) Measuring soluble ion concentrations (Na^+, K^+, Cl^-) in salt-treated plants. In: Plant Stress Tolerance, Methods in Molecular Biology. (Ed.. Sunkar, R.) Pp. 371-382. Humana Press, Springer.

Novakovic, M., Vuc kovic, I., Janac kovic, P., Sokovic, M., Filipovic, A., Tesevic, V. and Milosavljevic, S. (2007) Chemical composition, antibacterial and antifungal activity of the essential oils of Cotinus coggygria from Serbia. Journal of the Serbian Chemical Society 72: 1045-1051.

Ondrasek, G., Rengel, Z., Romic, D. and Savic, R. (2012) Salinity decreases dissolved organic carbon in the rhizosphere and increases trace element phyto-accumulation. European Journal of Soil Science 63: 685-693

Oren-Shamir, M. and Levi-Nissim, A. (1997) UV-light effect on the leaf pigmentation of Cotinus coggygria 'Royal Purple'. Scientia Horticulturae 71: 59-66.

Ouni, Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, Ch. and Lakhdar, A. (2014) The role of humic substances in mitigating the harmful effect of soil salinity and improve plant productivity. International Journal of Plant Production 8: 353-374.

Pang, C. H. and Wang, B. S. (2008) Progress in Botany. Oxidative Stress and Salt Tolerance in Plants. Springer Berlin Heidelberg, New York.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

Perez-Gomez, J. J., Abud-Archila, M., Villalobos-Maldonado, J. J., Enciso-Saenz, S., de Leon, H. H., Ruiz-Valdiviezo, V. M. and Gutierrez-Miceli, F. A. (2017) Vermicompost and vermiwash minimized the influence of salinity stress on growth parameters in potato plants. Compost Science and Utilazation 1-8.

Qadir, M., Quillerou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., Drechsel, P. and Noble, A. D. (2014) Economics of salt-induced land degradation and restoration. Natural Resources Forum 38: 282-295.

Ramesh, P., Panwar, N. R. and Singh, A. S. (2009) Impact of organic manure combinations on the productivity and soil qualityin different cropping systems in central India. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172: 577-585.

Reuveni, M., Agapov, V. and Reuveni, R. (1995) Induced systematic protection to powdery mildew in cucumber by phosphate and potassium fertilizers: effect of inoculum concentration and post-inoculation treatment. Canadian Journal of Plant Pathology 17: 245-251.

Saadatmand, A. R., Banihashemi, Z., Maftoun, M. and Sepaskhah, A. R. (2007) Interactive effect of soil salinity and water stress on growth and chemical compositions of pistachio nut tree. Journal of Plant Nutrition 30: 2037-2050.

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 Biologies 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.

Silva, P. and Geros, H. (2009) Regulation by salt of vacuolar H^+-ATPase and H^+- pyrophpsphatase activities and Na^+/H^+ exchange. Plant Signaling and Behavior 4: 718-726.

Tisdale, J. M. and Oades J. M. (1982) Organic matter and water-stable aggregates in soil. Journal of Soil Science 33: 141-150.

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, 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.

Zebarth, B. J., Neilsen, G. H., Hogue, E. and Neilsen, D. (1999) Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties. Canadian Journal of Soil Science 79: 501-504.

Zhu, L., Wang, P., Zhang, W., Hui, F. and Xiangxiang C. (2017) Effects of selenium application on nutrient uptake and nutritional quality of *Codonopsis lanceolata.* Scientia Horticulturae 225: 574-580.

Effect of cow manure and vermicompost on decreasing salt stress in the common smoke tree (*Cotinus coggygria* Scop.)

Ali Moghimi Banadkooki [1], Maryam Dehestani Ardakani*[1], Mostafa Shirmardi [1], Ali Momenpour [2]

[1] Department of Horticultural Science, College of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Yazd, Iran
[2] National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
(Received: 19/11/2018, Accepted: 29/05/2019)

Abstract

Smoke tree or venetian sumach (*Cotinus coggygria* Scop.) is an attractive ornamental tree in landscape and rich in medicinal properties. In this study, the effects cow manure and vermicompost on decreasing salt stress in the common smoke tree were investigated. The experiment was factorial based on a completely randomized design including three levels of organic treatment (agricultural soils, 80% v/v soil + 20% v/v vermicompost, 80% v/v soil + 20% v/v cow manure) and three levels of saline water for irrigation (1, 4 and 7 $dS.m^{-1}$) with three replications in the greenhouse. The results showed that the highest fresh and dry weight of leaves were obtained in cow manure and in 1 $dS.m^{-1}$ salinity. The highest fresh and dry weight of root were obtained in vermicompost and in 4 $dS.m^{-1}$ salinity. The highest fresh and dry weight of shoots were obtained in vermicompost and in 7 $dS.m^{-1}$ salinity. The maximum amount of sodium, potassium and Na/K uptake were observed in 7 $dS.m^{-1}$ salinity and vermicompost treatment. Application of cow manure and vermicompost in different salinity levels significantly increased catalase and peroxidase activity. Generally, the use of cow manure and vermicompost could improve the growth characteristics and nutrient absorption of plant under salt stress condition as compared with the control.

Key words: Chlorine, Enzyme, Growth characteristics, Organic amendments, Sodium

Corresponding author, Email: mdehestani@ardakan.ac.ir