بررسی شاخص‌های رشدی و عملکرد کیفی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تغذیه روی و کاربرد بیوچار در شرایط تنش شوری

سحر سادات فتح‌اللهی[۱]، علی محمدی‌ترکاشوند[۲*]، مرضیه قنبری‌جهرمی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: a-mohammadi@srbiau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰۷/۲۲- تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۱٤)

چکیده

در مطالعه گلخانه‌ای حاضر، یک بررسی جامع در مورد تأثیر ترکیبی بیوچار و روی بر هر دو ویژگی کمی و کیفی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) طی سال‌های ۱٤۰۰ و ۱٤۰۱ انجام شد. با استفاده از یک طرح آزمایشی فاکتوریل در چارچوب طرح کاملا تصادفی، سه سطح شوری (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) از طریق آب آبیاری، دو سطح بیوچار (۰ و ۵ درصد حجمی) از طریق اضافه کردن به بستر کشت و دو سطح محلول‌پاشی روی (۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) با استفاده از سولفات روی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده کاهش قابل توجهی در وزن تر و خشک ساختار ریشه و اندام هوایی تحت شرایط تنش شوری نشان داد. کاربرد ترکیبی شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، ۵ درصد بیوچار حجمی و محلول‌پاشی روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش قابل‌توجه ۲۲/۰۳ درصدی وزن تر اندام هوایی و افزایش قابل‌توجهی به میزان ٤۳/۸۵ درصد در وزن خشک ریشه شد که این امر پتانسیل محلول‌پاشی بیوچار و روی برای بهبود اثرات نامطلوب تنش شوری بر رشد گیاه را نشان می‌دهد. علاوه بر این، مطالعه حاضر بر تأثیر مثبت محلول‌پاشی بیوچار و روی بر روی تولید اسانس در مقایسه با تیمار شاهد تأکید می‌کند. به طور خاص، بیشترین عملکرد اسانس ۱۵/٦۳ میلی‌گرم در هر بوته در تیمار حاوی ۵ درصد بیوچار حجمی و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی روی به‌دست آمد، در حالی که تیمار شاهد، بدون محلول‌پاشی روی و بیوچار، کمترین میزان اسانس (۱۱/۲۱ میلی‌گرم در بوته) را به دست آورد. این نشان دهنده افزایش ۳۹/٤۰ درصد در عملکرد اسانس در هنگام استفاده از تیمار بیوچار ۵ درصد همراه با محلول‌پاشی روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، در مقایسه با تیمار شاهد است. که این امر نشان‌دهنده نقش کلیدی تاثیر بیوچار و روی در راندمان تولید اسانس در گشنیز در شرایط تنش شوری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گشنیز، تنش شوری، بیوچار، تغذیه روی، عملکرد اسانس

مقدمه

تغییر اقلیم جهانی و به طبع آن روند کاهشی مقدار کمی و کیفی منابع آب‌های موجود از یک‌سو؛ و همزمان با آن افزایش جمعیت، نیاز به تولید غذا و دارو برای جمعیت در حال رشد، از سوی دیگر (به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک جهان)، باعث شده است که آب و خاک قابل استفاده برای کشت گیاهان و بهره‌برداری کشاورزی به تدریج کم و از دسترس خارج

شود (Corwin & Scudiero, 2019؛ Sahab *et al*., 2021). شوری خاک یک مشکل در سراسر جهان است و این معضل در نواحی خشک و نیمه خشک نسبت به نواحی مرطوب حادتر و شایع‌تر است. شرایط شور دارای اثر منفی بر رشد و بقای اکثر گلیکوفیت‌ها داشته و شناخت پاسخ‌های گیاهان به شوری، اهمیت ویژه‌ای دارد. ایران نیز از جمله کشورهایی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده و لذا با مشکل کمبود آب، شور شدن سفره‌های آب زیرزمینی و خاک‌ها و در نتیجه آن روند رو به رشد غیر قابل استفاده شدن خاک و آب‌ها مواجه است که این موارد یکی از مهمترین مشکلات کشاورزی در ایران به خصوص برای تولید محصولات استراتژیک و صادراتی نظیر برخی از گیاهان دارویی ارزشمند است (Amiripour *et al*., 2021; Garajeh *et al*., 2021). اکثر گیاهانی که در محیط‌های شور، میزان رشدشان تحت تأثیر منفی قرار می‌گیرد محصولات زراعی هستند. این اثرات منفی مربوط به اثرات اسمزی، عدم تعادل تغذیه‌ای و اثر یون‌های خاص یا ترکیبی از این سه فاکتورها می‌باشد که بستگی به نوع گونه گیاهی، ترکیب نمک و غلظت نمک دارد (Bai *et al*., 2019; Sahab *et al*., 2021). گیاهان مکانیسم‌هایی را برای کاهش تنش اسمزی توسط کاهش از هدر رفت آب و جذب آب بیشتر از خود بروز می‌دهند. علاوه بر این گیاهان خسارات ناشی از تنش یونی ناشی از سدیم را با دفع سدیم از بافت برگ و تجمع آن عمدتاً در واکوئل‌ها، کاهش می‌دهند. با وجود این مکانیسم‌های مختلف تحمل تنش، تنش شوری، عملکرد محصولات را کاهش و منجر به ادامه روند کاهش زمین‌های قابل‌کشت می‌شود (Ma *et al*., 2020). عدم درک جامع از اصول مولکولی و فیزیولوژیکی تحمل به شوری، موجب محدودیت در موفقیت برنامه‌های اصلاحی واریته‌های مقاوم به شوری در گیاهان زراعی و دارویی گردیده است. بنابراین در ایران به منظور افزایش عملکرد در واحد سطح نیاز به مطالعه اثرات تنش شوری روی گیاهان دارویی بحثی بسیار روشن است. از آنجایی که شوری خاک یکی از جدی ترین مشکلات کشاورزی ایران به حساب می‌آید. بنابرین در چنین شرایطی استفاده از گیاهان مقاوم به تنش‌های محیطی نظیر تنش شوری می‌تواند امکان بهره‌برداری از اقلیم‌های دارای خاک‌های شور را فراهم سازد.

از طرفی دیگر برای کاهش اثرات شوری در گیاهان نیاز به تعدیل‌کننده‌های شوری است. کودهای آلی و زیستی و همچنین عناصر مهم تغذیه از راهکارهای مهم برای کاهش اثرات شوری می‌باشد. در سال‌های اخیر کاربرد فراورده‌های آلی در تغذیه گیاهان دارویی به عنوان راهکارهای بنیادین برای توسعه سیستم‌های مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه و به منظور افزایش کمی و کیفی مواد غذایی در واحد سطح از طریق تلفیق روش‌های تغذیه‌ای معدنی و آلی گیاه مورد توجه قرار گرفت. در سیستم‌های کشاورزی پایدار، استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر محاسن اکولوژیکی و حداقل مضرات زیست محیطی را دارا باشد، امری ضروری است (Bakhtiari *et al*., 2020).

بیوچار نوعی اصلاح کننده خاک است که سبب تحول عظیمی در افزایش مقاومت گیاه به تنش شده است (Ali *et al*., 2017). بیوچار ماده کربنی است که از گرمادهی بقایای گیاهی و ضایعات در محیط حاوی اکسیژن محدود یا بدون اکسیژن به دست می‌آید (Razzaghi *et al*., 2020). بیوچار پایداری بالایی

داشته و به منظور مدیریت ضایعات، کاهش تغییرات اقلیمی، تولید انرژی و بهبود خصوصیات خاک تولید می‌شود. خصوصیات منحصر به فرد بیوچار آن را به عنوان گزینه مناسبی برای مصرف در خاک مطرح ساخته است (Ali *et al*., 2017). بیوچار خصوصیات مختلف فیزیکی (از جمله ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی)، شیمیایی (اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان مواد آلی) و زیستی خاک (فعالیت میکروبی، تنوع میکروبی، فعالیت آنزیمی، جمعیت میکروبی) را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (Ali *et al*., 2017; Altland & Locke, 2013; Razzaghi *et al*., 2020). بیوچار با تأمین بخشی از عناصر مورد نیاز گیاه موجب افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (Mansoor *et al*., 2021). مصرف بیوچار در اغلب موارد باعث بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش محصولات اصلی و فرعی گیاهی می‌شود (Ali *et al*., 2017). بیوچار می‌تواند سبب کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از شوری در گیاه شود (Liu *et al*., 2013). در تحقیقی تأثیر بیوچار بر عملکرد، خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم در شرایط تنش خشکی و شوری بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیوچار سبب افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد گیاه شد. این تیمار ترکیبی سبب افزایش کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای پتاسیم، نیتروژن و فسفر برگ و کاهش تنش اکسیداتیو با کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد. از طرفی دیگر تنش شوری و خشکی هر دو سبب کاهش عملکرد گیاه شد (Hafez *et al*., 2021).

یکی از آثار مهم شوری، برهمزدن تعادل تغذیه‌ای گیاه است به طوری که فراهم کردن مواد غذایی از طریق ریشه محدود می‌کند. روی (Zn) عنصری است که در مقادیر کم و حیاتی برای گیاه لازم است تا اجازه فعالیت‌های فیزیولوژیک را به گیاه داده و این فعالیت‌ها نقش مهمی در فرآیندهای فتوسنتز و تشکیل قند، سنتز پروتئین، حاصلخیزی رشد و مقاومت در برابر بیماری دارند (Khalid *et al*., 2022; Singh *et al*., 2018). در تحقیقی تأثیر سطوح مختلف روی (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بر صفات رشد و جذب عناصر غذایی ریحان در سطوح مختلف شوری (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد NaCl) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزایش سطح شوری باعث کاهش تولید زیست توده، شاخص کلروفیل و صفات جذب مواد مغذی (به جز تجمع سدیم و آهن) ریحان شد. کاربرد روی (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) تولید زیست توده، شاخص کلروفیل و صفات جذب مواد مغذی را در شرایط نرمال و شور بهبود بخشید. کاهش شاخص کلروفیل و تولید زیست توده در غلظت‌های صفر و ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی بیشتر بود. غلظت پتاسیم تحت افزایش شوری کاهش یافت. با این حال، کاربرد روی باعث بهبود جذب پتاسیم در شرایط نرمال و شور شد. صفات مختلف رشد و جذب مواد مغذی با تجمع سدیم همبستگی منفی داشتند (Tolay, 2021). نتایج نشان داد که کاربرد روی می‌تواند تحمل به شوری ریحان را بهبود بخشد. روی از عناصر مهم در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه است که می‌توانند به طور مستقیم و غیرمستقیم سبب افزایش عملکرد محصولات شود (Sturikova *et al*., 2018). روی از جمله عناصر ضروری کم مصرف برای گیاهان، حیوانات و انسان است، که به صورت کاتیون دو ظرفیتی جذب می‌شود. این عنصر نقش اساسی در

سنتز پروتئین‌ها، DNA و RNA ایفا می‌کند (Singh *et al*., 2018; Tolay, 2021). اگر چه نیاز گیاهان به روی اندک است، ولی در صورتی که مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و دیگر فرایندهای متابولیکی مرتبط با روی دچار آسیب خواهند شد (Sturikova *et al*., 2018).

گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) گیاهی علفی از خانواده Apiaceae است. این گیاه بی‌کرک، به ارتفاع ۳۰ تا ٦۰ سانتی‌متر، دارای ساقه راست، شفاف و کم و بیش شیاردار است (Afshari *et al*., 2021). گشنیز به میزان فراوان به عنوان سبزی و در تهیه غذاها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Nourzad *et al*., 2015). این گیاه که بومی جنوب غرب آسیا و غرب تا شمال آفریقاست به طور گسترده‌ای در خاورمیانه، منطقه مدیترانه، هند، آسیای جنوبی، آمریکای لاتین، چین و آفریقا مورد مصرف قرار می‌گیرد. گشنیز علاوه بر دادن طعم و بوی مطبوع به غذا، دارای ارزش غذایی بالایی نیز است (Amiripour *et al*., 2021; Ghasemi-Soloklui *et al*., 2023). تحقیق حاضر به منظور ارزیابی تاثیر بیوچار و روی بر ویژگی‌های رشد گشنیز در مواجهه با شرایط تنش شوری، بررسی چگونگی تاثیر بیوچار و روی بر خواص بیوشیمیایی گشنیز تحت شرایط تنش شوری یکسان و در نهایت، شناسایی موثرترین تیمار شامل بیوچار و روی در کاهش استرس اکسیداتیو ناشی از تنش شوری انجام شد. این اهداف در مجموع بر اهمیت درک اثرات هم‌افزایی بیوچار و روی به عنوان استراتژی‌های بالقوه برای افزایش انعطاف‌پذیری و بهره‌وری گشنیز در محیط‌های شور و در عین حال مشخص کردن مکانیسم‌های زیربنایی آن‌ها تأکید می‌کند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر بیوچار و محلول‌پاشی روی بر خصوصیات کمی و کیفی گشنیز تحت تنش شوری در سال ۱٤۰۰ در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات در ۳ تکرار انجام شد. بذرهای گشنیز (تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) ضدعفونی و در سینی نشا کاشته شد، سپس نشاها در مرحله ٤ برگی به گلداهان‌های پلاستیکی با دهانه ۱۷ سانتی‌متر حاوی بیوچار و خاک انتقال داده شدند.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. شوری با استفاده از کلرید سدیم و محلول در آب در ۳ سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) به صورت آب آبیاری اعمال شد. بیوچار (جدول ۱) نیز در دو سطح (۰ و ۵ درصد حجمی) با بستر کشت مخلوط شد.

جدول ۱- برخی از مشخصات بیوچار مورد استفاده

ماده آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	pH	EC ds/m	رطوبت (درصد)
۲۲/۱۲	۱/۵	۰/۳۲	۱/۰۸	۸/۵	۹/۲	۳۷

آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

محلول‌پاشی برگی با روی در دو سطح (۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) از منبع سولفات روی سه بار با فواصل ۱۰ روزه انجام شد. پس از استقرار نشا در بستر جدید (یک هفته پس از انتقال نشا)، محلول‌پاشی روی سه بار به فواصل ۱۵ روز و اعمال تنش شوری با ۳ سطح بر روی گیاهان به مدت ٤۲ روز صورت گرفت.

متغیرهای مورد بررسی

وزن تر اندام هوایی و ریشه پس از برداشت با ترازوی دیجیتال Digital scale با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. برای اندازه‌گیری اندام هوایی، گیاه کشت‌شده در هر گلدان از یقه توسط قیچی قطع و تمام قسمت‌های هوایی گیاه (ساقه، گل و برگ) وزن شد. برای اندازه‌گیری ریشه، ریشه‌ها به آرامی از خاک جدا شده و با ترازوی دیجیتال وزن شدند.

پس از خشک کردن اندام هوایی و ریشه گیاه در دستگاه آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت، وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال Digital scale با دقت ۰/۰۱ گرم به‌دست آمد (Seifikalhor *et al.*, 2020).

درصد اسانس و عملکرد اسانس

گیاهان پس از برداشت به مدت دو هفته در دمای معمولی در شرایط سایه، در محیط آزمایشگاه خشک شدند. جهت محاسبه درصد اسانس موجود در گیاه ابتدا مقدار ۱۰۰ گرم نمونه خشک گیاه با ترازوی دیجیتال توزین گردید، سپس آن را به داخل بالن ۵۰۰ میلی‌لیتری انتقال داده و ۲۰ عدد پرل شیشه‌ای به همراه ۲۵۰ میلی‌لیتر آب به محتویات داخل بالن اضافه گردید. پس از آن بالن به دستگاه اسانس‌گیری (کلونجر) متصل گردید و برای مدت ٤ ساعت عمل استخراج اسانس انجام گرفت. از حاصل ضرب درصد اسانس در وزن خشک، عملکرد اسانس به‌دست آمد (Sefidkon *et al.*, 2009).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. کلیه داده‌های به‌دست آمده حاصل از اندازه‌گیری متغیرها در تحقیق، ابتدا در Excel ثبت شده و سپس با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ آنالیز شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۱ درصد با آزمون LSD بررسی شد. نمودارها و شکل‌ها در نرم‌افزار Excel تهیه شدند.

نتایج و بحث

صفات وزنی

اثر تنش شوری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد. اثر بیوچار نیز بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد اما بر نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه معنی‌دار نشد. اثر روی نیز بر وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) و بر وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصد ($P\leq0.05$) معنی‌دار شد اما بر نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه معنی‌دار نشد. اثر متقابل شوری و بیوچار بر وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصد ($P\leq0.05$) معنی‌دار شد اما بر وزن تر ریشه و نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه معنی‌دار نشد. اثر متقابل بیوچار و روی بر وزن تر اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه در سطح ۵ درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد اما بر وزن خشک اندام هوایی و نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه

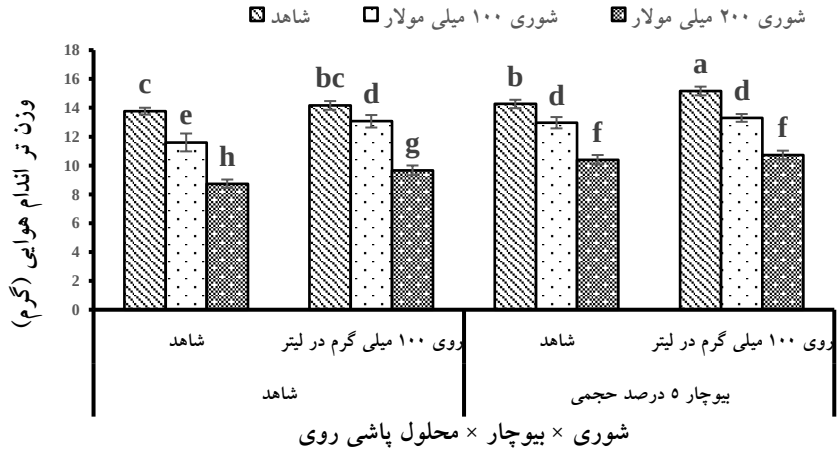
معنی‌دار نشد. اثر متقابل تنش شوری و بیوچار و روی بر وزن تر اندام هوایی در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) و بر وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصد ($P\leq0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری، بیوچار و محلول‌پاشی روی بر صفات وزنی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه
تنش شوری	۲	۶۱/۱۷**	۹/۷۵**	۳۵/۹۴**	۳/۴۲**	۲/۴۷**
بیوچار	۱	۸/۵۰**	۰/۶۴**	۱/۲۱**	۰/۳۲**	۰/۰۴ns
روی	۱	۴/۷۶**	۰/۴۰**	۰/۲۵**	۰/۰۷۱*	۰/۰۰۰۰۰۰۱ns
شوری × بیوچار	۲	۰/۳۵*	۰/۰۴۳*	۰/۰۱۰ns	۰/۰۴۷*	۰/۰۲۶ns
شوری × روی	۲	۰/۰۶۶ns	۰/۰۳۴ns	۰/۰۲۳ns	۰/۰۱۳۶ns	۰/۰۴۷ns
بیوچار × روی	۱	۰/۳۸*	۰/۰۰۰۰۰۰۱ns	۰/۱۱*	۰/۰۵۴*	۰/۰۵۴ns
شوری × بیوچار × روی	۲	۰/۵۲**	۰/۰۰۳۳ns	۰/۰۲۱ns	۰/۰۳۳*	۰/۰۳۷ns
خطا	۲۲	۰/۰۶۷	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۴۷	۰/۱۱۵	۰/۰۵۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۱۱	۳/۷۳	۲/۳۴	۶/۷۲	۱۰/۳۲

**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه نسبت به تیمار شاهد شد اما تیمارهای بیوچار و محلول‌پاشی روی سبب کاهش اثرات تنش شوری و بهبود وزن تر اندام هوایی شدند. بیشترین مقدار وزن تر ریشه با ۱۵/۱۶ گرم در تیمار شوری صفر (شاهد) و بیوچار ۵ درصد حجمی و روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. کمترین مقدار وزن تر اندام هوایی نیز با ۸/۷۳ گرم در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و بیوچار صفر (شاهد) و روی صفر (شاهد) مشاهده شد. در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، بیوچار ۵ درصد حجمی و محلول‌پاشی روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۲۲/۹۰ درصد وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و روی) شدند (شکل ۱).



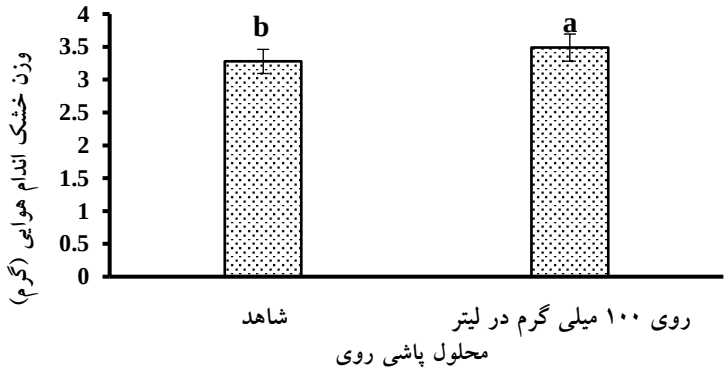
شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و بیوچار و روی بر وزن تر اندام هوایی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).
عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

در پژوهشی گزارش شد که اولین فاز کاهش رشد، فرآیند سریعتری است که ناشی از اثر اسمزی است، که با فرآیند بسیار کندتر ناشی از تجمع نمک در برگ‌ها دنبال می‌شود و منجر به سمیت نمک در گیاهان و در نتیجه کاهش رشد می‌شود (Hasanuzzaman *et al*., 2013). تنش شوری به‌عنوان یک مهار کننده اصلی رشد گیاهان دارویی مانند نعناع فلفلی و سکنجبین گزارش شد (Aziz *et al*., 2008; Said-Al Ahl and Omer, 2011). در تحقیقی میزان زیست توده و آب در تمام بخش‌های گیاهی نعناع حتی در کمترین میزان تنش شوری نیز به میزان قابل توجهی کاهش یافت که این میزان کاهش در قسمت‌های هوایی گیاه قابل توجه‌تر از ریشه بود (Liu *et al*., 2013).

کاربرد بیوچار به عنوان اصلاح کننده خاک به ترکیب فیزیکی و شیمیایی آن از جمله نوع ماده اولیه مصرفی، سطح ویژه و تخلخل بستگی دارد (Afshari *et al*., 2021; Zhang *et al*., 2020). هنگامی که بیوچار به خاک اضافه می‌شود، به دلیل سطح بار منفی، مساحت سطح بالا و خاصیت ترسیب کربن، به‌طور قابل توجهی بر سطح خاک، تخلخل، توزیع اندازه منافذ و ظرفیت نگهداری آب و همچنین بسیاری از جنبه‌های شیمیایی و بیولوژیکی دیگر تأثیر می‌گذارد. افزایش حاصلخیزی خاک، رشد و استقرار گیاه را در شرایط خشکی افزایش می‌دهد (Oni *et al*., 2019).

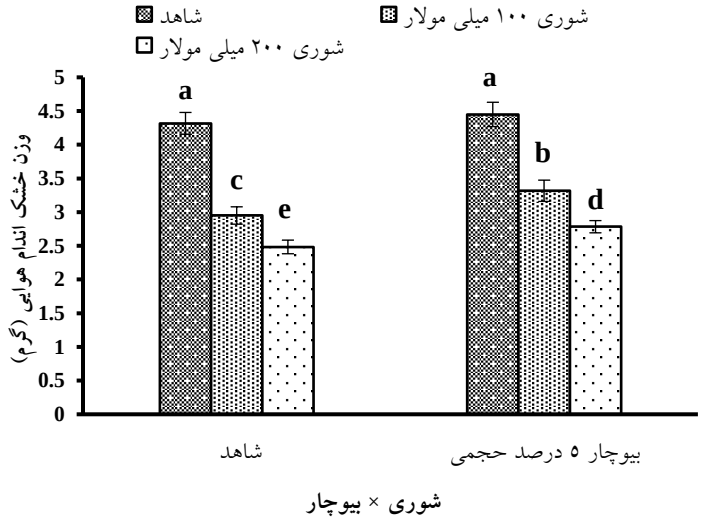
وزن خشک اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین نشان داد محلول‌پاشی روی سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد. مقدار وزن خشک ریشه در تیمار شاهد برابر ۳/۲۷ گرم بود این مقدار در تیمار محلول‌پاشی روی با افزایش ٦/٤ درصدی به ۳/٤۸ گرم رسید (شکل ۲).



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی روی بر وزن خشک اندام هوایی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).
عدم تشابه حروف بین تیمارها، بیانگر معنی‌داری است.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد و با افزایش سطح شوری، مقدار وزن خشک اندام هوایی روند کاهشی معنی‌داری پیدا کرد اما بیوچار با بهبود وضعیت خاک سبب کاهش اثر تنش شوری و افزایش وزن خشک اندام هوایی نسبت تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار) شد. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای شوری شاهد و بیوچار صفر (شاهد) و شوری شاهد و بیوچار ۵ درصد حجمی مشاهده شد. در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، تیمار بیوچار ۵ درصد حجمی سبب افزایش ۱۲/۰۸ وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار) شد (شکل ۳).



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و بیوچار بر وزن خشک اندام هوایی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).
عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

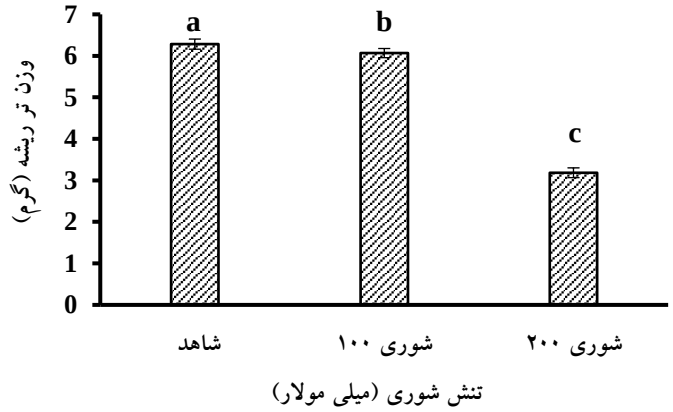
محقّقان بیان داشتند که شوری از طریق ایجاد سمّیت در خاک و بر هم زدن تعادل مواد غذایی محلول در خاک رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Morales-Covarrubias *et al*., 2016; Shrivastava and Kumar, 2015; Zörb *et al*., 2019). بررسی‌ها نشان داد که تنش شوری موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاه مرزه (Jabalbarezi *et al*., 2016)، بادرنجبویه (Gorgini Shabankareh *et al*., 2017) و شمعدانی معطر (Biranvand *et al*., 2017) شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

تنش شوری، زیست توده را در گیاهان تیمار شده کاهش داد. کاهش تولید زیست توده معمولاً در دو مرحله رخ می‌دهد. در مرحله اول یا اسمزی، دلیل اصلی کاهش زیست توده، کم شدن سطح برگ است، در حالی که در مرحله دوم، تجمع یون‌های سمی در برگ‌ها به پیری زودرس منجر می‌شود (Mancarella *et al*., 2016).

بیوچار می‌تواند رشد گیاه را عمدتاً به دلیل افزایش در دسترس بودن مواد مغذی و بهبود خواص فیزیکی خاک از جمله کاهش چگالی ظاهری افزایش دهد (Windeatt *et al*., 2014). بیوچار با گروه‌های عاملی فعال خواص شیمیایی خاک مانند ظرفیت تبادل کاتیونی را بهبود می‌بخشد و دسترسی گیاه به مواد مغذی و در نتیجه رشد بهتر گیاه را افزایش می‌دهد (Keabetswe *et al*., 2019).

وزن تر ریشه

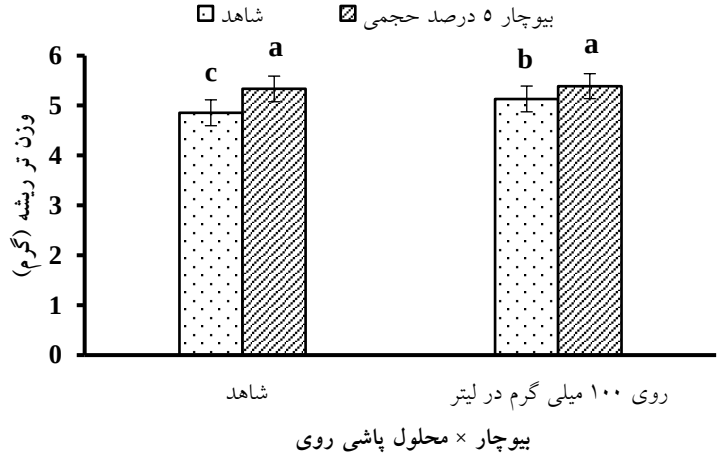
نتایج مقایسه میانگین نشان داد شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. با افزایش سطح شوری، مقدار وزن تر ریشه روند کاهشی معنی‌داری پیدا کرد به طوری که در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، کمترین مقدار وزن تر ریشه (۳/۱۸ گرم) مشاهده شد. بیشترین مقدار وزن تر ریشه نیز با ٦/٢٨ درصد در تیمار شاهد مشاهده شد. مقدار وزن تر ریشه در تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ٣/٤٤ و ٤٩/٣٣ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرد (شکل ٤).



شکل ٤- نتایج مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر وزن تر ریشه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

عدم تشابه حروف بین تیمارها، بیانگر معنی‌داری است.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار وزن تر ریشه در تیمارهای بیوچار ۵ درصد حجمی و محلول‌پاشی روی صفر (شاهد)، بیوچار ۵ درصد حجمی و محلول‌پاشی روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. کمترین مقدار وزن تر ریشه با ٤/۸۵ گرم در تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و روی) مشاهده شد. تیمار بیوچار ۵ درصد حجمی و محلول‌پاشی روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۱۰/۹۸ درصد وزن تر ریشه نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و روی) شدند (شکل ۵).

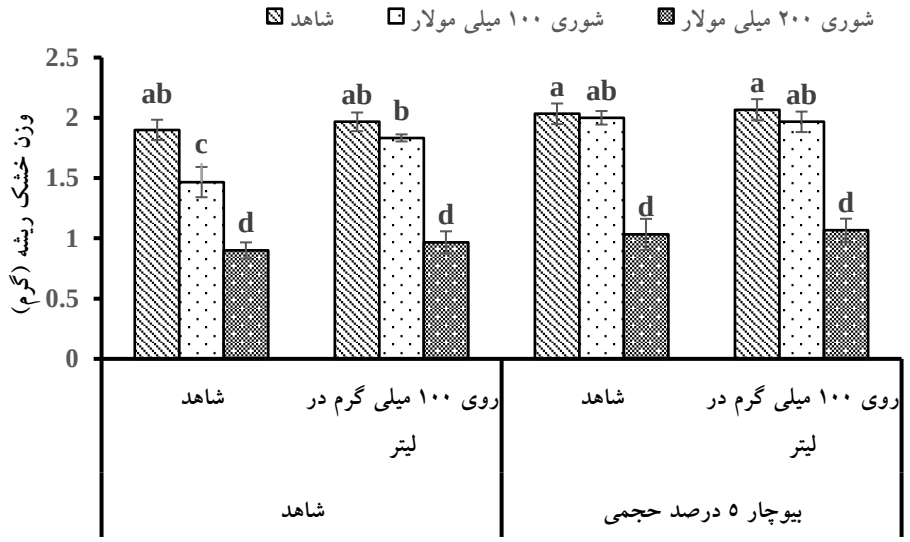


شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و روی بر وزن تر ریشه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).
عدم تشابه حروف بین تیمارها، بیانگر معنی‌داری است.

pH بالای بیوچار یکی از عوامل مؤثر بر بهبود وضعیت خاک است. pH خاک یکی از مهم‌ترین عواملی است که تأثیر مستقیم بر رشد گیاه از طریق تأثیر بر اجتماع میکروبی و چرخه عناصر غذایی دارد. به‌ویژه برای خاک‌های اسیدی، افزایش میزان pH خاک رابطه مثبتی با افزایش میزان بهره‌وری گیاه دارد (Dai *et al*., 2017; Liu *et al*., 2013).

وزن خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد اما در تیمارهای بیوچار و محلول‌پاشی روی اثر تنش شوری بر وزن خشک ریشه کاهش معنی‌داری پیدا کرد. در شرایط عدم کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی روی، مقدار وزن خشک ریشه با افزایش سطح شوری روند کاهشی معنی‌داری پیدا کرد در حالی که در سایر تیمارها با کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی روی، وزن خشک ریشه تنها در سطوح بالای شوری (۲۰۰ میلی‌مولار) کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (شوری صفر) داشت. در تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی روی) تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار سبب کاهش ۲۲/۸ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شوری صفر (شاهد) شد در حالی که در سایر تیمارها این اختلاف معنی‌دار نبود. در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی روی سبب افزایش ۳٤/۰۹ درصد وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی روی) شد (شکل ٦).

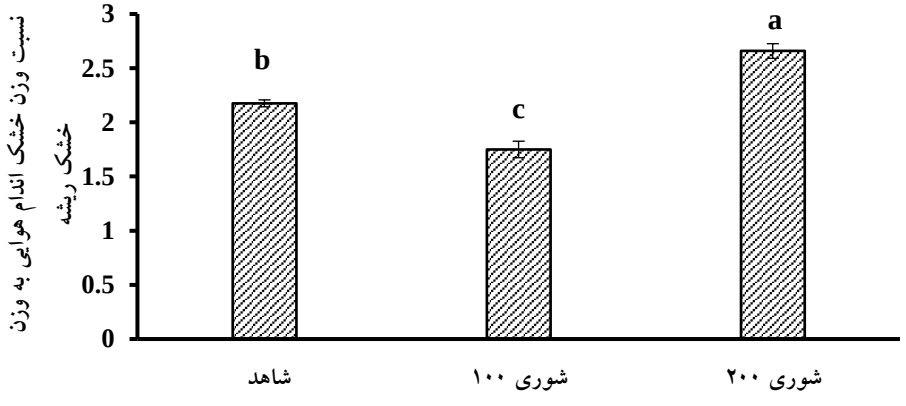


شکل ٦- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و بیوچار و روی بر وزن خشک ریشه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).
عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

ریشه‌های گیاه روی بسترهای حاوی بیوچار به خوبی رشد می‌کنند. با بهبود شرایط فیزیکوشیمیایی ریزوسفر، کاهش مقاومت خاک در برابر رشد ریشه مشاهده می‌شود (Altland & Locke, 2013). همچنین می‌تواند نفوذپذیری آب خاک را بهبود بخشد و نفوذ ریشه را تسهیل کند و کلونیزاسیون ریشه در حجم بزرگتر خاک را افزایش دهد (Atkinson *et al*., 2010).

نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه با ۲/٦٥ در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. کمترین نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه نیز با ۱/۷۵ در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر شوری بر نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).
عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

صفات بیوشیمیایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری بر عملکرد اسانس در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد. اثر متقابل شوری و بیوچار بر درصد و عملکرد اسانس معنی‌دار نشد. اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی روی بر عملکرد اسانس در سطح ۵ درصد ($P\leq0.05$) معنی‌دار شد. اثر متقابل بیوچار و محلول‌پاشی روی بر درصد اسانس در سطح ۱ درصد ($P\leq0.01$) و بر عملکرد اسانس در سطح ۵ درصد ($P\leq0.05$) معنی‌دار شد. اثر متقابل شوری و بیوچار و محلول‌پاشی روی بر صفات ذکر شده معنی‌دار نبود (جدول ۳).

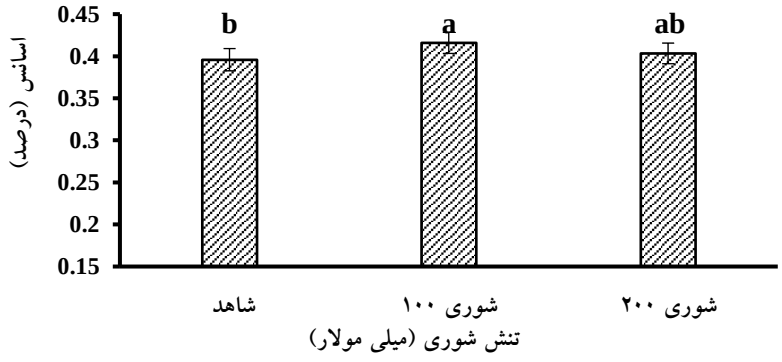
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری، بیوچار و روی بر قند محلول، فنل کل، اسانس و عملکرد اسانس گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		درصد اسانس	عملکرد اسانس
تنش شوری	۲	۰/۰۰۱۲*	۱٤۲/۲٥**
بیوچار	۱	۰/۰۰٦٤**	۳٥/۹۰**
روی	۱	۰/۰۱۸**	٥۲/۷۸**
شوری × بیوچار	۲	۰/۰۰۰۰٥۸^{ns}	۰/۱٦^{ns}
شوری × روی	۲	۰/۰۰۰۰۸٦^{ns}	۳/۳٦*
بیوچار × روی	۱	۰/۰۰٥۳**	٤/۷٥*
شوری × بیوچار × روی	۲	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۹٤^{ns}
خطا	۲۲	۰/۰۰۰۲٤	۰/۹٦
ضریب تغییرات (٪)	–	۳/۸٦	۷/۱۱

**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

درصد اسانس

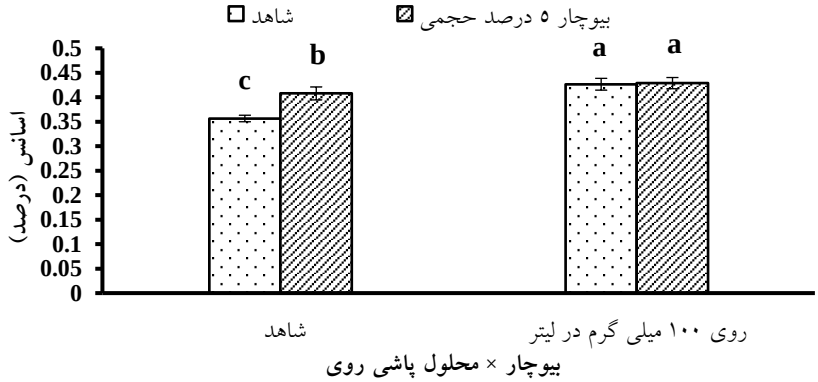
بر اساس نتایج مقایسه میانگین، شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار درصد اسانس نسبت به تیمار شاهد شد اما سطوح بالاتر شوری (تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار) تفاوت معنی‌داری در مقدار اسانس ایجاد نکرد. بیشترین درصد اسانس در تیمارهای شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. کمترین مقدار اسانس نیز با ۰/۳۹۵ در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۸).



شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر شوری بر درصد اسانس گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).

افزایش تراکم غده‌های اسانس در هنگام تنش، می‌تواند دلیل افزایش اسانس در برخی از گونه‌های گیاهی باشد. گاهی اوقات، کاهش متابولیسم اولیه گیاهان در طی تنش می‌تواند منجر به تجمع برخی از محصولات میانی شود، که به شکل متابولیت‌های ثانویه مانند اسانس‌های ضروری در می‌آیند (Said-Al Ahl *et al.*, 2016). تنش‌های شوری و خشکی در تولید اسانس مهم هستند. تنش شوری ممکن است از طریق تغییر مسیرهای تولید متابولیت‌های ثانویه و توزیع آن‌ها، بر تولید اسانس تأثیر بگذارد (Farouk and Omar, 2020).

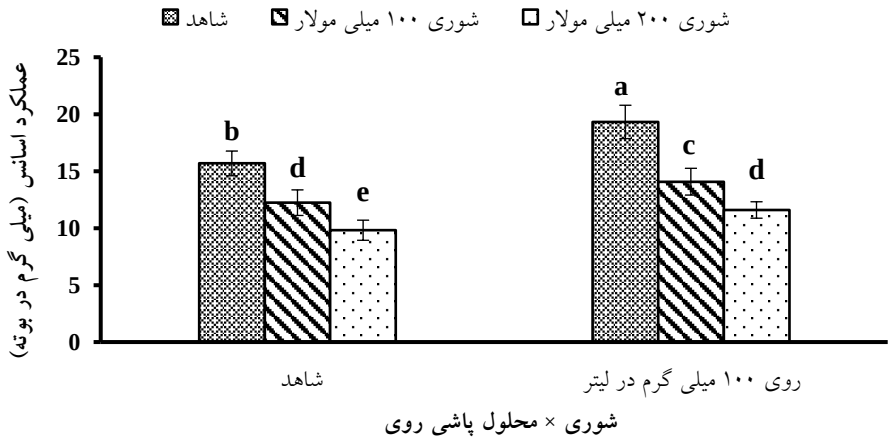
نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیوچار و محلول‌پاشی روی هر دو سبب افزایش درصد اسانس نسبت به تیمار شاهد شدند. کمترین مقدار اسانس با ۰/۳۵٦ درصد در تیمار بیوچار شاهد و محلول‌پاشی شاهد مشاهده شد (شکل ۹).



شکل ۹- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و محلول‌پاشی روی بر درصد اسانس گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

عملکرد اسانس

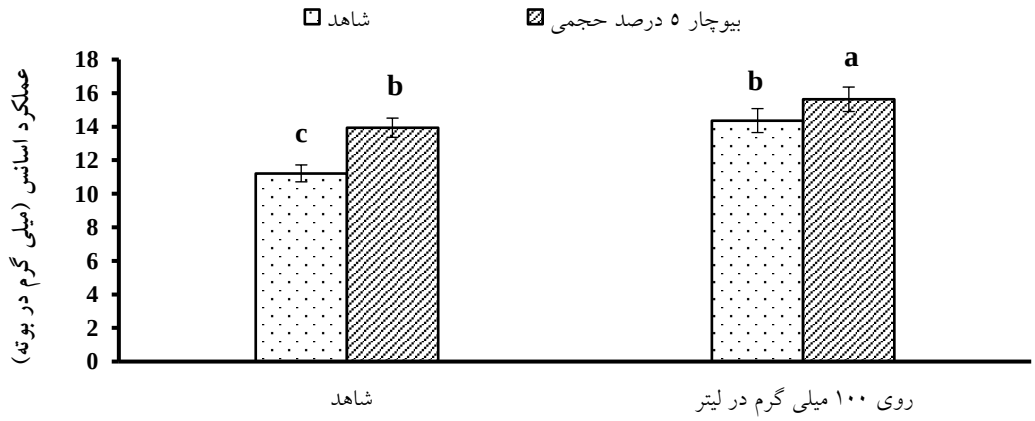
نتایج مقایسه میانگین نشان داد شوری سب کاهش معنی‌دار عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد شد اما محلول‌پاشی روی با تعدیل اثر تنش شوری سبب افزایش عملکرد اسانس شد. بیشترین مقدار عملکرد اسانس با ۱۹/۳۲ میلی‌گرم در بوته در تیمار شوری شاهد و محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. کمترین مقدار عملکرد اسانس نیز ۹/۸۱ میلی‌گرم در بوته در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی شاهد مشاهده شد. در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۱۸/۱۰ درصدی عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی روی بر عملکرد اسانس گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).
عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

عملکرد اسانس با ماده خشک و مقدار اسانس محاسبه می‌شود. بنابراین کاهش زیست توده اندام هوایی و درصد اسانس منجر به عملکرد اسانس می‌شود (Hassanvand *et al*., 2019).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیوچار و محلول‌پاشی روی هردو سبب افزایش عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد شدند. بیشترین مقدار عملکرد اسانس با ۱۵/۶۳ میلی‌گرم در بوته در تیمار بیوچار ۵ درصد حجمی و محلول‌پاشی روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. کمترین مقدار عملکرد اسانس نیز با ۱۱/۲۱ میلی‌گرم در بوته در تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی روی) مشاهده شد. تیمار بیوچار ۵ درصد حجمی و محلول‌پاشی روی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۳۹/۴۰ درصدی عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار و محلول‌پاشی روی) شدند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و محلول‌پاشی روی بر عملکرد اسانس گشنیز (*Coriandrum sativum* L.).
عدم تشابه حروف بین تیمارها بیانگر معنی‌داری است.

بیوچار به‌عنوان تهویه کننده خاک، حاوی مواد مغذی گیاهی است با این حال، بهتر است از بیوچار همراه با مواد مغذی اضافی برای بهبود عملکرد آن استفاده شود. مطالعات دیگر نشان داده است که بیوچار مواد مغذی را در برابر شستشو حفظ می‌کند. که به طور بالقوه باعث بهبود کارایی مواد مغذی به کار رفته در کنار بیوچار می‌شود (Agegnehu *et al*., 2015). منبع مواد بیوچار به شدت بر محتوا و در دسترس بودن عناصر غذایی در خاک پس از اصلاح تأثیر می‌گذارد. خواص شیمیایی خاک پس از اصلاح به شدت تحت تأثیر منبع بیوچار اعمال شده قرار خواهد گرفت (Major *et al*., 2010). پژوهشگران در سال ۲۰۱٦ نشان دادند که بیوچار باعث افزایش عملکرد اسانس ریحان شد (Pandey *et al*., 2016).

نتیجه‌گیری

مطالعه گلخانه‌ای حاضر به تعامل پیچیده بیوچار و تغذیه روی در پاسخ گشنیز به تنش شوری پرداخت. کاهش قابل توجهی در وزن ریشه و اندام هوایی تحت تنش شوری مشاهده شد که بر تأثیر مخرب شوری شدید بر رشد گشنیز تأکید کرد. با این حال، زمانی که شوری ۲۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl همراه با ۵ درصد حجمی بیوچار و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی روی به کار برده شد، واکنش گیاه به شرایط شوری و تیمارها منجر به افزایش ۲۲/۰۳ درصدی وزن تر اندام هوایی و افزایش ٤۳/۸۵ درصدی در ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. وزن خشک نیز تحت تاثیر این پتانسیل هم‌افزایی بیوچار و روی قرار گرفت و باعث بهبود محدودیت‌های رشد ناشی از شوری شد که این امر به طور بالقوه استراتژی‌های جدیدی را برای کشت گشنیز در محیط‌های شور باز می‌کند.

تیمار ۵ درصد بیوچار حجمی و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر روی، بالاترین تولید اسانس را با ۱۵/٦۳ میلی‌گرم در هر بوته به همراه داشت که بر اهمیت آن‌ها در تقویت مسیرهای بیوسنتز متابولیت ثانویه تاکید می‌کند. این نشان‌دهنده بهبود قابل توجه عملکرد اسانس در مقایسه با گروه شاهد است که بر پیامدهای اقتصادی و صنعتی بالقوه این مداخلات در کشت گشنیز تأکید دارد.

به طور کلی، تحقیق حاضر بر پتانسیل امیدوارکننده بیوچار و روی به عنوان استراتژی‌های کاهش تنش ناشی از شوری در کشت گشنیز تاکید می‌کند که به طور همزمان باعث رشد و افزایش تولید اسانس می‌شود. این نتایج به پیشرفت شیوه‌های کشاورزی پایدار کمک می‌کند و راه‌هایی برای بهینه‌سازی عملکرد محصول در شرایط محیطی چالش‌برانگیز ارائه می‌دهد.

REFERENCES

Afshari, M., Pazoki, A., and Sadeghipour, O. 2021. Foliar-applied silicon and its nanoparticles stimulate physio-chemical changes to improve growth, yield and active constituents of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil under different irrigation regimes. *Silicon* 1-12.

Agegnehu, A., Bird, M.I., Nelson, P.N., and Bass, A.M. 2015. The ameliorating effects of biochar and compost on soil quality and plant growth on a Ferralsol. *Soil Research* 53, 1-12.

Ali, Sh., Muhammad, R., Muhammad, F.Q., Yong, S.O., Muhammad, I., Muhammad, R., Muhammad, S.A., Farhan, H., Mohammad, I Al-W., and Ahmad, N.Sh. 2017. Biochar soil

amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research* 24, 12700-12.

Altland, J.E., and James, C.L. 2013. Effect of biochar type on macronutrient retention and release from soilless substrate. *HortScience* 48, 1397-402.

Amiripour, A., Ghanbari Jahromi, M., Soori, M.K., and mohammadi Torkashvand, A. 2021. Changes in essential oil composition and fatty acid profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under salinity and foliar-applied silicon. *Industrial Crops and Products* 168, 113599.

Atkinson, Ch.J., Jean, D.F., and Neil, A.H. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil* 337, 1-18.

Aziz, E.E., Al-Amier, H., and Craker, L.E. 2008. Influence of salt stress on growth and essential oil production in peppermint, pennyroyal, and apple mint. *Journal of herbs, spices & medicinal plants* 14, 77-87.

Bai, X., Dai, L., Sun, H., Chen, M., and Sun, Y. 2019. Effects of moderate soil salinity on osmotic adjustment and energy strategy in soybean under drought stress. *Plant physiology and biochemistry* 139, 307-13.

Bakhtiari, M., Mozafari, H., Karimzadeh Asl, Kh., Sani, B., and Mirza, M. 2020. Bio-organic and inorganic fertilizers modify leaf nutrients, essential oil properties, and antioxidant capacity in medic savory (*Satureja macrantha* L.). *Journal of Biological Research-Bollettino della Società Italiana di Biologia Sperimentale* 93.

Biranvand, M., Rezainejad, A., and Hosseini, S.Z. 2017. Effect of two species of mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae* and *G. intraradices*) on some morphological and physiological characteristics of fragrant geranium (*Pelargonium graveolens* L.) under salinity stress. *Journal of soil-plant relations* 8, 107- 21.

Corwin, D.L., and Scudiero, E. 2019. Review of soil salinity assessment for agriculture across multiple scales using proximal and/or remote sensors. *Advances in agronomy* 158, 1-130.

Dai, Zh., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, Ph.C., and Jianming, X. 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification-a critical review. *Science of the Total Environment* 581, 601-11.

Farouk, S., and Omar, M.M. 2020. Sweet basil growth, physiological and ultrastructural modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. *Journal of Plant Growth Regulation* 39, 1307-31.

Garajeh Kazemi, M., Malakyar, F., Weng, Q., Feizizadeh, B., Blaschke, T., and Lakes, T. 2021. An automated deep learning convolutional neural network algorithm applied for soil salinity distribution mapping in Lake Urmia, Iran. *Science of the Total Environment* 778, 146253.

Ghasemi-Soloklui, A.A., Didaran, F., Kordrostami, M., and Al-Khayri, J.M. 2023. Plant mediation to tolerate cadmium stress with selenium and nano-selenium. *Nanomaterial Interactions with Plant Cellular Mechanisms and Macromolecules and Agricultural Implications* (Springer).

Gorgini Shabankareh, H., Sabouri, F., Saedi, F., and Fakheri, B.A. 2017. Effects of different levels of humic acid on growth indices and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under different irrigation regimes. *Crop Science Research in Arid Regions* 1(2), 166-176.

Hafez, E.M., Alaa Omara, EL.D. Alhumaydhi, F.A., and El-Esawi, M.A. 2021. Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar', *Physiologia Plantarum* 172, 587-602.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., and Fujita, M. 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. *Ecophysiology and responses of plants under salt stress* 25-87.

Hassanvand, F., Rezaei Nejad, A., and Fanourakis, D. 2019. Morphological and physiological components mediating the silicon-induced enhancement of geranium essential oil yield under saline conditions. *Industrial Crops and Products* 134, 19-25.

Jabalbarezi, B., Zarei, M., Karimian, N., and Saharkhiz, M.J. 2016. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Nutrients Uptake, Some Growth Indices and Essence Oil Content of *Satureja hortensis* under Salinity Stress Conditions. *Water and Soil Science* 25(4/2), 285-299.

Keabetswe, L., Shao, G.Ch., Cui, J., Lu, J., and Stimela, T. 2019. A combination of biochar and regulated deficit irrigation improves tomato fruit quality: A comprehensive quality analysis. *Folia Horticulturae* 31, 181-93.

Khalid, U., Sher, F., Noreen, S., Lima, E.C., Rasheed, T., Sehar, S., and Amami, R. 2022. Comparative effects of conventional and nano-enabled fertilizers on morphological and physiological attributes of *Caesalpinia bonducella* plants. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 21, 61-72.

Liu, X., Zhang, A., Ji, Ch., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., and Paz-Ferreiro, J. 2013. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. *Plant and soil* 373, 583-94.

Ma, Y., Rosenheck, R., and He, H. 2020. Psychological stress among health care professionals during the 2019 novel coronavirus disease Outbreak: Cases from online consulting customers. *Intensive and Critical Care Nursing* 61, 102905.

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., and Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a *Colombian savanna* oxisol. *Plant and soil* 333, 117-28.

Mancarella, S., Orsini, F., Van Oosten, M.J., Sanoubar, R., Stanghellini, C., Kondo, S., Gianquinto, G., and Maggio, A. 2016. Leaf sodium accumulation facilitates salt stress adaptation and preserves photosystem functionality in salt stressed *Ocimum basilicum*. *Environmental and Experimental Botany* 130, 162-73.

Mansoor, Sh., Kour, N., Manhas, S., Zahid, Sh., Wani, O.A., Sharma, V., Wijaya, L., Alyemeni, M.N., Alsahli, A.A., and El-Serehy, H.A. 2021. Biochar as a tool for effective management of drought and heavy metal toxicity. *Chemosphere* 271, 129458.

Morales-Covarrubias, M., Soledad, M., García-Aguilar, N., Bolan-Mejía, M.C., and Puello-Cruz, A.C. 2016. Evaluation of medicinal plants and colloidal silver efficiency against Vibrio parahaemolyticus infection in Litopenaeus vannamei cultured at low salinity. *Diseases of Aquatic Organisms* 122, 57-65.

Nourzad, S., Ahmadian, A., and Moghaddam, M. 2015. Proline, Total Chlorophyll, Carbohydrate Amount and Nutrients Uptake in Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) under Drought Stress and Fertilizers Application. *Iranian Journal of Field Crops Research* 13(1), 131-139.

Oni, B.A., Oziegbe, O., and Olawole, O.O. 2019. Significance of biochar application to the environment and economy. *Annals of Agricultural Sciences* 64, 222-36.

Pandey, V., Patel, A., and Patra, D.D. 2016. Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ecological Engineering* 90, 361-66.

Razzaghi, F., Obour, P.B., and Arthur, E. 2020. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma* 361, 114055.

Sahab, S., Suhani, I., Srivastava, V., Chauhan, P.S., Singh, R.P. and Prasad, V. 2021. Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. *Science of the Total Environment* 764, 144164.

Said-Al Ahl, H.A.H., and EA Omer, E.A. 2011. Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review. *Herba polonica* 57.

Said-Al Ahl., H.A.H., Abou-Ellail, M., and Omer, E.A. 2016. Harvest date and genotype influences growth characters and essential oil production and composition of *Petroselinum crispum* plants. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 8, 992-1003.

Sefidkon, F., and Akbari-nia, A. 2009. Essential Oil Content and Composition of *Satureja sahendica* Bornm. at Different Stages of Plant Growth. *Journal of Essential Oil Research* 21(2), 112-114.

Seifikalhor, Maryam, Sasan Aliniaeifard, Françoise Bernard, Mehdi Seif, Mojgan Latifi, Batool, H., Didaran, F., Bosacchi, M., Rezadoost, H., and Li, T. 2020. γ-Aminobutyric acid confers cadmium tolerance in maize plants by concerted regulation of polyamine metabolism and antioxidant defense systems. *Scientific reports* 10, 3356.

Shrivastava, P., and Kumar, R. 2015. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of biological sciences* 22, 123-31.

Singh, A., Singh, N.B., Afzal, Sh., Singh, T., and Hussain, I. 2018. Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. *Journal of materials science* 53, 185-201.

Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., and Adam, V. 2018. Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of hazardous materials* 349, 101-10.

Tolay, I. 2021. The impact of different Zinc (Zn) levels on growth and nutrient uptake of Basil (*Ocimum basilicum* L.) grown under salinity stress. *PLoS One* 16, e0246493.

Windeatt, J.H., Ross, A.B., Williams, P.T., Forster, P.M., Nahil, M.A. and Singh, S. 2014. Characteristics of biochars from crop residues: potential for carbon sequestration and soil amendment. *Journal of environmental management* 146, 189-97.

Zhang, Y., Ding, J., Wang, H., Su, L., and Zhao, C. 2020. Biochar addition alleviate the negative effects of drought and salinity stress on soybean productivity and water use efficiency. *BMC Plant Biology* 20, 1-11.

Zörb, Ch., Geilfus, C-M., and Dietz, K-J. 2019. Salinity and crop yield. *Plant biology* 21, 31-38.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 4/No. 4/Winter 2025/P: 14 -32

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Investigating The Growth Indicators and Quality Performance of Coriander Plant (*Coriandrum sativum* L.) Under Zinc Nutrition and Biochar Application Under Salinity Stress Conditions

Sahar Sadat Fathollahi[1], Ali Mohammadi Torkashvand[2*], Marzieh Ghanbari Jahromi[3]

[1]MSc student, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[2] Department of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[*]Corresponding Author's Email: a-mohammadi@srbiau.ac.ir

(Received: October. 13, 2024 – Accepted: February. 15, 2025)

ABSTRACT

This greenhouse study aims to examine the synergistic impact of biochar and zinc on the quantitative and qualitative attributes of coriander (*Coriandrum sativum* L.) between the years 1400 and 1401. A thorough examination was conducted to analyze the combined effects of these factors. In the context of a complete randomized design (CRD), a factorial experimental approach was employed to investigate the effects of salt on plant growth. Three different levels of salinity (0-, 100-, and 200-mM sodium chloride) were applied to the plants by irrigation water. Additionally, two levels of biochar (0% and 5% by volume) were incorporated into the substrate to examine its potential impact on plant response. The present study aimed to assess the effects of zinc sulfate on growth, specifically focusing on two levels of zinc foliar application: 0 mg/L and 100 mg/L. The results indicated a notable reduction in both the wet and dry mass of root and shoot structures when subjected to salt-induced stress. The concurrent implementation of a salinity level of 200 mM, a biochar concentration of 5% by volume, and a foliar application of 100 mg/L zinc resulted in a notable 22.03% enhancement in shoot fresh weight and a substantial 43.85% rise in root dry weight. These findings underscore the promising prospects of employing foliar application techniques. The utilization of biochar and zinc as potential strategies to mitigate the detrimental impacts of salt stress on plant growth. Furthermore, the current study highlights the beneficial impact of biochar and zinc foliar application on the production of essential oils in comparison to the control treatment. The treatment that consisted of 5% biochar by volume and 100 mg/l of zinc foliar spraying resulted in the maximum essential oil output of 15.63 mg per plant. In contrast, the control treatment, which did not involve biochar or zinc foliar spraying, yielded the lowest quantity of essential oil at 11.21 mg. He obtained access to the thicket entrance. The results indicate a substantial rise in the production of essential oil, up to 39.40%, when employing a 5% biochar treatment in conjunction with a 100 mg/L zinc foliar application, in comparison to the control treatment that lacks these interventions.

Keywords: Coriander, Salinity stress, Biochar, zinc nutrition, Essential oil performance