تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
۶۰۶-۵۹۵
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1419.1308

اثر بیوچار بر خصوصیات رشدی و نسبت پتاسیم به سدیم مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش کلرید سدیم

لیلا مهدی‌زاده[۱]، محمد مقدم[۲]*، امیرلکزیان[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۲۶

چکیده

شوری یکی از تنش‌های محیطی است که سبب اختلال در جذب یون‌های ضروری و درنتیجه محدودیت در رشد گیاهان می‌شود. کاهش رشد یک نوع سازگاری برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است. در سالیان اخیر ماده آلی بیوچار به دلیل کاربرد آن در اصلاح خاک بسیار موردتوجه قرار گرفته است. به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار بر خصوصیات رشدی، غلظت سدیم و پتاسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ماده آلی بیوچار در سه سطح (۰، ۱ و ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) و آبیاری با آب‌شور در ۳ سطح شوری (۰، ۴۰، ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثرات متقابل شوری و کاربرد بیوچار بر خصوصیات رشدی موردمطالعه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ در تیمار کاربرد ۲ درصد بیوچار بدون شوری مشاهده شد. همچنین با افزایش غلظت نمک، میزان سدیم برگ مرزه افزایش یافت و از میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم آن کاسته شد. به‌طورکلی، شوری با اختلال در میزان جذب پتاسیم و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم گیاه سبب کاهش صفات رشدی موردمطالعه در مرزه گردید و بیوچار با جذب یون‌های نمک سبب بهبود صفات رشدی مرزه تابستانه در تیمارهای شوری گردید.

***واژه‌های کلیدی*: آب‌شور، پیرولیز، تنش شوری، زغال کشاورزی، مدیریت خاک شور**

مقدمه

تنش‌های گوناگون محیطی از مهم‌ترین علل ایجاد مشکلات متعدد در تولیدات کشاورزی می‌باشند و تنش شوری یکی از این تنش‌ها است (Noori et al., 2012). کلرید سدیم اصلی‌ترین منبع شوری بوده و اصطلاح شوری در بیشتر موارد به حضور بیش‌ازاندازه‌ی این نمک در خاک گفته می‌شود (Heidari Sharifabad, 2001). شوری سه اثر اصلی در گیاه دارد: کاهش پتانسیل آب خاک و درنتیجه دشواری جذب آب توسط ریشه گیاه، اثر سمیت یونی (به‌ویژه یون‌های کلر و سدیم) و اختلال در جذب یون‌های غذایی ضروری که رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. پاسخ گیاهان به شوری به نوع گیاه، مرحله رشد گیاه، شدت و مدت تنش بستگی دارد. افزایش غلظت سدیم محلول و تبادلی، باعث تخریب ساختمان خاک و درنتیجه کاهش قابلیت نفوذ آب به خاک می‌گردد. همچنین تنش شوری به دلیل رقابت سدیم با کاتیون‌های ضروری لازم برای عملکرد سلول موجب محدودیت در جذب مواد غذایی معدنی می‌شود (Tester and Davenport, 2003).

* نگارنده پاسخگو: محمد مقدم. پست الکترونیک: m.moghadam@um.ac.ir

دو ویژگی اصلی آب‌های شور، پتانسیل اسمزی پایین و غلظت زیاد املاحی است که بالقوه، برای گیاهان سمی هستند. املاح موجود در خاک سبب کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه شده و جذب آب به‌وسیله ریشه را محدود می‌کند و گیاه دچار نوعی خشکی فیزیولوژیک می‌شود. علاوه بر این غلظت زیاد املاح در خاک و درنتیجه جذب یون‌هایی مثل سدیم و کلر در گیاه سمیت ایجاد می‌کند (Niu et al., 1995).

یکی از راه‌های خروج نمک از پروفیل خاک استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی است که علاوه بر اصلاح خاک، سبب افزایش حاصلخیزی خاک نیز می‌گردد (Melero et al., 2007). با توجه به توسعه اراضی شور در جهان، یکی از راهکارهای اساسی برای کاهش اثرات منفی تنش شوری روی گیاه، استفاده از راهکارهای زیستی ازجمله انواع مختلف مواد آلی مانند انواع کود دامی، بقایای گیاهی و بیوچار[1] است (Hejazi Zadeh et al., 2016). بیوچار سبب بهبود ظرفیت نگهداری آب، کاهش اثرات تنش و بهبود تغذیه آن می‌گردد (Arefi, 2015; Hejazi Zadeh et al., 2016). اصلاح‌کننده آلی بیوچار در سالیان اخیر به دلیل موضوع جهانی تغییرات آب و هوایی و مدیریت خاک بسیار موردتوجه قرار گرفته است. بیوچار ترکیب پایداری از زغال تولیدشده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی، ماده‌ای متخلخل و بسیار ریزدانه است که در دمای کم تا متوسط (۶۵۰-۴۵۰ درجه سلسیوس) تا زیاد (۱۰۰۰ درجه سیلیسوس) تحت شرایطی با اکسیژن محدود یا عدم حضور اکسیژن طی فرایندی به نام پیرولیز[2] تولید می‌شود (Sohi et al., 2009). بیوچار بر روی سطح خود دارای گروه‌های عاملی است و بار منفی گروه‌های عاملی در طول زمان و طی اکسایش در خاک افزایش می‌یابد (Chiang et al., 2007).

مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) گیاهی یک‌ساله یا چندساله علفی و معطر از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است (Yazdanpanah et al., 2011). این گیاه از شمال آفریقا تا جنوب اروپا، خاورمیانه و آسیای مرکزی پراکنده شده است (Omidbaigi, 2004). مرزه تابستانه یکی از گونه‌های جنس مرزه است که به‌عنوان سبزی، ادویه یا گیاه دارویی کشت می‌شود (Hadian et al., 2008). مواد مؤثره پیکر رویشی این گیاه برای درمان نفخ، بی‌اشتهایی، کمک به هضم غذا و درمان ناراحتی‌های عصبی مورداستفاده قرار می‌گیرد. اسانس مرزه خاصیت ضدقارچی و ضد باکتریایی داشته و در صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی و عطرسازی کاربردهای فراوانی دارد (Sefidkon et al., 2006).

نتایج حاصل از پژوهش‌های قبلی نشان دادند که شوری سبب کاهش برخی صفات مورفولوژیک گیاه مرزه گردید (Razghandi, 2014; Sodaeizadeh et al., 2016). مطالعات زیادی درباره استفاده از بیوچار به‌منظور جذب فلزات سنگین انجام گرفته است (Arefi, 2015; Hejazi Zadeh et al., 2016)، بااین‌وجود مطالعات اندکی در مورد اثرات کاربرد این ماده در شرایط تنش شوری وجود دارد (Rezaeian, 2015; Hammer et al., 2015). با توجه به ویژگی‌های ماده آلی بیوچار، در این تحقیق اثر کاربرد بیوچار بر روی خصوصیات رشدی و غلظت سدیم و پتاسیم گیاه مرزه تحت تنش شوری ناشی از آبیاری با کلرید سدیم بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار بر خصوصیات رشدی و غلظت سدیم و پتاسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری، مطالعه‌ای بر اساس آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور و در ۴ تکرار در گلخانه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ماده آلی بیوچار در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) و آبیاری با آب‌شور در ۳ سطح شوری (صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب معادل صفر، ۳/۵ و ۷ دسی زیمنس بر متر) بود. بافت خاک مورداستفاده لومی شنی (۷۳/۴٪ شن، ۱۸/۳٪ سیلت و ۸/۳٪ رس) با pH= ۸/۰۹، EC_e= ۴/۰۹ (µS/cm) و CEC = ۸ (meq/100gr soil) بود. برای تهیه بیوچار موردنیاز چوب‌های درخت توت (*Morus alba*) در کوره الکتریکی با دمای ۵۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۴ ساعت قرار داده شدند و پس از سرد شدن کوره، بیوچار از آن خارج شد. سپس بیوچار حاصل به قطعات بسیار کوچک خرد شد و با عبور از الک ذرات بین ۱-۲ میلی‌متر با اندازه یکسان آماده شدند. نتایج حاصل از تجزیه بیوچار نیز شامل: pH: ۹/۷، EC: ۶/۸۸ (µS/cm) (به‌صورت رقیق‌شده به نسبت ۱:۱۰)، CEC: ۵/۲ (meq/100gr soil)، جرم

[1] Biochar

[2] Pyrolysis

مخصوص ظاهری (g/cm^3) ۰/۴۷، درصد کربن آلی ۳/۵۱٪ و درصد ماده آلی ۶/۰۵٪ بود. مخلوط خاک مورداستفاده در گلدان شامل خاک زراعی، خاک‌برگ و ماسه به نسبت ۲:۱:۲ بود و سطوح مختلف بیوچار به خاک موردنظر افزوده شد و به‌طور کامل با خاک گلدان مخلوط گردید.

بذور مرزه از شرکت بذر عنبری مشهد تهیه شدند و به‌طور مستقیم در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۵ و قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و حاوی ۳ کیلوگرم مخلوط خاکی کشت شدند. تنک کردن در مرحله ۶-۴ برگی انجام شد. به‌طوری‌که ۴ بوته در ۴ نقطه هر گلدان حفظ شد. گلدان‌ها در گلخانه با دمای ۲۵-۱۸ درجه سلسیوس (روز-شب) و میانگین رطوبت نسبی گلخانه ۷۰ تا ۸۵ درصد نگهداری شدند. برای اعمال سطوح شوری موردنظر، آبیاری با آب‌شور حاصل از نمک کلرید سدیم (NaCl) در مرحله ۶ برگی هر دو روز یک‌بار انجام شد. آبشویی گلدان‌ها به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک هر دو هفته یک‌بار با همان غلظت آب‌شور در هر تیمار انجام شد.

گیاهان در مرحله گلدهی برداشت شدند و خصوصیات رشدی آن‌ها بررسی شدند. پارامترهای رشدی شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه، تعداد گره، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه با استفاده از روش‌های رایج اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن خشک برگ و ساقه، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و توزین شدند. قطر ساقه با کولیس دیجیتال و ارتفاع بوته با خط‌کش اندازه‌گیری شدند. در هر صفت میانگین چهار بوته محاسبه و در هر تکرار ثبت شد. برای اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم نمونه‌های خشک گیاهی با اسید نیتریک مخلوط و به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس در اجاق هضم قرار داده شد و غلظت آن‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و با روش نشر شعله‌ای اندازه‌گیری شد (Tabatabaei, 2009). سپس مقدار آن‌ها برحسب درصد وزن خشک گزارش گردید.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 انجام شدند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون Bonferroni در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشدی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۳۲/۱۷ سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی (۱۸/۹۲)، قطر ساقه (۱۱/۸۸ میلی‌متر)، تعداد گره (۱۰/۲۵)، وزن تر (۱/۷۵ گرم در گیاه) و خشک (۰/۶ گرم در گیاه) ساقه و بیشترین وزن تر (۳/۴۴ گرم در گیاه) و خشک (۰/۸۲ گرم در گیاه) برگ در تیمار کاربرد ۲ درصد بیوچار در شرایط بدون شوری مشاهده شدند (جدول ۱). همچنین با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها کمترین ارتفاع بوته (۱۹/۲۵ سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی (۱۱/۵)، قطر ساقه (۵/۴۴ میلی‌متر)، تعداد گره (۶/۲۱)، وزن تر (۰/۵۸ گرم در گیاه) و خشک (۰/۲۸ گرم در گیاه) ساقه، وزن تر (۱/۲۶ گرم در گیاه) و خشک (۰/۲۹ گرم در گیاه) برگ در تیمار شوری ۸۰ میلی-مولار کلرید سدیم و عدم کاربرد بیوچار مشاهده شد (جدول ۱). بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، کاربرد ۲ درصد بیوچار در هر دو سطح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه، تعداد گره، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ گردید (جدول ۱). همچنین مقایسه سطوح مختلف بیوچار نشان داد کاربرد ۲ درصد بیوچار نسبت به سطح ۱ درصد آن در هر دو سطح تنش شوری (۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار) موجب بهبود صفات موردمطالعه گردید (جدول ۱). بررسی وزن تر گیاه نشان داد که کاربرد ۱ درصد بیوچار در شوری ۴۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری با شرایط بدون شوری نداشت. به‌طوری‌که در شوری ۴۰ میلی‌مولار، کاربرد ۲ درصد بیوچار موجب افزایش وزن تر برگ (۳/۰۳ گرم در گیاه) نسبت به عدم استفاده از بیوچار در این سطح شوری گردید. همچنین در شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار نیز کاربرد ۲ درصد بیوچار، باعث شد تا وزن تر گیاه (۱/۹۸ گرم در گیاه) مشابه شرایط بدون شوری (۲/۴۹ گرم در گیاه) باشد به‌طوری‌که به لحاظ آماری اختلاف معنی-داری بین آن‌ها وجود ندارد (جدول ۱). علاوه بر این میزان وزن خشک برگ (۰/۵۵ گرم در گیاه) در تیمار شوری ۴۰ میلی‌مولار و کاربرد ۱ درصد بیوچار ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری با شرایط بدون شوری (۰/۵۹ گرم در گیاه) نشان نداد. همچنین در تیمار شوری ۴۰ میلی‌مولار، کاربرد ۲ درصد بیوچار موجب شد که گیاهان وزن خشک (۰/۷۸ گرم در گیاه) بیشتری نسبت به شرایط بدون شوری (۰/۵۹ گرم در گیاه) داشته باشند. همچنین در شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار نیز کاربرد ۲ درصد بیوچار، باعث شد تا وزن خشک گیاه اختلاف معنی‌داری با شرایط بدون شوری نداشته باشد (جدول ۱)؛

بنابراین، بیوچار در شرایطی که آب‌شور برای آبیاری موجود است، می‌تواند افت وزن تر و خشک برگ ناشی از شوری را کاهش دهد که نیازمند بررسی‌های بیشتر مزرعه‌ای است.

شوری فاکتوری محیطی است که تمام مراحل رشد و نمو گیاه را کم‌وبیش تحت تأثیر قرار می‌دهد. گیاهان در مقابله با شوری، تغییرات مورفولوژیکی بسیاری مانند کاهش ارتفاع گیاه و وزن خشک از خود نشان می‌دهند (Munns and Tester, 2008). کاهش رشد یک نوع سازگاری برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است. مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش در بررسی تأثیر تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیک ۵ جمعیت مرزه تابستانه مشخص شد که سطوح مختلف شوری بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد این گیاه اثر معنی‌داری داشت (Razghandi, 2014). در مطالعه‌ای بر روی مرزه کاهش معنی‌داری در رشد رویشی، با افزایش سطح شوری مشاهده شد (El-Shafy et al., 1991). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق، افزایش شوری باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و وزن خشک برگ آویشن (Babaei et al., 2010)، کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک و تر برگ و ساقه ریحان (Bernstein et al., 2010) و کاهش وزن خشک برگ شوید (Noorani Azad and Haji Bagheri, 2008) گردید. علاوه بر این، نتایج حاصل از یک پژوهش بر روی گیاه مرزه نشان داد که آبیاری با آب‌شور سبب کاهش برخی صفات مورفولوژیکی گیاه مانند وزن خشک برگ و ساقه، قطر ساقه، تعداد انشعابات فرعی و ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شد (Sodaeizadeh et al., 2016) که مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق است. کاهش رشد و عملکرد بستگی به غلظت نمک دارد. هرچه غلظت نمک افزایش یابد کاهش رشد چشمگیرتر است که در یافته‌های حاصل از این آزمایش نیز مشاهده گردید. کاهش رشد به دلیل افت انرژی ذخیره‌ای گیاه است که به علت اختلال در فعالیت‌های زیستی و متابولیسمی گیاه به وجود می‌آید. شوری سبب بسته شدن روزنه‌ها و درنتیجه کاهش جذب CO_2 می‌شود و این کاهش موجب تأمین ناکافی کربن برای رشد می‌گردد. شوری با کاهش سنتز تحریک‌کننده‌های رشد گیاه مانند سیتوکینین و افزایش بازدارنده‌های رشد مانند اسید آبسیزیک باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (Ungar, 1999). به‌طورکلی آبیاری با آب‌شور سبب کاهش صفات مورفولوژیکی گیاه می‌شود، زیرا با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد شده و درنتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک کند افزایش می‌یابد (Molavi et al., 2011). همچنین به نظر می‌رسد تنش شوری از طریق محدودیت در جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل‌استفاده گیاه و سمیت عناصر غذایی، سبب کاهش رشد سلول می‌شود. علاوه بر این، موارد مذکور سبب کاهش کربوهیدرات تولیدی و درنتیجه کاهش رشد اجزای مختلف گیاه شده که درنهایت سبب کاهش وزن خشک می‌شود (Sodaeizadeh et al., 2016).

جدول ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و کاربرد بیوچار بر خصوصیات رشدی مرزه تابستانه

Table 1. Mean comparison of interaction effects of salinity stress and biochar application on growth traits of summer savory

تنش شوری Salinity stress (mM)	Biochar (%w/w)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی Number of branches	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد گره Number of nodule	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g/plant)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g/plant)	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g/plant)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g/plant)
0	0	30.58^{abc}	17.33^{ab}	6.99^{cd}	9.75^{a}	1.23^{b}	0.35^{cd}	2.49^{bc}	0.59^{cd}
	1	31.58^{abc}	16.91^{b}	8.75^{bc}	9.08^{ab}	1.62^{a}	0.49^{ab}	2.55^{bc}	0.64^{bc}
	2	32.17^{a}	18.92^{a}	11.88^{a}	10.25^{a}	1.75^{a}	0.6^{a}	3.44^{a}	0.82^{a}
40	0	25.41^{d}	12.42^{c}	6.98^{cd}	8.98^{ab}	0.91^{bc}	0.31^{cd}	2.17^{cd}	0.44^{de}
	1	26.28^{cd}	13.25^{c}	8.82^{bc}	9.15^{ab}	0.91^{bc}	0.3^{d}	2.83^{ab}	0.55^{cd}
	2	26.71^{bcd}	15.94^{b}	9.97^{ab}	9.33^{b}	1.09^{b}	0.38^{bcd}	3.03^{ab}	0.78^{ab}
80	0	19.25^{e}	11.50^{c}	5.44^{d}	6.21^{c}	0.58^{c}	0.28^{d}	1.26^{e}	0.29^{e}
	1	23.08^{de}	12.08^{c}	6.87^{cd}	7.49^{bc}	1.00^{b}	0.35^{cd}	1.72^{e}	0.32^{e}
	2	24.07^{de}	12.83^{c}	6.97^{cd}	8.33^{ab}	1.13^{b}	0.44^{bc}	1.98^{cd}	0.69^{abc}

*: حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون بنفرنی است.

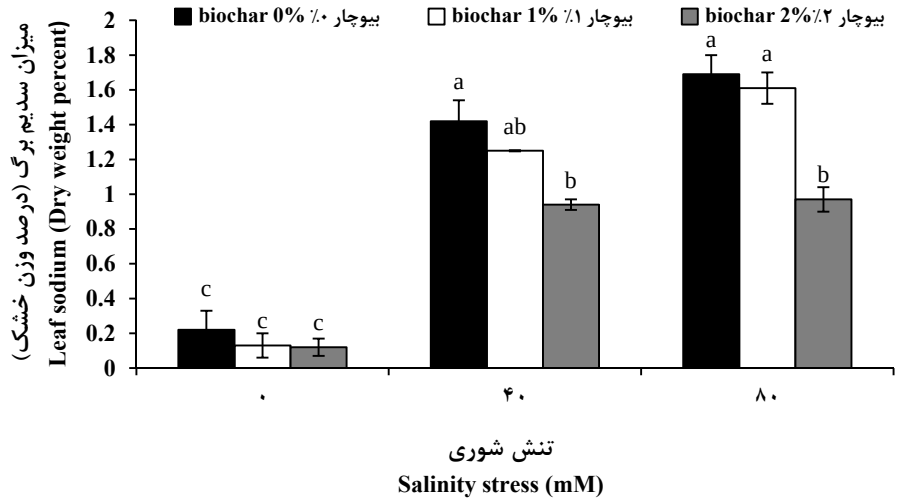
Means with the same letters within column are not significantly different at $p<0.05$ using Bonferroni test.

ارتفاع بوته یکی از شاخص‌های رشدی مهم گیاهان است که در اثر شوری کاهش می‌یابد. شوری در اکثر گیاهان ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهد (Munns and Tester, 2008). مطابق با نتایج حاصل از این آزمایش، در یک مطالعه روی مرزه، طول ساقه با افزایش شوری تا ۲۷ درصد کاهش نشان داد (Rezaei et al., 2016). در آزمایش مشابهی که روی سه گونه نعناع انجام شد کاهش ارتفاع اندام هوایی در تمام سطوح شوری موردمطالعه گزارش شد (Aziza et al., 2008). کاهش ارتفاع گیاه براثر شوری می‌تواند یک راهکار مناسب برای مقابله با شوری باشد. شوری از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک منجر به جذب آب و درنتیجه کاهش تقسیم سلولی، طویل شدن و تمایز سلولی و درنتیجه کاهش طول ساقه می‌گردد (Kumar et al., 2003). علاوه بر این، شوری ممکن است از طریق به هم زدن تعادل یونی و اثر روی تغذیه نیز رشد گیاه را محدود کند. در اثر کاهش ارتفاع، میزان مصرف آب به دلیل رشد کمتر و همچنین تعرق کمتر کاهش می‌یابد (Salami et al., 2007). قطر ساقه از صفاتی است که استحکام گیاه را مشخص می‌کند. در مطالعه‌ای بر روی مرزه تحت تنش شوری بیشترین قطر ساقه مربوط به عدم شوری بود و با افزایش شوری قطر ساقه کاهش نشان داد (Rezaei et al., 2016) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. با بررسی سطوح شوری در گیاه آگاستاکه (*Agastache foeniculum* knutz) نیز گزارش شد که با افزایش سطح شوری قطر ساقه کاهش یافت (Khorsandi et al., 2010). کاهش وزن خشک در اثر تنش شوری در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است. در مطالعه‌ای روی ریحان، شوری موجب کاهش وزن تر و خشک گیاه گردید (Vatankhah et al., 2017) که مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق و مطالعات قبلی در گونه‌های مختلف نعناع (Roodbari et al., 2013; Kasrati et al., 2014; Yu et al., 2015) و مرزه (Emaratpardaz et al., 2016) بود. در تنش شوری میزان تورژسانس سلول کاهش می‌یابد و درنتیجه رشد سلول‌ها براثر پدیده پلاسمولیز کمتر شده و رشد گیاه کم می‌شود و میزان وزن تر نیز کاهش می‌یابد. عامل اصلی کاهش وزن تر و خشک برگ و ساقه در طول تنش، تولید گونه‌های فعال اکسیژن یا ROS بوده و در طول تنش شوری، افزایش مقادیر ROS موجب اختلال در سیستم انتقال الکترون شده و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در کلروپلاست، میتوکندری و میکروبادی‌ها را تشدید می‌کند (Sofo et al., 2005).

یکی از راهکارهای کاهش افت عملکرد محصول در شرایط تنش شوری مدیریت تغذیه گیاه و بهبود شرایط فیزیکی خاک است که استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی مانند بیوچار، بر هر دو عامل اثر مثبتی دارد. نتایج حاصل از مطالعه‌ای روی اسفناج نشان داد که بیوچار تولیدشده در دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس به‌طور معنی‌داری میانگین ارتفاع گیاه و وزن تر گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد؛ اما برخلاف نتایج حاصل از این تحقیق بیوچار تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اسفناج نداشت (Rajabi, 2014). همچنین مطابق با یافته‌های حاصل از این مطالعه، بیوچار در تربچه به میزان بسیار کمی سبب افزایش رشد گردید؛ اما تأثیری بر گیاه هویج نداشت (Nabavinia, 2013) که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد. در یک مطالعه بر روی دانهال‌های لوبیا، استفاده از بیوچار در خاک شور موجب افزایش وزن خشک ساقه در مقایسه با تیمار شاهد گردید که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (Farhangi-Abriz and Torabian, 2017). بر اساس نتایج حاصل از یک مطالعه بیوچار مقادیر قابل‌توجهی از نمک اضافه‌شده در یک مزرعه تحقیقاتی را جذب کرد (Thomas et al., 2013)؛ بنابراین ممکن است که بیوچار یون‌های نمک را در خاک‌های نسبتاً شور جمع‌آوری کند و یا اینکه ممکن است بخش‌های بسیار کوچک غیرنمکی را برای افزایش جذب مواد غذایی تولید کند (Hammer et al., 2015).

غلظت سدیم و پتاسیم برگ

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین (۱/۶۹٪ وزن خشک برگ) و کمترین (۰/۱۲٪ وزن خشک برگ) میزان سدیم برگ به ترتیب در تیمار شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و عدم کاربرد بیوچار و تیمار کاربرد ۲ درصد بیوچار و عدم شوری مشاهده شدند (شکل ۱). آبیاری با آب‌شور کلرید سدیم، موجب افزایش معنی‌دار و قابل‌توجه غلظت سدیم برگ نسبت به شرایط غیر شور گردید (شکل ۱). کاربرد بیوچار در سطوح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار سبب کاهش میزان Na^+ در برگ نسبت به شاهد گردید که این کاهش در تیمار ۲ درصد بیوچار نسبت به شاهد در هر دو سطح تنش شوری معنی‌دار بود. مقایسه سطوح مختلف بیوچار نیز نشان داد که استفاده از ۲ درصد بیوچار در مقایسه با ۱ درصد آن موجب کاهش بیشتر Na^+ گردید که این کاهش در تنش ۸۰ میلی‌مولار شوری معنی‌دار بود (شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد بیوچار و شوری بر میزان سدیم برگ مرزه تابستانه

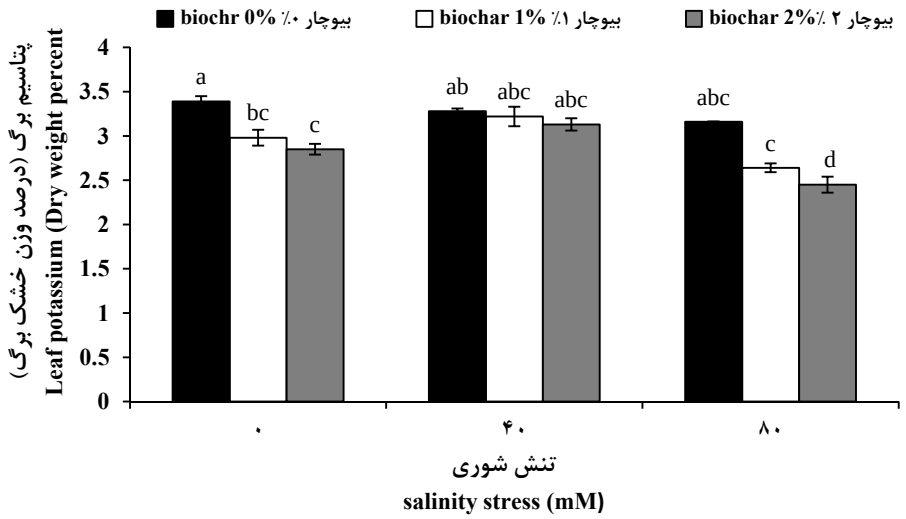
Fig. 1. Mean comparison of interaction effects of salinity stress and biochar application on sodium content of summer savory leaf

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین (۳/۳۹٪ وزن خشک برگ) و کمترین (۲/۴۵٪ وزن خشک برگ) میزان پتاسیم برگ به ترتیب در گیاهان شاهد و تیمار شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد ۲ درصد بیوچار مشاهده شدند (شکل ۲). تنش شوری اثر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم برگ در تیمار عدم مصرف بیوچار نداشت (شکل ۲). کاربرد بیوچار در سطوح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار سبب کاهش میزان K^+ برگ نسبت به شاهد گردید که این کاهش در شرایط بدون شوری و در سطح شوری ۸۰ میلی‌مولار معنی‌دار بود. مقایسه سطوح مختلف بیوچار نیز نشان داد که استفاده از ۲ درصد بیوچار در مقایسه با کاربرد ۱ درصد آن موجب کاهش بیشتر K^+ در برگ گردید که این کاهش در سطح شوری ۸۰ میلی‌مولار معنی‌دار بود (شکل ۲).

نسبت پتاسیم به سدیم

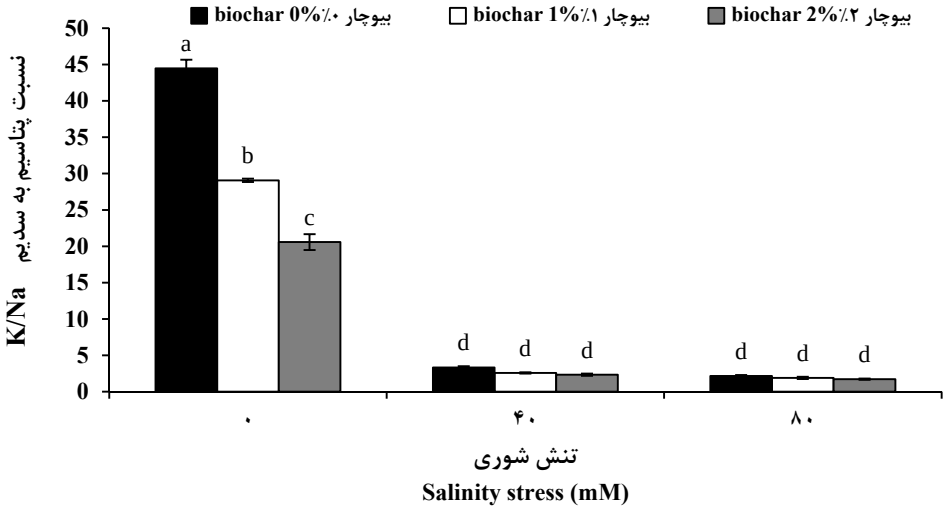
بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش شوری آب آبیاری از نسبت پتاسیم به سدیم کاسته شد و در شدیدترین تیمار شوری (۸۰ میلی‌مولار) به کمترین میزان خود (۱/۷۱) رسید (شکل ۳). ولیکن ازنظر آماری با تیمار ۴۰ میلی‌مولار در بین تیمارهای مصرف بیوچار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط غیرشور، با افزایش درصد بیوچار مصرفی، نسبت پتاسیم به سدیم نیز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳).

پس از پایان آزمایش اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک نشان داد که با افزایش سطح شوری آب از صفر به ۸۰ میلی‌مولار، میزان EC_e ۴/۷۱ برابر، میزان سدیم ۴/۶۲ برابر و میزان پتاسیم ۱/۳۸ برابر افزایش نشان دادند و میزان pH خاک از ۸/۰۹ به ۷/۷ کاهش یافت. افزودن ۲ درصد بیوچار به خاک سبب شد در تیمارهای ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار، میزان EC خاک به ترتیب ۷۴٪ و ۹۱/۹۵٪؛ میزان سدیم ۸۴/۳۱٪ و ۹۲٪ و میزان پتاسیم ۷۸٪ و ۷۲/۲۵٪ کاهش نشان دادند. علاوه بر این pH خاک در تیمار ۴۰ میلی‌مولار از ۷/۶۸ به ۷/۹ و در تیمار ۸۰ میلی‌مولار از ۷/۷ به ۷/۸۴ افزایش یافت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد مقادیر مختلف بیوچار در سطوح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار تأثیری در نسبت جذب پتاسیم به سدیم برگ نداشت که به نظر می‌رسد با توجه به اینکه بیوچار سبب جذب کاتیون‌ها می‌شود (Lashari et al., 2014; Akhtar et al., 2015)، بنابراین علاوه بر جذب Na^+ ممکن است سایر کاتیون‌ها مانند K^+ را نیز به خود جذب کند و درنتیجه موجب کاهش نسبت پتاسیم به سدیم گردد و اثری در افزایش میزان این نسبت نداشته باشد.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد بیوچار و شوری بر میزان پتاسیم برگ مرزه تابستانه

Fig 2. Mean comparison of interaction effects of salinity stress and biochar application on potassium content of summer savory leaf



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد بیوچار و شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم برگ مرزه تابستانه

Fig. 3. Mean comparison of interaction effects of salinity stress and biochar application on potassium content of summer savory leaf

تحت تنش شوری، به دلیل کاهش بیان آنزیم ATP سنتتاز، یکی از آنزیم‌های مهم در حفظ هموستازی یون در سلول گیاهی، تعادل یونی گیاه به هم می‌خورد و همچنین با تجمع یون‌های مضر در سیتوپلاسم، در متابولیسم سایر عناصر موردنیاز گیاه اختلال ایجاد می‌شود (Misra and Gupta, 2006). غلظت بالای سدیم در محلول خاک منجر به کاهش جذب دیگر عناصر توسط گیاه می‌شود، به دلیل اینکه سدیم به‌طور مستقیم سبب تداخل در جذب و انتقال دیگر عناصر از طریق پلاسمودسماتای سلول ریشه می‌گردد (Heydari et al., 2007). صدمات اصلی سدیم در ارتباط با انباشت یون سدیم در بافت برگ است و نتیجه آن نکروزه و پیر شدن برگ‌ها در نوک و حاشیه آن‌هاست که پس از مدتی در تمام سطح برگ ادامه می‌یابد و کاهش رشد محصول در مدت‌زمان کوتاهی اتفاق می‌افتد. وقتی گیاهان مدت‌زمان بیشتری در معرض شوری باشند؛ صدمات ویژه سدیم، بسته به میزان انباشت این یون، آشکار می‌شود که علاوه بر صدمات اسمزی در گیاهان است (Munns, 2002). انباشت سدیم، جذب آب و عناصر K،Fe و Zn را مهار می‌کند Said-Al Ahl and (Mahmoud, 2010). آسیب غشایی می‌تواند دلیلی برای افزایش Na^+ و Cl^- و کاهش جذب پتاسیم باشد (Mehrizi

et al., 2011). یون سدیم با یون پتاسیم از طریق کوترانسپورهای Na^+-K^+ رقابت می‌کند و باعث ایجاد سطوح سمی سدیم و غلظت‌های ناکافی پتاسیم برای واکنش‌های آنزیمی و تعادل اسموتیک می‌شود (Munns, 2005). مطالعات نشان داد که رقابت پتاسیم با سدیم یکی از مکانیسم‌های فیزیولوژیک مهم تحمل تنش شوری در گیاهان است (Ashraf et al., 1997). کمبود K^+ یکی از عوارضی است که در اثر رقابت Na^+ با K^+ برای جذب در ریشه‌ها پیش می‌آید. به دلیل انتقال کاتیون‌های Na^+و K^+ با یک پروتئین مشترک، Na^+ برای حرکت به درون سلول با K^+ رقابت می‌نماید (Hasegawa et al., 2000). تنش شوری جذب عناصر از ریشه و انتقال آن به گیاه را کاهش می‌دهد. به همین دلیل در یک تحقیق بر روی نعناع فلفلی تحت تنش شوری میزان سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در اندام هوایی بررسی شد و مشاهده شد که تنش شوری سبب افزایش سدیم و کاهش پتاسیم گردید(Vatankhah et al., 2017) . همچنین در تحقیقی روی مرزنجوش تحت تنش شوری نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یافت (Goldani et al., 2012) که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. کاهش جذب پتاسیم درنتیجه افزایش سدیم، فرایندی رقابتی است و ارتباطی به نوع نمک غالب در خاک ندارد. این کمبود، در مورد کاهش رشد محصولات مختلفی مانند اسفناج و رازیانه گزارش شده است. علاوه براین مقادیر زیاد سدیم در محیط ریشه نه‌فقط در جذب پتاسیم مداخله می‌کند بلکه بر عمل غشای ریشه مؤثر بوده و حساسیت گیاه را تغییر می‌دهد (Grattan and Grieve, 1998). حفظ سطح کافی پتاسیم و بقای گیاه در محیط‌های شور ضروری است. پتاسیم، برجسته‌ترین عنصر حل شونده برای پایین نگه‌داشتن پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه و پیش‌نیاز تورژسانس سلول‌هاست. تحت شرایط شور و قلیا، زیاد بودن غلظت سدیم نه‌تنها در جذب پتاسیم توسط ریشه اختلال ایجاد می‌کند، بلکه غشای سلول‌های ریشه و خاصیت انتخابی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که جذب و انتقال پتاسیم به‌وسیله گیاه نسبت به سدیم ارجحیت دارد (Grattan and Grieve, 1998; Ashraf and Ahmad, 2000).

به دلیل ویژگی‌های خاص فیزیکی و شیمیایی بیوچار، مطالعات اولیه در مورد امکان استفاده از آن در اصلاح خاک‌های مبتلا به شوری امیدوارکننده بوده است. بیوچار همانند مواد آلی به دلیل ماندگاری بیشتر در خاک، با کاهش جذب یون سدیم توسط گیاه می‌تواند در اصلاح خاک‌های شور مورداستفاده قرار گیرد (Lashari et al., 2014). بیوچار اثرات منفی تنش شوری را با جذب Na^+ از محلول خاک کاهش می‌دهد (Akhtar et al., 2015). در تحقیق حاضر نیز کاربرد ۱ و ۲ درصد بیوچار باعث کاهش غلظت سدیم فراهم خاک گردید که حاکی از جذب کاتیون سدیم توسط گروه‌های عاملی سطح بیوچار که عمدتاً دارای بار منفی هستند، است. لذا، بیوچار با جذب سدیم خاک، فراهمی آن را برای جذب توسط مرزه تابستانه کاهش داده و درنتیجه، با کاهش غلظت سدیم در برگ مرزه، مسمومیت یونی سدیم در گیاه کاهش یافت و صفات رشدی گیاه مرزه بهبود یافتند. مطالعات نشان می‌دهد که بسیاری از بیوچارها به دلیل داشتن سطوح تبادلی زیاد می‌توانند منجر به افزایش نگهداری عناصر غذایی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی شوند (Major et al., 2009). بیوچار می‌تواند منبع تغذیه مستقیم برای گیاه باشد و بسیاری از عناصر غذایی مانند پتاسیم را برای گیاه فراهم کند و سبب افزایش غلظت و جذب این عنصر در گیاه شود (Chan et al., 2007; Gaskin et al., 2008). کاربرد بیوچار می‌تواند غلظت پتاسیم بافت گیاهی را افزایش دهد (Biederman and Harpole, 2013; Liu et al., 2014). نتایج حاصل از پژوهش قبلی نشان داد که استفاده از بیوچار سبب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه اسفناج گردید (Rajabi et al., 2017). با توجه به اینکه پتاسیم و سدیم با یکدیگر حالت رقابتی دارند به نظر می‌رسد در این پژوهش کاربرد بیوچار با کاهش جذب سدیم توسط گیاه و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم منجر به افزایش مقاومت به شوری شده است (Rajabi et al., 2017)، هرچند در پژوهش حاضر اختلاف معنی‌داری بین نسبت پتاسیم به سدیم بین کاربرد بیوچار و عدم استفاده از آن در تیمارهای شوری وجود نداشت. علاوه بر این بیوچار سبب افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک مؤثر است (Steiner et al., 2008; Lehmann et al., 2003). به نظر می‌رسد این امر سبب رقیق‌تر شدن نمک‌های موجود در خاک و کاهش جذب سدیم در گیاه می‌گردد. از طرفی، افزایش دما در طول فرایند تولید بیوچار، سبب انتقال کاتیون‌ها (Na^+، K^+، Mg^{2+} و Ca^{2+}) به داخل اکسی هیدروکسیدها و کربنات‌ها و چسبیدن به بیوچار می‌شود (Yuan et al., 2011). به همین علت همان‌طور که در این

آزمایش مشاهده شد، افزودن بیوچار به خاک سبب کاهش میزان سدیم موجود در گیاه در تیمارهای شوری گردید.

با توجه به نتایج این پژوهش، کاهش رشد مرزه در شرایط تنش کلرید سدیم می‌تواند به دلیل مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون‌های سدیم و کلر و کاهش جذب پتاسیم، عوارض ناشی از کمبود پتاسیم، کاهش جذب آب به دلیل افزایش پتانسیل اسمزی محیط کشت و عدم توانایی گیاه در جذب آب در این شرایط باشد (Jamil et al., 2006). بهبود صفات رشدی گیاه مرزه با استفاده از بیوچار نیز می‌تواند به دلیل کاهش سدیم قابل‌جذب خاک توسط بیوچار و درنتیجه کاهش غلظت سدیم در برگ و کاهش مسمومیت یونی سدیم در گیاه باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که شوری سبب کاهش میزان رشد گیاه مرزه تابستانه گردید و کاربرد بیوچار در این شرایط باعث تعدیل اثرات مضر شوری شد. کمترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ در تیمار ۸۰ میلی‌مولار شوری و عدم مصرف بیوچار مشاهده گردید. علاوه بر این افزایش شوری موجب افزایش میزان سدیم و کاهش میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم مرزه گردید. بیوچار با جذب سدیم خاک موجب کاهش میزان سدیم برگ در گیاه مرزه تابستانه گردید. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق استفاده از ماده آلی بیوچار می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب زیستی برای افزایش مقاومت به شوری در گیاهان پیشنهاد گردد که نیازمند بررسی‌های بیشتر، به‌ویژه مطالعات مزرعه-ای، است. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که در سطح پایین شوری (۴۰ میلی‌مولار)، میزان کمتر بیوچار (۱ درصد) و در سطوح متوسط شوری (۸۰ میلی‌مولار) کاربرد بیوچار در سطح بیشتر (۲ درصد) می‌تواند سبب بهبود اثرات نامطلوب ناشی از آب‌شور گردد.

منابع

Akhtar, S.S., Andersen, M.N., Liu, F., 2015. Biochar mitigates salinity stress in potato. Journal of Agronomy and Crop Science. 5, 368-378.

Arefi, A., 2015. Effect of inoculation of mycorrhiza fungi, sewage black mud and produced biochar on soil cadmium absorption under maize cultivation. Master Thesis, Isfahan University of Technology [In Persian].

Ashraf, M., Ahmad, S., 2000. Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fiber characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L). Field Crops Research. 66(2), 115-127.

Ashraf, M., Khanum, A., 1997. Relationship between ion accumulation and growth in two spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth different growth stages. Journal of Agronomy and Crop Science. 178(1), 39-51.

Aziza, E.E., Al-Amir, H., Craker, L.E., 2008. Influence of salt stress on growth and essential oil production in peppermint, pennyroyal and apple mint. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants. 14, 77-87.

Babaei, K., Amini Dehghi, M., Modares Sanavi, A., Jabbari, R., 2010. Investigation the effect of salinity stress on some morphologic, physiologic and chemical of *Thymus vulgaris*. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi). 71, 79-86. [In Persian with English Summary].

Bernstein, N., Kravchik, M., Dudai, N., 2010. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. Annals of Applied Biology. 156(2), 167-177.

Biederman L.A., Harpole, W.S., 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. Global Change Biology Bioenergy. 5(2), 202-214.

Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research. 45(8), 629-634.

Chiang, K.Y., Huang H.J., Chang, C.N., 2007. Enhancement of heavy metal stabilization by different amendments during sewage sludge composting process. Environmental Engineering and Management Journal. 17(4), 249-256.

El-Shafy, S., Meawad, A.A., Wad, A., Shaer, M., 1991. Effect of combination treatment between salinity, gamma irradiation as well as cycocyl

on: II Leaf pigment and chemical constituents of sweet basil plants. Journal of Agricultural Research. 18, 2247-2293.

Emaratpardaz, J., Hami, A., Gohari, A. Gh., 2016. Evaluation of growth characteristics and Essential essential oil yield of *Satureja hortensis* L. under salinity and Zn foliar spraying. Agricultural Science and Sustainable Production. 26(3), 131-141 [In Persian with English Summary].

Farhangi-Abriz, S., Torabian, S., 2017. Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. Ecotoxicology and Environmental Safety. 137, 64-70.

Gaskin, J.W., Steiner C., Harris K., Das K.C., Bibens, B., 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the ASABE. 51(6), 2061-2069.

Goldani, M., Selahvarzi, Y., Nabati, J., Alirezai Noghandar, M., 2012. Effect of exogenous application of hydrogen peroxidase on some indexes of salinity tolerance in *Origanum majorana* L. Journal of Horticultural Science. 26(2), 153-161 [In Persian with English Summary].

Grattan, S.R., Grieve, C.M., 1998. Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae. 78(1-4), 127-157.

Hadian, J., Tabatabaei, S.M.F., Naghavi, M.R., Jamzad, Z., Ramak-Masoumi, R., 2008. Genetic diversity of Iranian accessions of *Satureja hortensis* L. based on horticultural traits and RAPD markers. Scientia Horticulture. 115, 196-202.

Hammer, E.C., Forstreuter, M., Rillig, M.C., Kohler, J., 2015. Biochar increases *Arbuscular mycorrhiza* plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. Applied Soil Ecology. 96, 114-121.

Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., Bohnert, H.J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology. 51, 463–499.

Heidari Sharif Abad, H., 2001. Plants and salinity. Research Institute of Forest and Rangelands.199 p. [In Persian]

Hejazi Zadeh, A., Gholamalizadeh Ahangar, A., Ghorbani, M., 2016. Effect of biochar on lead and cadmium absorption of sewage black mud of paper factories by sunflower. Water and Soil Science. 26(2), 259-271 [In Persian with English Summary].

Heydari, M., Nadian, H., Bakhshandeh, A., Alami Saeid, Kh., Fathi, GH., 2007. Effect of salinity and nitrogen rates on osmotic adjustment and accumulation of mineral nutrients in wheat. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 4, 193-210 [In Persian with English Summary].

Jamil, M., Deogbaebae, L., Kwangyong, J., Ashraf, M., Sheongchunchun, L., Euishik, R., 2006. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. Journal of Central European Agriculture. 7, 273-82.

Kasrati, A., Jamali, C.A., Bekkouche, K., Wohlmuth, H., Leach, D., Abbad, A., 2014. Plant growth, mineral nutrition and volatile oil composition of *Mentha suaveolens* subsp. *timija* hareley cultivated under salt stress. Industrial Crops and Products. 59, 80-84.

Khorsandi, H., Hasani, A., Sefidkon, F., Shirzad, H., Khorsandi, A.R., 2010. The effect of salinity stress because of NaCl on growth, yield, essential oil content and composition of *Agastache foeniculum* kuntz. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 3, 451-438 [In Persian].

Kumar, S.G., Reddy, A.M., Sudhakar, C., 2003. NaCl effects on proline metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with contrasting salt tolerance. Plant Science. 165(6), 1245-1251.

Lashari, M.S., Ye, Y., Ji, H., Li, L., Kibue, G.W., Lu, H., Zheng, J., Pan, G., 2014. Biochar manure compost manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a two year field experiment. Journal of Science of Food and Agriculture. 95(6), 1321-1327.

Lehmann, J., Kem, D., German, L., McCann, J., Martis, G.C., Moreira, L., 2003. Soil fertility and production potential. Chapter 6. In: Lehmann, J., Kern, D.C., Glaser, B., Woods, W.I., (eds.) Amazonian Dark Earths: Origin Properties, Management. Kluwer Academic, Dordrecht. pp 105–124.

Liu, T., Liu, B., Zhang, W., 2014. Nutrients and heavy metals in Biochar biochar produced by

sewage sludge pyrolysis: It's application in soil amendment. Polish Journal of Environmental Studies. 23(1), 271-275.

Major, J., Steiner, C., Downie, A., Lehmann, J., 2009. Biochar effects on nutrient leaching. In: Lehmann, J., Joseph, S. (eds), Biochar for Environmental Management: Science and Technology. London: Earthscan Publishing. 405 p.

Mehrizi, M.H., Shariatmadari, H., Khoshgoftarmanesh, A.H., Zarezadeh, A., 2011. Effect of salinity and zinc on physiological and nutritional responses of rosemary. International Agrophysics. 25, 349-353.

Melero, S., Madejon, E., Ruiz, J.C., Herencia, J.F., 2007. Chemical and biochemical properties of properties of a clay soil under dry land agriculture system as affected by organic fertilization. European Journal of Agronomy. 26, 327–334.

Misra, N., Gupta, A.K., 2006. Effect of salinity and different nitrogen sources on the activity of antioxidant enzymes and indole alkaloid content in *Catharanthus roseus* seedlings. Journal of Plant Physiology. 163(1), 11-18.

Molavi, H., Mohammadi, M., Liaghat, A., 2011. Effect of salinity water management during growth period on yield and yield contents of maize in soil salinity profile. Journal of Irrigation Science and Engineering. 35(3), 11-18 [In Persian with English Summary].

Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment. 25(2), 239-250.

Munns, R., 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist. 167(3), 645-663.

Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review Plant Physiology. 59, 651-681.

Nabavinia, F., 2013. Effect of tanning wastages and biochar on some physical and chemical characteristics of soil, growth and yield of radish and carrot. Master Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. [In Persian].

Niu, X., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M., Pardo, J.M., 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environment. Plant Physiology. 109(3), 735-742.

Noorani Azad, H.F., Haji Bagheri, M.R., 2008. Effect of salinity stress on some physiological characteristics of *Anthum graveolens* L. Scientific Information Database. 4(12), 93-100 [In Persian with English Summary].

Noori, K., Omidi, H., Naghdi Badi, H., Torabi, H., Fotokian, M.H., 2012. Effect of salinity water and soil on flower yield, solution composition, salinity element content and essential oil quality of *Matricaria recutita* L. Journal of Water Research in Agriculture. 4(26), 368-378 [In Persian].

Omidbaigi, R., 2004. Production and processing of medicinal plants. Astan Qods Razavi Publisher. [In Persian].

Rajabi, H., Safarzadeh, S., Ronaghi, A., 2017. Effect of pistachio residue biochar prepared at two different temperatures and different nitrogen and phosphorus levels on some macronutrients concentration and spinach growth. Journal of Water and Soil. 31(2), 557-569. [In Persian with English Summary].

Rajabi, H., 2014. Effect of pistachio residue, sewage black mud, and chemical fertilizer on bio- provision and nitrogen and phosphorus absorption by spinach. Master Thesis. Shiraz University [In Persian].

Razghandi, J., 2014. Investigation the effect of salinity stress on morphological and physiological characteristics of 5 population of summer savory. Master Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran [In Persian].

Rezaei, C.E., Jamali, M., Pirzad, A., Tofig, S., 2016. Effect of mycorrhizal fungi on some morphophysiological characters and yield of summer savory (*Satureja hortensis* l.) in saltin salt stress conditions. Journal of Plant Process and Function. 5(17), 15-29.

Rezaeian, A., 2015. Effect of biochar and *Arbuscular mycorrhiza* on cadmium absorption, transportation and accumulation in *Mentha piperita*. Master Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran [In Persian].

Roodbari, N., Roodbari, S., Ganjali, A., Sabeghinejad, F., Ansarifar, M., 2013. The effect of salinity stress on growth parameters and essential oil percentage of peppermint (*Mentha piperita*). International Journal of Advanced Biological and Biochemical Research. 1(9), 1009-1015.

Said-Al Ahl, H.A.H., Mahmoud, A.A., 2010. Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean Journal of Applied Sciences. 3(1), 97-111.

Salami, M.R., Safarnejad, A.A., Hamidi, H., 2007. Effect of salinity stress on morphological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Valeriana officinalis.* Pajouhesh and Sazandegi. 72, 77-83 [In Persian with English Summary].

Sefidkon, F., Abbasi, K., Khaniki, G.B., 2006. Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis.* Food Chemistry. 99, 19–23.

Sodaeizadeh, H., Tajamolian, M., Rafiei Hoseini, M., 2016. Effect of composing of sweet and salty water on some morphological index of *Satureja hortensis.* Crop and Environmental Stress. 1(1), 55-65 [In Persian with English Summary].

Sofo, A., Tuzio, A.C., Dichio, B., Xiloyannis, C., 2005. Influence of water deficit and re watering on the components of the ascorbate-glutathione cycle in four inter specific *Prunus* hybrids. Plant Science. 69, 403-412.

Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., Bol, R., 2009. Biochar's role in soil and climate change: a review of research needs. CSIRO Land and Water Science Report. 59, 1– 57.

Steiner, C., Das, K.C., Garcia, M., Forster, B., Zech, W., 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralso. Pedobiologia. 51, 359–366.

Tabatabaei, S.J., 2009. The methods of plant mineral nourishing. First edition. Kharazmi Publisher. 562p. [In Persian].

Tester, M., Davenport, R., 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annals of Botany. 91, 503-527.

Thomas, S.C., Fry, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., Melamed, S., Murray, J., Petroff, A., Winsborough, A., 2013. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. Journal of Environmental Management. 129, 62-68.

Ungar, I.A., 1991. Ecophysiology of Vascular Halophytes. CRC Press, Boca Raton. 221p.

Vatankhah, E., Kalantari, B., Andalibi, B., 2017. Effects of methyl jasmonate and salt stress on physiological and phytochemical characteristics of peppermint. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33(2), 449-465 [In Persian with English Summary].

Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., Abbassi, F., 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. African Journal of Agricultural Research. 6(4), 798-807.

Yu, X., Liang, C., Chen, J., Qi, X., Liu, Y., Li, W., 2015. The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in *Mentha canadensis* L. Scientia Horticulturae. 197, 579-583.

Yuan, J.H., Xu, R.K., Zhang, H., 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. Bioresource Technology. 102(3), 3488-3497.